VEGAN KEK ÜRETİMİNDE FARKLI YUMURTA VE SÜT İKAMELERİNİN ÜRÜN KALİTESİ ÜZERİNE ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI

Kübra TOPALOĞLU GÜNAN

T.C.
BURSA ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

VEGAN KEK ÜRETİMİNDE FARKLI YUMURTA VE SÜT İKAMELERİNİN ÜRÜN KALİTESİ ÜZERİNE ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI

Kübra TOPALOĞLU GÜNAN
0000-0001-9384-6862

Doç. Dr. Perihan YOLCI ÖMEROĞLU
(Danışman)

DOKTORA TEZİ
GIDA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

BURSA – 2026
Her Hakkı Saklıdır.

ÖZET

Doktora Tezi

VEGAN KEK ÜRETİMİNDE FARKLI YUMURTA VE SÜT İKAMELERİNİN ÜRÜN KALİTESİ ÜZERİNE ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI

Kübra TOPALOĞLU GÜNAN

Bursa Uludağ Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Perihan YOLCI ÖMEROĞLU

Bitki bazlı fırıncılık ürünlerine yönelik artan talep, geleneksel bileşenlerin yerine kullanılabilecek fonksiyonel yumurta ve süt alternatiflerinin belirlenmesini gerekli kılmaktadır. Bu doktora çalışmasında aquafaba, chia jeli, keten tohumu jeli, psyllium, muz ve çöven ekstraktı gibi bitki bazlı yumurta ikameleri ile soya, fındık, ceviz, kinoa, keten tohumu, hindistan cevizi, yulaf ve badem sütleri dahil olmak üzere geniş bir yelpazedeki bitki bazlı süt alternatiflerinin muffin sistemleri üzerindeki etkileri kapsamlı biçimde değerlendirilmiştir. Reolojik davranış, yapı ve hacim özellikleri, besinsel bileşim, toplam fenolik madde ve antioksidan kapasite, amino asit profili ve duyusal değerlendirme sonuçları bütüncül olarak incelenmiştir. Bulgular, özellikle hidrokolloid ve lif içeriği yüksek yumurta ikameleri (chia, psyllium, keten tohumu) ile kinoa ve keten tohumu temelli bitkisel sütlerin viskoelastik özellikleri iyileştirdiğini göstermiştir. Psyllium ve keten tohumu formülasyonları diyet lifi düzeyini artırırken, bazı bitkisel bileşenlerin toplam fenolik içerik ve antioksidan biyoyararlılığını yükselttiği belirlenmiştir. Bitki bazlı örneklerde esansiyel amino asit düzeyleri kontrol grubuna göre daha düşük olsa da arginin ve glutamik asit bakımından yeterli düzeyler sağlanmıştır. Duyusal değerlendirme sonuçları, özellikle muzla hazırlanan yumurta ikamesi ve bazı bitkisel sütlerin kabul edilebilirlik açısından kontrol grubuna yakın performans gösterdiğini ortaya koymuştur. Genel olarak bu çalışma, seçilen bitki bazlı yumurta ve süt alternatiflerinin, besinsel açıdan zenginleştirilmiş ve duyusal olarak kabul edilebilir bitki bazlı muffinlerin geliştirilmesine olanak sağladığını göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Antioksidan, Bitkisel süt, Reoloji, Vegan muffin, Yumurta ikamesi.

2026, xviii + 200 sayfa.

ABSTRACT

PhD Thesis

INVESTIGATION OF EGG AND MILK REPLACEMENTS ON PRODUCT QUALITY IN VEGAN CAKE PRODUCTION

Kübra TOPALOĞLU GÜNAN

Bursa Uludağ University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Food Engineering

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Perihan YOLCI ÖMEROĞLU

The growing demand for plant – based bakery products requires the identification of functional egg and milk alternatives that can effectively replace conventional ingredients. In this doctoral research, the effects of a wide range of plant – based replacers—including aquafaba, chia gel, flaxseed gel, psyllium, ripe banana, and soapwort extract as egg substitutes, and soy, hazelnut, walnut, quinoa, flaxseed, coconut, oat and almond milks as dairy alternatives—were comprehensively evaluated in muffin systems. Rheological behavior, textural and structural properties, nutritional composition, total phenolic content and antioxidant capacity, amino acid profiles, and sensory attributes were analyzed in an integrated manner. The findings showed that egg substitutes and plant – based milks rich in hydrocolloids and dietary fiber (particularly chia, psyllium, and flaxseed, as well as quinoa and flaxseed milks) improved viscoelastic characteristics. Psyllium and flaxseed – based formulations increased dietary fiber levels, while several plant – derived ingredients enhanced total phenolics and antioxidant bioaccessibility. Although essential amino acid levels in plant – based muffins were lower than in the control, they provided adequate amounts of arginine and glutamic acid. Sensory results demonstrated that banana – based egg replacement and selected plant – based milks performed comparably to the control in overall acceptability. Overall, this work demonstrates that carefully selected plant – based egg and milk alternatives enable the development of nutritionally enhanced and sensorially acceptable plant – based muffins.

Key words: Antioxidants, Egg replacer, Plant – based milk, Rheology, Vegan muffins.

2026, xviii + 200 pages.

TEŞEKKÜR

Doktora eğitimim boyunca engin bilgi birikimi, akademik rehberliği, sabrı ve desteğiyle gelişimime yön veren; karşılaştığım her güçlükte çözüm odaklı yaklaşımıyla bana ilham olan değerli danışmanım Doç. Dr. Perihan YOLCI ÖMEROĞLU'na en içten teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmamın değerlendirilmesinde kıymetli görüş ve yönlendirmeleriyle tezimin bilimsel niteliğinin gelişmesine önemli katkılar sağlayan Prof. Dr. Ömer Utku ÇOPUR'a ve Prof. Dr. Esra ÇAPANOĞLU GÜVEN'e

Doktora tez savunmamda jüri üyeliği yaparak öneri ve tavsiyeleriyle çalışmama katkı sağlayan Prof. Dr. Seher KUMCUOĞLU ve Prof. Dr. Senem KAMİLOĞLU BEŞTEPEYE'ye

Doktora sürecimde jürimde yer almış olan, akademiye değerli katkılar sunmuş ve kısa süre önce aramızdan ayrılan merhume Prof. Dr. Canan Ece TAMER'e,

Hayatımın her döneminde olduğu gibi doktora sürecimde de sevgileri, sabırları ve koşulsuz destekleriyle daima yanımda olan annem Filiz TOPALOĞLU'na, babam Uğur TOPALOĞLU'na ve kardeşim Ayça TOPALOĞLU'na,

Her zaman yanımda olan; zorluklarla karşılaştığım anlarda sakinliği ve destekleyici yaklaşımıyla bana güç veren, varlığıyla bu sürecin ilerlemesine anlamlı katkı sağlayan sevgili eşim Fatih GÜNAN'a,

Manevi varlığıyla bize güç kattığını hissettiğim eşimin kıymetli annesi merhume Menevşe GÜNAN'a,

Doktora sürecimde desteklerini esirgemeyen değerli bölüm başkanım Doç. Dr. Didem BERBER' e

Çalışma hayatımı daha anlamlı kılan ve her zaman yanımda olan değerli dostlarım Öğr. Gör. Tuğçe BOĞA ve Öğr. Gör. Dr. Seda ÇAKMAK KAVSARA'ya,

Yoğun çalışma dönemlerimde huzur ve neşesiyle bana eşlik eden canım kedim Badem'e, teşekkürlerimi sunarım.

Kübra TOPALOĞLU GÜNAN
13/02/2026

İÇİNDEKİLER

ÖZET viii
ABSTRACT ix
TEŞEKKÜR x
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ xiii
ŞEKİLLER DİZİNİ xv
ÇİZELGELER DİZİNİ xvii
1. GİRİŞ 1
2. KURAMSAL TEMELLER ve KAYNAK ARAŞTIRMASI 5
2.1. Kek Üretimi ve Kek Çeşitleri 5
2.1.1. Muffin 8
2.2. Vegan Fırıncılık Ürünlerinde Formülasyon Yaklaşımları 10
2.3. Yumurta İkameleri ve Özellikleri 12
2.3.1. Aquafaba (baklagil bazlı sıvı ikameler) 14
2.3.2. Tohum bazlı jelleştirici bileşenler 18
2.3.3. Diğer yumurta ikameleri 21
2.4. Süt İkameleri ve Özellikleri 23
2.4.1. Fırıncılık ürünlerinde sütün fonksiyonları 25
2.4.2. Tahıl, yalancı-tahıl ve tohum bazlı sütler 27
2.4.3. Kuruyemiş bazlı sütler 29
2.4.4. Baklagil bazlı sütler 33
3. MATERYAL ve YÖNTEM 36
3.1. Materyal 36
3.2. Yöntem 39
3.2.1. Muffin üretimi 39
3.2.2. Muffinlerin fizikokimyasal ve teknolojik özellikleri 43
3.2.3. Kimyasal kompozisyonun belirlenmesi 48
3.2.4. Yağ asidi kompozisyonun belirlenmesi 50
3.2.5. Fenolik ekstraksiyon, *in vitro* sindirim modeli ve toplam fenolik madde ile toplam antioksidan kapasite analizleri 52
3.2.6. Amino asit kompozisyonunun belirlenmesi 53
3.2.7. Raf ömrü analizleri 55
3.2.8. Muffin örneklerinin duyusal değerlendirilmesi 56
3.2.9. Muffin örneklerinde nicel tanımlayıcı duyusal analiz (QDA) 56
3.2.10. İstatistiksel analiz 62
4. BULGULAR ve TARTIŞMA 63
4.1. Muffin Hamurlarının Reolojik Özellikleri 63
4.1.1. Farklı yumurta ikameleri ile üretilen muffinler 63
4.1.2. Farklı süt ikameleri ile üretilen muffinler 68
4. 2. Muffin Örneklerinin Fiziksel Özellikleri 74
4.2.1. Farklı yumurta ikameleri ile üretilen muffinler 74
4.2.2. Farklı süt ikameleri ile üretilen muffinler 80
4. 3. Muffin Örneklerinin Morfolojik Özellikleri 86
4.3.1. Farklı yumurta ikameleri ile üretilen muffinler 86
4.3.2. Farklı süt ikameleri ile üretilen muffinler 88
4. 4. Süt ve Muffin Örneklerinin Kimyasal Bileşimi ile Besinsel Özellikleri 91
4.4.1. Farklı yumurta ikameleri ile üretilen muffinler 92
4.4.2. İnek sütü ikameleri 91

4.4.3. Farklı süt ikameleri ile üretilen muffinler 92
4. 5. Farklı Süt İkameleri ile Üretilen Muffin Örneklerinin Yağ Asidi Kompozisyonu . 98
4. 6. Vegan Muffinlerin Toplam Fenolik Madde İçeriği, Antioksidan Kapasitesi ve *In Vitro* Biyoerişilebilirliği 102
4.6.1. Farklı yumurta ikameleri ile üretilen muffinler 102
4.6.2. İnek sütü ikameleri 108
4.6.3. Farklı süt ikameleri ile üretilen muffinler 111
4. 7. Muffin Örneklerinin Amino Asit Kompozisyonu 115
4.7.1. Farklı yumurta ikameleri ile üretilen muffinler 115
4.7.2. Farklı süt ikameleri ile üretilen muffinler 118
4. 8. Muffin Örneklerinin Raf Ömrünün Değerlendirilmesi 121
4.8.1. Farklı yumurta ikameleri ile üretilen muffinler 121
4.8.2. Farklı süt ikameleri ile üretilen muffinler 126
4. 9. Muffin Örneklerinin Duyusal Değerlendirilmesi 131
4.9.1. Farklı yumurta ikameleri ile üretilen muffinler 131
4.9.2. Farklı süt ikameleri ile üretilen muffinler 133
4. 10. Muffin Örneklerinde Nicel Tanımlayıcı Duyusal Analiz (QDA) Sonuçları 135
4.10.1. Farklı yumurta ikameleri ile üretilen muffinler 135
4.10.2. Farklı süt ikameleri ile üretilen muffinler 139
4. 11. Kemometrik Analizler 144
4.11.1. Korelasyon analizi 144
Farklı yumurta ikameleri ile üretilen muffinler 144
Farklı süt ikameleri ile üretilen muffinler 147
4.11.2. Temel bileşen analizi 149
Farklı yumurta ikameleri ile üretilen muffinler 149
Farklı süt ikameleri ile üretilen muffinler 152
4.11.3. Kümeleme analizi 155
Farklı yumurta ikameleri ile üretilen muffinler 155
Farklı süt ikameleri ile üretilen muffinler 157
5. SONUÇ 159
KAYNAKLAR 163
EKLER 183
ÖZGEÇMİŞ 198

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler	**Açıklama**
%	Yüzde
<	Küçüktür
>	Büyüktür
°C	Santigrat derece
a*	Kırmızılık – yeşillik ifade eden renk değeri
$AlCl_3$	Alüminyum klorür
b*	Sarılık – mavilik ifade eden renk değeri
C*	Kromalık, doygunluk
Ca	Kalsiyum
$CaCl_2$	Kalsiyum klorür
CH_3OH	Metanol
cm	Santimetre
dk	Dakika
g	Gram
G'	Depolama modülü
G''	Kayıp modülü
h°	Ton açısı
H_2O_2	Hidrojen Peroksit
HCl	Hidroklorik asit
HNO_3	Nitrik asit
Hz	Hertz
K	Potasyum
kcal	Kilokalori
kPa	Kilopascal
kV	Kilovolt
l	Litre
L*	Açıklık veya koyuluğu ifade eden renk değeri
M	Molar
Mg	Magnezyum
mg	Miligram
ml	Mililitre
mm	Milimetre
mM	Milimolar
N	Normalite
N	Newton
Na	Sodyum
$NaNO_2$	Sodyum nitrit
NaOH	Sodyum hidroksit
nm	Nanometre
P	Fosfor
p	Önem düzeyi
Pa	Pascal
R^2	Belirleme katsayısı
rpm	Dakikada atılan devir sayısı
s^{-1}	saniye^{-1}

U	Enzim ünitesi
v/v	Hacim/hacim oranı
w/v	Ağırlık/hacim oranı
ΔE	Toplam renk farkı
µL	Mikrolitre
ω	Açısal hız
Ω	Ohm

Kısaltmalar	**Açıklama**
3 – MPA	3 – merkaptopropiyonik asit
ABD	Amerika Birleşik Devletleri
ANOVA	Varyans analizi
BBS	Bitki bazlı sütler
BPA	Baird – Parker Agar
CAGR	Bileşik yıllık büyüme oranı
CUPRAC	Bakır(II) indirgeme antioksidan kapasitesi yöntemi
DPPH	2,2-difenil-1-pikrilhidrazil
DRBCA	Dichloran Rose Bengal Chloramphenicol Agar
DTDPA	Dietilentriaminpentaasetik asit
FAME	Yağ asidi metil esterleri
FE – SEM	Alan emisyonlu taramalı elektron mikroskobu
FID	Alev iyonizasyon dedektörü
FMOC	Fluorenilmetiloksikarbonil klorür
GAE	Gallik asit eşdeğeri
GC	Gaz kromatografisi
HCA	Hiyerarşik kümeleme analizi
HPLC	Yüksek performanslı sıvı kromatografisi
ICP	İndüktif eşleşmiş plazma
ISO	Uluslararası Standardizasyon Örgütü
kob	Koloni oluşturan birim
MS	Kütle spektrometresi
MUFA	Tekli doymamış yağ asitleri
OPA	o-ftalaldehit
PCA	Plate count agar
PCA	Temel bileşen analizi
PUFA	Çoklu doymamış yağ asitleri
PVDF	Poliviniliden florür
SEM	Taramalı elektron mikroskobu
SFA	Doymuş yağ asitleri
SGF	Simüle edilmiş mide sıvısı
SIF	Simüle edilmiş bağırsak sıvısı
SSF	Simüle edilmiş tükürük sıvısı
TAC	Toplam antioksidan kapasite
TBX	Tryptone Bile X – glucuronide Agar
TE	Trolox eşdeğeri
TFC	Toplam flavonoid kapasite
TPC	Toplam fenolik kapasite
TUFA	Toplam doymamış yağ asitleri

ŞEKİLLER DİZİNİ

		Sayfa
Şekil 2.1.	Aquafaba üretim akım şeması	16
Şekil 2.2.	Tohum bazlı jelleştirici bileşenlerin üretim akım şeması	19
Şekil 2.3.	Bitki bazlı süt alternatiflerinin genel üretim akış şeması	24
Şekil 3.1.	Muffin örneklerinin hazırlanışına ilişkin akım şeması	41
Şekil 3.2.	Dijital kumpas	44
Şekil 3.3.	Tekstür analiz cihazı	45
Şekil 3.4.	Reometre	46
Şekil 3.5.	Renk analizi cihazı	47
Şekil 3.6.	Vegan muffin örneklerinin tipik kromatogramı	51
Şekil 4.1.	Farklı yumurta ikameleriyle üretilen muffin hamurlarının akış davranışı (a) Kesme gerilimi ve kesme hızı, (b) Görünür viskozite ve kesme hızı	64
Şekil 4.2.	Farklı yumurta ikameleriyle üretilen muffin hamurlarının reolojik parametreleri, elastik modül (G′) ve viskoz modül (G″)	66
Şekil 4.3.	Farklı süt ikameleriyle üretilen muffin hamurlarının akış davranışı (a) Kesme gerilimi ve kesme hızı, (b) Görünür viskozite ve kesme hızı	70
Şekil 4.4.	Farklı süt ikameleriyle üretilen muffin hamurlarının reolojik parametreleri, elastik modül (G′) ve viskoz modül (G″)	71
Şekil 4.5.	Yumurta ve bitkisel yumurta ikameleri ile formüle edilen muffin örnekleri	75
Şekil 4.6.	İnek sütü ve farklı süt ikameleri ile formüle edilen muffin örnekleri	81
Şekil 4.7.	Farklı yumurta ikameleriyle üretilen muffin örneklerinin taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile elde edilen mikrografları (×100 ve ×250 büyütme)	87
Şekil 4.8.	Farklı süt ikameleriyle üretilen muffin örneklerinin taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile elde edilen mikrografları (×100 ve ×250 büyütme)	89
Şekil 4.9.	Farklı yumurta ikameleriyle üretilen muffin örneklerinin duyusal özelliklerine ilişkin radar diyagramı	132
Şekil 4.10.	Farklı süt ikameleriyle üretilen muffin örneklerinin duyusal özelliklerine ilişkin radar diyagramı	134
Şekil 4.11.	Farklı yumurta ikameleriyle üretilen muffin örneklerinin nicel tanımlayıcı duyusal analizine ilişkin radar diyagramı	138
Şekil 4.12.	Farklı süt ikameleriyle üretilen muffin örneklerinin nicel tanımlayıcı duyusal analizine ilişkin radar diyagramı	140
Şekil 4.13.	Farklı yumurta ikameleri ile üretilen muffinlerin fizikokimyasal, bileşimsel, tekstürel ve fonksiyonel özellikleri arasındaki ilişkileri gösteren Pearson korelasyon ısı haritası	145
Şekil 4.14.	Farklı süt ikameleri ile üretilen muffinlerin fizikokimyasal, bileşimsel, tekstürel ve fonksiyonel özellikleri arasındaki ilişkileri gösteren Pearson korelasyon ısı haritası	148
Şekil 4.15.	Farklı yumurta ikameleriyle üretilen muffin örneklerine ait temel bileşen analizi (PCA) skor grafiği	150
Şekil 4.16.	Farklı yumurta ikameleriyle üretilen muffin örneklerine ait temel bileşen analizi (PCA) yükleme grafiği	151
Şekil 4.17.	Farklı süt ikameleriyle üretilen muffin örneklerine ait temel bileşen analizi (PCA) skor grafiği	153

Şekil 4.18. Farklı süt ikameleriyle üretilen muffin örneklerine ait temel bileşen analizi (PCA) yükleme grafiği..... 154
Şekil 4.19. Hiyerarşik Kümeleme Analizi (HCA) sonuçlarına dayalı farklı yumurta ikameleriyle üretilen muffin örneklerinin gruplandırılması..... 155
Şekil 4.20. Hiyerarşik Kümeleme Analizi (HCA) sonuçlarına dayalı farklı süt ikameleriyle üretilen muffin örneklerinin gruplandırılması..... 157

ÇİZELGELER DİZİNİ

		Sayfa
Çizelge 3.1.	Yumurta ikameleri ile üretilen muffin örneklerinin formülasyonu.....	40
Çizelge 3.2.	Süt ikameleri ile üretilen muffin örneklerinin formülasyonu.	42
Çizelge 3.3.	Mineral analizlerinde kullanılan ICP – MS cihazının çalışma koşulları.....	50
Çizelge 3.4.	Farklı yumurta ikameleriyle üretilen muffin örneklerinin QDA değerlendirmesinde kullanılan duyusal özellikler, tanımlar ve çalışma koşulları.....	58
Çizelge 3.5.	Farklı süt ikameleriyle üretilen muffin örneklerinin QDA değerlendirmesinde kullanılan duyusal özellikler, tanımlar ve çalışma koşulları.....	60
Çizelge 4.1.	Farklı yumurta ikameleriyle üretilen muffin hamurlarının G′ ve G″ değerlerini tanımlayan güç yasası fonksiyonlarına ait dinamik kayma parametreleri.....	67
Çizelge 4.2.	Farklı süt ikameleriyle üretilen muffin örneklerinin G′ ve G″ değerlerini tanımlayan güç yasası fonksiyonlarına ait dinamik kayma parametreleri.....	72
Çizelge 4.3.	Farklı yumurta ikameleriyle hazırlanan muffin örneklerinin fiziksel özellikleri.....	77
Çizelge 4.4.	Farklı süt ikameleriyle hazırlanan muffin örneklerinin fiziksel özellikleri.....	82
Çizelge 4.5.	İnek sütü ve farklı süt ikamelerinin kimyasal bileşimi (g/100 g).....	91
Çizelge 4.6.	Farklı yumurta ikameleriyle hazırlanan muffin örneklerinin kimyasal bileşimi (g/100 g) ve mineral bileşimi (mg/1000 g).....	93
Çizelge 4.7.	Farklı süt ikameleriyle hazırlanan muffin örneklerinin kimyasal bileşimi (g/100 g) ve mineral bileşimi (mg/1000 g).....	96
Çizelge 4.8.	Farklı süt ikameleriyle hazırlanan muffin örneklerinin yağ asidi kompozisyonu.....	101
Çizelge 4.9.	Farklı yumurta ikameleri ile üretilen muffin örneklerinin toplam fenolik madde içeriği ve antioksidan aktiviteleri.....	103
Çizelge 4.10.	İnek sütü ve ikamelerinin toplam fenolik madde içeriği ve antioksidan aktiviteleri.....	109
Çizelge 4.11.	Farklı süt ikameleriyle hazırlanan muffin örneklerinin toplam fenolik madde içeriği ve antioksidan aktiviteleri.....	112
Çizelge 4.12.	Farklı yumurta ikameleriyle hazırlanan muffin örneklerinin amino asit kompozisyonu (g/100g).....	117
Çizelge 4.13.	Farklı süt ikameleriyle hazırlanan muffin örneklerinin amino asit kompozisyonu (g/100g).....	119
Çizelge 4.14.	Farklı yumurta ikameleriyle üretilen muffin örneklerinin raf ömrü boyunca fizikokimyasal özelliklerindeki değişimler.....	122
Çizelge 4.15.	Farklı yumurta ikameleriyle üretilen muffin örneklerinin raf ömrü boyunca mikrobiyolojik analiz sonuçları.....	124
Çizelge 4.16.	Farklı süt ikameleriyle üretilen muffin örneklerinin raf ömrü boyunca fizikokimyasal özelliklerindeki değişimler.....	127
Çizelge 4.17.	Farklı süt ikameleriyle üretilen muffin örneklerinin raf ömrü boyunca mikrobiyolojik analiz sonuçları.....	129

Çizelge 4.18. Farklı yumurta ikameleriyle üretilen muffin örneklerinin duyusal özelliklerine ilişkin puanlar..... 132
Çizelge 4.19. Farklı süt ikameleriyle üretilen muffin örneklerinin duyusal özelliklerine ilişkin puanlar..... 134
Çizelge 4.20. Farklı yumurta ikameleriyle üretilen muffin örneklerinin nicel tanımlayıcı duyusal analiz değerlendirme puanları..... 136
Çizelge 4.21. Farklı süt ikameleriyle üretilen muffin örneklerinin nicel tanımlayıcı duyusal analiz değerlendirme puanları..... 142

1. GİRİŞ

Son yıllarda gıda endüstrisinde tüketici tercihlerinin dönüşmesi ve çevresel sürdürülebilirliğe yönelik kaygıların belirginleşmesiyle birlikte bitki bazlı ürünlere olan ilgi önemli ölçüde artmıştır (Poore ve Nemecek, 2018). Bu artış; yumurta ve süt gibi hayvansal kaynaklı temel bileşenlere yönelik alternatif arayışlarının hız kazanması, alerjen risklerinin azaltılmasına yönelik beklentiler, vegan ve fleksitaryen beslenme modellerinin yaygınlaşması, doğal ve temiz etiketli ürünlere olan talebin güçlenmesi ile fonksiyonel ürün geliştirme hedeflerinin ön plana çıkmasıyla yakından ilişkilidir (Sethi ve ark., 2016; Viana ve ark., 2023). Bu doğrultuda bitki bazlı ürünler, yalnızca belirli bir tüketici grubuna hitap eden alternatifler olmaktan çıkarak, ana akım gıda sisteminin önemli bir bileşeni hâline gelmiştir.

Küresel ölçekte bitki bazlı gıda pazarının 2025 yılında yaklaşık 30,41 milyar Amerika Birleşik Devletleri (ABD) doları büyüklüğe ulaştığı ve bu pazarın 2032 yılına kadar 54,41 milyar ABD dolarına yükselerek %8,67 bileşik yıllık büyüme oranı (CAGR) ile genişlemesinin beklendiği bildirilmektedir. Bu büyüme; bitki bazlı et ürünleri, bitki bazlı süt ve süt alternatifleri ile yeni nesil alternatif protein platformlarında gözlenen hızlı inovasyon süreçleri tarafından desteklenmektedir (Market Research Reports, 2025). Özellikle süt ve yumurta gibi hayvansal bileşenlerin ikamesine yönelik ürünler, hem tüketici talebi hem de endüstriyel uygulamalar açısından bitki bazlı gıda pazarının en dinamik alt segmentleri arasında yer almaktadır.

Bu çerçevede, bitki bazlı yumurta alternatifleri pazarı son yıllarda dikkat çekici bir gelişim göstermektedir. Doğrudan yumurtanın muadili olarak geliştirilen bitki bazlı yumurta ürünlerinin küresel pazar büyüklüğünün 2024 yılında 194,6 milyon ABD doları olduğu ve bu pazarın 2025 – 2034 döneminde %24,3 CAGR ile hızla büyümesinin beklendiği raporlanmaktadır (GMI, 2024). Özellikle sıvı formdaki bitki bazlı yumurta ürünleri, 2024 itibarıyla pazarın %56,9'unu oluşturarak en baskın segment hâline gelmiş; kullanım kolaylığı sayesinde geleneksel yumurtaya benzer doku ve fonksiyonel özellikler sunması sayesinde ev içi tüketim ve yiyecek – içecek hizmetleri sektörlerinde yaygınlaşmıştır (GMI, 2024).

Buna paralel olarak, yumurtanın bağlayıcı, emülsifiye edici ve köpürtücü gibi teknolojik fonksiyonlarını ikame etmeyi amaçlayan bitki bazlı yumurta ikame bileşenleri daha geniş ve görece olgun bir pazar yapısına sahiptir. Bu segmentin küresel pazar büyüklüğünün 2024 yılında 848,2 milyon ABD doları olduğu ve 2033 yılına kadar 1,52 milyar ABD dolarına ulaşarak %6,8 CAGR ile büyümesinin öngörüldüğü bildirilmektedir (Grand View Research, 2025). Özellikle toz formdaki yumurta ikame ürünleri, uzun raf ömrü ile depolama ve taşımada sağladığı avantajlar nedeniyle pazarın %63,6'sını oluşturmakta; başlıca kullanım alanını ise fırıncılık ve şekerleme ürünleri (%47,0) oluşturmaktadır (Grand View Research, 2025).

Bu gelişmeler doğrultusunda, bitki kaynaklı proteinler, lif bileşenleri, nişasta bazlı hidrojel sistemleri ve aquafaba gibi yenilikçi bileşenler; hem yapısal hem de fonksiyonel özellikleri sayesinde fırıncılık ürünlerinde yumurta ve süt ikamesi olarak giderek daha geniş bir kullanım alanı bulmaktadır (Hedayati ve ark., 2022; McClements ve Grossmann, 2025). Genel olarak değerlendirildiğinde, bitki bazlı yumurta alternatiflerinin biri tüketiciye yönelik nihai ürünler, diğeri ise endüstriyel formülasyon bileşenleri olmak üzere iki farklı fakat birbirini tamamlayan pazar segmenti üzerinden geliştiği ve özellikle fırıncılık uygulamaları açısından önemli bir inovasyon potansiyeli sunduğu görülmektedir.

Yumurta, klasik muffin formülasyonunda köpük oluşumu, jel yapısı, emülsifikasyon, bağlayıcılık ve renk gelişimi gibi birçok kritik teknolojik fonksiyon sağlamaktadır (Godefroidt ve ark., 2019; Mine ve ark., 2023). Süt ise ürün nemi, aroma taşıyıcılığı, Maillard reaksiyonları, mineral katkısı ve doku oluşturma özellikleriyle önemli bir bileşendir (Mäkinen ve ark., 2016; Paul ve ark., 2020). Her iki bileşenin bitkisel ikamelerle değiştirilmesi ise yalnızca kimyasal bileşimde değil; hamur reolojisi, gaz tutma kapasitesi, pişme davranışı, doku özellikleri ve duyusal kalite üzerinde çok yönlü değişikliklere yol açmaktadır (Christaki ve ark., 2017; Hesso ve ark., 2015).

Son yıllarda yapılan çalışmalar, yumurta yerine kullanılabilecek çeşitli bitki bazlı alternatiflerin fonksiyonel açıdan dikkate değer sonuçlar sunduğunu göstermektedir. Örneğin aquafaba, yüksek köpürme kapasitesi ve kararlı hava – su arayüzü oluşturma

yeteneği sayesinde birçok fırıncılık ürününde başarılı şekilde uygulanmıştır (Buhl ve ark., 2019; Raikos ve ark., 2020). Olgun muz, pektin ve çözünür lif içeriği sayesinde bağlayıcılığı artırmakta ve özellikle yumuşak dokuya sahip kek sistemlerinde yumurtanın yerine geçebilmektedir (Segundo ve ark., 2017). Chia ve psyllium gibi hidrofilik lifler ise su tutma kapasitesi, viskozite artırma ve jel oluşturma özellikleri sayesinde hem yapısal güçlendirme hem de besinsel zenginleştirme açısından önemli işlevler üstlenmektedir (Belorio ve Gómez, 2021; Guedes de Melo ve ark., 2022). Bu ikamelerin her biri muffin sisteminde farklı reolojik tepkiler oluşturarak hacim, tekstür, gözenek yapısı ve kırıntı sertliği gibi kalite parametrelerini çeşitli şekillerde etkilemektedir.

Benzer şekilde, bitkisel süt ikameleri de fırıncılık ürünlerinin yapısal ve duyusal özelliklerini değiştirebilmektedir. Badem, ceviz, fındık, soya, keten tohumu, kinoa, yulaf ve hindistan cevizinden elde edilen bitkisel sütlerin protein profilleri, yağ asidi kompozisyonları ve emülsiyon stabiliteleri birbirinden farklıdır ve bu farklılıklar hamurun viskoelastik özelliklerini doğrudan etkilemektedir (Jeske ve ark., 2017; Liu ve ark., 2023; Wei ve ark., 2025). Örneğin badem ve ceviz sütlerinin yağ profili ürün yumuşaklığını ve gevrekliğini artırırken, soya sütü yüksek protein içeriği sayesinde hacim gelişimini destekleyebilmekte ve Maillard reaksiyonları üzerinden renk oluşumunu güçlendirebilmektedir (Karunasiri ve ark., 2020; Shao ve ark., 2023). Ayrıca keten tohumu sütü, oksidatif stabilite ve fonksiyonel bileşenler açısından avantaj sağlamakta ve ürünün antioksidan kapasitesini artırmaktadır (Mueed ve ark., 2022; Yue ve ark., 2024).

Bitki bazlı yumurta ve süt ikamelerine yönelik araştırmalar son yıllarda artış göstermiş olsa da mevcut çalışmaların büyük bir bölümü bu bileşenleri birbirinden bağımsız olarak ele almakta; her iki bileşenin aynı model ürün içerisinde eş zamanlı olarak ikame edildiği kapsamlı araştırmalar sınırlı kalmaktadır. Oysa muffin gibi çok bileşenli fırıncılık sistemlerinde yumurta ve süt, yalnızca tekil fonksiyonlar üstlenmekle kalmayıp, hamur matrisi içerisinde diğer bileşenlerle ve birbirleriyle etkileşime girerek ürünün nihai yapısını belirleyen temel unsurlar arasında yer almaktadır. Bu nedenle, her iki bileşenin birlikte bitki bazlı alternatiflerle değiştirilmesi; hamur reolojisi ve

akışkanlığından pişme sırasında yapı oluşumuna, gaz tutma kapasitesinden hacim gelişimi ve tekstürel özelliklere kadar pek çok kalite parametresini çok boyutlu ve etkileşim temelli biçimde etkileyebilmektedir. Bu karmaşık ilişkilerin birlikte değerlendirilmemiş olması, literatürde önemli bir kavramsal ve deneysel boşluğa işaret etmektedir.

Bitki bazlı yumurta ve süt ikameleri kullanılarak muffin ve benzeri fırıncılık ürünlerinin geliştirilmesine yönelik mevcut çalışmaların çoğu, ürünün fiziksel özellikleri ve genel duyusal kabul edilebilirliği ile sınırlı bir değerlendirme sunmaktadır. Yumurta ve süt ikamelerinin aynı model sistem içerisinde birlikte ele alındığı; reolojik ve mikroyapısal özelliklerin yanı sıra besinsel kaliteyi yansıtan amino asit profili, antioksidan kapasite ve in vitro sindirim sonrası biyoerişilebilirlik gibi fonksiyonel parametrelerin bütüncül bir yaklaşımla incelendiği çalışmalar oldukça sınırlıdır. Ayrıca, kantitatif tanımlayıcı analiz (QDA) ve kemometrik yöntemler aracılığıyla çok boyutlu veri setlerinin sistematik olarak yorumlandığı araştırmaların azlığı, elde edilen bulguların karşılaştırılabilirliğini ve uygulamaya aktarılabilirliğini kısıtlamaktadır. Bu durum, bitki bazlı fırıncılık ürünlerinin fonksiyonel ve besinsel açıdan optimize edilmesine yönelik daha kapsamlı ve bütüncül çalışmalara duyulan gereksinimi açıkça ortaya koymaktadır.

Tezin temel amacı; muffin model sistemi üzerinden hayvansal kaynaklı yumurta ve süt bileşenlerinin çeşitli bitki bazlı alternatiflerle ikame edilmesinin, ürünün reolojik, fiziksel, mikroyapısal, besinsel ve duyusal özellikleri üzerindeki etkilerini sistematik ve karşılaştırmalı olarak incelemektir. Bu doğrultuda; aquafaba, olgun muz, keten tohumu, psyllium, chia ve çöven gibi yaygın kullanılan yumurta ikameleri ile badem, ceviz, fındık, soya, keten tohumu, kinoa, yulaf ve hindistan cevizi sütleri muffin formülasyonlarında değerlendirilmiş; bu bileşenlerin teknolojik işlevsellikleri, besinsel katkıları ve duyusal profilleri bütüncül bir yaklaşımla analiz edilmiştir. Çalışma kapsamında elde edilen bulguların, bitki bazlı fırıncılık ürünlerinin bilimsel temellere dayalı olarak geliştirilmesine katkı sağlaması ve sürdürülebilir, fonksiyonel ve tüketici tarafından kabul edilebilir vegan ürün formülasyonları için yol gösterici olması amaçlanmıştır.

2. KURAMSAL TEMELLER ve KAYNAK ARAŞTIRMASI

2.1. Kek Üretimi ve Kek Çeşitleri

Kek, un, şeker, yağ, yumurta ve kabartıcı ajanların çeşitli sıvı bileşenlerle uygun oranlarda karıştırılmasıyla hazırlanan hamurun fırınlanması sonucunda oluşan, gözenekli ve yumuşak dokulu bir fırıncılık ürünüdür (Süfer ve ark., 2016). Farklı yaş grupları tarafından yüksek kabul görmesi, formülasyonunun kolay uyarlanabilmesi ve üretim sürecinin pratik olması kekleri dünya genelinde yaygın tüketilen ürünler hâline getirmiştir. Özellikle taşınabilir porsiyonlu ürünlere yönelik talebin artması, uzun raf ömrüne sahip paketli keklerin erişilebilirliğinin yükselmesi ve tüketicilerin atıştırmalık ürünlere yönelmesi hazır kek pazarının büyümesini desteklemektedir (Hesso ve ark., 2015). Bu eğilim, geleneksel kek çeşitlerinin yanı sıra fonksiyonel içerikli, bireysel porsiyonlu ve bitki bazlı seçeneklere duyulan ilgiyi artırmış ve kek ürün çeşitliliğinin genişlemesine katkıda bulunmuştur (Garvey ve ark., 2020).

Küresel ölçekte değerlendirildiğinde, kek ve diğer unlu mamuller önemli bir pazar hacmine sahip olup, güncel analizler küresel kek pazarının 2025 yılı itibarıyla yaklaşık 86,15 milyar ABD doları büyüklüğe ulaştığını ve 2034 yılına kadar 128,31 milyar ABD dolarına yükselerek %4,58 CAGR ile genişlemesinin beklendiğini ortaya koymaktadır (Fortune Business Insights, 2025). Bu genel büyüme eğilimi içerisinde, vegan ve bitki bazlı kek ürünleri pazarın en hızlı gelişen alt segmentlerinden biri olarak öne çıkmaktadır. Vegan beslenme modellerinin yaygınlaşması, laktoz intoleransı ve süt alerjisi gibi sağlık temelli nedenlerin yanı sıra çevresel ve etik kaygılar, hayvansal içerik içermeyen kek ürünlerine yönelik talebi belirgin biçimde artırmaktadır. Nitekim küresel vegan tatlılar pazarının 2025 yılı itibarıyla yaklaşık 4,88 milyar ABD doları büyüklüğe ulaştığı ve 2030 yılına kadar 6,91 milyar ABD dolarına yükselmesinin beklendiği bildirilmektedir; bu pazar içerisinde kek ve pasta ürünlerinin en hızlı büyüyen kategoriler arasında yer aldığı vurgulanmaktadır (Mordor Intelligence, 2025). Ticari ölçekte vegan kek üretiminin artması, bitki bazlı yumurta ve süt ikamelerinin fonksiyonel açıdan geliştirilmesiyle mümkün hâle gelmiş; bu durum, vegan keklerin yalnızca etik bir tercih olmanın ötesinde, endüstriyel olarak uygulanabilir ve tüketici tarafından kabul edilebilir ürünler olarak konumlanmasını sağlamıştır. Bu pazar

eğilimleri ve formülasyon çeşitliliği doğrultusunda, kek ve muffin gibi fırıncılık ürünlerinde kullanılan bileşenlerin teknolojik işlevlerinin ve pişme sırasında gerçekleşen yapısal dönüşümlerin anlaşılması, ürün kalitesinin optimize edilmesi açısından kritik önem taşımaktadır.

Fırınlama sırasında hamurda tutulan hava kabarcıklarının genişlemesi, kabartıcı ajanlardan açığa çıkan gazların hamur fazına hapsolması, nişasta jelatinizasyonu, protein koagülasyonu ve Maillard reaksiyonları gibi temel fiziksel ve kimyasal süreçler; kekin hacim, gözenek yapısı, tekstür ve renk gibi kalite parametrelerini belirleyen başlıca mekanizmalardır (Hedayati ve ark., 2022). Bu bağlamda kek, su, yağ ve hava fazlarının birlikte bulunduğu, bileşenlerin fonksiyonel özelliklerinin karşılıklı etkileşimleriyle yapısal dönüşümlerin oluştuğu çok fazlı bir gıda sistemi olarak değerlendirilmektedir (Hesso ve ark., 2015).

Fırın ortamındaki yüksek sıcaklığa maruz kalan hamur, yüzeyden içeri doğru ilerleyen ısı transferi nedeniyle ilk aşamada nem kaybeder. İç fazdaki su, sıcaklık gradyanı doğrultusunda yüzeye taşınır ve artan sıcaklıkla birlikte buhar fazına geçer. Karıştırma sırasında hamura entegre edilen hava hücreleri, fırınlama süresince kabartıcı ajanların oluşturduğu CO_2 ve su buharının birikmesiyle genişleyerek iç basıncın artmasına ve dolayısıyla ürün hacmi ile gözenekli yapı gelişiminin belirginleşmesine katkı sağlar. Hamur sıcaklığı yaklaşık 55 °C'ye ulaştığında nişasta granülleri su absorbe ederek şişmeye başlar; 70 °C civarında jelatinizasyon büyük ölçüde tamamlanır. Sıcaklık yaklaşık 80 °C düzeyine çıktığında proteinlerin koagülasyonu gerçekleşerek iç yapının stabilizasyonunu pekiştirir. Bu süreçte yüzeyde oluşan kuru kabuk, gaz çıkışını sınırladığı için hacim sabitlenir; ancak su kaybı devam eder. Fırınlamanın son aşamalarında şekerlerin karamelizasyonu ve Maillard reaksiyonları ilerleyerek kekin karakteristik esmerleşmiş dış yüzeyini oluşturur (Süfer ve ark., 2016).

Kek hamurunun hazırlanmasındaki kritik aşamalardan biri, hamura hava kazandırılması ve bu hava kabarcıklarının sistem içerisinde stabilize edilmesidir. Yağ ve şekerin çırpılması sırasında, yağ kristallerinin etrafında tutulan hava kabarcıkları hamurun başlangıç gaz fazını oluşturarak hacim gelişiminin temelini atar. Fırınlama sürecinde

kabartıcı ajanlardan açığa çıkan CO_2 bu mevcut kabarcıklarla birleşerek hücre yapısının genişlemesine ve ürün hacminin artmasına katkı sağlar (Pycarelle ve ark., 2020). Yumurtanın bileşenleri de bu yapısal süreçlerde önemli rol oynar. Yumurta sarısındaki lesitin, yağ – su fazları arasındaki emülsiyon kararlılığını güçlendirerek hava hücrelerinin stabilizasyonuna yardımcı olur. Yumurta beyazı proteinlerinin köpük oluşturma kapasitesi ve ısıl koagülasyon özellikleri ise fırınlama sırasında gaz hücrelerinin çökmesini engelleyerek iç yapının korunmasını destekler (Hedayati ve Mazaheri Tehrani, 2018). Bu nedenle yumurta, geleneksel kek formülasyonlarında hacim, doku ve kırıntı yapısının gelişimi açısından temel bir bileşen olarak kabul edilmektedir (Inanlar ve Altay, 2024). Geleneksel kek formülasyonlarında yumurta ve süt bileşenleri hacim oluşumu, yapı stabilitesi ve doku gelişimi açısından temel teknolojik işlevlere sahiptir. Bu bileşenlerin kullanılmadığı ya da sınırlandığı ürünlerde kekin yükselme davranışı, iç gözenek yapısı, ürün içi nemin korunması ve kırıntı özelliklerinde belirgin değişiklikler ortaya çıkabilmektedir (Hesso ve ark., 2015). Bu nedenle vegan kek üretiminde kullanılan bitkisel kaynaklı alternatiflerin emülsiyon yeteneği, köpük stabilitesi, jel oluşturma kapasitesi ve bağlayıcılık özellikleri ürün kalitesinin belirlenmesinde kritik bir rol üstlenmektedir (Ansorena ve ark., 2022).

Kek çeşitliliği; bileşen oranları, karıştırma tekniği, hamur viskozitesi ve fırınlama koşullarına bağlı olarak geniş bir yelpazede şekillenmektedir. Üretim tekniğine göre kekler; kremalaştırma yöntemiyle hazırlanan kekler, yumurta köpüğüne dayalı sünger kekler ve tek aşamalı karıştırma yöntemiyle üretilen endüstriyel kekler olarak sınıflandırılmaktadır (Godefroidt ve ark., 2019; Inanlar ve Altay, 2024). Kremalama yönteminde yağ – şeker karışımının çırpılmasıyla hamura kazandırılan hava kabarcıkları daha yüksek hacimli ve homojen gözenekli ürünlerin oluşmasını sağlarken; sünger keklerde hacim büyük ölçüde yumurta köpüğünün stabilitesine bağlı olarak gelişmektedir. Endüstride yaygın olarak kullanılan tek aşamalı karıştırma yöntemi ise işlem kolaylığı sağlamasına rağmen genellikle daha yoğun ve daha düşük hacimli kekler ile sonuçlanmaktadır (Godefroidt ve ark., 2019).

Ürün tipine göre değerlendirildiğinde pandispanya ve sünger kekler düşük yağ içerikleri ve hafif dokularıyla karakterize olurken, yağ oranı yüksek keklerde daha yoğun ve

nemli bir kırıntı yapısı gözlenmektedir. Hamur viskozitesi yüksek olan muffin ve cup kekler ise daha kıvamlı hamur yapıları ve kubbemsi yüzey şekilleri ile ayırt edilmektedir (Mohammadi ve ark., 2024). Bu farklılıklar, kek çeşitlerinin yalnızca duyusal özellikler açısından değil, aynı zamanda hamurun reolojik davranışı, su tutma kapasitesi, gaz hücresi stabilitesi ve fırınlama sürecinde gerçekleşen yapısal dönüşümler açısından da değerlendirilmesini gerekli kılmaktadır (Garvey ve ark., 2020).

2.1.1. Muffin

Muffin kavramı literatürde ilk kez 1851 yılında London Labour adlı İngiliz dergisinde yer almış; zamanla farklı boyut, şekil ve aroma çeşitliliği sayesinde geniş bir tüketici kitlesine hitap eden popüler bir fırıncılık ürünü hâline gelmiştir (Shukla ve ark., 2024). Günümüzde hem kahvaltıda hem de ara öğünlerde tercih edilen muffinler, güncel beslenme eğilimlerine paralel olarak doğal bileşenler, tam tahıllar, düşük veya sağlıklı yağ profilleri, şeker ikameleri, vegan ve glutensiz seçenekler gibi geniş bir formülasyon çeşitliliğiyle üretilmeye başlanmıştır (Ureta ve ark., 2014). Geleneksel muffin formülasyonlarında un, şeker, yağ, yumurta, süt ve kimyasal kabartıcılar temel bileşenler arasında yer almakta olup, bu bileşenlerin oranları hamurun reolojik davranışı, gaz hücresi stabilitesi ve nihai ürünün doku özellikleri üzerinde doğrudan etkili olmaktadır (Süfer ve ark., 2016). Aynı zamanda fırınlama sürecinde gerçekleşen nişasta jelatinizasyonu, protein koagülasyonu, kabartıcı ajanlardan açığa çıkan gazların tutulumu ve Maillard reaksiyonları gibi fiziko – kimyasal mekanizmalar, muffin kalitesinin (gözenekli yapı, belirgin hacim, yumuşak ve süngerimsi bir doku) şekillenmesinde belirleyici rol oynamaktadır. Bu dönüşümlerin etkinliği ise büyük ölçüde hamurun başlangıç viskozitesine, bileşenlerin matristeki dağılımına ve uygulanan karıştırma tekniğine bağlı olarak değişebilmektedir (Matos ve ark., 2014).

Muffin üretiminde yaygın olarak kullanılan “iki aşamalı yöntem”, kuru bileşenlerin ve sıvı bileşenlerin ayrı kaplarda hazırlanması ve kısa süreli, düşük devirli bir karıştırma ile birleştirilmesi esasına dayanır. Bu yöntemde tüm kuru bileşenler (un, şeker, tuz, kabartıcı, vanilya, kakao vb.) elenir ve karıştırılır. Yağ ve sıvı bileşenler ayrı olarak eklenir ve karıştırılır (Gisslen, 2019). Bu yöntem, yağ ve şekerin kremalaşmasına

dayanan klasik kek yöntemlerinden farklı olarak hamurda aşırı hava tutulmasını engeller ve daha kompakt bir iç yapı oluşmasını sağlar. Karıştırma süresinin kısa tutulması gluten gelişimini sınırlandırdığı için ürünün sertleşmesini önler ve daha yumuşak bir kırıntı yapısına imkân tanır. Aşırı karıştırma ise gluten ağının fazlaca gelişmesine, viskozitenin artmasına ve pişirme sırasında hacim kayıplarına yol açabilmektedir (Christaki ve ark., 2017).

Muffin hamurunun viskozitesi ürünün şekil ve hacim gelişiminde temel belirleyici faktörlerden biridir. Hamurun akış davranışı, pişirme sırasında gaz hücrelerinin genişlemesini ve gözenek yapısının düzenliliğini doğrudan etkiler. Literatürde yüksek viskozitenin kubbemsi üst yüzey oluşumuna katkıda bulunduğu, düşük viskozitenin ise daha yayvan ve düzensiz yüzey yapısına yol açtığı bildirilmektedir (Baixauli ve ark., 2008). Şekerin çözünürlüğü, yağın kristalizasyon davranışı, yumurta proteinlerinin köpük stabilitesi ve kullanılan sıvı fazın emülsiyon kapasitesi hamurun viskoelastik özelliklerini etkileyerek ürünün tekstürel özelliklerini belirler (Kumar ve Singh, 2024).

Muffinlerde kabartıcı olarak kullanılan sodyum bikarbonat ve organik asit karışımları, pişirme sırasında CO_2 üretimi sağlayarak hacim gelişiminin temel itici gücünü oluşturur. Kabartma sistemlerinin tipi, hamurun pH değeri, karıştırma süresi ve fırınlama profili, gaz üretiminin zamanlamasını ve etkinliğini etkileyerek ürünün hacim, renk ve gözenek yapısını şekillendirir (Pycarelle ve ark., 2020). Endüstriyel ölçekte üretimde hamurun bekleme süresi, hat hızları, depolama sıcaklığı ve fırın giriş stabilitesi gibi operasyonel değişkenler de muffin kalitesi üzerinde önemli farklılıklar meydana getirebilmektedir.

Son yıllarda yapılan çalışmalar, muffinlerin formülasyonda kullanılan bileşen değişimlerine oldukça duyarlı bir ürün olduğunu göstermektedir. Tam tahıllı unlar, lif ilaveleri, alternatif yağ sistemleri ve farklı sıvı bileşenlerin kullanıldığı modern muffin formülasyonlarında hamur reolojisi, spesifik hacim, renk gelişimi ve duyusal özelliklerde önemli farklılıklar gözlenmiştir (Ahsan ve ark., 2025; Giri ve ark., 2024; Isık ve ark., 2022; Zhu ve ark., 2025). Bu bulgular, muffinlerin yalnızca klasik bileşen oranlarına bağlı olarak değil, aynı zamanda kullanılan bileşenlerin fonksiyonel

özelliklerine ve hamurun mikroyapısına etkileri açısından değerlendirilmesini gerektirmektedir.

2.2. Vegan Fırıncılık Ürünlerinde Formülasyon Yaklaşımları

Vegan fırıncılık ürünlerinin geliştirilmesinde temel yaklaşım, geleneksel formülasyonlarda yapı ve kaliteyi belirleyen yumurta, süt ve süt ürünleri gibi hayvansal hammaddelerin üründeki teknolojik işlevlerinin doğru tanımlanması ve bu işlevlerin bitkisel kökenli alternatiflerle mümkün olduğunca karşılanmasıdır. Bu bileşenlerin formülasyondan çıkarılması hacim oluşumu, gaz tutulumu, emülsiyon stabilitesi, jel yapı oluşumu ve doku gelişimi üzerinde belirgin olumsuz etkiler oluşturduğundan, vegan formülasyonlarda söz konusu fonksiyonların bitkisel alternatiflerle yeniden sağlanması gerekmektedir (Hedayati ve ark., 2022; McClements ve Grossmann, 2025).

Vegan formülasyon yaklaşımında temel amaç, hayvansal bileşenlerin üründe üstlendiği teknolojik işlevlerin bitkisel kaynaklı bileşenlerle yeniden karşılanmasıdır. Bu kapsamda işlevsel dengelemenin temel bileşenleri üç başlık altında toplanmaktadır:

- Köpük oluşturma ve gaz tutma kapasitesinin desteklenmesi,
- Emülsiyon sistemlerinin stabilitesinin korunması,
- Yapısal bütünlüğün ve jel oluşumunun sağlanması.

Bu bağlamda bitkisel bileşenler, ürünün hacim, tekstür ve iç yapı özelliklerini belirleyen bu mekanizmaların sürdürülebilmesine olanak sağlayan fonksiyonel ajanlar olarak rol üstlenmektedir.

Köpük oluşturma ve gaz tutma kapasitesi özellikle kek ve muffin gibi hacim odaklı ürünlerde ürün yapısının son halini belirleyici etkenler olarak değerlendirilir. Geleneksel sistemlerde yumurta beyazı, yüzey aktif protein yapısı sayesinde hava – su ara yüzeyinde stabil köpük oluşumuna katkıda bulunur. Vegan formülasyonlarda bu işlev çoğunlukla aquafaba, baklagil proteinleri ve saponin içeren bitkisel bileşenlerle karşılanmaktadır (Yazici ve ark., 2023). Bu bileşenler, karıştırma sırasında hamura dahil

edilen gaz hücrelerinin korunmasını desteklemekte ve pişirme sürecinde hacim kaybının azaltmaktadır (Bianchi ve Simonato, 2025; Grossi Bovi Karatay ve ark., 2022).

Emülsiyon stabilitesi vegan formülasyonların ikinci temel bileşenidir. Yumurta sarısı ve süt proteinlerinin emülsiyon kapasitesinin yokluğunda bu işlev çoğunlukla hidrokolloidler (keten tohumu jeli, chia jeli, psyllium, modifiye nişastalar) ve bitkisel emülgatörler (bitkisel lesitin vb.) tarafından üstlenilmektedir (Anwar ve ark., 2020). Bu hidrokolloidler, yüksek su bağlama kapasiteleri ve viskozite artırma özellikleri sayesinde yağ fazının homojen dağılımını, hamurun kıvamını ve pişmiş ürünün yumuşaklık özelliklerini desteklemektedir. Özellikle hamur viskozitesinin kontrolü, gaz hücrelerinin stabilitesi ve nihai ürünün viskoelastik davranışının düzenlenmesi açısından kritik öneme sahiptir (Gallo ve ark., 2020; Günan ve Ömeroğlu, 2025).

Yapısal bütünlük ve jel oluşumu ise vegan fırıncılık ürünlerinin üçüncü kritik bileşenidir. Geleneksel ürünlerde bu yapı büyük ölçüde nişastanın ısıl jelatinizasyonu ile yumurta proteinlerinin koagülasyonundan kaynaklanırken vegan uygulamalarda bu rol bitkisel protein fraksiyonları, nişasta türevleri, jel oluşturan polisakkaritler ve yüksek su tutma kapasitesine sahip lif bileşenleri tarafından karşılanmaktadır (Mueed ve ark., 2020). Bu bileşenler hamurun viskoelastik özelliklerini, kabarma davranışını ve pişmiş ürünün iç yapı kalitesini düzenlemektedir (Hargreaves ve Zandonadi, 2018; Topaloğlu Günan ve Yolci Ömeroğlu, 2025).

Vegan fırıncılık ürünlerinde formülasyon geliştirme, gaz hücresi gelişimi, emülsiyon stabilitesi, jel oluşumu ve viskoelastik yapı oluşumu gibi temel mekanizmaların bitkisel bileşenler aracılığıyla sürdürülmesine dayanmaktadır (Du ve ark., 2025; Yazici ve ark., 2023). Bitkisel ikamelerin teknolojik etkinliği, bileşenler arası sinerjik etkileşimler, hamur sisteminin reolojik davranışı ve ısıl işlem sırasındaki yapı dönüşümleri dikkate alınarak değerlendirilmekte; böylece vegan formülasyonların ürün kalitesi üzerindeki etkileri bütüncül bir bakış açısıyla ele alınmaktadır.

2.3. Yumurta İkameleri ve Özellikleri

Yumurta, kek ve diğer fırıncılık ürünlerinde emülsiyon stabilitesinden hacim gelişimine kadar önemli yapısal süreçleri etkileyen ve pek çok formülasyonun temel yapı taşlarından olan bir bileşendir. Köpük oluşturma, emülsiyon stabilizasyonu, jel yapısının gelişimi, gaz hücresi stabilitesi, su tutma kapasitesi ve pişirme sırasında protein – nişasta matrisinin oluşumu gibi işlevler, yumurtanın hem beyaz hem de sarı fraksiyonundaki protein, fosfolipit ve lipoprotein bileşenlerinden kaynaklanmaktadır (Damodaran ve Parkin, 2017; Mine ve ark., 2023). Bu fonksiyonel işlevlerin yerine getirilmesinde yumurta beyazında bulunan ovalbümin, ovotransferrin ve özellikle köpük viskozitesini artıran ovomüsin gibi protein fraksiyonları görev alır. Karıştırma işlemi sırasında hava kabarcıkları etrafında yüzey aktif protein filmleri oluşturarak hacimli yapının gelişmesini başlatan bu proteinler, ısıl işlem sırasında koagüle olarak gaz hücrelerinin çökmesini engeller ve karakteristik süngerimsi iç yapının stabilizasyonuna katkı sağlar (Buhl ve ark., 2019; Razi ve ark., 2023). Yumurta sarısındaki lesitin ve lipoproteinler ise yağ – su arayüzünde yüzey gerilimini düşürerek kararlı bir emülsiyon fazı oluşmasına yardımcı olmaktadır. Bu etki, kek kırıntısının düzgünlüğü, yumuşaklık, hacimli yapının korunması ve depolama sürecindeki bayatlama hızının kontrolü açısından önem taşımaktadır (Sun ve ark., 2023; Topaloğlu Günan ve Yolci Ömeroğlu, 2025).

Pişirme sırasında yumurta proteinlerinin koagülasyonu ile nişastanın jelatinizasyonunun eşzamanlı ilerlemesi, ürünün taşıyıcı yapısını oluşturan protein – nişasta matrisinin gelişmesine katkı sağladığı bilinmektedir. Bu matris; sertlik, esneklik, kırıntı bütünlüğü ve çiğnenebilirlik gibi tekstürel özelliklerin şekillenmesinde belirleyici rol oynamaktadır (Zhang ve ark., 2025). Yumurtanın formülasyondan çıkarılması durumunda hamur viskozitesinin düşmesi, gaz hücrelerinin stabilitesinin zayıflaması, yağ fazının homojen dağılamaması, hacim kayıpları, düzensiz gözenek yapısı ve sertleşme gibi kalite sorunlarının ortaya çıkabildiği çeşitli araştırmalarda bildirilmiştir (Inanlar ve Altay, 2024). Ayrıca yumurta sarısında bulunan karotenoid pigmentlerinin ürünün renk gelişimine, protein fraksiyonlarının ise Maillard reaksiyonları aracılığıyla aroma ve kabuk rengi oluşumuna katkı sağladığı bildirilmiştir (Cotterill, 2017). Bu

nedenle yumurtanın formülasyondan çıkarılması yalnızca yapısal değil, duyusal kalite kriterleri açısından da çok boyutlu bir fonksiyon kaybı oluşturabilmektedir.

Yumurtanın beslenme kaynaklı kısıtlamalar (alerji, kolesterol, lakto – ovo tüketim sınırlılıkları), sürdürülebilirlik kaygıları ve vegan beslenme tercihleri nedeniyle bazı tüketici grupları tarafından azaltılması ya da tamamen diyetten çıkarılması, bu işlevleri yerine getirebilecek bitkisel alternatiflere yönelik araştırmaları hızlandırmıştır. Son yıllarda yapılan çalışmalar, baklagil proteinleri, tahıl ve tohum fraksiyonları, bitkisel karışımlar, hidrokolloidler ve ticari ürünler gibi çeşitli bitkisel kaynakların yumurtanın temel teknolojik fonksiyonlarını belirli düzeylerde taklit edebildiğini göstermektedir. Bu bağlamda özellikle baklagillerden elde edilen proteinler, düşük alerjenite potansiyelleri, yüksek besin değerleri ve iyi köpük/emülsiyon oluşturma kapasiteleri nedeniyle öne çıkmakta; chia ve keten gibi tohum jelinin ise jel oluşturma ve bağlayıcı özellikleri sebebiyle bazı fırıncılık ürünlerinde etkili ikameler sunduğu bildirilmektedir (Viana ve ark., 2023).

Vegan fırıncılıkta yumurta yerine kullanılacak bileşenlerin değerlendirilmesi, yumurtanın tüm işlevlerini tek bir bitkisel materyalle birebir karşılamaktan ziyade, farklı bitkisel ikamelerin bu işlevleri hangi ölçüde yerine getirebildiğinin bilimsel olarak incelenmesine dayanmaktadır. Literatürde yumurta ikamelerine yönelik iki temel yaklaşım dikkat çekmektedir. Birinci yaklaşımda, yumurtanın köpürme, emülsiyon oluşturma ve jel yapma gibi farklı işlevlerini eşzamanlı olarak karşılamak amacıyla birden fazla bitkisel bileşenin birlikte kullanıldığı kombine ikame sistemleri geliştirilmektedir. İkinci yaklaşımda ise, her bir ikame materyalinin yumurtanın belirli bir fonksiyonunu ne ölçüde yerine getirebildiğini belirlemek üzere tek bileşenli ikame stratejileri uygulanır ve bu bileşenlerin etkileri bağımsız olarak değerlendirilir. Bu tekil yaklaşım, özellikle hamur reolojisi, gaz hücresi stabilitesi, pişirme performansı, tekstür ve duyusal kalite üzerindeki etkilerin ayrı ayrı analiz edilmesine imkân tanıdığı için literatürde yaygın şekilde benimsenmiştir (Hedayati ve ark., 2022; Yazici ve Ozer, 2021).

Bu bağlamda yumurta ikameleri genel olarak üç grup altında değerlendirilebilir (Viana ve ark., 2023):

- Baklagil bazlı sıvı ikameler (özellikle aquafaba),
- Tohum ve lif kaynaklı jelleştiriciler (keten jeli, chia jeli, psyllium),
- Fonksiyonel püre ve ekstrakt temelli sistemler (muz püresi, sabun otu ekstraktı, nişasta ve polisakkarit bazlı ajanlar).

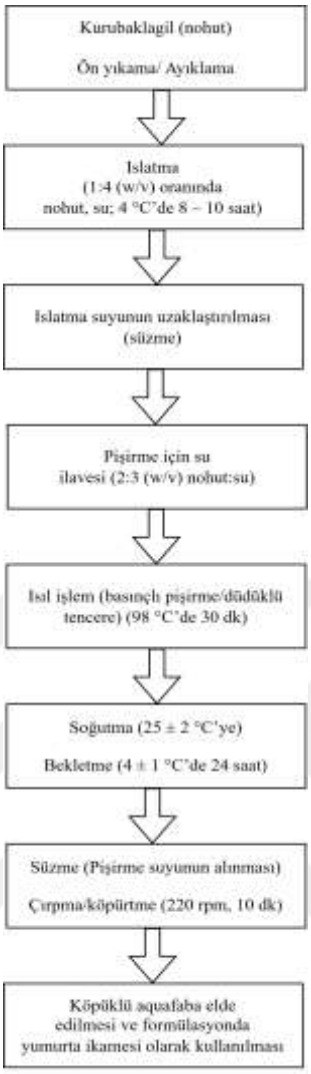
Bu sınıflandırma, yumurtanın çok yönlü teknolojik fonksiyonlarının bitkisel kaynaklı alternatifler tarafından hangi mekanizmalar aracılığıyla karşılanmaya çalışıldığını göstermesi açısından önemlidir. Her bir grup, yumurtanın belirli fonksiyonlarına (örneğin köpük oluşturma, jel yapısı geliştirme, emülsiyon stabilitesi veya su tutma gibi) farklı düzeylerde katkı sağlamaktadır. Bu çerçevede yumurta ikameleri, vegan fırıncılık ürünlerinde yumurtanın çok yönlü fonksiyonlarını farklı mekanizmalar üzerinden taklit etmeye yönelik alternatif sistemler olarak değerlendirilmektedir.

2.3.1. Aquafaba (baklagil bazlı sıvı ikameler)

Aquafaba, Latince “aqua” (su) ve “faba” (fasulye/baklagil) sözcüklerinin birleşiminden türetilmiş ve basitçe baklagil haşlama suyu anlamına gelen bir ifade olarak gıda literatüründe kullanılmaktadır. Bu terim literatürde, nohut başta olmak üzere baklagillerin pişirilmesi veya konserve edilmesi sırasında suya geçen çözünür bileşenleri içeren, viskoz yapıdaki pişirme suyunu tanımlamak için kullanılmaktadır. Su içeriği genellikle %92 – 95, kuru madde içeriği ise %5 – 8 düzeyinde olup; bu kuru madde fraksiyonu başlıca albumin ve globülin fraksiyonları, nişasta parçacıkları, monosakkaritler ve oligosakkaritler, çözünür ve çözünmez lifler, saponinler ve fenolik bileşiklerden oluşmaktadır (Mustafa ve ark., 2018). Ayrıca baklagil türü, çeşidi ve işlem koşullarına bağlı olarak bu bileşimin standart olmadığı, dolayısıyla literatürde rapor edilen besin öğesi değerleri arasında belirgin farklılıklar bulunduğu bildirilmektedir (Cabrita ve ark., 2023; Mustafa ve Reaney, 2020).

Aquafaba üretiminde ıslatma ve pişirme basamakları hem kimyasal bileşimi hem de fonksiyonel özellikleri belirleyen kritik aşamalardır. Pişirme öncesinde uygulanan yıkama, ayıklama ve ıslatma işlemleri; besin öğelerinin kullanılabilirliğini kısıtlayan antinutrisyonel bileşiklerin azaltılması, baklagillerin yumuşatılması ve pişme süresinin kısaltılması gibi önemli teknolojik avantajlar sağlamaktadır (Erem ve ark., 2023). Islatma süresi, sıcaklık, baklagil/su oranı ve ıslatma çözeltisinin bileşimi, pişirme suyuna geçen çözünür protein, karbonhidrat ve saponin miktarını etkileyerek aquafabanın kuru madde bileşimini değiştirebilmektedir. Nohut, fasulye, mercimek ve bezelye gibi farklı baklagillerden elde edilen aquafabaların karşılaştırıldığı çalışmalarda; protein, karbonhidrat ve yağ içeriğinin, kullanılan baklagil türüne ve pişirme tekniğine bağlı olarak değiştiği, ancak genel olarak kuru madde bazında karbonhidratın baskın fraksiyon olduğu, proteinin ise ikinci önemli bileşen olduğu bildirilmiştir (Buhl ve ark., 2019; Fuentes Choya ve ark., 2023; Mustafa ve ark., 2018; Stantiall ve ark., 2018). Aquafabanın üretiminde uygulanan temel ön işlem ve pişirme basamakları, literatürde bildirilen genel akışa uygun şekilde Şekil 2.1'de akım şeması olarak özetlenmiştir.

Son yıllarda aquafabanın yumurta ikamesi olarak önem kazanmasının ana nedeni, köpürme ve emülsiyon oluşturma gibi yumurta beyazına özgü kabul edilen fonksiyonların aquafabanın doğru kullanımıyla belirli ölçüde karşılanabilmesidir. Aquafabada bulunan çözünür proteinler yüzey aktif özellik göstererek çırpma sırasında hava – su arayüzüne absorbe olur ve hava kabarcıklarının etrafında ince film yapıları oluşturur. Bu film tabakaları köpük fazının oluşmasını ve stabilitesini destekler. Saponinlerin yüzey gerilimini düşürücü etkisi ve çözünür polisakkaritlerin viskoziteyi artırması da bu film tabakasının mekanik dayanımını güçlendirerek köpük stabilitesini ilaveten desteklemektedir (Boukid ve Gagaoua, 2022; Mustafa ve ark., 2018). Nohut konservesinden elde edilen aquafaba ile yumurta akının karşılaştırıldığı çalışmalarda, aquafabanın köpürme kapasitesinin yumurta akına yakın değerlere ulaşabildiği, bazı koşullarda emülsiyon stabilitesinin ise yumurta akından daha yüksek olabildiği bildirilmiştir (Buhl ve ark., 2019; Raikos ve ark., 2020).



Şekil 2.1. Aquafaba üretim akım şeması (de Barros Miranda ve ark., 2024)

Baklagil türü, genotipi, baklagil/su oranı, pişirme süresi ve pH gibi işlem parametrelerinin aquafabanın fonksiyonel özellikleri üzerinde belirleyici olduğu çeşitli çalışmalarda ortaya konmuştur. Farklı baklagillerden elde edilen pişirme sularının karşılaştırıldığı araştırmalarda yeşil mercimek aquafabasının görece daha yüksek köpürme kapasitesi, nohut aquafabasının ise daha iyi jel oluşturma kapasitesi gösterdiği; soya ve bazı fasulye çeşitlerinden elde edilen aquafabaların emülsiyon özelliklerinin öne çıktığı bildirilmektedir (Konal ve ark., 2025; Mustafa ve Reaney, 2020; Shim ve ark., 2021; Stantiall ve ark., 2018). Nohut/pişirme suyu oranı ve pişirme süresinin sistematik olarak değiştirildiği çalışmalar ise belirli oran ve süre kombinasyonlarının köpürme, köpük stabilitesi, su ve yağ tutma kapasitesi açısından farklı optimum noktalar

oluşturduğunu göstermektedir (de Barros Miranda ve ark., 2024; Lafarga ve ark., 2019). Ayrıca, yapılan çalışmalarla aquafabanın fonksiyonel performansını iyileştirmek amacıyla pH ayarı, hidrokolloid ilavesi ve ön işlem uygulamaları gibi çeşitli yaklaşımlar da denenmektedir. Özellikle ksantan sakızı gibi hidrokolloidlerin aquafaba sistemine ilavesinin köpük stabilitesini ve viskoziteyi artırarak hava tutma kapasitesini ve emülsiyon özelliklerini iyileştirebildiği; pH optimizasyonunun ise protein çözünürlüğü ve yüzey aktivitesini etkileyerek köpük hacmi ve stabilitesini artırabildiği rapor edilmiştir (Buhl ve ark., 2019; Crawford ve ark., 2024; Nguyen ve Tran, 2021). Ultrason gibi yeni nesil ön işlemlerin, aquafabanın parçacık yapısını ve protein – polisakkarit etkileşimlerini değiştirerek köpürme, emülsiyon ve tekstürel özellikler üzerinde olumlu etkiler oluşturabildiği de bildirilmiştir (Meurer ve ark., 2020).

Aquafabanın yüksek su içeriğine bağlı olarak kısa raf ömrüne sahip olması, endüstriyel ölçekte doğrudan kullanımını sınırlamaktadır. Bu nedenle son yıllarda farklı kurutma teknikleriyle toz aquafaba üretimine yönelik çalışmalar artmıştır. Püskürtmeli ve dondurarak kurutma gibi yöntemlerle elde edilen toz aquafabaların yeniden sulandırıldığında köpürme ve emülsiyon özelliklerini belirli ölçüde koruyabildiği; bu ürünlerin vegan mayonez, kek ve diğer fırıncılık ürünlerinde yumurta akı yerine kullanılabildiği gösterilmiştir (Aslan ve Ertaş, 2021; He ve ark., 2021; Silva ve ark., 2022).

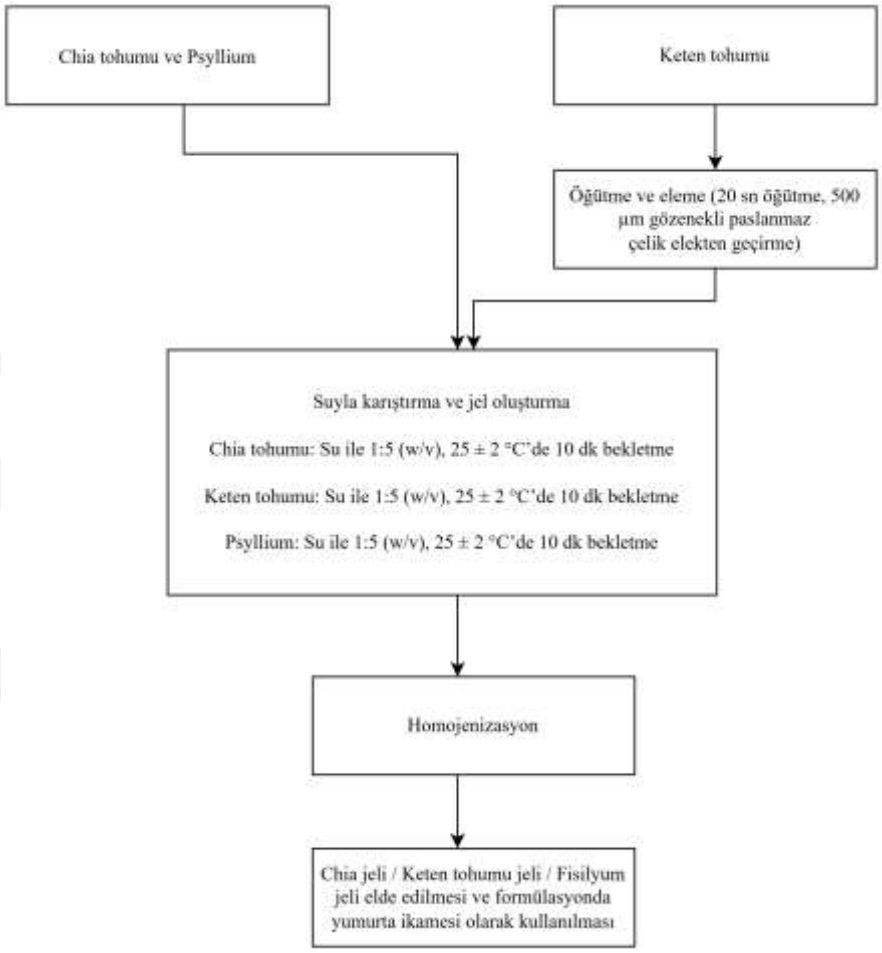
Aquafaba; baklagil işleme süreçlerinden elde edilen bitkisel içerikli bir yan ürün olması, köpürme ve emülsiyon oluşturma kapasitesi sayesinde yumurta beyazının temel teknolojik fonksiyonlarını belirli ölçüde taklit edebilmesi ve bitki bazlı ürünlere yönelik artan talep nedeniyle fırıncılık uygulamalarında dikkat çeken bir yumurta ikame bileşeni hâline gelmiştir. Bununla birlikte, hammadde özelliklerindeki doğal değişkenlik ve işlem koşullarına duyarlılık, aquafabanın fonksiyonel performansının standardizasyonunu güçleştirmekte ve bu bileşenin endüstriyel ölçekte daha öngörülebilir şekilde kullanılabilmesi için ilave optimizasyon çalışmalarına ihtiyaç olduğunu göstermektedir.

2.3.2. Tohum bazlı jelleştirici bileşenler

Keten (*Linum usitatissimum*), chia (*Salvia hispanica*) ve psyllium (*Plantago ovata*) gibi tohum kökenli bileşenler, su ile etkileşime girdiklerinde oluşturdukları yüksek viskoziteli jel yapısı sayesinde bitki bazlı yumurta ikamelerinde yaygın olarak kullanılan önemli hammaddelerdir. Bu jel oluşumu, söz konusu tohumların bağlayıcılık, yapı kazandırma ve nem tutma gibi teknolojik fonksiyonlar sağlamasına olanak tanımaktadır. Bu tohumların yapısında bulunan çözünür polisakkaritler, özellikle arabinoksilan, müsilaj ve galaktomanan türü lifler, suyu hızla absorbe ederek üç boyutlu bir ağ yapısı meydana getirmektedir. Oluşan bu jel; bağlayıcılık, kıvam artırma ve nem tutma kapasitesi açısından yumurtanın bazı temel teknolojik fonksiyonlarını taklit edebilmekte ve fırıncılık ürünlerinde yapısal bütünlüğün korunmasına katkı sağlamaktadır. Literatürde keten ve chia jellerinin özellikle yüksek su tutma kapasiteleri sayesinde kek ve muffin gibi ürünlerde kırıntı sertliğini azaltabildiği, psylliumun ise daha yoğun ve elastik bir jel oluşturması nedeniyle hacim gelişimini desteklediği bildirilmektedir (Belorio ve Gómez, 2021; Gallo ve ark., 2020). Chia, keten tohumu ve psyllium jellerinin hazırlanmasında izlenen temel işlem basamakları Şekil 2.2'de gösterilmiştir.

Tohum bazlı jeller protein temelli olmamalarına rağmen hamur sistemlerinin reolojik özelliklerini belirgin biçimde etkilemektedir. Jelin viskoziteyi artıran yapısı, karıştırma sırasında hamurun akış davranışını değiştirerek hava kabarcıklarının daha homojen dağılmasına ve bu kabarcıkların birleşme eğiliminin azalmasına katkı sağlamaktadır. Böylece, yumurta içeren geleneksel kek sistemlerinde proteinlerin oluşturduğu köpük stabilitesine benzer bir koruyucu etki ortaya çıkmakta ve pişme süreci boyunca gaz hücrelerinin bütünlüğü desteklenmektedir. Literatürde chia ve keten jeli kullanılan kek formülasyonlarında gözenek yapısının daha düzenli hâle geldiği, gaz hücresi bütünlüğünün güçlendiği ve pişirme sonrası çökme eğiliminin azaldığı bildirilmiştir (Gallo ve ark., 2020; Guedes de Melo ve ark., 2022). Psyllium ise yüksek moleküler ağırlıklı arabinoksilan türevi liflerin oluşturduğu daha kuvvetli bir hidrojel yapısı sayesinde özellikle gluten içermeyen ürünlerde hacmi artıran, elastikiyeti geliştiren ve

kırıntı kopmalarını azaltan bir bileşen olarak öne çıkmaktadır (Wojciechowicz-Budzisz ve ark., 2023).



Şekil 2.2. Tohum bazlı jelleştirici bileşenlerin üretim akım şeması (Gallo ve ark., 2020; Guedes de Melo ve ark., 2022; Yeganeh ve ark., 2024; Sharma ve ark., 2024)

Tohum kaynaklı jellerin yumurta ikamesi olarak kullanılmasında önemli bir diğer unsur, pişirme sırasında gerçekleşen nişasta jelatinizasyonuyla kurdukları etkileşimdir. Yumurta içermeyen formülasyonlarda, ürünün yapısal bütünlüğünü sağlayan koagüle olmuş protein ağı oluşmadığından, yapı su tutabilen polisakkarit temelli bir matris tarafından sağlanır. Özellikle yüksek su bağlama kapasitesine sahip liflerin nişasta matrisiyle etkileşerek jel oluşumunu desteklemesi, bu yapısal dayanıklılığın temel nedenlerinden biridir (Belorio ve Gómez, 2021). Psyllium kabuğunun oluşturduğu

hidrojelin pişirme sonrasında da suyu bünyesinde tutabilmesi, ürün sertleşmesinin gecikmesine ve depolama stabilitesinin iyileşmesine katkıda sağladığı bilinmektedir. Nitekim psyllium içeren fırıncılık ürünlerinde daha düşük sertleşme hızları, daha yüksek nem retenasyonu ve daha stabil bir kırıntı yapısı elde edildiği çeşitli çalışmalarda gösterilmiştir (Wojciechowicz-Budzisz ve ark., 2023; Yeganeh ve ark., 2024). Böylece yumurta içeren keklerde gözlenen yumuşak kırıntı yapısının bazı yönleri bitkisel lifler aracılığıyla kısmen taklit edilebilmektedir.

Tohum jellerinin formülasyonda kullanılan miktarları ve hidrasyon koşulları, jellerin işlevsel etkileri üzerinde belirleyici rol oynamaktadır. Chia ve keten jellerinin yüksek düzeyde kullanımı hamur viskozitesini aşırı artırarak hacim gelişimini sınırlayabilirken, düşük düzeylerde ise bağlayıcı etkisinin yetersiz kaldığı belirtilmektedir. Psyllium jeli ise küçük miktar değişimlerine dahi duyarlı olup fazla kullanım durumunda ürünün gereğinden fazla sertleşmesine yol açabilmektedir. Bu nedenle optimum kullanım oranlarının belirlenmesi ve su sıcaklığı, bekletme süresi ya da parçacık boyutu gibi işlem parametrelerinin kontrol edilmesi gerekli görülmektedir (Anwar ve ark., 2020; Yeganeh ve ark., 2024). Bu bulgular, bitkisel yumurta ikamelerinin performansının hammadde özellikleri ve proses koşullarına yüksek derecede duyarlı olduğunu göstermekte ve aquafaba gibi diğer bitkisel ikame sistemleriyle benzer bir değişkenlik sergilediğini ortaya koymaktadır.

Keten, chia ve psyllium kaynaklı jelleştirici bileşenler, su tutma, jel oluşturma ve hamur matrisinin stabilizasyonuna katkı sağlama gibi özellikleri sayesinde yumurtanın bazı yapısal işlevlerini belirli ölçüde karşılayabilmektedir. Bu bileşenlerin oluşturduğu viskoz ve lif zengini hidrojel yapılar, pişirme sürecinde nişasta matrisiyle birlikte çalışarak ürünün iç yapısının stabilizasyonuna destek olur. Bununla birlikte fonksiyonel etkilerin hammadde tipi, işlem koşulları ve formülasyon oranına duyarlı olması, bu jelleştiricilerin performansının ürün bazında değişkenlik gösterebileceğini ortaya koymaktadır. Güncel araştırmalar, söz konusu bitkisel sistemlerin özellikle vegan ve gluten içermeyen fırıncılık ürünlerinde kırıntı yumuşaklığı, nem tutma kapasitesi ve hacim gelişimi açısından önemli bir alternatif oluşturduğunu göstermektedir (Halm ve ark., 2024; Yazici ve Ozer, 2021; Crawford ve ark., 2024).

2.3.3. Diğer yumurta ikameleri

Meyve ve sebze püreleri ile bitkisel ekstraktlar; su bağlama, viskozite artırma, bağlayıcılık ve yapı oluşturma gibi teknolojik işlevleri sayesinde yumurtanın bazı fonksiyonlarını taklit edebilen alternatif ikame sistemleri arasında yer almaktadır. Doğal pektin, nişasta, çözünür lif ve fenolik bileşikler içermeleri nedeniyle bu püreler hamurun viskozitesini artırarak yapısal bütünlüğün korunmasına katkı sağlamakta; aynı zamanda formülasyonun nem yönetimini iyileştirerek pişme sonrası sertleşme eğilimini azaltabilmektedir (Ranjha ve ark., 2022; Topkaya ve Isik, 2019). Bu nedenle özellikle yumurtanın bağlayıcı ve nem tutucu işlevlerinin kritik olduğu kek ve benzeri fırıncılık ürünlerinde destekleyici bir matris oluşturarak ürün dokusunun stabilitesine önemli katkı sunmaktadırlar.

Muz püresi, bu grup içinde hem fonksiyonel hem de besinsel özellikleriyle dikkat çeken bir bileşendir. Muzun yüksek pektin ve dirençli nişasta içeriği, pişirme sürecinde jel benzeri bir yapı oluşturarak kırıntı bütünlüğünü desteklerken suyu bağlayarak ürünün nem dengesinin korunmasına katkı sağlamaktadır. Özellikle kalsiyuma duyarlı düşük metoksilli pektin fraksiyonlarının jel oluşturma kapasitesi, yumurtanın su tutma ve bağlayıcı işlevlerine benzer bir etki göstererek formülasyonun yapısal stabilitesine önemli ölçüde katkıda bulunmaktadır (Segundo ve ark., 2017).

Muz püresi ve muz unu ayrıca doğal şekerler, mineraller ve fenolik bileşenler açısından zengin olup eklendiği ürünün aromatik profilini iyileştirmekte ve besinsel değerini artırmaktadır (Ranjha ve ark., 2022; Sulaiman ve ark., 2011). Literatürde hem muz püresi hem de muz unu kullanılan fırıncılık ürünlerinde hacim gelişiminin korunabildiği, kırıntı yumuşaklığının arttığı ve depolama stabilitesinin iyileştiği gösterilmiştir (Segundo ve ark., 2017; Teeta ve ark., 2023). Bununla birlikte muz kullanımının ürün rengini koyulaştırması veya aşırı kullanımda yapıyı ağırlaştırması gibi formülasyon açısından dikkate alınması gereken sınırlılıklar bulunmaktadır.

Meyve ve sebze pürelerinin yanı sıra bitkisel ekstraktlar da yumurta ikamesi kapsamında değerlendirilmektedir. Bu ekstraktlar arasında yer alan çöven (*Saponaria*

officinalis L.) yüksek saponin içeriği sayesinde özellikle yumurtanın köpürme ve hacim kazandırma özelliklerini taklit edebilme kapasitesiyle öne çıkmaktadır. Saponinlerin yüzey gerilimini düşürme, hava – su ara yüzünde stabil film tabakaları oluşturma ve böylece köpük stabilitesini artırma özellikleri, çöven ekstraktının geleneksel mutfakta köpük gerektiren ürünlerde uzun süredir kullanılmasının temel nedenidir. Literatürde, çöven ekstraktının kek hamurunda gaz hücresi oluşumunu ve stabilitesini desteklediği, daha dayanıklı film yapılarının gelişimine katkıda bulunarak pişmiş ürünün hacmini artırabildiği gösterilmiştir (Çelik ve ark., 2007; Gonzalez ve Sörensen, 2020). Bununla birlikte saponinlerin triterpen glikozit yapıları nedeniyle dilde acı ve hafif büzücü bir tat oluşturabildiği bilinmektedir (Gonzalez ve Sörensen, 2020; Hedayati ve ark., 2022). Bu nedenle çöven ekstraktının kullanımında duyusal kusurların oluşmaması için uygun dozaj aralıklarının belirlenmesi ve formülasyon optimizasyonunun dikkatle yapılması gerekmektedir.

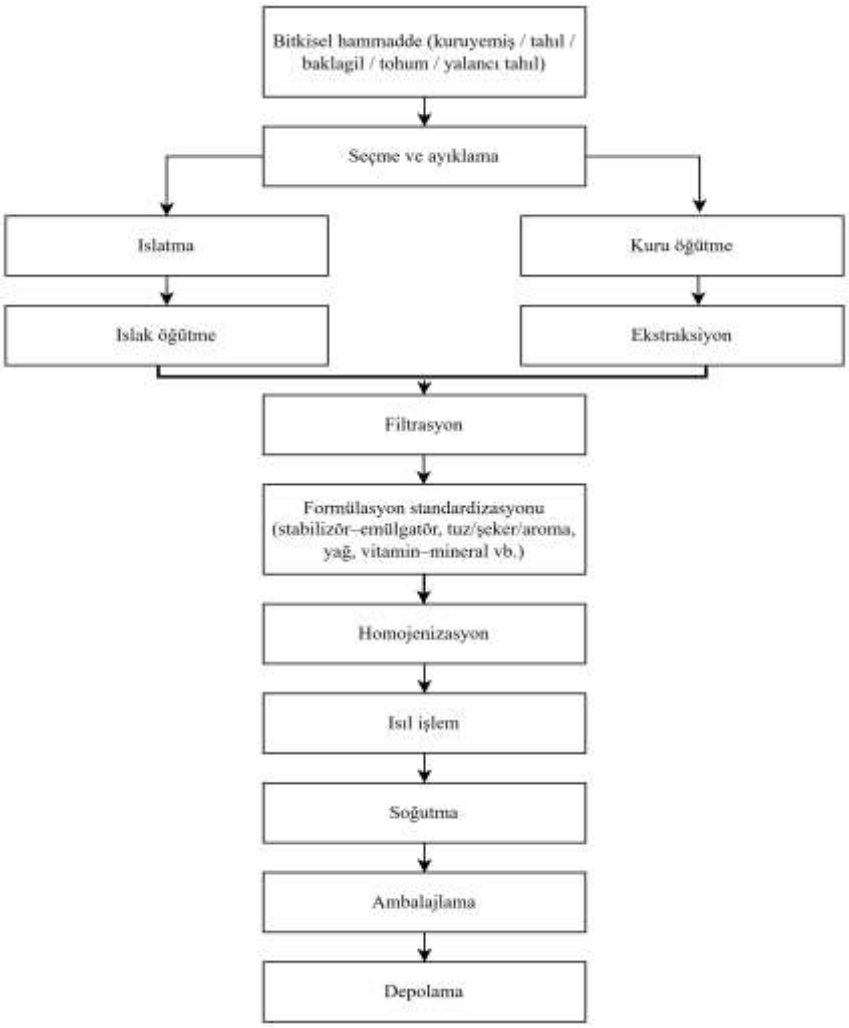
Bu bileşenlerin ortak noktası, yumurtanın karmaşık fonksiyonlarını tek bir mekanizmayla değil; hidrojel oluşumu, su tutma, viskozite artırma ve yüzey aktivitesi gibi farklı teknolojik yollarla kısmen karşılamalarıdır. Meyve ve sebze püreleri özellikle nem yönetimi ve bağlayıcılık yönünden etkiliyken, çöven ekstraktı daha çok köpük stabilitesi ve hacim gelişimini desteklemektedir. Dolayısıyla hangi ikame sisteminin tercih edileceği, ürün tipine, hedeflenen kalite parametrelerine ve kullanılan bileşenin kimyasal – teknolojik özelliklerine bağlı olarak değişmektedir. Güncel literatür, püre ve ekstrakt temelli bu bitkisel sistemlerin yumurtasız ve vegan fırıncılık ürünlerinde yapısal stabilite, kırıntı yumuşaklığı ve besinsel nitelikler açısından dikkate değer katkılar sağladığını göstermektedir. Ancak bu sistemlerin performansının, kullanılan hammaddenin niteliği, uygulanan proses adımları ve formülasyondaki kullanım oranları gibi değişkenlere oldukça duyarlı olması, standart ve yeniden üretilebilir sonuçlar elde edilebilmesi için daha kapsamlı optimizasyon çalışmalarını gerekli kılmaktadır (Halm ve ark., 2024).

2.4. Süt İkameleri ve Özellikleri

Son yıllarda tüketicilerin bitki bazlı beslenmeye yönelimi belirgin biçimde artış göstermiştir. Bu eğilim, bitkisel gıdaların genellikle daha sağlıklı ve çevresel açıdan daha sürdürülebilir olarak algılanmasıyla ilişkilendirilmektedir. Değişen beslenme tercihleri, badem, soya ve diğer bitkisel süt alternatiflerinin geliştirilmesini ve tüketiminin yaygınlaşmasını hızlandırmıştır. Küresel ölçekte bitkisel süt pazarı 2024 yılı itibarıyla yaklaşık 29 milyar ABD doları büyüklüğe ulaşmış olup, bu pazarın 2030 yılına kadar 52 milyar ABD dolarını aşması ve yaklaşık %10 – 11 CAGR ile genişlemesi beklenmektedir. Tüketim artışının en belirgin olduğu bölgeler Kuzey Amerika ve Avrupa olup, bitkisel sütler bu bölgelerde artık niş ürünler olmaktan çıkarak ana akım süt alternatifleri arasında yer almaktadır (Mordor Intelligence, 2025). Günümüzde badem sütü ABD'de en çok tercih edilen süt alternatifi olarak öne çıkarken, Asya ülkelerinde uzun süredir tüketilen soya sütü de Batı ülkelerinde giderek daha fazla kabul görmektedir (Raszap Skorbiansky ve ark., 2022). Geleneksel süt ürünlerinin tüketimindeki azalma; laktoz intoleransı, inek sütü proteinine duyarlılık, kolesterol ve hormon kalıntılarına ilişkin sağlık kaygıları, vegan yaşam tarzının benimsenmesi, hayvan refahına yönelik duyarlılık ve hayvancılık üretiminin arazi kullanımı, su tüketimi ve sera gazı salımları gibi çevresel etkilerine dair endişelerle ilişkilendirilmektedir. Bu faktörlerin birleşimi, bitkisel sütlere yönelik küresel talebin hızla artmasına zemin hazırlamıştır (Mäkinen ve ark., 2016; Tuncel ve ark., 2024).

Bitki bazlı süt (BBS) alternatifleri, bitkisel ham maddenin suda çözünmesi ve parçalanmasıyla oluşan kolloidal süspansiyonlar ya da emülsiyonlar olarak tanımlanmaktadır (Yadav ve ark., 2017). Bitki bazlı sütlerin üretiminde uygulanan temel proses basamakları genel hatlarıyla benzer olup, üretim akış şeması Şekil 2.3'te verilmiştir. Bu ürünler, bitkisel materyalin su ile öğütülerek dağıtılması ve ardından homojenize edilmesiyle elde edilmektedir. Ortaya çıkan parçacıkların bileşimi ve boyutları tam bir homojenlik göstermemektedir. Sulu bitkisel ekstraktlarda parçacık boyutları genellikle 5 – 20 μm aralığında olup, bu sayede görünüm ve kıvam açısından inek sütüne benzerlik gösterebilmektedir (Mäkinen ve ark., 2016). Nihai ürünün parçacık boyutu ve stabilitesi; kullanılan ham maddenin özellikleri, parçalama tekniği,

uygulanan ısıl veya homojenizasyon işlemleri ile depolama koşullarına bağlı olarak değişmektedir (Sethi ve ark., 2016).



Şekil 2.3. Bitki bazlı süt alternatiflerinin genel üretim akış şeması (Mäkinen ve ark., 2016; Sethi ve ark., 2016; Paul ve ark., 2020; Reyes-Jurado ve ark., 2023).

BBS, doymuş yağ ve kolesterol içeriği yüksek hayvansal sütlere alternatif oluştururken, protein ve lipid fraksiyonlarına ilişkin yapısal sınırlılıklar nedeniyle fiziksel stabilite açısından dezavantajlar barındırmaktadır. Nitekim Jeske ve arkadaşları, birçok bitkisel süt ikamesinin ayrışma hızının inek sütüne kıyasla yaklaşık 14 kat daha yüksek olduğunu bildirmiştir. Bitkisel sütlerin karmaşık yapısı; emülsiyonları, çözünür ve çözünmez proteinleri, diyet liflerini, lipitleri, karbonhidratları ve hücre kalıntılarını

içermesiyle ilişkilidir. Depolama sürecinde tabakalaşma, flokülasyon ve çökelme gibi fiziksel değişimlerin ortaya çıkması; partikül boyutu, yüzey yükü, ara yüzey kimyası, hidrofobiklik gibi kolloidal özelliklerin yanı sıra pH, iyonik güç, viskozite ve sıcaklık değişimleri gibi çevresel koşullarla doğrudan ilişkili bulunmuştur (Jeske ve ark., 2017; Meng ve ark., 2023).

Paul ve arkadaşları tarafından önerilen sınıflandırmaya göre, bitki bazlı süt alternatifleri içerik ve botanik kökenlerine bağlı olarak beş temel kategori altında incelenmektedir. Buna göre bu ürünler; kuruyemiş kökenli, tohum kökenli, tahıl kökenli, baklagil kökenli ve yalancı tahıl (pseudo – cereal) kökenli sütler şeklinde gruplandırılmaktadır. Bu sınıflandırma, bitki bazlı sütlerin hammadde çeşitliliğini sistematik biçimde ortaya koymakta ve farklı bitkisel kaynakların besinsel, teknolojik ve fonksiyonel özellikler bakımından birbirinden ayrılmasına imkân tanımaktadır (Paul ve ark., 2020).

2.4.1. Fırıncılık ürünlerinde sütün fonksiyonları

Fırıncılık ürünlerinde süt ve süt yağları, ürün kalitesini belirleyen yapı, reoloji, aroma ve raf ömrü gibi temel teknolojik parametreleri çok yönlü biçimde etkileyen bileşenlerdir. Hamur karıştırma aşamasında süt yağları, gluten ve nişasta partiküllerinin yüzeyini kaplayarak suyun protein ve nişasta tarafından aşırı absorpsiyonunu sınırlamaktadır, böylece glutenin plastize olmasını ve daha dengeli bir hamur yapısının oluşmasını sağlamaktadır (Ghotra ve ark., 2002).

Bu mekanizma, özellikle ekmek ve keklerde daha ince gözenekli bir içyapı, homojen bir kabuk oluşumu sağlamaktadır. Süt yağlarının β kristal formu, gaz hücrelerinin stabilizasyonunda kritik rol oynamaktadır; bu kristaller hava kabarcığı duvarları boyunca ince bir film oluşturarak hem fermantasyon sırasında hem de pişirme esnasında karbondioksit tutulmasını artırmaktadır ve böylece daha homojen, gözenekli bir iç yapı oluşmasına katkıda bulunmaktadır (Huang ve ark., 2019).

Pişirme aşamasında gluten – nişasta matrisinin ısıl jelasyonu ve protein denatürasyonu devam ederken süt yağları tamamen eriyerek bu matrise entegre olur ve gaz hücresi

duvarlarında elastik bir film oluşturur; bu film kabarcık stabilitesini koruyarak çökme ve büyük gözenek oluşumunu engeller, böylece daha yumuşak ve homojen bir ürün dokusu elde edilir (Desai ve ark., 2018; Pareyt ve ark., 2011). Depolama sürecinde ise süt yağlarının kristal yeniden yapılanması ve su migrasyonunu sınırlandırıcı etkisi, nişastanın retrogradasyon hızını düşürerek bayatlamayı geciktirir; bu nedenle süt yağları fırıncılık ürünlerinde önemli bir bayatlamayı önleyici ajan olarak işlev görür. Tüm bu fonksiyonlara ek olarak süt ve süt yağları, içerdiği uçucu bileşikler sayesinde aroma gelişimine katkı sağlayarak özellikle bisküvi, kek ve laminalı hamur ürünlerinde duyusal kaliteyi belirgin ölçüde iyileştirir. Dolayısıyla süt yağları, fırıncılık teknolojisinde hem yapısal hem de duyusal kaliteyi optimize eden kritik teknolojik bileşenler arasında yer almaktadır (Huang ve ark., 2019).

BBS, özellikle dondurma, yoğurt ve içecek gibi süt ürünü alternatiflerinin geliştirilmesinde besinsel ve reolojik özellikleri açısından kapsamlı biçimde araştırılmıştır (Froiio ve ark., 2020; Leahu ve ark., 2022; Lima ve ark., 2020). Ancak bu ürünlerin fırıncılık sistemlerindeki etkilerini inceleyen çalışmalar, özellikle kek, pankek ve muffin gibi ürünlerde oldukça sınırlıdır (Ansorena ve ark., 2022; Tan ve ark., 2025). Son yıllarda yapılan araştırmalar, bitkisel sütlerin fırıncılık uygulamalarında teknolojik açıdan değerli bir bileşen olabileceğini göstermektedir. Örneğin, siyah nohut unu, aquafaba ve badem sütü kullanılarak hazırlanan vegan muffinlerin hem tekstürel hem de duyusal açıdan başarılı sonuçlar verdiği bildirilmiştir (Kutlu ve ark., 2024). Bir diğer çalışmada ise soya veya lupin sütü ile üretilen keklerin bileşim ve fiziksel özellikler bakımından farklılık gösterdiği; soya sütü kullanılan örneklerde kül, yağ, toplam fenolik madde, antioksidan aktivite ve mineral düzeylerinin daha yüksek olduğu, baklagil sütü oranı arttıkça kek hacminde azalma ve sertlikte artış görüldüğü saptanmıştır (Aslan ve Bilgiçli, 2022). Bitkisel beslenmeye yönelik ilginin artmasına rağmen, bitkisel sütlerin fırıncılık sistemlerindeki işlevsel etkileri tam olarak ortaya konmuş değildir. Mevcut çalışmaların büyük bölümü bu ürünlerin besinsel bileşimi veya süt ürünü benzerlerindeki duyusal özelliklerine odaklanmakta; hamur reolojisi, yapı oluşumu ve biyoaktif bileşenlerin pişmiş ürün kalitesine katkıları gibi konular ise yeterince incelenmemiştir. Bu bilgi eksikliğinin giderilmesi, bitkisel sütlerin farklı bileşim

özelliklerinin hamur davranışına, tekstüre ve nihai ürün kalitesine nasıl yansıdığını anlamak açısından önem taşımaktadır.

2.4.2. Tahıl, yalancı – tahıl ve tohum bazlı sütler

Tahıl bazlı sütler, son yıllarda bitkisel içecek pazarında önemli bir yer edinmiş hem teknolojik hem de beslenme açısından değer taşıyan alternatif süt sistemleri olarak tanınmaktadır (Reyes-Jurado ve ark., 2023). Bu içecekler; tahıl tanelerinin su ile karıştırılıp öğütülmesi, ısıl işleme tabi tutulması, enzimatik hidroliz ve homojenizasyon gibi ardışık işlemler ile elde edilen kolloidal süspansiyonlar olup, fiziksel stabiliteleri, besinsel bileşimleri ve fonksiyonel kullanım potansiyelleri bakımından geniş bir araştırma alanı oluşturmuştur (Mäkinen ve ark., 2016). Tahıl yapısına özgü nişasta, protein, çözünür lif ve mineral içerikleri, bu sütlerin hem besleyici hem de teknolojik açıdan işlevsel olmasını sağlamaktadır. Ayrıca doğal olarak laktozsuz, kolesterolsüz ve genellikle düşük yağ içerikli olmaları, tüketici sağlığı ve diyet tercihlerine uyum açısından önemli avantajlar sunmaktadır (Sethi ve ark., 2016).

Tahıl bazlı sütler arasında en yaygın kullanılanlardan biri yulaf sütüdür. Yulafın yüksek çözünür lif içeriği, özellikle de β – glukan fraksiyonu, sıvı matriste viskozite, kıvam ve emülsiyon stabilitesi sağlaması açısından kritik bir rol oynamaktadır. β – glukan, yulaf sütüne doğal bir kremsi yapı kazandırmakla birlikte, ısıya dayanım ve köpüklenme özelliklerini de iyileştirerek ısıl işlem gerektiren içecekler için yulaf sütünü avantajlı kılmaktadır (Deswal ve ark., 2014). Beslenme açısından ise, içeriğindeki β – glukanın önemli nutrasötik özellikleri bulunmaktadır. Çözünür lif yapısı sayesinde sindirim sistemi sağlığını destekler, kolorektal kanser riskinin azaltılmasına katkı sağlamaktadır, kan glukoz düzeylerini düzenlemektedir ve toplam kolesterol, toplam lipid ve trigliserit düzeylerini düşürürken HDL kolesterol fraksiyonunu artırmaktadır (Paul ve ark., 2020; Sethi ve ark., 2016). Bu nedenle β – glukan, yulaf bazlı içeceklerin sağlık yararları açısından temel bir bileşen konumunda olduğu belirtilmiştir (Paul ve ark., 2020). Buna ek olarak, yulaf sütü çevresel sürdürülebilirlik açısından diğer bitkisel içeceklere kıyasla daha düşük su tüketimi ve daha küçük karbon ayak izine sahip olduğu belirtilmiştir; bu

durum yulaf bazlı içeceklerin küresel ölçekte pazar payını hızla arttıran faktörlerden biri olduğu raporlanmıştır (Poore ve Nemecek, 2018).

Son yıllarda darı ve arpa gibi geleneksel tahılların yanı sıra kinoa gibi yalancı tahıllardan elde edilen sütler de artan bir akademik ilgi görmektedir. Kinoa (*Chenopodium quinoa* Willd), *Chenopodiaceae* familyasına ait, yıllık bir bitki olmakla birlikte beslenmedeki kullanım biçimi nedeniyle tahıl benzeri bir ürün olarak değerlendirilmektedir. Beyazdan kırmızıya, sarıdan siyaha uzanan geniş renk çeşitliliği gösteren kinoa taneleri, genetik yapı ve çevresel koşulların etkisiyle belirgin fenotipik farklılıklar sergilemektedir (Guo ve ark., 2025; Wei ve ark., 2025). Kinoa; bitkisel protein, vitamin, sterol, polifenol, flavonoid ve diyet lifi bakımından zengin bir bileşime sahip olup kardiyovasküler hastalıklar, obezite, diyabet ve bazı kanser türlerine karşı koruyucu etkileri literatürde geniş biçimde rapor edilmiştir (Wei ve ark., 2025). Son yıllarda kinoa, besinsel çeşitliliği ve glütensiz yapısı nedeniyle bitkisel sütler, et benzeri ürünler ve fonksiyonel gıdaların geliştirilmesinde önemli bir hammadde olarak öne çıkmaktadır (Balakrishnan ve Schneider, 2022). Kinoa sütü, esansiyel amino asitler açısından dengeli protein profili ve mineral zenginliği sayesinde sporcu beslenmesi ürünleri, yüksek proteinli içecekler ve fonksiyonel gıdalar için uygun bir ham madde olarak öne çıkmaktadır. Tahıl yapısında doğal olarak bulunan polisakkaritlerin emülsiyon stabilitesindeki rolü, bu içeceklerin formülasyonda kıvam verici veya yağ ikame edici olarak da değerlendirilebilmesini sağlamaktadır. Bu nedenle kinoa sütü ve diğer alternatif tahıl sütleri; yoğurt benzeri fermente ürünler, peynir benzeri bitkisel ürünler ve içecek bazlı fonksiyonel gıdalarda araştırma ve ürün geliştirme çalışmalarında yer almaya başlamıştır (Liu ve ark., 2023).

Keten tohumu (*Linum usitatissimum* L.), dünya genelinde önemli yağ bitkilerinden biri olup fonksiyonel bir gıda olarak kabul görmektedir. Araştırmalar, keten tohumunun kardiyovasküler hastalıkların önlenmesi ve tedavisinde, östrojen düzeylerinin düzenlenmesinde ve bağırsak sağlığının iyileştirilmesinde önemli etkilere sahip olduğunu göstermektedir (Parikh ve ark., 2019). Keten tohumundan üretilen bitkisel süt ikameleri, makro ve mikro besin ögelerini bir araya getiren besleyici yapıları sayesinde hem sağlık açısından değer taşımakta hem de katkısız ve çevre dostu üretime olanak

sağlamaktadır (Meng ve ark., 2023). Aynı zamanda keten tohumu sütünün fonksiyonel özelliklerini geliştirmek için *Lactobacillus plantarum* ile fermantasyonunu inceleyen çalışmaların yanı sıra aroma profilini inceleyen çalışmalar da literatürde mevcuttur (Sharma ve ark., 2021; Yue ve ark., 2024). Literatür incelendiğinde, keten tohumunun yalnızca bitkisel içecek formülasyonlarında değil, aynı zamanda kraker, bisküvi ve benzeri fırıncılık ürünlerinde besin öğesi zenginleştirme, fonksiyonel özellik kazandırma ve ürünün sağlık değerini artırma amacıyla yaygın biçimde kullanıldığı görülmektedir (de la Bastida ve ark., 2021; Nassef ve ark., 2023; Zhang ve ark., 2023).

Tahıl bazlı sütlerin tercih edilme nedenleri sağlık, alerjen yönetimi, sürdürülebilirlik ve fonksiyonel gıda geliştirme ekseninde değerlendirildiğinde çok boyutlu bir temele dayanmaktadır. Laktoz intoleransı ve süt proteinlerine alerjisi olan bireyler için tahıl bazlı içecekler doğal ve güvenli bir alternatif sunarken, kolesterolsüz yapıları kalp – damar sağlığı açısından avantaj sağlamaktadır (Sethi ve ark., 2016). Ayrıca yulaf gibi tahılların düşük alerjenite profili, bu içecekleri çocuk beslenmesi ve toplu beslenme sistemleri için daha uygun hâle getirmektedir. Sürdürülebilirlik açısından değerlendirildiğinde, tahılların üretim süreçleri badem ve soya gibi bitkisel süt kaynaklarına göre çok daha düşük çevresel etkiler barındırdığından, sürdürülebilir gıda sistemleri bağlamında tahıl bazlı sütlerin önemi giderek artmaktadır (Poore ve Nemecek, 2018). Sonuç olarak, tahıl bazlı sütler hem besinsel açıdan fonksiyonel, hem de sürdürülebilir ve geniş kullanım alanına sahip bileşenler olarak giderek daha fazla önem kazanmaktadır. Çözünür lif içeriği, protein kalitesi, alerjenite profili ve çevresel avantajları bu içeceklerin farklı ürün kategorilerinde teknolojik olarak işlevsel hâle gelmesini sağlamakta; bu nedenle gıda endüstrisi ve bilimsel literatürde tahıl bazlı sütlere yönelik gelişen eğilimin artarak devam edeceği öngörülmektedir.

2.4.3. Kuruyemiş bazlı sütler

Kuruyemişler; lipid, kaliteli protein, vitamin, mineral ve çeşitli biyoaktif bileşenlerce zengin olmaları nedeniyle sağlıklı beslenme modellerinde önemli bir yer tutmaktadır. Bu besin öğelerinin sinerjik etkileri, kuruyemiş tüketiminin tip 2 diyabet, kanser, hipertansiyon ve nörodejeneratif hastalıklar gibi kronik hastalıkların önlenmesiyle

ilişkilendirilmesini açıklamaktadır. Badem, yer fıstığı, pecan ve ceviz gibi kuruyemişlerin düzenli tüketiminin toplam kolesterol ve LDL düzeylerini düşürdüğü; glisemik kontrol üzerinde de olumlu etkiler gösterdiği çeşitli çalışmalarda bildirilmiştir (Polmann ve ark., 2023). Bu sağlık yararları, kuruyemişleri bitkisel süt formülasyonlarında besin değerini ve fonksiyonel özellikleri artıran önemli bir bileşen hâline getirmiştir. Günümüzde soya ve yulaf gibi geleneksel bitkisel sütlere ek olarak badem, fıstık, fındık ve ceviz gibi kuruyemiş bazlı içeceklerin ticari olarak yaygınlaşması, bu ürünlerin yüksek diyet lifi, fitokimyasal ve vitamin içerikleriyle ilişkilendirilen tüketici talebinin arttığını göstermektedir (Sethi ve ark., 2016).

Kuruyemiş bazlı sütlerin besinsel ve duyusal özellikleri, kullanılan hammadde türü, işleme teknikleri, partikül boyutu dağılımı ve stabilizasyon yöntemleri gibi birçok parametreye bağlı olarak değişmekte; son yıllarda oligosakkarit profilleri, antioksidan kapasiteleri ve kolloidal stabiliteleri üzerine yapılan araştırmalar bu ürünlerin bilimsel ve teknolojik önemini daha da artırmaktadır. Bu bağlamda kuruyemiş bazlı sütler, hem tüketici beklentileri hem de endüstriyel inovasyon açısından dikkat çeken, beslenme ve gıda bilimi literatüründe giderek daha fazla yer bulan bir ürün grubudur (Manzoor ve ark., 2019). Badem, fındık, kaju gibi yağlı tohumlardan elde edilen bu sütler, doğal olarak tekli doymamış yağ asitleri, E vitamini, fenolik bileşikler ve çeşitli mikro besin öğeleri bakımından zengin bir bileşim sunmakta; bu yönleriyle yalnızca süt ikamesi değil, aynı zamanda potansiyel fonksiyonel gıda olarak da değerlendirilmektedir (Herkenhoff ve ark., 2023; Manzoor ve ark., 2019; Şen ve Okur, 2023).

Badem sütü, besin öğesi özellikleri, oligosakkarit profili ve modern işleme tekniklerine verdiği yanıt nedeniyle giderek daha fazla araştırılan bir ürün hâline gelmiştir. Günümüzde badem sütü, Avustralya, Avrupa ve ABD pazarında sıklıkla süt ikamesi olarak kullanılmaktadır (Manzoor ve ark., 2019). Badem, doğal olarak diyet lifi, tekli doymamış yağ asitleri, E vitamini ve çeşitli fenolik bileşikler açısından zengin bir hammaddedir; bu nedenle badem sütü hem besinsel hem de fonksiyonel bir süt alternatifi olarak geniş tüketici kitlesine hitap etmektedir (Barreca ve ark., 2020). Badem sütünün işlenmesine ilişkin yapılan çalışmalar, ürünün besin bileşenleri ve duyusal özelliklerinin işlem koşullarına yüksek derecede duyarlı olduğunu

göstermektedir. Konvansiyonel ısıl işlem çoğu zaman fenolik bileşiklerde kayıplara, enzimatik stabilite sorunlarına ve fiziksel çökelme eğilimine yol açabilmektedir (Manzoor ve ark., 2019; Zhao ve ark., 2021; Reyes-Jurado ve ark., 2023). Yapılan bir çalışmada badem sütünü bitki bazlı dondurma üretiminde değerlendirerek tekstür ve erime davranışı açısından başarılı sonuçlar elde etmiş; ürünün süt içermeyen alternatifler arasında uygulanabilir olduğunu göstermiştir (Leahu ve ark., 2022). Oral ve ark., ise badem sütünü sporcu beslenmesine yönelik yeni bir yoğurt formülasyonunda kullanmış ve ürünün hem besinsel açıdan zengin hem de duyusal olarak kabul edilebilir nitelikte olduğunu bildirmiştir (Oral ve ark., 2023). Başka bir çalışma ise badem sütü ve aquafabanın glütensiz vegan pankeklerde kalite, besin içeriği ve duyusal beğeni üzerinde olumlu etkiler sağladığını ortaya koymuştur (Tan ve ark., 2025). Bu çalışmalar, badem sütünün farklı ürün kategorilerinde fonksiyonel ve teknolojik açıdan güçlü bir bitkisel süt alternatifi olduğunu göstermektedir. Bu bulgular birlikte değerlendirildiğinde, badem sütünün hem besinsel hem de fonksiyonel açıdan zengin bir bitki bazlı süt alternatifi olduğu, oligosakkarit çeşitliliğinin potansiyel prebiyotik etkilere işaret ettiği ve farklı gıda gruplarında tüketici kabulüne uygun ürünler üretilebileceği düşünülmektedir.

Ceviz, yüksek besin değerine sahip bir kuruyemiş olup bileşiminde ağırlıklı olarak tekli ve çoklu doymamış yağ asitleri, kaliteli proteinler, diyet lifi, mineraller ve B grubu vitaminleri ile birlikte tokoferoller ve fitosteroller bulunmaktadır. Fenolik bileşiklerce zengin yapısı, cevizin belirgin antioksidan ve anti – inflamatuar özellik göstermesini sağlamakta ve bu özelliklerin bazı kanser türleri, tip 2 diyabet, kardiyovasküler hastalıklar ve nörodejeneratif bozukluklar gibi oksidatif stresle ilişkili kronik hastalıklara karşı koruyucu etki oluşturduğu literatürde bildirilmektedir (Ni ve ark., 2022). Bu besinsel ve fonksiyonel özellikleri, cevizin bitkisel süt formülasyonlarında da değerlendirilmesini teşvik etmiş; çeşitli çalışmalar, ceviz sütünün fermantasyon süreçleri, duyusal profili ve teknolojik davranışı üzerine yoğunlaşmıştır. Örneğin ceviz sütünde Lactobacillus plantarum kullanılarak yapılan fermantasyonun ürünün fonksiyonel ve aromatik özelliklerini artırdığı bildirilmiştir (Liu ve ark., 2022). Benzer şekilde, kefir taneleriyle fermente edilmiş ceviz sütünde uygun işlem koşullarının belirlenmesine yönelik çalışmalar da mevcuttur (Cui ve ark., 2013). Ceviz kabuğu ve

ceviz sütü yan ürünlerinin fenolik bileşikler bakımından değerlendirilmesi, antioksidan aktivite ve biyo potansiyel açısından umut verici sonuçlar sunmaktadır (Acoglu Celik ve ark., 2025; Toledo-Merma ve ark., 2024). Ayrıca taze ve kurutulmuş ceviz sütü kullanılarak üretilen vegan dondurmaların reolojik, erime ve duyusal özellikleri üzerine yapılan araştırmalar, ceviz sütünün dondurma formülasyonlarında fonksiyonel bir bileşen olarak kullanılabileceğini göstermektedir (Bekiroglu ve ark., 2022). Tüm bu bulgular, cevizin bitkisel süt ürünlerinde hem besinsel zenginlik hem de teknolojik işlevsellik sağlayan önemli bir hammadde olduğunu ortaya koymaktadır.

Fındık sütü, son yıllarda giderek daha fazla ilgi gören bir diğer bitkisel süt alternatifi olarak değerlendirilmektedir. Fındık, yüksek kaliteli yağ asitleri, protein, diyet lifi, vitamin E ve çeşitli fenolik bileşikler içermesi nedeniyle besleyici değeri yüksek bir kuruyemiştir. Özellikle tekli doymamış yağ asitleri ve güçlü antioksidan kapasitesi, fındığın kalp – damar sağlığını destekleyen önemli bir gıda olarak değerlendirilmesini sağlamaktadır. Literatürde fındık sütünün mikro yapısı ve reolojik özelliklerinin karakterize edildiği çalışmaların yanı sıra, yüksek basınçlı homojenizasyon uygulanan fındık sütünden fonksiyonel kefir üretiminin de mümkün olduğu gösterilmiştir (Atalar, 2019; Gul ve ark., 2017). Bununla birlikte, fındıkla ilgili araştırmalar çoğunlukla fındık unu veya kabuğunun fonksiyonel bileşenler açısından değerlendirilmesine odaklanmakta; doğrudan fındık sütü kullanılarak geliştirilen ürün sayısı sınırlı kalmaktadır (Ceylan ve ark., 2023). Ekmek üretiminde badem, fındık ve ceviz sütlerinin karşılaştırıldığı bir çalışma bulunmasına karşın, fındık sütünün fırıncılık ürünlerindeki teknolojik etkilerini sistemli biçimde ele alan araştırmalar hâlen oldukça kısıtlıdır (Wirkijowska ve ark., 2025).

Hindistan cevizi sütü, hindistan cevizinin etli kısmının ekstraksiyonu ile elde edilen ve karbonhidratlar, lipitler, proteinler ve sudan oluşan beyaz renkli bir emülsiyon olup, farklı gıda uygulamalarında yaygın olarak kullanılan başlıca hindistan cevizi türevi ürünlerden biridir (Karunasiri ve ark., 2020). Taze hindistan cevizi sütü yaklaşık %54 su, %35 yağ, %4 protein ve %5 karbonhidrat içermekte; bu bileşimi sayesinde bitkisel kaynaklı bir emülgatör ve stabilizatör olarak değerlendirilebilmektedir (Parhusip ve ark., 2024). Hindistan cevizi sütünde bulunan fenolik bileşiklerin yüksek antioksidan

aktivite gösterdiğini ve bu etkinin inek sütüne kıyasla belirgin düzeyde yüksek olduğunu ortaya koymuştur (Karunasiri ve ark., 2020). Tulashie ve ark. ise hindistan cevizi sütündeki toplam fenolik içeriğin 295,8 – 312,5 mg gallik asit eşdeğeri/l, antioksidan kapasitenin ise 412,5 – 437,5 mg askorbik asit eşdeğeri/l aralığında olduğunu bildirmiştir (Tulashie ve ark., 2022). Literatürde hindistan cevizi sütünün dondurma formülasyonlarında duyusal ve fizikokimyasal özellikleri iyileştirmek amacıyla kullanıldığı ve ananas püresi ile zenginleştirilmiş fermente hindistan cevizi sütü ürünlerinde besinsel ve teknolojik kalitenin optimize edilebildiği gösterilmiştir (Beegum ve ark., 2022; Parhusip ve ark., 2024). Bu bulgular, hindistan cevizi sütünün hem fonksiyonel hem de teknolojik açıdan potansiyeli yüksek bir bitkisel süt alternatifi olduğunu ortaya koymaktadır.

2.4.4. Baklagil bazlı sütler

Baklagiller; yüksek protein içerikleri, kompleks karbonhidrat yapıları, diyet lifi ve potasyum, magnezyum, çinko, demir ile B grubu vitaminler açısından zengin besin profilleri ile besin ihtiyacının karşılanmasında değerli bir bitkisel kaynaktır. Gluten içermemeleri ve elzem amino asit profillerinin tahıllarla tamamlayıcı nitelik göstermesi, özellikle bitki bazlı beslenme modellerinde baklagilleri öne çıkaran önemli özelliklerdir. Bununla birlikte, oligosakkaritler ve tanen, saponin gibi çeşitli antinutrisyonel bileşiklerin varlığı sindirilebilirliği azaltabilmekte ve mineral biyoyararlanımını sınırlayabilmektedir (Vallath ve ark., 2022). Buna rağmen ıslatma, filizlendirme, fermantasyon, ısıl işlem veya enzimatik uygulamalar gibi modern gıda işleme teknikleriyle bu olumsuzluklar büyük ölçüde azaltılabilmektedir. Nitekim literatürde, baklagil sütlerinde oligosakkarit düzeyini düşürmeye, protein çözünürlüğünü artırmaya ve tat – aroma profilini iyileştirmeye yönelik çeşitli teknolojilerin uygulandığı bildirilmektedir (Xiong ve ark., 2025).

Baklagil bazlı süt ve içecekler, protein ve mineral açısından zengin kompozisyonları ile düşük glisemik indeks sunmaları bakımından diğer bitkisel süt alternatiflerinden ayrılmaktadır. Baklagil bazlı sütlerin protein içeriği genellikle %3 – 4 düzeyinde olup, bu oran inek sütünün (%3,3 – 3,5) protein içeriğine oldukça yakındır; oysa tahıl ve

kuruyemiş temelli içeceklerde protein düzeyi çoğunlukla %0,1 – 1 aralığında kalmaktadır (Mäkinen ve ark., 2016). Baklagil içecekleri arasında soya sütü en eski ve en yaygın tüketilen ürün olmakla birlikte, potansiyel alerjenite, yüksek izoflavon içeriği ve çevresel sürdürülebilirliğe ilişkin tartışmalar nedeniyle son yıllarda alternatif baklagil temelli içeceklere yönelik ilgi artmıştır. Duyusal değerlendirmelerde bezelye, acı bakla, mercimek ve nohut gibi baklagillerin soya sütüne kıyasla daha olumlu performans sergilediği bildirilmiştir (Xiong ve ark., 2025).

Çeşitli çalışmalar, baklagil tüketiminin kardiyovasküler hastalıkların önlenmesi, obezite yönetimi, glisemik kontrolün iyileştirilmesi, kolon sağlığının desteklenmesi ve bazı kanser türlerine karşı koruyucu etkiler sunduğunu ortaya koymaktadır. Bu etkiler, baklagil bazlı süt ürünlerinin fonksiyonel gıdalar arasında önemli bir konum edinmesine katkı sağlamaktadır (Vallath ve ark., 2022).

Soya sütünün ilk kullanımının yaklaşık 2000 yıl önce Çin'de ortaya çıktığı bilinmekte olup, özellikle süt arzının yetersiz olduğu dönemlerde temel bir besin kaynağı olarak tüketilmiş; ilerleyen yıllarda süt proteinlerine alerjisi olan veya laktoz intoleransı bulunan bireyler için önemli bir alternatif hâline gelmiştir. Ayrıca soya sütü, kardiyovasküler sağlıkla ilişkilendirilen tekli ve çoklu doymamış yağ asitleri bakımından zengin bir profil sunarak uzun süre bitkisel sütler arasında temel ürün niteliğini korumuştur (Sethi ve ark., 2016). Bununla birlikte, soya proteinine bağlı alerjenite, karakteristik "beany" tat ve çevresel sürdürülebilirlik tartışmaları gibi çeşitli endişeler, tüketicileri daha iyi duyusal özellikler ve daha düşük alerjen potansiyeli sunan diğer baklagil temelli içeceklere yöneltmiştir (Davy ve Vuong, 2022). Bu doğrultuda nohut, mercimek, lupin, bezelye ve bakla gibi baklagiller; yüksek protein içerikleri, fonksiyonel bileşen profilleri ve daha dengeli aromatik yapıları sayesinde soya sütüne güçlü alternatifler olarak değerlendirilmektedir (Xiong ve ark., 2025). Son yıllarda baklagil sütleri üzerine yapılan çalışmalar, bu ürünlerin hem besinsel hem de teknolojik açıdan geniş bir uygulama potansiyeline sahip olduğunu göstermektedir. Tuncel ve ark., farklı ön işlemlerin formüle edilmemiş nohut, börülce ve bakla sütlerinin fizikokimyasal özellikleri ve tüketici beğenisi üzerindeki etkilerini inceleyerek, özellikle ısıl ve mekanik işlemlerin içecek stabilitesi ve duyusal kabul açısından belirleyici olduğunu

ortaya koymuştur (Tuncel ve ark., 2024). Başka bir çalışmada baklagillerin süt içermeyen peynir alternatiflerinin geliştirilmesinde temel bileşen olarak kullanılabileceği ve yüksek protein ile fonksiyonel lif içeriğinin bu ürünlere teknolojik avantaj sağladığını bildirilmiştir (Mefleh ve ark., 2022). Fırıncılık ürünlerinde baklagil sütlerinin kullanımına yönelik çalışmalar da artmaktadır; örneğin Pokuah ve ark., ekmek hamurunun zenginleştirilmesinde soya sütünün hamur özelliklerini iyileştirdiğini ve besin değerini artırdığını (Pokuah ve ark., 2024); Aslan ve Bilgiçli ise kek üretiminde lupin sütünün yumurta yerine kullanılabilirliğini ve soyaya benzer performans sağlayabildiğini göstermiştir (Aslan ve Bilgiçli, 2022). Ayrıca Shao ve ark.'nın çalışması, fermente soya sütü ile hazırlanan mantou'nun fiziksel ve besinsel açıdan geliştirilebildiğini ortaya koyarak baklagil sütlerinin fermantasyon temelli ürünlerde de işlevsel olabileceğini göstermektedir (Shao ve ark., 2023). Bu bulgular, baklagil sütlerinin süt ikameleri, fermente ürünler ve fırıncılık sistemleri dahil olmak üzere çok çeşitli gıda kategorilerinde değerlendirilebileceğini göstermektedir.

3. MATERYAL ve YÖNTEM

3.1. Materyal

Bu çalışmada, farklı süt ve yumurta alternatiflerinin kullanımıyla toplam 14 farklı muffin örneği üretilmiş olup kontrol örnekleri, geleneksel formülasyona uygun olarak inek sütü ve yumurta ile hazırlanmıştır. Örneklerin sekizi farklı bitkisel sütlerle, altısı ise çeşitli yumurta ikameleriyle formüle edilmiştir. Yumurta yerine kullanılmak üzere aquafaba, chia jeli, psyllium jeli, keten tohumu jeli, çöven ekstraktı ve muz püresi olmak üzere altı farklı alternatif değerlendirilmiştir. Geleneksel formülasyonda yer alan inek sütü yerine ise soya, fındık, hindistan cevizi, yulaf, badem, ceviz, kinoa ve keten tohumu sütleri kullanılmıştır. İnek sütü ikamelerinin kullanıldığı tüm muffin örneklerinde yumurta bileşeni yerine aquafaba kullanılmıştır.

Aquafaba, haşlanmış nohutlardan elde edilmiştir (de Barros Miranda ve ark., 2024). Kuru nohutlar saf su içinde 1:4 (w/v) oranında (500 g nohut, 2000 ml su) 4 °C'de 8 – 10 saat bekletilmiştir. Bekletilen nohutlar süzülmüş ve düdüklü tencerede (Fissler Vitavit, 6 l, Almanya) 2:3 (w/v) oranında (500 g nohut, 750 g su) 98 °C'de 30 dk pişirilmiştir. Pişirme işleminden sonra nohutlar oda sıcaklığına (25 ± 2 °C) kadar soğutulmuş, çözünür bileşenlerin dengeye ulaşması için 4 ± 1 °C'de 24 saat bekletilmiştir. Daha sonra pişirme suyu süzülmüş, oda sıcaklığına getirildikten sonra çırpıcı (KitchenAid Classic, 4,3 l, St. Joseph, MI, ABD) ile 220 rpm hızda 10 dk çırpılmış ve köpüklü formda aquafaba elde edilmiştir. Elde edilen aquafaba herhangi bir depolama veya muhafaza işlemine tabi tutulmadan, taze olarak aynı gün içinde formülasyonlarda kullanılmıştır.

Muz püresi, tam olgunlaşmış muzların (*Musa cavendishii*) 100 g'ının blender (Zwilling Enfinigy, 1,4 l, Almanya) ile orta hızda (6. seviye) 1 dk karıştırılmasıyla hazırlanmıştır. Enzimatik esmerleşmeyi önlemek için karışım derhal kullanılmıştır.

Hidrofilik polisakkarit esaslı bağlayıcılar (chia jeli, psyllium jeli ve keten tohumu jeli) şu şekilde hazırlanmıştır:

- Chia tohumu (*Salvia hispanica* L., Yayla, Arjantin) ve psyllium tozu (*Plantago ovata* Forssk., Wefood, Türkiye) saf su içerisinde 1:5 (w/v) oranında 10 dk boyunca oda sıcaklığında (25 ± 2 °C) bekletilmiştir (Gallo ve ark., 2020; Guedes de Melo ve ark., 2022; Yeganeh ve ark., 2024). Aynı gün içerisinde formülasyonlarda kullanılmıştır.
- Keten tohumları (*Linum usitatissimum* L., Yayla, Çin) baharat öğütücüsünde (Fakir Aromatic, Almanya) 20 sn öğütülmüş, 500 µm gözenekli paslanmaz çelik elekten geçirilmiş ve saf suyla 1:5 (w/v) oranında karıştırılarak 10 dk oda sıcaklığında (25 ± 2 °C) bekletilmiştir (Sharma ve ark., 2024). Aynı gün içerisinde formülasyonlarda kullanılmıştır.

Çöven ekstraktı (*Saponaria officinalis* L., orijinal derişim 1:10 w/v), kullanım öncesinde saf suyla 1:5 (v/v) oranında seyreltilmiştir. Bu oran, ön denemeler ve Çelik ve ark. (2007)'nin önerileri doğrultusunda belirlenmiş olup, çöven ekstraktının köpürme kapasitesini tat nötrlüğünü koruyarak yansıtmayı amaçlamıştır.

İnek sütü ikameleri ile üretilen muffin örneklerinde kullanılan soya, fındık, hindistan cevizi, yulaf ve badem sütleri (Alpro, Belçika) İstanbul'daki yerel marketlerden temin edilmiştir. Ürün etiketlerinde belirtilen bilgilere göre bu sütler, genel olarak su, bitkisel bileşen (%2 – 8), stabilizatörler (örneğin gellan gamı, keçiboynuzu gamı), emülgatörler, tuz ve kalsiyum ile vitaminleri (B2, B12, D, E) içermektedir.

Ceviz (*Juglans regia* L., Tadım, Türkiye), kinoa (*Chenopodium quinoa* Willd., Yayla, Peru) ve keten tohumu (*Linum usitatissimum* L., Yayla, Çin) sütleri laboratuvar ortamında hazırlanmıştır. Bu yaklaşım, söz konusu bitkisel sütlerin ticari olarak piyasada bulunmaması nedeniyle tercih edilmiştir. Ceviz sütü üretiminde ceviz içleri saf suyla 1:4 (w/v) oranında (250 g ceviz, 1000 ml su) 50 °C'de 12 saat bekletilerek yumuşatılmış, ardından süzülüp homojenize edilmiştir. Bekletilen cevizler, kendi ağırlıklarının altı katı kadar saf su ile 50 °C'de 5 dk boyunca yüksek hızlı blender (Zwilling Enfinigy, 1,4 l, Almanya) kullanılarak karıştırılmıştır (Cui ve ark., 2013; Liu ve ark., 2022). Kinoa ve keten tohumu sütleri, ön ıslatma yapılmadan sekiz katı miktarda saf suyla aynı koşullarda (50 °C, 5 dk) karıştırılmıştır. Elde edilen

süspansiyonlar 200 mesh gözenekli elekten süzülmüş, 90 °C'de 10 dk ısıtılmış, 40 °C'ye kadar soğutulmuş ve cam şişelere aktarılıp 4 °C'de kullanılıncaya kadar saklanmıştır (El-Menawy ve ark., 2023; Meng ve ark., 2023).

Tüm muffin formülasyonlarında kullanılan diğer bileşenler buğday unu (Sinangil, Türkiye), ayçiçeği yağı (Yudum, Türkiye), toz şeker (Balküpü, Türkiye), kabartma tozu (Dr. Oetker, Türkiye) ve vanilinden (Dr. Oetker, Türkiye) oluşmuştur. Bütün bileşenler orijinal ambalajlarında, serin ve kuru koşullarda (22 – 24 °C, <%50 bağıl nem) muhafaza edilmiştir. Muzlar oda sıcaklığında (25 ± 2 °C) depolanmış ve kabuğunda kahverengi beneklerin görüldüğü, tam olgunluk döneminde kullanılmıştır.

Aksi belirtilmedikçe, çalışmada kullanılan tüm kimyasallar ve çözücüler analitik veya kromatografik saflık derecesindedir. Kimyasal bileşim analizleri için petrol eteri (kaynama aralığı 40 – 60 °C), HCl (%37), HNO_3 (≥%65, Suprapur) ve H_2O_2 (%30) Merck (Darmstadt, Almanya) firmasından temin edilmiştir. Toplam diyet lifi tayini Megazyme Total Dietary Fiber Assay Kit (Bray, İrlanda) ile yürütülmüş; kit kapsamında sağlanan ısıya dayanıklı α – amilaz, proteaz ve amiloglukozidaz enzimleri kullanılmıştır. Mineral analizi (ICP – MS) için Suprapur dereceli HNO_3 (%65) ve H_2O_2 (%30) (Merck, Almanya) kullanılmış; kalibrasyon çözeltileri çok elementli ICP standart çözeltisi (ICP Multi – Element Standard VI, Merck, Almanya) ile hazırlanmıştır. Tüm asit çözeltileri %1 HNO_3 içinde, ≥18,2 MΩ.cm özgül dirençte ultra saf su (Milli – Q sistemi, Millipore) ile seyreltilmiştir. Kalibrasyon standartları asit ile yıkanmış polietilen şişelerde 4 °C'de muhafaza edilmiştir. ICP – MS çalışmaları sırasında plazma gazı olarak yüksek saflıkta argon (%99,99) kullanılmıştır.

Amino asit analizi kapsamında, hidroliz aşamasında oksidasyonu sınırlamak ve kükürt içeren amino asitlerin geri kazanımını güvenceye almak için HCl (6 N, Merck, Almanya), fenol (2 mM) ve dietilentriaminpentaasetik asit (DTDPA, %2; Sigma – Aldrich, ABD) kullanılmıştır. Kalibrasyon için >%98 saflıkta amino asit standartları (Dr. Ehrenstorfer, Almanya) uygulanmıştır. Analizlerde kullanılan tüm sulu çözeltiler ultra saf su (Milli – Q, Millipore) ile hazırlanmıştır.

In vitro sindirim ve biyoerişilebilirlik çalışmalarında, standartlaştırılmış *in vitro* sindirim modeline uygun olarak α – amilaz (1500 U/ml), pepsin (25.000 U/ml), pankreatin (800 U/ml) ve safra ekstraktı (domuz kaynaklı; Sigma – Aldrich, ABD) kullanılmıştır. pH ayarlamaları için $CaCl_2$ (Tekkim, Türkiye) ve NaOH (1 M; Merck, Almanya) kullanılmıştır.

Spektrofotometrik analizler için toplam fenolik madde (TPC) tayininde Folin – Ciocalteu reaktifi, sodyum karbonat ve gallik asit (≥%98; Merck, Almanya); toplam flavonoid madde (TFC) tayininde $AlCl_3$, $NaNO_2$ (Merck, Almanya) ve NaOH (Sigma – Aldrich, ABD) kullanılmış; referans standart olarak rutin (≥%98; Acros Organics, ABD) uygulanmıştır.

Yağ asidi kompozisyonu çalışmalarında referans olarak 37 bileşenli FAME standart karışımı (Supelco, Sigma – Aldrich, ABD) kullanılmıştır. Stok çözelti −20 °C'de saklanmış, kullanım öncesi kloroform ile seyreltilmiştir. Metilasyon için bor triflorür – metanol çözeltisi (%14; Sigma – Aldrich, ABD), ekstraksiyon için *n* – heksan (Merck, Almanya) kullanılmış; nonadekanoik asit metil esteri (C19:0; Sigma – Aldrich, ABD) iç standart olarak eklenmiştir. Aksi belirtilmediği sürece diğer tüm çözücüler (örneğin etanol, asetonitril) ve reaktifler Merck (Almanya) veya Sigma – Aldrich (ABD) tedarikçilerine ait analitik saflıkta ürünlerdir.

3.2. Yöntem

3.2.1. Muffin üretimi

Yumurta ikameleri ile muffin üretimi

Yumurta değişkenli muffin üretimi, Topkaya ve Isik (2019) tarafından bildirilen prosedür temel alınarak, bitkisel kaynaklı yumurta alternatiflerinin kullanımına uyarlanmıştır. Formülasyonda kullanılan bileşenler Çizelge 3.1'de sunulmuştur.

Kontrol örneğinde (CC) yumurta ve şeker 220 rpm hızda 4 dakika çırpılmış, ardından ayçiçeği yağı ve süt (kontrol için inek sütü, deneysel örnekler için badem sütü) ilave edilerek 135 rpm'de 1 dk karıştırılmıştır. Daha sonra kuru bileşenler (buğday unu, kabartma tozu, vanilin) düşük hızda (95 rpm) 1 dk süreyle karıştırılarak hamur oluşturulmuştur.

Her bir bitkisel yumurta alternatifi (aquafaba, muz püresi, chia jeli, keten tohumu jeli, psyllium jeli ve çöven ekstraktı) 90 g ağırlığında olacak şekilde, tam yumurta yerine kullanılmıştır. Bu miktar, literatürde rapor edilen fonksiyonel benzerlik oranlarına dayalı olarak standartlaştırılmıştır. Böylece su, protein veya yağ içeriği farklarından kaynaklanan bileşimsel değişkenlikler sabit tutulmuş, tüm ikamelerin fonksiyonel performansı eşdeğer koşullarda değerlendirilmiştir.

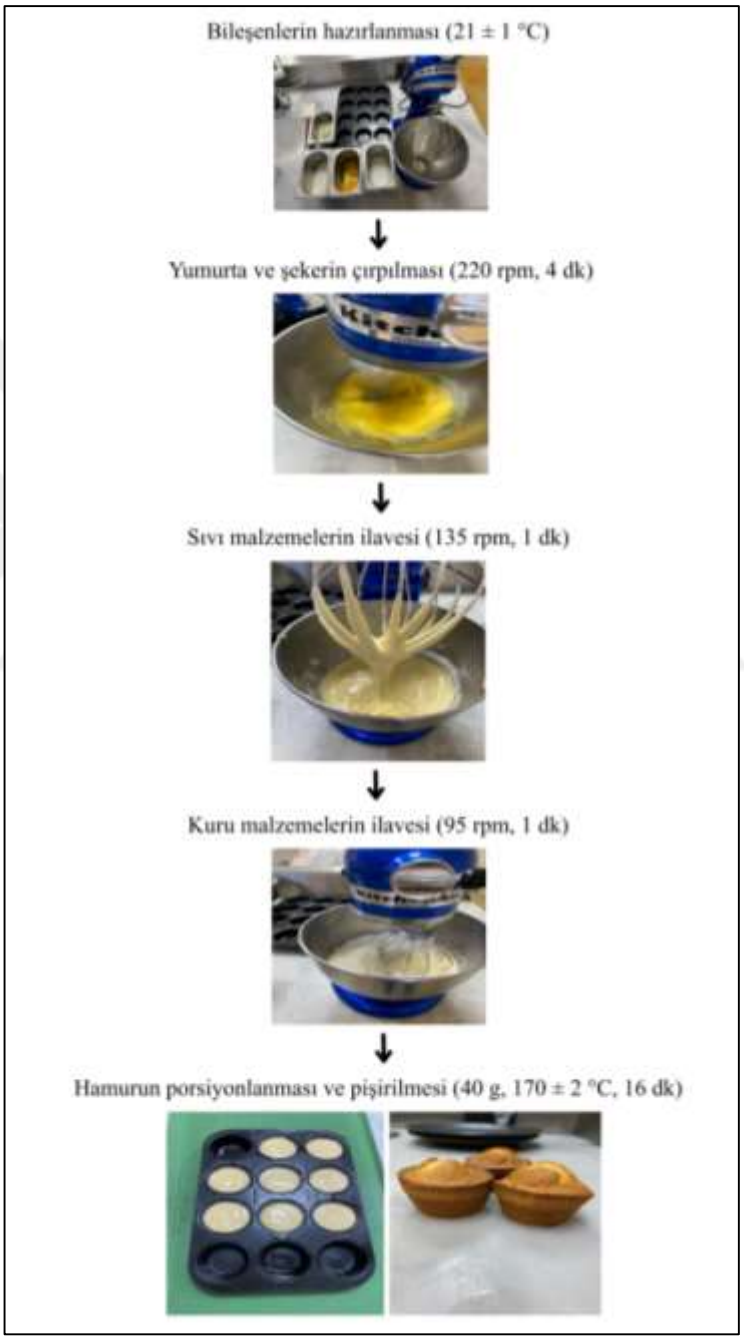
Çizelge 3.1. Yumurta ikameleri ile üretilen muffin örneklerinin formülasyonu

Bileşenler[1] (g)	**CC**	**AC**	**BC**	**FC**	**PC**	**SWC**	**CHC**
Buğday unu	200 g	200 g	200 g	200 g	200 g	200 g	200 g
Ayçiçek yağı	100 g	100 g	100 g	100 g	100 g	100 g	100 g
Yumurta	90 g	0	0	0	0	0	0
Aquafaba (nohut)	0	90 g	0	0	0	0	0
Muz	0	0	90 g	0	0	0	0
Keten tohumu jeli (FG)	0	0	0	90 g	0	0	0
Psyllium jeli (PG)	0	0	0	0	90 g	0	0
Çöven ekstraktı (SM)	0	0	0	0	0	90 g	0
Chia jeli (CG)	0	0	0	0	0	0	90 g
Şeker	150 g	150 g	150 g	150 g	150 g	150 g	150 g
Badem sütü	0	32 g	32 g	32 g	32 g	32 g	32 g
İnek sütü	32 g	0	0	0	0	0	0
Kabartma tozu	5 g	5 g	5 g	5 g	5 g	5 g	5 g
Vanilin	3 g	3 g	3 g	3 g	3 g	3 g	3 g

[1]Bileşenler 21 ± 1 °C'de hazırlanmıştır. CC: Kontrol muffin; AC: Aquafaba muffin; BC: Muz muffin; FC: Keten tohumlu muffin; PC: Psyllium jelli muffin; SWC: Çöven muffin; CHC: Chia jelli muffin.

Hamurdan yaklaşık 40 g alınmış, bu miktar 12'li muffin tepsisinin her bir gözüne (Zenker, Almanya; 7,0 × 5,6 cm) doldurulmuş ve örnekler önceden ısıtılmış konveksiyonel fırında (Inoksan INO – FKE010, Türkiye) 170 ± 2 °C'de 16 dakika boyunca fan destekli olarak pişirilmiştir. Pişirme sonrasında örnekler kalıplar içinde oda

sıcaklığında (25 ± 2 °C) 30 dk bekletilmiş, ardından kalıplardan çıkarılmıştır. Her formülasyon için üç bağımsız üretim yapılmış ve tüm analizler bu örnekler üzerinden gerçekleştirilmiştir. Muffin örneklerinin hazırlanmasına ilişkin akım şeması Şekil 3.1'de verilmiştir.



Şekil 3.1. Muffin örneklerinin hazırlanışına ilişkin akım şeması

İnek sütü ikameleri ile muffin üretimi

Muffin üretimi, Topkaya ve Isik (2019) tarafından bildirilen yöntem esas alınarak, farklı bitkisel süt alternatiflerinin kullanımı amacıyla bazı uyarlamalarla gerçekleştirilmiştir. Muffin formülasyonları Çizelge 3.2'de verilmiştir. Kontrol formülasyonunda (CC) sıvı faz olarak inek sütü kullanılmış, deneysel örneklerde ise eşit miktarda (32 g) bitkisel süt (soya, fındık, hindistan cevizi, yulaf, badem, ceviz, kinoa veya keten tohumu sütü) ile ikame edilmiştir.

Çizelge 3.2. Süt ikameleri ile üretilen muffin örneklerinin formülasyonu

Bileşenler[1] (g)	CC	SC	HC	WC	QC	FC	CNC	OC	AC
Buğday unu	200 g	200 g	200 g	200 g	200 g	200 g	200 g	200 g	200 g
Ayçiçek yağı	100 g	100 g	100 g	100 g	100 g	100 g	100 g	100 g	100 g
Yumurta	90 g	0	0	0	0	0	0	0	0
Aquafaba (nohut)	0	90 g	90 g	90 g	90 g	90 g	90 g	90 g	90 g
Şeker	150 g	150 g	150 g	150 g	150 g	150 g	150 g	150 g	150 g
İnek sütü	32 g	0	0	0	0	0	0	0	0
Soya sütü	0	32 g	0	0	0	0	0	0	0
Fındık sütü	0	0	32 g	0	0	0	0	0	0
Ceviz sütü	0	0	0	32 g	0	0	0	0	0
Kinoa sütü	0	0	0	0	32 g	0	0	0	0
Keten tohumu sütü	0	0	0	0	0	32 g	0	0	0
Hindistan cevizi sütü	0	0	0	0	0	0	32 g	0	0
Yulaf sütü	0	0	0	0	0	0	0	32 g	0
Badem sütü	0	0	0	0	0	0	0	0	32 g
Kabartma tozu	5 g	5 g	5 g	5 g	5 g	5 g	5 g	5 g	5 g
Vanilin	3 g	3 g	3 g	3 g	3 g	3 g	3 g	3 g	3 g

[1]Bileşenler 21 ± 1 °C'de hazırlanmıştır. CC: Kontrol muffin; SC: Soya sütlü muffin; HC: Fındık sütlü muffin; WC: Ceviz sütlü muffin; QC: Kinoa sütlü muffin; FC: Keten tohumu sütlü muffin; CNC: Hindistan cevizi sütlü muffin; OC: Yulaf sütlü muffin; AC: Badem sütlü muffin

Tüm örneklerde yumurta yerine tek ikame materyali olarak aquafaba (90 g) kullanılmıştır. Aquafaba ve toz şeker, çırpma aparatı takılı stand mikser (KitchenAid Classic, 4.3 L, St. Joseph, MI, ABD) kullanılarak 220 rpm hızda 4 dk çırpılmıştır. Ardından ayçiçeği yağı ve ilgili bitkisel süt ilave edilerek 135 rpm'de 1 dk daha

karıştırılmıştır. Son olarak kuru bileşenler (buğday unu, kabartma tozu, vanilin) eklenmiş ve 95 rpm'de 1 dk süreyle karıştırılarak homojen bir hamur elde edilmiştir.

Elde edilen hamur, 12'li muffin kalıplarının her bir gözüne yaklaşık 40 g dökülerek (Zenker, Almanya; 7,0 × 5,6 cm) porsiyonlanmıştır. Muffinler, önceden 170 ± 2 °C'ye ısıtılmış fan destekli konveksiyonel fırında (Inoksan INO – FKE010, Türkiye) 16 dk boyunca pişirilmiştir. Pişirme sonrasında örnekler kalıplar içinde oda sıcaklığında (25 ± 2 °C) 30 dk soğumaya bırakılmış ve ardından kalıplardan çıkarılmıştır. Her süt varyasyonu için deneysel tekrarlanabilirliği sağlamak amacıyla üç bağımsız üretim gerçekleştirilmiştir.

3.2.2. Muffinlerin fizikokimyasal ve teknolojik özellikleri

Pişirme işlemi tamamlandıktan sonra muffin örnekleri kalıplarında oda sıcaklığında (25 ± 2 °C) 30 dk soğutulmuş ve ardından dikkatlice kalıplardan çıkarılmıştır. Fiziksel ve yapısal ölçümlerde standartlaşmayı sağlamak amacıyla tüm örnekler analizlerden önce 24 saat boyunca oda sıcaklığında (25 ± 2 °C) dinlendirilmiştir.

Fiziksel özelliklerin belirlenmesi

Muffin örneklerinin fiziksel özellikleri, ürün geometrisini ve yüzey bütünlüğünü temsil eden hacim indeksi (VI), simetri indeksi (SI) ve homojenlik indeksi (UI); nem kaybına bağlı değişimi yansıtan pişme kaybı; ayrıca doku, renk ve mikroyapısal yapı parametreleri üzerinden değerlendirilmiştir. Hacim indeksi (VI), simetri indeksi (SI) ve homojenlik indeksi (UI) değerleri, AACC 10 – 91 metoduna göre dijital kumpas (±0,01 mm hassasiyetli) kullanılarak, muffin yüzeyinde belirlenen üç sabit noktadan (orta, sol ve sağ kenar) alınan ölçümlerle belirlenmiştir (AACC, 1983) (Şekil 3.2).



Şekil 3.2. Dijital kumpas

Hacim indeksi, ortalama ürün yüksekliğini ve kabarma seviyesini göstermektedir ve Denklem (3.1) ile hesaplanmıştır:

$$\mathrm{VI} = \frac{\mathrm{A+B+C}}{3}\,(\mathrm{mm}) \qquad \textbf{(3.1)}$$

Burada A merkez yüksekliğini, B ve C ise sol ve sağ kenar yüksekliklerini ifade etmektedir. Simetri indeksi, muffinin iki kenarı arasındaki yükseklik farkını göstermekte olup Denklem (3.2) ile hesaplanmıştır:

$$\mathrm{SI} = \left|\mathrm{B} - \mathrm{C}\right|\,(\mathrm{mm}) \qquad \textbf{(3.2)}$$

SI ≤ 5 mm değeri iyi simetriyi ifade ederken, daha yüksek değerler eşit olmayan pişirme veya sıcaklık dağılımını göstermektedir. Homojenlik indeksi, yüzeydeki kabarma düzgünlüğünü ifade eder ve Denklem (3.3) ile hesaplanmıştır:

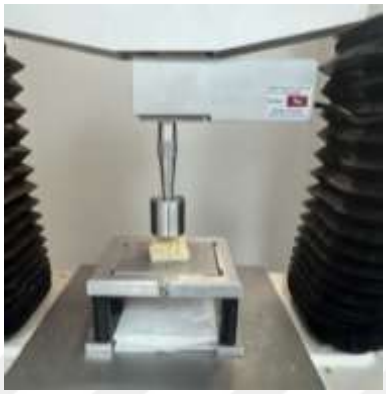
$$\mathrm{UI} = \frac{\left|\mathrm{A-B}\right| + \left|\mathrm{A-C}\right|}{2}\,(\mathrm{mm}) \qquad \textbf{(3.3)}$$

UI ≤ 5 mm değerleri homojen bir kabarma profili olarak kabul edilmiştir. Pişme kaybı, pişirme öncesi hamur kütlesi (*w*d) ile pişirme sonrası soğutulmuş ürün kütlesi (*w*c) karşılaştırılarak hesaplanmıştır (Bozdogan ve ark., 2019).

$$\text{Pişme kaybı} = \frac{\mathrm{wd-wc}}{\mathrm{wd}} \times 100\ \ (\%) \qquad \textbf{(3.4)}$$

Doku profil analizi (TPA)

Doku profil analizi (TPA), Stable Micro Systems TAXTPlus tekstür analiz cihazı (Surrey, İngiltere) ile gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.3).



Şekil 3.3. Tekstür analiz cihazı

Oda sıcaklığında 24 saat dinlendirilmiş muffinler 2,5 cm kenar uzunluğunda küpler halinde kesilmiştir (Chiş ve ark., 2020). Çift sıkıştırma testi, 36 mm çapında silindirik prob, %40 deformasyon, 1,0 mm/s test hızı, 5 kg yük hücresi ve 5 g tetik kuvveti kullanılarak uygulanmıştır. Beş temel doku parametresi olarak sertlik, esneklik (springiness), kohezivite (cohesiveness), çiğnenebilirlik (chewiness) ve elastikiyet (resilience) değerlendirilmiştir (Guiné, 2022). Sertlik, ilk sıkıştırma sırasında uygulanan kuvveti gösterir ve ürünün yapısal yoğunluğunu yansıtmaktadır. Esneklik, örneğin sıkıştırma sonrası orijinal formuna dönme yeteneğini ifade etmektedir. Elastikiyet, örneğin sıkıştırma sonrası ne kadar hızlı ve tam biçimde şeklini yeniden kazandığını açıklamaktadır. Kohezivite, örneğin tekrarlanan sıkıştırmalara karşı bütünlüğünü koruma derecesini göstermektedir. Çiğnenebilirlik ise sertlik ve elastikiyetin birleşimini temsil etmektedir.

Reolojik özellikler

Akış davranışı, sabit kayma ölçümleri ile belirlenmiştir. Ölçümler 0,01 – 100 s^{-1} kayma hızı aralığında, kontrollü kayma hızı modunda yapılmıştır. Elde edilen akış verileri

(kayma gerilmesi – kayma hızı ilişkisi) Güç Yasası (Power Law) modeli ile tanımlanmıştır (Denklem 3.5):

$$\tau = K\dot{\gamma}^{n} \quad \textbf{(3.5)}$$

Burada τ kayma gerilmesi (Pa), K kıvam indeksi (Pa.s^{n}), n akış indeksi (boyutsuz) ve $\dot{\gamma}$ kayma hızını (s^{-1}) ifade etmektedir. Bu parametreler, hamurların psödoplastik davranışlarının değerlendirilmesinde kullanılmıştır. Dinamik reolojik ölçümler, Anton Paar MCR302 (Avusturya) reometre ile 50 mm paralel plaka geometrisi ve 0,5 mm boşluk kullanılarak 25 °C'de gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.4).



Şekil 3.4. Reometre

Öncelikle gerinim taramaları (0,01 – 100% deformasyon, 1 Hz) uygulanarak doğrusal viskoelastik bölge (LVR) belirlenmiş, tüm örneklerde bu aralık 0,1 – 10% deformasyon aralığında gözlenmiştir. Daha sonra frekans taramaları (0,1 – 10 Hz, 0,1% deformasyon) uygulanarak G′ (depolama modülü) ve G″ (kayıp modülü) değerleri elde edilmiştir. Veriler, Denklem (3.6) ve (3.7)'deki güç yasası eşitliklerine göre modellenmiştir:

$$G' = K'(\omega)^{n'} \quad \textbf{(3.6)}$$

$$G'' = K''(\omega)^{n''} \quad \textbf{(3.7)}$$

Burada K′ ve K″ kıvam katsayılarını (Pa.s^n), n′ ve n″ frekans üslerini ve ω açısal frekansı (rad.s^{-1}) göstermektedir. Numunelerin viskoelastik dengesini tanımlamak amacıyla kayıp tanjant (tan δ = G″/G′) değeri 1,36 rad.s^{-1}'de hesaplanmıştır.

Renk analizi

Muffin örneklerinde kabuk ve kırıntı renk ölçümleri, Konica Minolta (CR – 400, Osaka, Japonya) cihazı ile CIELab* renk uzayında gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.5).



Şekil 3.5. Renk analizi cihazı

L* değeri parlaklığı (0 = siyah, 100 = beyaz), a* değeri kırmızı – yeşil eksenini, b* değeri ise sarı – mavi eksenini göstermektedir. Kırıntı ölçümleri, dikey olarak ikiye kesilmiş örneklerin iç yüzeyinde yapılmıştır. Elde edilen L*, a*, b* değerlerinden, örnekler ile kontrol arasındaki toplam renk farkı (ΔE), Kroma (C*) ve ton açısı (h°) Denklem (3.8, 3.9 ve 3.10) ile hesaplanmıştır (Özkan-Karabacak ve ark., 2023).

$$\Delta E = \sqrt{L_0^* - \mathrm{L}^*)^2 + (a_0^* - a^*)^2 + (b_0^* - b^*)^2} \quad \textbf{(3.8)}$$

$$C^* = \sqrt{(a^{*2} + b^{*2})} \quad \textbf{(3.9)}$$

$$h^o = \arctan\left(\frac{b^*}{a^*}\right) \quad \textbf{(3.10)}$$

Morfoloji analizi

Muffin örneklerinin mikro – yapısal özellikleri, Ege Üniversitesi Merkez Araştırma Laboratuvarı (MATAL) bünyesinde gerçekleştirilen taramalı elektron mikroskobu (SEM) analizleri ile belirlenmiştir. İncelemelerde alan emisyonlu taramalı elektron mikroskobu (FE – SEM, Thermo Scientific Apreo S, ABD) kullanılmıştır. Görüntüleme öncesinde numuneler dondurarak kurutulmuş, iç gözenek yapısını ortaya çıkarmak için dikkatlice parçalanmıştır. Parçalar iletken karbon bant kullanılarak alüminyum örnek tutuculara yerleştirilmiş ve ~10 nm kalınlığında altın tabakası ile kaplanmıştır (Leica EM ACE600, Almanya). Görüntüleme işlemi yüksek vakum koşullarında, 10 – 15 kV hızlandırma gerilimi altında gerçekleştirilmiştir. Her örnek için 100×, 250×, 500× ve 1000× büyütmelerde temsil edici mikrograflar kaydedilmiştir.

3.2.3. Kimyasal kompozisyonun belirlenmesi

Çalışmada üretilen muffin örneklerinin nem (%), kül (%), protein (%), toplam diyet lifi (%), toplam yağ (%), toplam karbonhidrat (%), toplam enerji değeri (kcal/100 g) ve mineral içeriği (P, Na, Mg, K, Ca; mg/1000 g) belirlenmiştir. Ayrıca muffinlerin üretiminde kullanılan inek sütü ikamelerinin nem (%), kül (%), protein (%) ve toplam yağ (%) miktarları da belirlenmiştir.

Örneklerin nem oranı AOAC prosedürüne göre belirlenmiştir (AOAC, 2016a). Yaklaşık 5 g öğütülmüş örnek, önceden tartılmış alüminyum kurutma kaplarına yerleştirilmiş ve laboratuvar tipi etüvde (Memmert UN110, Almanya) 105 ± 2 °C'de sabit ağırlığa ulaşıncaya kadar kurutulmuştur. Başlangıç ve son ağırlık farkı kullanılarak nem oranı hesaplanmıştır. Kül miktarı örneklerin 550 °C'de kül fırınında (Nabertherm LV 9/11, Almanya) yakılmasıyla belirlenmiştir (NMKL, 2005). Protein miktarı, AOAC standardına uygun olarak Dumas yanma yöntemiyle çalışan azot tayin cihazı (Velp NDA 701, İtalya) kullanılarak belirlenmiştir (AOAC, 2016b). Ölçülen azot miktarı 6,25 dönüşüm katsayısı ile çarpılarak protein oranına çevrilmiştir. Toplam diyet lif içeriği, AOAC'te tanımlanan enzimatik – gravimetrik yönteme göre, ticari analiz kiti (Megazyme, Bray, İrlanda) kullanılarak ölçülmüştür (AOAC, 2016c). Bu yöntemde

numuneler sırasıyla α – amilaz, proteaz ve amiloglukozidaz enzimleri ile enzimatik hidrolize tabi tutulmuştur. Daha sonra çözünebilir fraksiyon etanol ile çöktürülmüş, kalan artık kütle tartılarak toplam diyet lifi miktarı hesaplanmıştır. Toplam yağ miktarı, NMKL No. 160 yöntemine göre belirlenmiştir (NMKL, 1998). Numuneler önce hidroklorik asit ile hidrolize edilmiş, ardından petrol eteri ile ekstrakte edilmiştir. Çözücü buharlaştırıldıktan sonra analizler otomatik yağ analiz cihazı (Velp Ser148/6, İtalya) kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Karbonhidrat miktarı ise fark yöntemiyle Denklem (3. 11) kullanılarak hesaplanmıştır (FAO, 2003).

$$\text{Karbonhidrat}\,(\%) = 100 - (\text{Nem} + \text{Kül} + \text{Protein} + \text{Yağ} + \text{Diyet lifi}) \quad \textbf{(3. 11)}$$

Örneklerin enerji değeri, FAO (2003) tarafından önerilen Atwater sistemi esas alınarak hesaplanmıştır. Hesaplamalarda dönüşüm katsayıları sırasıyla protein için 4 kcal/g, yağ için 9 kcal/g, kullanılabilir karbonhidrat için 4 kcal/g ve diyet lifi için 2 kcal/g olarak alınmıştır (Denklem 3.12). Diyet lifi için kullanılan 2 kcal/g değeri, kolonda gerçekleşen kısmi fermantasyonu dikkate almaktadır. Bazı etiketleme sistemleri, diyet lifinin enerji değerini 0 kcal/g şeklinde varsaymaktadır; ancak bu çalışmada FAO'nun lif için önerdiği enerji katsayıları esas alınmıştır. Tüm kimyasal kompozisyon sonuçları yaş ağırlık esasına göre ifade edilmiştir.

$$\text{Enerji}\,(\text{kcal}/100\,\text{g}) = (\text{Protein} \times 4) + (\text{Yağ} \times 9) + (\text{Karbonhidrat} \times 4) + (\text{Diyet lifi} \times 2) \quad \textbf{(3.12)}$$

Kalsiyum (Ca), potasyum (K), magnezyum (Mg), sodyum (Na) ve fosfor (P) elementleri NMKL No. 186 yöntemine uygun olarak indüktif eşleşmiş plazma – kütle spektrometresi (ICP – MS, Agilent 7500 CX, ABD) ile tayin edilmiştir (NMKL, 2007). Homojenize edilmiş örneklerden 0,5 g alınarak mikrodalga çözme sistemi (Ethos Up, Milestone, İtalya) içinde %65 HNO_3 ve %30 H_2O_2 kullanılarak sindirilmiştir. Ölçümler, çok elementli standart çözelti (Standard VI, Merck, Almanya) kullanılarak oluşturulan doğrusal kalibrasyon eğrileri ($R^2 > 0,999$) üzerinden gerçekleştirilmiş; analize ait cihaz çalışma koşulları ve kalibrasyon parametreleri Çizelge 3.3'te sunulmuştur. Kantitatif analizlerde doğrusal kalibrasyon eğrileri kullanılmıştır. Kalibrasyon eğrileri makro

elementler için 0,1 – 25 mg/L konsantrasyon aralığında altı farklı konsantrasyon seviyesini kapsayacak şekilde hazırlanmıştır. Kalibrasyon standartları, her bir element için 1000 mg/L derişime sahip stok standart çözeltilerinin uygun oranlarda seyreltilmesiyle hazırlanmış; seyreltici ortam olarak %2 (v/v) HNO_3 ve %0,5 (v/v) HCl içeren asidik çözelti kullanılmıştır.

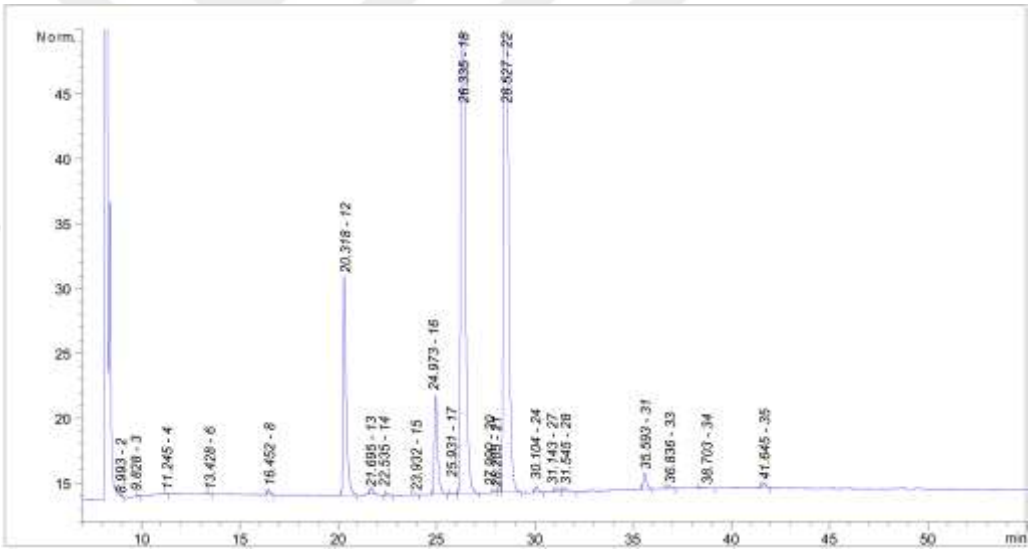
Çizelge 3.3. Mineral analizlerinde kullanılan ICP – MS cihazının çalışma koşulları

Cihaz parametresi	Çalışma koşulu
RF gücü	1550 W
RF frekansı	27,06 MHz
Plazma gazı	Argon (Ar)
Plazma gazı akış hızı	14,98 L/dk
Taşıyıcı gaz akış hızı	0,99 L/dk
Çarpışma/hücresi modu	Helyum modu
Numune alım hızı	0,7 mL/dk
Sprey odası sıcaklığı	2 °C
Nebülizatör pompa hızı	−0,4 rps
İç standartlar	Sc (^{45}), Ge (^{72}), Rh (^{103}), Bi (^{209})
Belirlenen elementler	Ca, K, Mg, Na, P
Kalibrasyon yöntemi	Çok seviyeli harici kalibrasyon
Sonuçların ifade birimi	mg/kg

3.2.4. Yağ asidi kompozisyonun belirlenmesi

Yağ asidi metil esterlerinin (FAME) hazırlanmasında, ISO standartlarında tanımlanan bazik koşullarda uygulanan trans – metilasyon yöntemi kullanılmış, işlem sırasında yönteme bazı uyarlamalar yapılmıştır (ISO, 2014a, 2014b, 2014c). Her örnekten ekstrakte edilen 0,1 g yağ, 2 ml'lik vidalı kapaklı cam tüpe aktarılmış ve kuvvetlice çalkalanarak 2 ml heptan içinde çözülmüştür. Metilasyon işlemi için 0,2 ml CH_3OH içindeki 2 N potasyum hidroksit (KOH) çözeltisi eklenmiş ve karışım 4500 – 5000 rpm'de (Sigma 2 – 16 P, Osterode, Almanya) santrifüj edilmiştir. FAME'leri içeren şeffaf üst faz toplanmış ve gaz kromatografisi (GC) viallerine aktarılmıştır. Analiz hemen yapılmayacaksa, numuneler 4 °C'de 12 saatten fazla olmamak üzere saklanmıştır. FAME bileşimi, alev iyonizasyon dedektörüne (FID) sahip bir gaz

kromatografı (Agilent 7890A, ABD) ve HP – 88 kapiler kolonu (100 m × 0,25 mm iç çap, 0,20 µm film kalınlığı; Agilent, ABD) kullanılarak belirlenmiştir. Analizler 50:1 bölme oranı ile yürütülmüştür. Taşıyıcı gaz olarak helyum (29,06 mL/dk), alev gazı olarak ise hidrojen (30 ml/dk) ve kuru hava (400 ml/dk) kullanılmıştır. Enjektör ve dedektör sıcaklıkları sırasıyla 250 °C ve 255 °C olarak ayarlanmıştır. Fırın sıcaklık programında, başlangıçta 130 °C'de başlatılan ısıtma işlemi 4 °C/dk hızla 170 °C'ye kadar sürdürülmüştür. Daha sonra sıcaklık 1,7 °C/dk hızla 215 °C'ye yükseltilmiş ve bu sıcaklıkta 20 dk boyunca sabit tutulmuştur. Son aşamada ısıtma hızı 10 °C/dk olarak ayarlanmış, sıcaklık 240 °C'ye çıkarılmış ve 1 dk süreyle bu sıcaklıkta bekletilmiştir. Enjeksiyon hacmi 0,2 µl olup analizler 242 kPa sabit basınç altında gerçekleştirilmiştir. Tek tek yağ asitlerinin tanımlanması, elde edilen alıkonma sürelerinin sertifikalı FAME referans standartları ile karşılaştırılması yoluyla yapılmıştır (Şekil 3.6).



Şekil 3.6. Vegan muffin örneklerinin tipik kromatogramı. (2) C6:0 (8,99); (3) C8:0 (9,83); (4) C10:0 (11,25); (6) C12:0 (13,43); (8) C14:0 (16,45); (12) C16:0 (20,32); (13) C16:1 (21,69); (14) C17:0 (22,54); (15) C17:1 (23,93); (16) C18:0 (24,97); (17) C18:1t (25,93); (18) C18:1 (26,34); (20) C18:2t (27,99); (21) C18:2t (28,05); (22) C18:2 (28,53); (24) C20:0 (30,10); (27) C21:0 (31,34); (28) C22:0 (35,59); (33) C22:1 (36,84); (34) C22:2 (38,70); (35) C24:0 (41,65).

Kantitatif analiz, pik alanı normalizasyonu esasına göre gerçekleştirilmiş ve her bir FAME'in toplam pik alanına göre bağıl yüzdesi (%) hesaplanmıştır. Yağ asitleri,

içerdikleri çift bağ sayısına göre sınıflandırılır. Çift bağ içermeyenler doymuş yağ asitleri (SFA), bir çift bağ içerenler tekli doymamış yağ asitleri (MUFA), iki veya daha fazla çift bağ içerenler çoklu doymamış yağ asitleri (PUFA) ve tüm doymamış yağ asitlerini kapsayan grup toplam doymamış yağ asitleri (TUFA) olarak adlandırılır.

Toplam SFA, MUFA, PUFA ve TUFA miktarları, ilgili yağ asitlerinin toplamı alınarak hesaplanmış ve sonuçlar hem toplam yağ asitleri içindeki yüzde oranı hem de örnek başına g/100 g olarak, toplam yağ içeriği dikkate alınarak ifade edilmiştir.

3.2.5. Fenolik ekstraksiyon, *in vitro* sindirim modeli ve toplam fenolik madde ile toplam antioksidan kapasite analizleri

Fenolik bileşenler, süt ve bitkisel kaynaklı örnekler de dahil olmak üzere, hem muffin formülasyonlarında hem de bu muffinlerin hazırlanmasında kullanılan çeşitli süt ikamelerinde belirlenmiştir. Ekstraksiyon, 2 g ince öğütülmüş muffin veya 5 ml süt örneğinin, %75 sulu CH_3OH içinde %0,1 formik asit içeren 5 ml çözelti ile karıştırılmasıyla gerçekleştirilmiştir. Süspansiyonlar, 20 °C'de termostatlı bir su banyosunda (WNB 22; Memmert, Almanya) 15 dakika çalkalanmış ve ardından 9000 rpm'de 10 dakika süreyle santrifüj edilmiştir (3K30; Sigma, Almanya) (Koç ve Ömeroğlu, 2019). Ekstraksiyon işlemi bir kez daha tekrarlanmış ve elde edilen üst fazlar birleştirilerek toplam fenolik madde içeriği (TPC) ve toplam antioksidan kapasite (TAC) analizleri yapılana kadar −20 °C'de saklanmıştır.

Biyoerişilebilirlik, ağız, mide ve ince bağırsak aşamalarını taklit eden *in vitro* bir sindirim protokolü kullanılarak değerlendirilmiştir (Minekus ve ark., 2014). Oral aşama için, 10 g muffin veya 10 ml süt örneği, 10 ml simüle tükürük sıvısı (SSF), 0,2 ml α – amilaz çözeltisi (1500 U/ml) ve 25 µl 0,3 M $CaCl_2$ ile homojenize edilmiştir; karışım 37 °C'de 2 dakika inkübe edilmiştir. Gastrik aşamada, karışıma 20 ml simüle edilmiş mide sıvısı (SGF), 0,4 ml pepsin çözeltisi (25.000 U/ml) ve 5 µl 0,3 M $CaCl_2$ eklenmiştir; pH, 1 M HCl kullanılarak 3,0'e ayarlanmış ve karışım 37 °C'de 2 saat inkübe edilmiştir. İnce bağırsak aşamasında, oluşan kimus 20 ml simüle edilmiş bağırsak sıvısı (SIF), 1 ml pankreatin – safra ekstraktı (800 U/ml pankreatin ve 10 mM safra tuzu içeren) ve 40 µl

0,3 M $CaCl_2$ ile karıştırılmıştır. pH, 1 M NaOH kullanılarak 7,0'a ayarlanmış ve karışım 37 °C'de 2 saat daha inkübe edilmiştir. Her aşamadan alınan örnekler -20 °C'de analiz için saklanmıştır.

TAC, DPPH (2,2-difenil-1-pikrilhidrazil) ve CUPRAC (Bakır(II) indirgeme antioksidan kapasitesi yöntemi) yöntemleriyle belirlenmiştir. DPPH analizinde, 0,1 ml ekstrakt 3,9 ml 0,1 mM DPPH'nin metanollü çözeltisi ile karıştırılmış, vortekslenmiş ve 25 ± 2 °C'de karanlıkta 30 dk bekletildikten sonra 517 nm'de absorbans ölçülmüştür. CUPRAC analizinde, 1,0 ml $CuCl_2$ (10 mM), 1,0 ml neokuproin (etanolde 7,5 mM), 1,0 ml amonyum asetat tamponu (1 M, pH 7,0) ve 0,5 ml ekstrakt karıştırılmış, 25 ± 2 °C'de 30 dk inkübe edilmiş ve 450 nm'de absorbans ölçülmüştür. Trolox, referans bileşiği olarak kullanılmış; DPPH için 0 – 250 μmol/l (R^2 = 0,9998) ve CUPRAC için 0 – 1,0 mmol/l (R^2 =0,9997) aralıklarında kalibrasyon eğrileri hazırlanmıştır. Sonuçlar, kuru madde başına miligram Trolox eşdeğeri (TE) olarak ifade edilmiştir.

TPC, Folin – Ciocalteu yöntemiyle belirlenmiştir (Apak ve ark., 2004; Kumaran, 2006; Sedat Velioglu ve ark., 2006). Kısaca, 0,5 ml ekstrakt 2,5 ml %10 Folin – Ciocalteu reaktifi ile karıştırılmış ve 5 dk bekletilmiştir. Ardından 2,0 ml %7,5 sodyum karbonat çözeltisi eklenmiş ve karışım 25 ± 2 °C'de karanlıkta 60 dk inkübe edilmiştir. Absorbans 765 nm'de ölçülmüştür. Kantifikasyon, 0 – 250 mg/l (R^2 = 0,9947) aralığında hazırlanan gallik asit standart eğrisi kullanılarak yapılmıştır. Sonuçlar, 100 g örnek başına mg gallik asit eşdeğeri (GAE) olarak ifade edilmiştir.

Fenolik bileşiklerin biyoyararlanımı, sindirim sonrası elde edilen TPC ve TAC değerlerinin sindirilmemiş örneklere ait değerlerine oranının yüzde olarak hesaplanmasıyla belirlenmiştir.

3.2.6. Amino asit kompozisyonunun belirlenmesi

Muffin formülasyonlarının amino asit profili, diyot dizisi dedektörü (DAD) ile donatılmış yüksek performanslı sıvı kromatografi (HPLC) sistemi (1260 Infinity II; Agilent Technologies, ABD) kullanılarak Ege Üniversitesi Merkez Araştırma

Laboratuvarı (MATAL) bünyesinde belirlenmiştir (Agilent Technologies, 2021; Drabińska, 2022).

Serbest amino asitlerin belirlenmesi için, yaklaşık 0,5 g ince öğütülmüş muffin örneği, kuru buz içeren buz banyosunda 25 ml 0,1 N HCl içinde dağılmış ve Ultra – Turrax (IKA T25; Almanya) ile 8 dk homojenize edilmiştir. Homojenat, 4 °C'de 5240 × g'de 20 dk santrifüj edilmiş ve elde edilen süpernatant 0,45 µm PVDF membranlardan süzülmüştür. Kalan proteinleri uzaklaştırmak amacıyla, 200 µl ekstrakt 800 µl asetonitril ile karıştırılmış ve aynı koşullar altında tekrar santrifüj edilmiştir. Elde edilen berrak üst fazlar HPLC enjeksiyonu için amber renkli şişelere aktarılmıştır.

Toplam amino asitler, ek olarak alınan 0,5 g örneğin 5 ml 6 N HCl ile hidrolize edilmesiyle belirlenmiştir. Çözeltiye 250 µl 2 mM fenol (oksidatif bozunmayı önlemek için) ve 2 ml %2 aseton – HCl (a/h) 2,2'-ditiyobis(5-nitropiridin) (DTDPA, sistin ve metiyonini stabilize etmek için) eklenmiştir. Tüpler sızdırmaz biçimde kapatılarak 110 °C'de 24 saat hidroliz edilmiştir. Hidroliz sonrasında, sindirim ürünleri pH 6,7 – 7,3 aralığında nötralize edilmiş, damıtılmış suyla 100 ml'ye seyreltilmiş, 4000 rpm'de 5 dk santrifüj edilmiş ve süzülmüştür. Elde edilen çözeltilerden 1 ml'lik örnekler alınarak HPLC analizine uygun vial şişelere aktarılmıştır.

Kolon öncesi türevleme (pre – column derivatization), o-ftalaldehit (OPA), fluorenilmetiloksikarbonil klorür (FMOC) ve 3-merkaptopropiyonik asit (3 – MPA) reaktifleri kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Ayırma işlemi, 40 °C'de tutulan bir ZORBAX Eclipse AAA kolonu (4,6 × 150 mm, 5 µm; Agilent) üzerinde, 1,5 ml/dk akış hızında yapılmıştır. Mobil faz, sodyum fosfat tamponu (pH: 7,8) ile asetonitril/metanol/su (45:45:10, v/v/v) karışımından oluşmuştur. Enjeksiyon hacmi 10 µL'dir. Dedeksiyon 338 nm'de gerçekleştirilmiş, kromatogramlar OpenLAB CDS ChemStation yazılımı (Agilent Technologies, ABD) ile işlenmiştir.

Kantifikasyon, örneklerin pik alanlarının, sertifikalı bir amino asit standart karışımından (Agilent, ABD; her biri 2,5 mM derişimde 17 amino asit içeren) elde edilen pik alanlarıyla karşılaştırılmasıyla yapılmıştır. Kalibrasyon eğrileri (0,1 – 2,5 µM) tüm

standart maddeler için $R^2 > 0,9990$ değerini göstermiştir. Standart çözeltiler −20 °C'de, karanlıkta saklanmıştır. Sonuçlar, 100 g örnek başına g amino asit olarak ifade edilmiştir. Hem esansiyel hem de esansiyel olmayan amino asitler nicel olarak belirlenmiş, ayrıca hidrolizatlarda triptofanın bulunması, tam bir amino asit profilinin elde edilmesini sağlamıştır. Örneklere ait kromatogramlar Ek 1 ve Ek 2'de verilmiştir.

3.2.7. Raf ömrü analizleri

Gerçek zamanlı raf ömrünü değerlendirmek amacıyla, muffinler pişirme işleminin ardından soğutulmuş ve çift katmanlı, sızdırmaz polietilen torbalara paketlenmiştir. Örnekler, ortam koşullarında (25 ± 2 °C sıcaklık, %60 ± 5 bağıl nem) 30 gün boyunca depolanmıştır. Raf ömrü değerlendirmeleri, fırın ürünlerinde kısa süreli depolama süresince meydana gelen değişimlerin izlenmesinde yaygın olarak kullanılan üç zaman noktasında (0., 15. ve 30. günlerde) gerçekleştirilmiştir (Yazici ve ark., 2023). Her bir depolama noktasında fiziksel ve kimyasal özellikler 3.2.2 – 3.2.3 bölümlerinde açıklanan yöntemlere göre analiz edilmiştir. Analiz kapsamında nem, kül, yağ, tekstür ve renk özellikleri incelenmiştir.

Mikrobiyolojik kalite 0., 15. ve 30. günlerde değerlendirilmiştir. Analizler için 1 g muffin örneği peptonlu suda homojenize edilmiş, 10^{-2} seviyesine kadar seyreltilmiş ve yayma plaka yöntemi kullanılarak ekim yapılmıştır (ISO, 2018). Analizlerde toplam mezofilik aerobik bakteri, küf ve maya, *Escherichia coli*, *Salmonella* spp. ve *Staphylococcus aureus* incelenmiştir. Toplam aerobik canlı sayımı için Plate Count Agar (PCA) kullanılmış ve petriler 30 °C'de 72 saat inkübe edilmiştir. Küf ve maya sayımı için Dichloran Rose Bengal Chloramphenicol Agar (DRBCA) kullanılmış ve petriler 25 °C'de 5 gün süreyle inkübe edilmiştir. *E. coli* ve *Salmonella* spp.'nin tespiti, seçici zenginleştirme sonrası Tryptone Bile X – glucuronide Agar (TBX) besiyerinde gerçekleştirilmiş; *E. coli* için 44 °C'de 18 – 24 saat, *Salmonella* spp. için 37 °C'de 24 saat inkübasyon uygulanmıştır. *S. aureus* izolasyonu Baird – Parker Agar (BPA) üzerinde 37 °C'de 48 saat inkübasyonla yapılmış ve koagülaz testi ile doğrulanmıştır.

Tüm mikrobiyolojik analizler, dış kontaminasyonu en aza indirmek amacıyla aseptik koşullar altında yürütülmüştür. Mikrobiyolojik değerlendirmeler standart güvenlik kriterlerine göre yorumlanmıştır: 25 g örnekte *E. coli* ve *Salmonella* spp.'nin bulunmaması, ayrıca *S. aureus* sayısının 10 kob/g değerinin altında olması kabul edilebilir sınır olarak değerlendirilmiştir (TGK, 2025).

3.2.8. Muffin örneklerinin hedonik duyusal değerlendirilmesi

Duyusal değerlendirmeye, yaşları 18 ile 47 arasında değişen, 12'si kadın ve 12'si erkek olmak üzere toplam 24 kişiden oluşan eğitimli bir panel grubu katılmıştır. Tüm panelistler, Maltepe Üniversitesi Gastronomi ve Mutfak Sanatları Bölümü'nden öğrenci veya akademisyen olup, muffin ürünlerini düzenli olarak tüketen kişilerden seçilmiş ve uluslararası duyusal değerlendirme standartlarına göre eğitilmiştir (ISO 2012; ISO 2017). Muffin örnekleri plastik tabaklara yerleştirilmiş ve rastgele atanan üç haneli sayılarla kodlanmıştır. Duyusal analizler, kabuk rengi, iç renk (gözenek rengi), aroma, tat/lezzet, görünüm, yumuşaklık ve genel beğeni olmak üzere yedi özelliğe göre gerçekleştirilmiştir (Ek 3). Değerlendirmede 1'in "çok kötü", 9'un ise "mükemmel" olarak tanımlandığı 9 puanlı hedonik ölçek kullanılmıştır. Ortalama puanı 5 veya üzerinde olan örnekler kabul edilebilir ve tüketime uygun olarak değerlendirilmiştir. Tüm değerlendirmeler, 22 ± 1 °C sıcaklıkta ve nötr aydınlatma koşullarında gerçekleştirilmiştir. Örnekler arasında damak temizliği sağlamak için tuzsuz galeta ve oda sıcaklığında su verilmiştir. Duyusal analiz için etik onay, Maltepe Üniversitesi'nden 28 Kasım 2024 tarihinde alınmıştır (Onay No: 2024/22−09; Ek 4).

3.2.9. Muffin örneklerinde nicel tanımlayıcı duyusal analiz (QDA)

Bu çalışmada hazırlanan kek örneklerinin duyusal özelliklerini sistematik ve ölçülebilir biçimde tanımlamak amacıyla Nicel Tanımlayıcı Analiz (Quantitative Descriptive Analysis, QDA) uygulanmıştır. Yöntem, duyusal bilim alanında yaygın kabul gören uluslararası standartlar ile Stone ve ark.'ın tanımladığı QDA prensipleri doğrultusunda yapılandırılmıştır (ISO, 2008, 2012, 2017; Stone ve ark., 2020). QDA, tüketici beğenisini ölçmeyi amaçlayan hedonik yöntemlerden farklı olarak ürünün duyusal

profilini ayrıntılı biçimde ortaya koyan analitik bir tekniktir ve bu nedenle eğitimli bir panel ile yürütülmüştür.

Panelistler ISO 8586:2012 standardına uygun olarak seçilmiş 12 eğitilmiş bireyden oluşturulmuştur. QDA uygulamaları için önerilen panel büyüklüğü 8 – 12 kişi olduğundan, çalışma kapsamındaki örnek sayısı ve duyusal parametre çeşitliliği göz önüne alındığında 12 panelist uygun kabul edilmiştir. Panelistler sigara kullanmayan, duyusal algısı normal olan ve kek ürünlerini düzenli tüketen bireylerden seçilmiş; herhangi bir gıda alerjisi bulunmayan katılımcılar tercih edilmiştir. Panelistler değerlendirmeler öncesinde QDA yöntemine yönelik çok oturumlu bir eğitim sürecinden geçirilmiştir. Eğitim sürecinde öncelikle QDA'nın temel prensipleri, duyusal niteliklerin tanımlanması ve çizgisel skala kullanımı ayrıntılı biçimde açıklanmıştır. Ardından, muffin örnekleri üzerinde deneme tadımları yapılarak panelistlerin duyusal terminolojiye aşinalığı artırılmıştır. Eğitim ve oryantasyon oturumları sırasında, her bir duyusal niteliğin panelistler tarafından aynı algısal çerçevede değerlendirilmesini sağlamak amacıyla referans yoğunluk noktaları tanımlanmıştır. Bu referanslar, mutlak bir standart oluşturmak amacıyla değil; panelistler arasında algısal kalibrasyonu sağlamak, kavram birliğini güçlendirmek ve değerlendirme sırasında ölçek kullanımındaki bireysel farklılıkları azaltmak amacıyla kullanılmıştır (De Kock ve Magano, 2020; Khakasa ve ark., 2024).

Panelistlerle yapılan ortak değerlendirmeler sonucunda muffin örnekleri için görünüm, koku/aroma, tat ve doku kategorileri altında duyusal terminoloji Çizelge 3.4 ve Çizelge 3.5'te oluşturulmuştur. Her bir duyusal özellik için skalanın uç noktaları sözel olarak tanımlanmış, gerektiğinde düşük ve yüksek yoğunluğu temsil eden örnekler veya algısal açıklamalar kullanılarak panelistlerin zihninde referans noktaları oluşturulmuştur. Geliştirilen duyusal terminoloji, yumurta değişkenli kek örneklerinde görünüm (kabuk rengi, kırıntı rengi, gözenek büyüklüğü, gözenek homojenliği), koku/aroma (pişmiş ürün aroması, baklagil aroması, muz aroması, tahıl aroması), tat (tatlılık, çiğ baklagil aroması, acılık, ağızda kalan tat) ve doku (sertlik, nemlilik, yapışkanlık, çiğnenebilirlik, kohezivite, parçalanabilirlik) kategorilerini kapsamaktadır (Ek 5). Süt değişkenli kek örnekleri için ise terminoloji, görünüm (kabuk rengi, kırıntı rengi, gözenek büyüklüğü,

gözenek homojenliği), koku/aroma (pişmiş ürün aroması, tahıl aroması, fındığımsı aroma, baklagil aroması, bitkisel aroma), tat (tatlılık, tahılımsı tat, fındığımsı tat, acılık, ağızda kalan tat) ve doku (sertlik, nemlilik, çiğnenebilirlik, yapışkanlık, kohezivite, parçalanabilirlik) özelliklerini içermektedir (Ek 6) (Heetesonne ve ark., 2024; Kavak ve ark., 2025; Khakasa ve ark., 2024; Moura-Alves ve ark., 2022; Silva-Paz ve ark., 2025).

Çizelge 3.4. Farklı yumurta ikameleriyle üretilen muffin örneklerinin QDA değerlendirmesinde kullanılan duyusal özellikler, tanımlar ve çalışma koşulları

Özellik	Tanım	Çalışma koşulları	Ölçeklendirme	Referans: Kontrol muffin (CC)
Kabuk rengi	Ürün kabuğunda kahverengileşme yoğunluğu	0: Çok açık kabuk 15: Koyu kahverengi kabuk.	Çok açık (0) Çok koyu (15)	8,50±0,22
Kırıntı rengi	Kırıntı renginin koyuluğu	0: Çok açık iç renk 15: Koyu sarı — kahverengi iç renk.	Çok açık (0) Çok koyu (15)	8,95±0,31
Gözenek büyüklüğü	Kesitte gözlenen gözenek çapı	0: Çok küçük/sık gözenek 15: Büyük ve belirgin gözenek.	Küçük (0) Büyük (15)	7,37±0,18
Gözenek homojenliği	Gözeneklerin düzenliliği ve benzerliği	0: Heterojen/düzensiz 15: Homojen/düzenli ve iyi gelişmiş gözenek	Heterojen (0) Homojen (15)	10,39±0,17
Pişmiş ürün aroması	Kek/pastane pişmiş ürün aroması	0: Pişmiş ürün aroması algılanmıyor 15: Çok yoğun pişmiş kek aroması	0 (yok) 15 (çok yoğun)	10,89±0,38
Baklagil aroması (pişmiş dahil)	Aquafaba/baklagil çağrışımlı aroma	Aquafaba çözeltisi (%v/v): 0: su ~7,5: %25 aquafaba 15: %100 aquafaba	0 (yok) 15 (çok yoğun)	3,64±0,16
Muz aroması	Olgun muz püresine özgü meyvemsi/tatlı aroma yoğunluğu	Muz püresi – su karışımı (%w/v): 0: su ~7,5: %10 muz püresi 15: %20 muz püresi	0 (yok) 15 (çok yoğun)	4,07±0,25
Tahıl aroması	Tahıl/kepek/yulaf çağrışımlı aroma yoğunluğu	Yulaf unu karışımı (%w/v): 0: %0 ~7,5: %5 15: %10	0 (yok) 15 (çok yoğun)	7,60±0,20

Çizelge 3.4. Farklı yumurta ikameleriyle üretilen muffin örneklerinin QDA değerlendirmesinde kullanılan duyusal özellikler, tanımlar ve çalışma koşulları (devam)

Özellik	Tanım	Çalışma koşulları	Ölçeklendirme	Referans: Kontrol muffin (CC)
Tatlılık	Sakkaroz kaynaklı tatlı tat yoğunluğu	Sakkaroz çözeltisi (%w/v): 0: %0 ~7,5: %5 15: %15	0 (yok) 15 (çok yoğun)	8,53±0,22
Çiğ baklagil aroması	Özellikle istenmeyen ham/yeşil/ çiğ baklagil çağrışımı	Aquafaba çözeltisi (%v/v): 0: su ~7,5: %25 aquafaba 15: %100 aquafaba	0 (yok) 15 (çok yoğun)	3,43±0,18
Acılık	Dil üzerinde algılanan acı tat	Kafein çözeltisi (%w/v): 0: Su ~7,5: %0,05 15: %0,10	0 (yok) 15 (çok yoğun)	5,28±0,12
Ağızda kalan tat	Yutma sonrası tat/aroma kalıcılığı	0: Kalıcılık yok 15: Uzun süre kalıcı	0 (yok) 15 (çok yoğun)	4,55±0,17
Sertlik	İlk ısırmada algılanan kuvvet	0: Çok yumuşak 15: Çok sert. İlk ısırma kesici dişlerle yapılır.	Çok düşük (0) Çok yüksek (15)	9,34±0,18
Nemlilik	Ağızda nem hissi	0: Kuru/ufalanan 15: Çok nemli/ıslak hissiyat	Kuru (0) Çok nemli (15)	7,38±0,18
Yapışkanlık	Dişlere/ağız yüzeyine yapışma eğilimi	0: Yapışma yok 15: Belirgin yapışma	Yok (0) Çok yüksek (15)	6,40±0,16
Çiğnenebilirlik	Yutmaya hazır hale gelme için gereken enerji	0: Kolay çiğnenen 15: Uzun çiğneme gerektiren.	Düşük (0) Çok yüksek (15)	8,49±0,18
Kohezivite	Yapısal bütünlüğü koruma	0: Kolay dağılan 15: Kütle bütünlüğü yüksek	Düşük (0) Çok yüksek (15)	7,50±0,14
Parçalanabilirlik	Ufalanma/kırılganlık	0: Ufalanma yok 15: Aşırı ufalanan/kırılgan	Yok (0) Çok yüksek (15)	6,52±0,21

Çizelge 3.5. Farklı süt ikameleriyle üretilen muffin örneklerinin QDA değerlendirmesinde kullanılan duyusal özellikler, tanımlar ve çalışma koşulları

Özellik	Tanım	Çalışma koşulları	Ölçeklendirme	Referans: Kontrol muffin (CC)
Kabuk rengi	Ürün kabuğunda kahverengileşme yoğunluğu	0: Çok açık kabuk 15: Koyu kahverengi kabuk	Çok açık (0) Çok koyu (15)	8,46±0,20
Kırıntı rengi	Kırıntı renginin koyuluğu	0: Çok açık iç renk 15: Koyu iç renk	Çok açık (0) Çok koyu (15)	9,04±0,29
Gözenek büyüklüğü	Kesitte gözlenen gözenek çapı	0: Küçük 15: Büyük gözenek	Küçük (0) Büyük (15)	7,39±0,16
Gözenek homojenliği	Gözeneklerin düzenliliği ve benzerliği	0: Heterojen 15: Homojen/düzenli ve iyi gelişmiş gözenek	Heterojen (0) Homojen (15)	10,43±0,17
Pişmiş ürün aroması	Kek/pastane pişmiş ürün aroması	0: Pişmiş ürün aroması algılanmıyor 15: Çok yoğun pişmiş kek aroması	0 (yok) 15 (çok yoğun)	11,13±0,20
Tahıl aroması	Tahıl/kepek/yulaf çağrışımı	Yulaf unu süspansiyonu (%w/v): 0: %0 ~7,5: %5 15: %10	0 (yok) 15 (çok yoğun)	6,42±0,16
Fındığımsı aroma	Kavrulmuş kuruyemiş çağrışımı	Fındık ezmesi emülsiyonu (%w/v): 0: %0 ~7,5: %2 15: %5	0 (yok) 15 (çok yoğun)	5,80±0,16
Baklagil aroması	Baklagil çağrışımlı aroma	Aquafaba çözeltisi (%v/v): 0: Su ~7,5: %25 15: %100	0 (yok) 15 (çok yoğun)	3,34±0,17
Bitkisel aroma	Yeşil/otumsu çağrışım	Yeşil çay infüzyonu: 0: Su ~7,5: Orta dem (5 dk) 15: Yoğun dem (15 dk)	0 (yok) 15 (çok yoğun)	2,62±0,14

Çizelge 3.5. Farklı süt ikameleriyle üretilen muffin örneklerinin QDA değerlendirmesinde kullanılan duyusal özellikler, tanımlar ve çalışma koşulları (devam)

Özellik	Tanım	Çalışma koşulları	Ölçeklendirme	Referans: Kontrol muffin (CC)
Tatlılık	Sakkaroz kaynaklı tatlı tat yoğunluğu	Sakkaroz çözeltisi (%w/v): 0: Su ~7.5: %5 15: %15	0 (yok) 15 (çok yoğun)	8,67±0,17
Tahılımsı tat	Tahılsı tat yoğunluğu	Yulaf unu süspansiyonu (%w/v): 0: %0 ~7,5: %5 15: %10	0 (yok) 15 (çok yoğun)	6,46±0,15
Fındığımsı tat	Kuruyemiş tadı yoğunluğu	Fındık ezmesi emülsiyonu (%w/v): 0: %0 ~7,5: %2 15: %5	0 (yok) 15 (çok yoğun)	6,05±0,16
Acılık	Dil üzerinde algılanan acı tat	Kafein çözeltisi (%w/v): 0: Su ~7,5: %0,05 15: %0.10	0 (yok) 15 (çok yoğun)	3,38±0,18
Ağızda kalan tat	Yutma sonrası tat/aroma kalıcılığı	0: Kalıcılık yok 15: Uzun süre kalıcı	0 (yok) 15 (çok yoğun)	4,32±0,15
Sertlik	İlk ısırmada algılanan kuvvet	0: Çok yumuşak 15: Çok sert	Çok düşük (0) Çok yüksek (15)	8,39±0,18
Nemlilik	Ağızda nem hissi	0: Kuru 15: Çok nemli	Kuru (0) Çok nemli (15)	7,41±0,17
Yapışkanlık	Dişlere/ağız yüzeyine yapışma eğilimi	0: Yapışma yok 15: Belirgin yapışma	Yok (0) Çok yüksek (15)	6,35±0,11
Çiğnenebilirlik	Yutmaya hazır hale gelme için gereken enerji	0: Kolay çiğnenen 15: Uzun çiğneme gerektiren	Düşük (0) Çok yüksek (15)	8,54±0,14
Kohezivite	Yapısal bütünlüğü koruma	0: Kolay dağılan 15: Kütle bütünlüğü yüksek	Düşük (0) Çok yüksek (15)	7,39±0,16
Parçalanabilirlik	Ufalanma/kırılganlık	0: Ufalanma yok 15: Aşırı ufalanan	Yok (0) Çok yüksek (15)	6,34±0,15

Duyusal değerlendirmeler, uçları tanımlanmış 0 – 15 cm çizgisel skala kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Panelistler algıladıkları yoğunluğu skala üzerinde işaretlemiş, işaretlenen noktalar daha sonra ölçülerek sayısal değerlere dönüştürülmüştür. Örnekler üç haneli rastgele kodlarla sunulmuş, sunum sırası panelistler arasında rastgeleleştirilmiş tam blok düzenine (Randomized Complete Block Design, RCBD) göre planlanmıştır. Örnekler 22 ± 1 °C'de, 20 – 25 g'lık standart porsiyonlar halinde

sunulmuş; tadımlar arasında panelistlerin duyusal yorgunluğunu azaltmak amacıyla oda sıcaklığında su ve tuzsuz galeta ile ağız temizliği yapılmıştır.

3.2.10. İstatistiksel analiz

Tüm ölçümler üç tekrarlı olarak (n=3) gerçekleştirilmiştir. Formülasyonlara ilişkin ayrıntılar Çizelge 3.1 ve 3.2'de verilmiştir. Sonuçlar, ortalama değer ± standart sapma şeklinde ifade edilmiştir.

İstatistiksel analizler SPSS yazılımı (sürüm 21.0; SPSS Inc., Chicago, IL, ABD) kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Farklı bitkisel temelli yumurta ve süt ikamelerinin ölçülen parametreler üzerindeki etkisini değerlendirmek için ANOVA uygulanmıştır. Gruplar arasındaki ortalama farkların anlamlılığını belirlemek amacıyla Tukey post hoc testi kullanılmış ve anlamlılık düzeyi $p < 0,05$ olarak kabul edilmiştir.

Fizikokimyasal, yapısal, besinsel ve biyoaktif özellikler arasındaki ilişkileri incelemek için Pearson korelasyon katsayıları hesaplanmıştır. Formülasyonlar arasındaki örüntüleri belirlemek ve kümeleme davranışlarını görselleştirmek amacıyla çok değişkenli veri analizi kapsamında temel bileşen analizi (PCA) uygulanmıştır. Örnekleri genel fonksiyonel özelliklerine göre gruplamak için hiyerarşik kümeleme analizi (HCA) kullanılmış; bu analizde Ward bağlantı yöntemi ve benzerlik ölçütü olarak Öklidyen mesafe esas alınmıştır. PCA ve HCA analizleri başlangıçta SPSS yazılımı ile gerçekleştirilmiş, elde edilen dendrogram ve görselleştirmeler grafik sunumun geliştirilmesi amacıyla OriginPro 2025 yazılımında düzenlenmiştir.

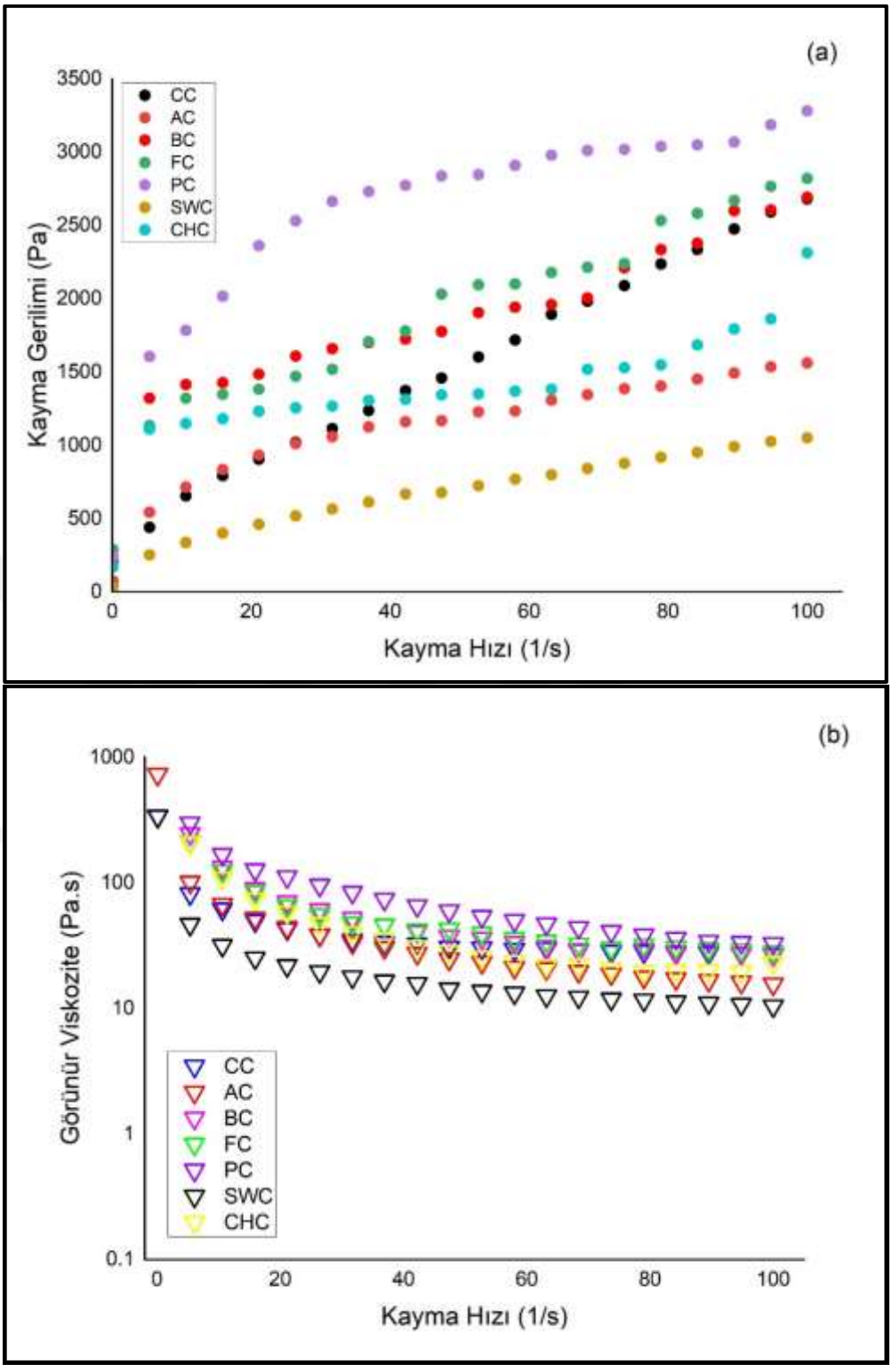
4. BULGULAR ve TARTIŞMA

4.1. Muffin Hamurlarının Reolojik Özellikleri

4.1.1. Farklı yumurta ikameleri ile üretilen muffinler

Muffin hamurlarının akışkanlık, elastikiyet ve viskozite dahil reolojik özellikleri, farklı yumurta ikamelerinin etkisini değerlendirmek amacıyla, reometre kullanılarak analiz edilmiştir. Uygun olmayan hamur viskozitesi, muffin kalitesini olumsuz etkileyebilmektedir. Yüksek viskozite gaz genişlemesini sınırlarken, düşük viskozite ise yapısal çöküşe yol açmaktadır. Dengeli bir hamur, pişirme sırasında uygun havalanma ve kararlı bir doku oluşumunu sağlamaktadır. Muffin hamurunun kıvamı, sabit kayma testleri kullanılarak incelenmiştir (Ozgolet ve ark., 2025). Farklı kayma hızlarında kayma gerilmesi ile görünen viskozite arasındaki ilişki Şekil 4.1'de gösterilmiştir.

Tüm muffin hamuru örnekleri, kayma hızının artmasıyla viskozitenin azaldığı ve kayma gerilmesinin arttığı kayma incelmesi (psödoplastik) davranışı sergilemiştir. Psyllium jeli (PC) ve keten tohumu jeli (FC) içeren hamurlar, diğerlerine kıyasla nispeten daha yüksek kayma gerilmesi ve viskozite değerleri göstermiştir. Bu durum, bu bileşenlerin güçlü su bağlama ve jel oluşturma özellikleri nedeniyle daha bütünleşik bir içyapıya katkıda bulunduğunu göstermektedir. Gluten içermeyen hamur formülasyonlarına psyllium jeli ilavesinin, hamur viskozitesini önemli ölçüde artırdığı ve muffinlerin nem tutma kapasitesi, yumuşaklık ve hacmini iyileştirdiği, böylece hamur yapısının güçlenmesine katkı sağladığı bildirilmiştir (Yeganeh ve ark., 2024). Benzer şekilde, keten tohumu jelinin, doku veya nemde bir bozulmaya neden olmadan muffin formülasyonlarında yumurta yerine kullanılabileceği görülmektedir. Bir çalışmada, %50'ye kadar keten tohumu jeli ile hazırlanan muffinlerin, yumurta içeren kontrol örnekleriyle karşılaştırılabilir bütünlük ve yapısal özellikleri koruduğu, keten tohumunun bir yumurta ikamesi olarak etkili olduğu bildirilmektedir (Sharma ve ark., 2024).



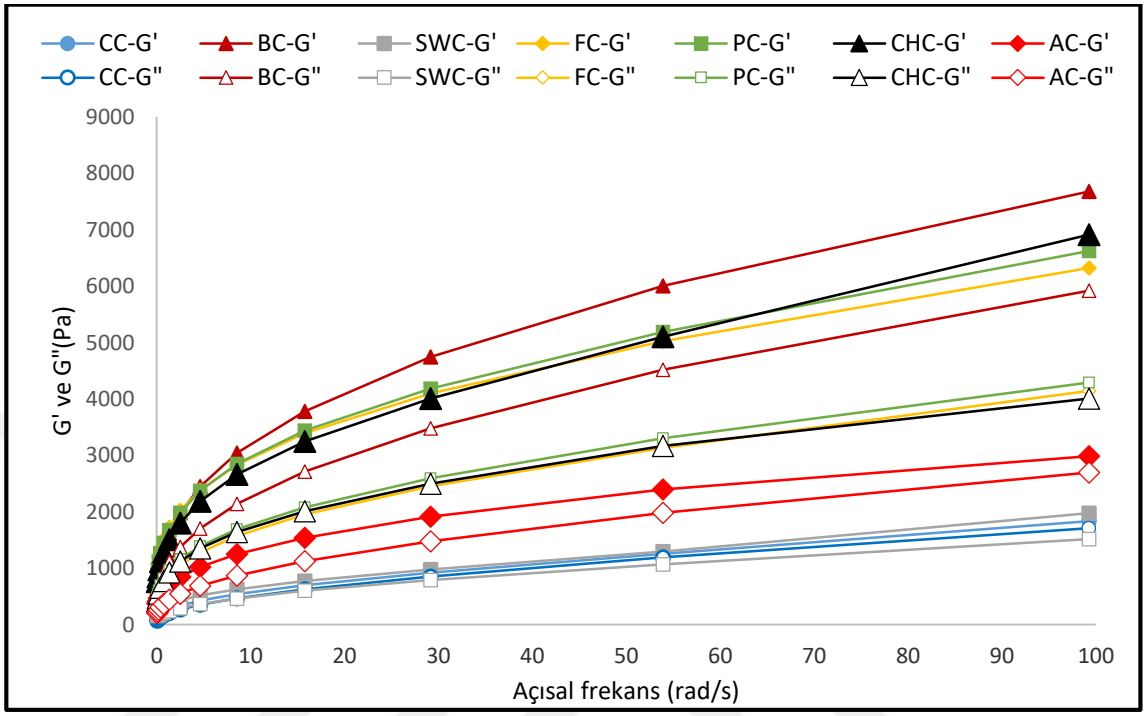
Şekil 4.1. Farklı yumurta ikameleriyle üretilen muffin hamurlarının akış davranışı (a) Kesme gerilimi ve kesme hızı, (b) Görünür viskozite ve kesme hızı.

Buna karşılık, çöven ekstraktı (SWC) ve aquafaba (AC) çok daha düşük değerler göstermiştir; bu da daha zayıf ağ oluşumu ve deformasyona karşı daha düşük direnç anlamına gelmektedir. Bu durum, bu bileşenlerin sınırlı ağ oluşturma yeteneğine bağlanabilir. Çöven saponin içeriği nedeniyle köpüklenmeyi artırma potansiyeli taşısa da, muffin hamuruna eklenmesi reolojik veya tekstürel özelliklerde belirgin bir gelişme sağlamamıştır. Yumurtanın %75'e kadar çöven ekstraktı ile değiştirilmesi durumunda bile hamur kıvamında veya muffin sıkılığında önemli bir değişim gözlenmediği ve çövenin ağ yapısını güçlendirmede sınırlı bir role sahip olduğu bildirilmiştir (Çelik ve ark., 2007). Benzer şekilde, aquafaba emülsifiye edici ve köpük oluşturucu özellikler sunsa da, yapılan çalışmalar aquafaba ile hazırlanan muffinlerin yaylanma, çiğnenebilirlik ve hacim bakımından yumurta bazlı kontrol örneğine göre daha düşük değerlere sahip olduğunu göstermiştir; bu da daha zayıf bir yapısal bütünlüğü yansıtmaktadır (Akbin ve ark., 2025; Yazici ve Ozer, 2021).

Bu bulgular, yumurta ikamelerinin muffin hamurlarının viskoelastik yapısını destekleme yeteneklerinde önemli farklılıklar gösterdiğini doğrulamaktadır. Hidrokolloid açısından zengin bileşenler, akış davranışı ve hamur kıvamının korunmasında daha etkili olmuştur. Bu özellikler, uygun muffin hacmi ve homojen iç doku elde edilmesi için gereklidir. Sonuçlar, reolojik performansın bitkisel bileşenin türüne ve hamur matrisindeki nişasta, protein ve liflerle olan etkileşimine büyük ölçüde bağlı olduğunu göstermektedir (Erkoç ve ark., 2021; Sharma ve ark., 2024).

Frekans tarama ölçümleri, hamur performansının anlaşılması açısından önemlidir, çünkü elastik (G′) ve viskoz (G″) modüller arasındaki dengeye ilişkin bilgi sağlamaktadır. G′ değeri bir örneğin elastik davranışını, G″ değeri ise viskoz davranışını temsil etmektedir (Tabilo-Munizaga ve Barbosa-Cánovas, 2005). G′ değerinin G″'den büyük olması, katı benzeri davranışı ve daha kararlı bir ağ yapısını göstermektedir. Bu durum, hamurun fermantasyon sürecindeki gaz tutma kapasitesini doğrudan etkilemekte ve pişirme esnasında stabil bir ürün yapısının oluşması için gerekli olan teknolojik altyapıyı teşkil etmektedir. Buna karşılık, yüksek G″ veya tan δ değerleri, zayıf elastik ağları ve baskın viskoz karakteri işaret etmektedir; bu durum hamur kararlılığını ve ürün dokusunu olumsuz etkileyebileceği rapor edilmiştir (Inanlar ve Altay, 2024). Depolama

modülü (G′) ve kayıp modülü (G″) frekansa bağlı olarak değişmiş, yüksek frekanslarda kayma incelmesi davranışı ve yapısal bozulma gözlenmiştir (Çizelge 4.1 ve Şekil 4.2).



Şekil 4.2. Farklı yumurta ikameleriyle üretilen muffin hamurlarının reolojik parametreleri, elastik modül (G′) ve viskoz modül (G″)

CC ve SWC örnekleri en düşük G′ ve G″ değerlerine sahip olup, daha akışkan bir hamuru göstermiştir. BC örneği ise en yüksek G′ değerini göstermiş, bu da daha güçlü bir elastikiyet ve katı benzeri bir yapı anlamına gelmiştir. Ancak, köpük oluşumuna katkı sağlayan saponin bakımından zengin olmasına rağmen, SWC, psyllium veya keten tohumu gibi hidrokolloid ve müsilaj açısından zengin ikamelerle karşılaştırıldığında viskoelastik davranışın güçlendirilmesinde daha az etkili olmuştur (Çelik ve ark., 2007). Sonuç olarak, farklı yumurta ikameleri içeren muffin hamurları deformasyon sonrasında yapıyı daha iyi koruyabilmiştir.

Çizelge 4.1'de gösterildiği üzere, BC örneği en yüksek depolama (G′ = 305,13 Pa) ve kayıp (G″=217,01 Pa) modüllerine sahip olup iyi gelişmiş bir viskoelastik ağ yapısı göstermiştir. Buna karşılık, CC örneği en düşük değerlere sahip olmuştur (G′ = 66,11 Pa; G″ = 48,44 Pa). Bitkisel bazlı formülasyonlar arasında, CHC örneği en güçlü

viskoelastik tepkiyi göstermiştir (G′ = 262,26 Pa; G″ = 187,11 Pa) ve bunu PC, FC, AC ve SWC izlemiştir. Daha önce yapılan çalışmalarda bitkisel proteinlerin G′ ve G″ değerlerini artırarak hamur sıkılığını güçlendirebileceği gösterilmiştir (Agrahar-Murugkar ve ark., 2016; Konal ve ark., 2025). Benzer şekilde, yumurta ikameleri ile formüle edilen muffinler, geleneksel formülasyonlara kıyasla daha yüksek elastikiyet ve viskozite göstermiştir. Bir çalışmada bitkisel proteinlerin, doku oluşturan jelimsi ağlar meydana getirmeleri sayesinde ürünün viskoelastik özelliklerini güçlendirdiği gösterilmiştir (Matos ve ark., 2014). Örnekler arasında en güçlü ağ yapısı BC hamurunda görülmüş; chia, psyllium ve keten tohumu jeli içeren hamurlar da viskoelastik davranışta belirgin artışlar göstermiştir. Yumurta ikamesinin türü ise hamurun elastikiyetini, viskozitesini ve tekstürel özelliklerini belirleyerek reolojik performansı doğrudan etkilemiştir.

Çizelge 4.1. Farklı yumurta ikameleriyle üretilen muffin hamurlarının G′ ve G″ değerlerini tanımlayan güç yasası fonksiyonlarına ait dinamik kayma parametreleri

	$G' = K'(\omega)^{n'}$			$G'' = K''(\omega)^{n''}$			tan δ
Örnek	**K' (Pa.s^n)**	**n'**	**R^2**	**K" (Pa.s^n)**	**n"**	**R^2**	
CC	598,32±17,49^{c}	0,46±0,07^{a}	0,94	532,25±23,31^{d}	0,53±0,12^{a}	0,94	0,85±0,02^{a}
AC	1235,10±29,01^{b}	0,30±0,05^{d}	0,99	970,55±15,82^{c}	0,42±0,14^{b}	0,96	0,71±0,01^{c}
BC	3090,70±38,97^{a}	0,37±0,04^{bc}	0,98	2268,70±21,68^{a}	0,41±0,18^{b}	0,96	0,71±0,00^{c}
FC	3065,00±24,64^{a}	0,31±0,08^{c}	0,95	1751,30±19,70^{b}	0,39±0,16^{c}	0,93	0,55±0,01^{e}
PC	3107,00±13,12^{a}	0,34±0,02^{c}	0,95	1906,60±27,22^{a}	0,38±0,13^{c}	0,92	0,60±0,00^{d}
SWC	818,10±13,12^{b}	0,38±0,02^{b}	0,88	604,89±12,55^{d}	0,44±0,09^{b}	0,87	0,75±0,01^{b}
CHC	3117,50±41,16^{a}	0,40±0,01^{b}	0,91	1782,50±20,47^{b}	0,38±0,11^{c}	0,94	0,62±0,01^{d}

Sonuçlar, ortalamalar ± standart sapma olarak gösterilmiştir. Sütunlar içinde farklı harflerle gösterilen ortalamalar anlamlı derecede farklıdır ($p < 0,05$). tan δ: 1,36 rad.s^{-1}'deki kayıp tanjantı. CC: Kontrol muffin, AC: Aquafaba muffin, BC: Muz muffin, FC: Keten tohumu muffin, PC: Psyllium muffin, SWC: Çöven muffin, CHC: Chia muffin

Kayıp tanjantı (tan δ) değerleri, viskoz davranışın elastik davranışa oranını (G″ / G′) temsil etmektedir ve muffin hamurlarının viskoelastik dengesine ilişkin bilgi sağlamaktadır. Düşük tan δ değerleri daha elastik (katı benzeri) yapıları, yüksek değerler ise daha viskoz davranış (akışkan benzeri) göstermektedir (Kırbaş ve ark., 2019). Vegan muffin hamuru formülasyonlarının kayıp tanjantı 0,55 ile 0,85 arasında değişmiştir. Tüm hamurların tan δ değerinin 1'den düşük olduğu görülmektedir.

Örnekler arasında en düşük tan δ değeri (0,55) FC hamurunda ölçülmüştür. Bu sonuç, hamurun belirgin biçimde elastik davrandığını ve iyi gelişmiş, jel benzeri bir ağ yapısına sahip olduğunu gösterebilir. Benzer şekilde, CHC ve PC örnekleri de sırasıyla 0,62 ve 0,60 değerleriyle nispeten daha düşük tan δ göstermiştir. Buna karşılık, CC örneği en yüksek tan δ değerine (0,85) sahip olmuş, SWC de yüksek bir tan δ değeri (0,75) sergilemiştir. BC ve AC orta seviyelerde tan δ değerleri göstermiştir (sırasıyla 0,71 ve 0,71). Hem bitkisel bazlı (muz, chia tohumu, soya sütü tozu) hem de yumurta içeren muffin hamurlarının tan δ değerlerinin 1'in altında olduğu ve baskın olarak elastik davranış sergilediği görülmektedir. Bu çalışmada yumurta içeren kontrol hamuru en yüksek tan δ değerini gösterirken, çeşitli bitkisel bazlı formülasyonlar daha elastik özellikler sergilemiş; bu durum, viskoelastik tepkilerin formülasyon bağlamına ve kullanılan yumurta ikamesinin türüne bağlı olarak değişebileceğini göstermiştir (Agrahar-Murugkar ve ark., 2018; Agrahar-Murugkar ve ark., 2016). Bu fark, yumurta ikamelerinin hamur reolojisi üzerindeki etkisinin tek tip olmadığını ve nişasta türü, lif içeriği veya protein fonksiyonelliği gibi diğer bileşenlerle etkileşimlere bağlı olabileceğini ortaya koymaktadır. Ayrıca, keten tohumu, psyllium veya chia gibi bazı bitkisel alternatiflerin, belirli formülasyonlarda yumurtanın oluşturduğu yapılara benzer veya onları aşan bütünleşik, elastik yapılar oluşturabileceğini de göstermektedir.

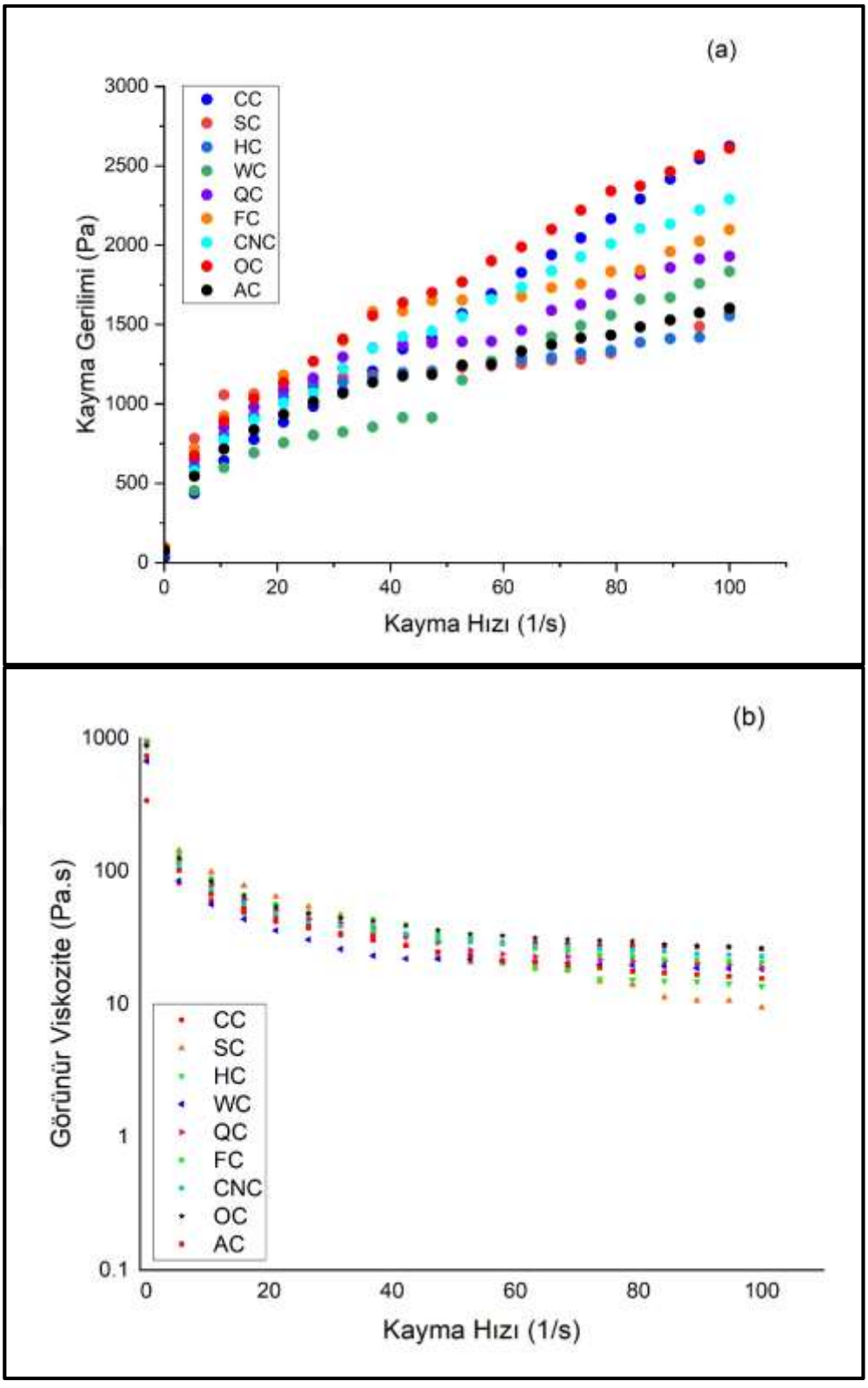
4.1.2. Farklı süt ikameleri ile üretilen muffinler

Muffin hamurlarının viskoelastik ve akış özellikleri, süt alternatiflerinin neden olduğu yapısal farklılıkları ortaya koymak amacıyla kontrollü gerilim modunda çalışan bir reometre ile incelenmiştir. Hamurun akmaya karşı gösterdiği direnç, ürünün pişme sürecindeki gaz tutma kapasitesini ve nihai doku yapısını doğrudan belirlemektedir. Çok yüksek viskozite, gaz kabarcıklarının genişlemesini kısıtlayarak sıkı ve ağır bir iç yapı oluştururken; aşırı düşük viskozite hamurun kendi ağırlığı altında akmasına ve pişme sırasında göçme riskinin artmasına yol açmaktadır. Bu nedenle uygun viskozite aralığının korunması, hem hacim gelişimi hem de homojen bir gözenek yapısının oluşması açısından kritik öneme sahiptir.

Yapılan reolojik ölçümler, süt türleri arasındaki yapısal farklılıkların hamurun akış davranışı üzerinde belirgin etkiler yarattığını göstermiştir (Ozgolet ve ark., 2025). Farklı süt türleri kullanılarak hazırlanan aquafaba bazlı muffin hamurlarının akış davranışı sabit kesme hızı testleri ile incelenmiş ve sonuçlar Şekil 4.3'te sunulmuştur. Tüm örnekler, artan kesme hızıyla birlikte görünür viskozitenin azaldığı Newtonsal olmayan davranış, kayma incelmesi (psödoplastik) davranışı göstermiştir. Bu tür akış, kek ve muffin hamurlarında yaygın olup, kesme kuvvetleri altında zayıf moleküller arası bağların bozulmasıyla ilişkilidir. Bununla birlikte, kullanılan süt türüne bağlı olarak belirgin farklılıklar gözlenmiştir. Hindistan cevizi sütü (CNC), yulaf sütü (OC) ve keten tohumu sütü (FC) ile hazırlanan hamurlar, daha yüksek kesme gerilimi ve viskozite değerleri göstermiştir. Bu durum, bu bitkisel sütlerdeki yüksek lipid ve çözünür lif fraksiyonlarının su tutma kapasitesini artırarak daha viskoz bir hamur matrisi oluşturmasından kaynaklanmaktadır (Ahmad ve ark., 2025; Chen ve ark., 2024; Troshchynska ve ark., 2022). Buna karşılık, badem sütü (AC) ve fındık sütü (HC) ile hazırlanan hamurlar, test edilen aralık boyunca daha düşük kesme gerilimi ve viskozite değerleri göstermiştir. Bu sonuç, daha zayıf yapısal ağlar ve daha akışkan bir kıvamla ilişkilidir (Şen ve Okur, 2023; Zhao ve ark., 2021). Kinoa sütü (QC) ve ceviz sütü (WC) orta düzeyde değerler sergilemiş, bu durum protein ve mineral bileşenlerinin hamur yapısına kısmi bir güçlendirme sağladığını göstermektedir (bkz. Çizelge 4.5). İnek sütüyle hazırlanan kontrol örneği (CC) ise yüksek ve düşük viskoziteli formülasyonlar arasında orta bir davranış göstermiştir.

Hidrofilik kolloidler veya zengin lifli bitkisel bileşenler, hamurlarda yüksek viskozite ve kararlılık sağlar. Buna karşın, düşük katı madde veya zayıf emülsiyonlu formülasyonlar daha akışkan sistemler oluşturur. Bu bulgular, literatürdeki önceki gözlemlerle de tutarlılık göstermektedir (Badia-Olmos ve ark., 2023; Hedayati ve ark., 2022; Peh ve ark., 2024).

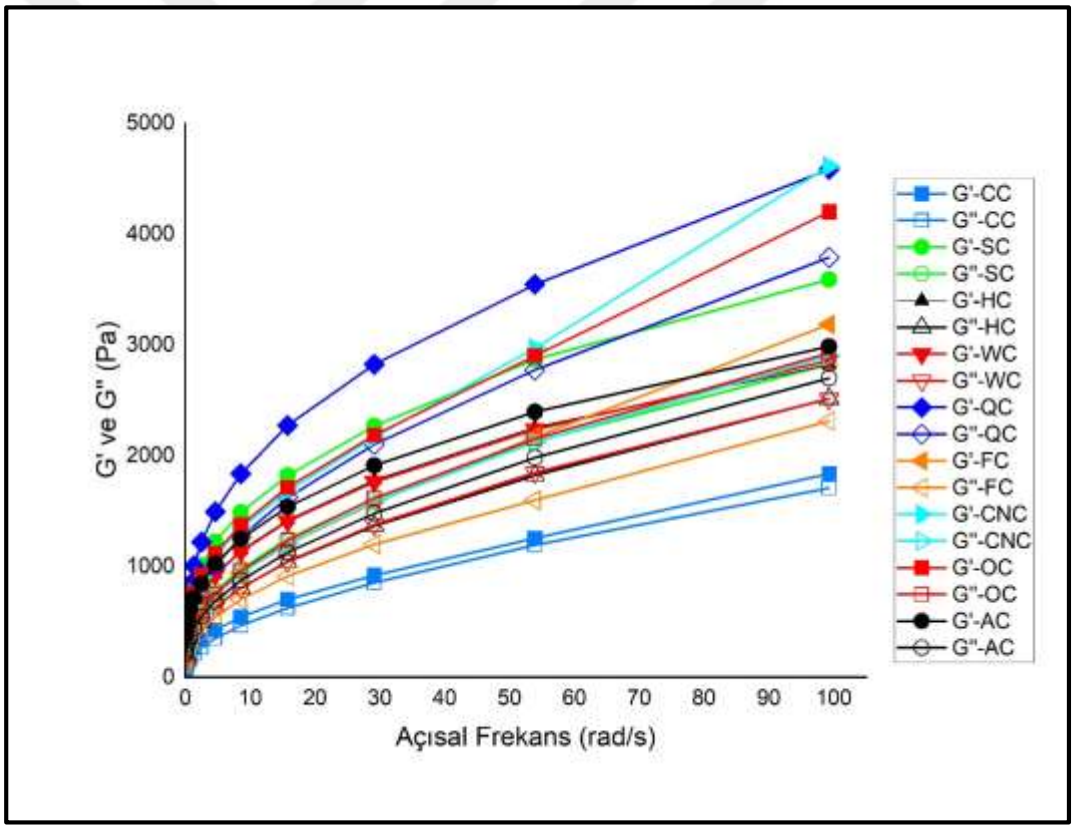
Kayma incelmesi davranışı tüm formülasyonlarda gözlenmiştir. Bu durum teknolojik açıdan avantaj sağlamaktadır; karıştırma sırasında havanın tutulmasını kolaylaştırır ve pişirme sürecinde gazın korunmasına yardımcı olur. Bununla birlikte, viskozitenin büyüklüğü süt bileşimine bağlı olarak önemli ölçüde değişmektedir.



Şekil 4.3. Farklı süt ikameleriyle üretilen muffin hamurlarının akış davranışı (a) Kesme gerilimi ve kesme hızı, (b) Görünür viskozite ve kesme hızı

Bu durum, bitkisel süt türünün aquafaba bazlı muffin hamurlarının yapısal güçlendirmesi ve akış davranışını belirlemede kritik bir rol oynadığını göstermektedir. Sonuçlar, lif veya lipid oranı yüksek sütlerin (hindistan cevizi, yulaf, keten tohumu) hamur kıvamını artırdığını, kuruyemiş bazlı sütlerin (badem, fındık) ise daha zayıf ağ yapıları oluşturduğunu göstermektedir. Bu bulgular, süt seçiminin aquafaba bazlı muffin formülasyonlarının reolojik performansını doğrudan etkilediğini ve bunun havalanma, genleşme ve son ürün dokusu üzerinde belirleyici olduğunu ortaya koymaktadır.

Aquafaba ve farklı süt alternatifleri ile hazırlanan muffin hamurlarının viskoelastik davranışı frekans tarama testleri ile incelenmiş, sonuçlar Şekil 4.4 ve Çizelge 4.2'de verilmiştir.



Şekil 4.4. Farklı süt ikameleriyle üretilen muffin hamurlarının reolojik parametreleri, elastik modül (G′) ve viskoz modül (G″)

Çizelge 4.2. Farklı süt ikameleriyle üretilen muffin örneklerinin G′ ve G″ değerlerini tanımlayan güç yasası fonksiyonlarına ait dinamik kayma parametreleri

	$G' = K'(\omega)^{n'}$			$G'' = K''(\omega)^{n''}$			tan δ
Örnek	**K' (Pa.s^n)**	**n'**	**R^2**	**K" (Pa.s^n)**	**n"**	**R^2**	
CC	598,32±17,49^{g}	0,46±0,03^{ab}	0,94	532,25±23,31^{f}	0,53±0,12^{a}	0,94	0,78±0,02^{a}
SC	1524,80±23,53^{c}	0,34±0,02^{c}	0,98	1099,00±13,62^{b}	0,43±0,03^{c}	0,94	0,61±0,01^{d}
HC	1048,20±35,48^{f}	0,30±0,05^{d}	0,99	906,83±18,23^{d}	0,45±0,02^{bc}	0,94	0,64±0,00^{cd}
WC	1076,40±16,25^{f}	0,30±0,03^{d}	0,99	933,78±20,18^{d}	0,46±0,05^{bc}	0,92	0,64±0,00^{cd}
QC	1671,60±15,22^{b}	0,30±0,02^{d}	0,99	1408,10±22,78^{a}	0,44±0,04^{bc}	0,94	0,65±0,00^{c}
FC	1183,40±22,62^{e}	0,49±0,04^{a}	0,91	777,07±20,65^{e}	0,48±0,09^{ab}	0,94	0,69±0,01^{b}
CNC	1838,30±19,13^{a}	0,46±0,04^{ab}	0,87	1089,50±12,33^{b}	0,44±0,03^{bc}	0,93	0,64±0,02^{cd}
OC	1706,20±29,52^{b}	0,42±0,03^{b}	0,90	1082,70±28,82^{b}	0,44±0,11^{bc}	0,93	0,63±0,02^{cd}
AC	1235,10±29,01^{d}	0,30±0,05^{d}	0,99	970,55±15,82^{c}	0,42±0,14^{c}	0,96	0,62±0,01^{cd}

Sonuçlar ortalama ± standart sapma şeklinde verilmiştir. Aynı sütun içinde farklı harflerle gösterilen ortalamalar arasındaki fark istatistiksel olarak anlamlıdır ($p < 0,05$). tan δ: 1,36 rad s^{-1}'de kayıp tanjantı. CC: Kontrol muffin, SC: Soya sütü muffin, HC: Fındık sütü muffin, WC: Ceviz sütü muffin, QC: Kinoa sütü muffin, FC: Keten tohumu sütü muffin, CNC: Hindistan cevizi sütü muffin, OC: Yulaf sütü muffin, AC: Badem sütü muffin.

Sabit kayma davranışının ötesinde, hamurların viskoelastik özelliklerini daha ayrıntılı değerlendirmek için dinamik salınım ölçümleri de yapılmıştır. Tüm formülasyonlarda G′ ve G″ değerleri frekansla birlikte artmıştır; bu da muffin hamurlarının zayıf jel benzeri ve kaymaya duyarlı doğasını doğrulamaktadır. Tüm örneklerde G′ değerlerinin G″ değerlerinden yüksek olması, elastik katkıların viskoz kayıplara baskın geldiğini ve bunun kararlı fırın ürünleri için tipik bir özellik olduğunu göstermektedir (Ozgolet ve ark., 2024).

Örnekler arasında, hindistan cevizi sütü (CNC) en yüksek K′ değerini (1838,30 Pa.sn) ve nispeten yüksek bir K″ değeri göstermiştir. Bu durum, CNC hamurlarının diğer formülasyonlara göre daha güçlü elastik direnç ve gelişmiş yapısal güçlendirme sergilediğini göstermektedir (Srivastava ve Semwal, 2015). Kinoa (QC) ve yulaf sütü (OC) hamurları da yüksek K′ değerleri (sırasıyla 1671,60 ve 1706,20 Pa.sn) göstermiştir; bu da katı benzeri ağ yapıları ve iyi kararlılık anlamına gelir. Buna

karşılık, badem (AC) ve fındık (HC) hamurları daha düşük K′ değerlerine (sırasıyla 1235,10 ve 1048,20 Pa.sn) sahip olmuştur. İnek sütü içeren kontrol örneği (CC), en düşük K′ değerini (598,32 Pa.sn) göstermiştir; bu da belirli bitkisel sütlerin aquafaba sistemlerinde güçlendirici rol oynadığını ortaya koymaktadır (Madhavi ve ark., 2025).

Kayıp tanjantı (tan δ) ek bilgiler sağlamıştır. Elastik baskınlığa daha yakın olan daha düşük tan δ değerleri SC (0,61), OC (0,63) ve CNC (0,64) örneklerinde gözlenmiştir. Bu sonuçlar, daha güçlü elastik katkılar ve daha iyi kararlılık anlamına gelir. Buna karşılık, FC (0,69) ve CC (0,78) örneklerinde daha yüksek tan δ değerleri belirlenmiştir. Bu durum, daha baskın viskoz karaktere ve dolayısıyla gaz tutma kapasitesinde azalma ile daha az kararlı içyapı oluşumuna işaret etmektedir (Crawford ve ark., 2024). AC ve HC örnekleri orta düzey tan δ değerleri (sırasıyla 0,62 ve 0,64) göstermiştir; bu da orta derecede viskoelastik dengeye, ancak CNC veya OC'ye kıyasla daha zayıf ağlara sahip olduklarını göstermektedir.

Bu bulgular, bitkisel bileşenlerde bulunan lif veya hidrofilik koloidlerin G′ değerini artırıp tan δ değerini düşürerek hamur kararlılığını ve pişirme performansını iyileştirdiğini bildiren önceki çalışmalarla örtüşmektedir. Formülasyonlar arasındaki farklılıkların, kullanılan bitkisel sütlerin bileşimindeki değişkenlikten (örneğin katı madde, protein ve lif içeriği) kaynaklanabildiği sonucuna varılmıştır (Badia-Olmos ve ark., 2023; Crawford ve ark., 2024; Moradi ve ark., 2025).

Frekans tarama analizi, süt türünün aquafaba bazlı muffin hamurlarının viskoelastik özelliklerini önemli ölçüde etkilediğini göstermiştir. Hindistan cevizi, yulaf ve kinoa sütleri, daha güçlü elastik ağlar ve daha düşük tan δ değerleri oluşturarak hamur kararlılığını artırmış ve pişirme sırasında gaz tutulumunu geliştirme potansiyeli göstermiştir. Buna karşılık, badem ve fındık sütleri daha zayıf yapılar oluşturmuş, bu da elastik güçlendirme kapasitesinin azaldığını göstermektedir. Bu reolojik eğilimlerin, son pişmiş ürünlerin dokusal özellikleri ve hacim gelişimi üzerinde doğrudan etkili olması beklenmektedir.

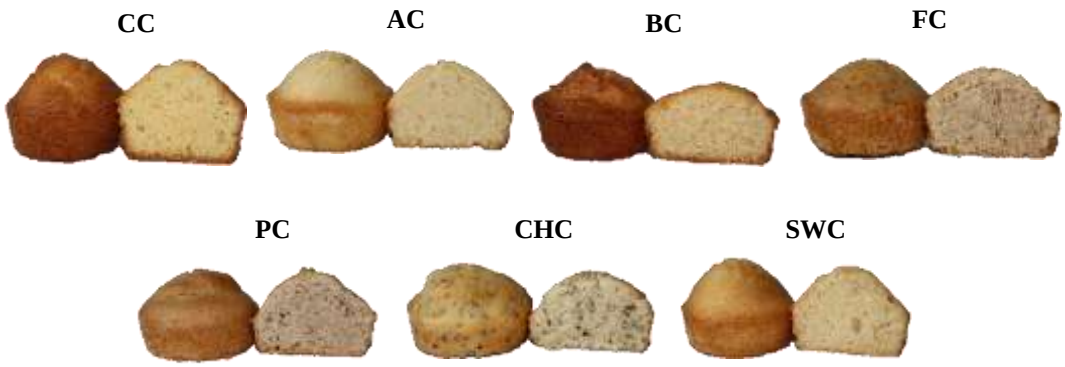
Genel olarak değerlendirildiğinde, yumurta ikamelerinin muffin hamurlarının reolojik özellikleri üzerindeki etkisinin, süt ikamelerine kıyasla daha belirgin ve belirleyici olduğu görülmektedir. Yumurta ikameleri, özellikle hidrokolloid ve müsilaj açısından zengin bileşenler (chia, psyllium ve keten tohumu jelleri) aracılığıyla hamurun viskoelastik ağ yapısını doğrudan güçlendirmiş, depolama modülü (G′), kayıp modülü (G″) ve tan δ değerlerinde anlamlı değişimlere yol açmıştır. Bu durum, yumurtanın hamur matrisinde yapı oluşturucu ve bağlayıcı temel bileşenlerden biri olmasından kaynaklanmaktadır. Buna karşılık, süt ikamelerinin etkisi daha çok hamurun akış davranışı ve viskozite düzeyi üzerinden ortaya çıkmış; lif ve lipid içeriği yüksek bitkisel sütler hamur kıvamını artırırken, kuruyemiş bazlı sütler daha akışkan sistemler oluşturmuştur. Ancak süt değişkenleri, yumurta ikamelerinde gözlenen ölçüde güçlü bir viskoelastik ağ modifikasyonu sağlamamıştır. Yumurta ikamelerinin hamurun reolojik özelliklerini esas olarak belirlediği, süt ikamelerinin ise bu özellikler üzerinde sınırlı ancak yönlendirici bir etki gösterdiği görülmüştür. Dolayısıyla, muffin formülasyonlarında yapısal kararlılığın ve elastik davranışın korunmasında yumurta ikamesinin türü kritik öneme sahipken, süt seçimi bu yapının incelenmesi ve akış özelliklerinin ayarlanmasında tamamlayıcı bir araç olarak değerlendirilebilir.

4. 2. Muffin Örneklerinin Fiziksel ve Tekstürel Özellikleri

4.2.1. Farklı yumurta ikameleri ile üretilen muffinler

Muffinlerin fiziksel özellikleri ve görünümleri sırasıyla Çizelge 4.3 ve Şekil 4.5'te sunulmuştur. Pişirme sonrasında en düşük pişme kaybı BC örneğinde (%4,83), en yüksek ise SWC örneğinde (%9,23) gözlenmiştir. CC, AC ve BC örnekleri daha düşük pişme kaybı gösterirken, FC, PC, SWC ve CHC örnekleri daha yüksek değerler sergilemiştir. Keten tohumu ve psyllium içeren FC ve PC örneklerinde gözlenen yüksek değerler, bu bileşenlerin çözünür lif özellikleri nedeniyle hamurda su tutmalarına rağmen pişirme sırasında şişme ve jel oluşumu kaynaklı su salımıyla ilişkili olabildiği sonucuna varılmıştır (Agrahar-Murugkar ve ark., 2018). Buna karşılık, SWC ve AC örneklerinde nispeten daha düşük pişme kaybı gözlenmiştir. Bu sonucun, *Saponaria officinalis* ve aquafabanın yüksek köpük oluşturma kapasitesi sayesinde hamur

matrisindeki hava ve nemi daha iyi stabilize etmesinden kaynaklandığı düşünülmektedir (Gonzalez ve Sörensen, 2020; Konal ve ark., 2025).



Şekil 4.5. Yumurta ve bitkisel yumurta ikameleri ile formüle edilen muffin örnekleri

Ortalama muffin yüksekliğini temsil eden hacim indeksi (VI) en yüksek değere CC örneğinde (119,00 mm) ulaşmış, bunu SWC (108,00 mm) ve AC (100,67 mm) örnekleri izlemiştir. Bu durum, tatmin edici kabarma özelliklerine işaret etmektedir. CHC (84,00 mm) ve BC (88,33 mm) örnekleri ise en düşük VI değerlerini göstermiştir; bu da daha sınırlı bir hacim artışını yansıtmaktadır. VI için belirlenmiş resmi bir eşik değeri olmamakla birlikte, 100 mm'nin üzerindeki değerler genellikle uygun muffin yapısı ile ilişkilendirilmektedir. Özellikle, protein bazlı köpük oluşumu ve pıhtılaşma mekanizmalarının hacmi artırdığı yumurta içeren formülasyonlarda bu durum gözlenmektedir. Agrahar-Murugkar ve ark. (2018) ile Rahmati ve Mazaheri Tehrani (2015) tarafından yapılan çalışmalarda, filizlenmiş unlar, muz veya soya sütü içeren keklerin yumurta içerenlere kıyasla daha düşük VI değerlerine sahip olduğu bildirilmiştir. Bu fark, artan hamur yoğunluğu ve karıştırma sırasında hava tutulumunun azalmasıyla açıklanmıştır. İstatistiksel analiz, örnekler arasındaki VI değerlerinin anlamlı derecede farklı olduğunu göstermiştir ($p < 0,05$). Bu sonuç, muffin yüksekliklerindeki görsel farklılıkları desteklemektedir (Şekil 4.5).

Sol ve sağ kenar yükseklikleri arasındaki mutlak fark olarak hesaplanan simetri indeksi (SI) 4,67 ile 10,33 mm arasında değişmiştir. Ölçülen SI değerleri, hiçbir örneğin pişirme sırasında yapısal çökme yaşamadığını göstermektedir (Bath ve ark., 1992; Gómez ve ark., 2008). Dadalı ve Elmacı (2019) tarafından bildirildiği üzere, pozitif SI değerleri

keklerde tipik olup, merkezin kenarlara göre daha yüksek olduğunu gösterir; bu durum, pişirme sırasında genişleme ve yapısal sabitleşme sürecinin sonucudur. Bununla birlikte, aşırı yüksek SI değerleri, hamurun eşit dağılmaması veya ısı gradyanları nedeniyle oluşan yüzey asimetrisini gösterebilir. Bu çalışmada, 4,67 mm'lik SI değeriyle BC örneği en simetrik profili göstermiştir. AC, FC ve SWC örneklerinde ise SI değerleri daha yüksek (≥ 10 mm) bulunmuştur; bu da daha kavisli veya düzensiz yüzeyleri işaret etmektedir. Bu farklılıklar istatistiksel olarak da anlamlıdır ($p < 0,05$) ve yumurta yerine kullanılan bileşenin yüzey simetrisi üzerinde ölçülebilir bir etkiye sahip olduğunu göstermektedir.

Merkez ve kenar yükseklikleri arasındaki ortalama mutlak fark olarak hesaplanan tekdüzelik indeksi (UI), muffinlerin yatay simetrisini ve yüzey düzgünlüğünü ölçmektedir. İdeal olarak, UI'nin sıfıra yakın olması tercih edilir; bu durum, eşit yükselme ve dengeli yüzey oluşumunu gösterir. Bu çalışmada UI değerleri 0,00 ile 1,00 mm arasında değişmiştir. BC, FC ve SWC örneklerinde UI değeri 0,00 mm olarak bulunmuştur. Bu sonuç, merkez ve kenar yüksekliklerinin neredeyse eşit olduğu son derece simetrik bir yapıyı göstermektedir.

Bu bulgular, düşük UI değerlerinin düzgün muffin morfolojisiyle ilişkili olduğunu bildiren önceki çalışmalarla uyumludur (Dadalı ve Elmacı, 2019). Ayrıca, istatistiksel analiz gruplar arasında anlamlı fark bulunmadığını göstermiştir ($p > 0,05$). Bu durum, yumurta yerine kullanılan bileşenin muffinlerin tekdüzeliği üzerinde belirgin bir etki yaratmadığını göstermektedir.

Reolojik analiz sonuçlarına göre, yüksek G′ değerine sahip örnekler daha sıkı hamurlar oluşturmuş ve bu durum hava tutulumunu sınırlayarak son muffin hacmini azaltmıştır. En yüksek G′ değerine sahip olan BC örneği, aynı zamanda düşük VI ve SI değerleri göstermiştir. Bu durum, sıkı hamurların pişirme sırasında kabarcık oluşumu ve genleşmeyi sınırladığını göstermektedir (Srivastava ve Semwal, 2015).

Çizelge 4.3. Farklı yumurta ikameleriyle hazırlanan muffin örneklerinin fiziksel özellikleri

		CC	AC	BC	FC	PC	SWC	CHC
Hacim								
Pişme Kaybı (%)		6,41±0,39^{bc}	5,63±1,03^{c}	4,83±0,63^{c}	8,91±0,16^{a}	8,16±0,64^{ab}	9,23±1,00^{a}	8,67±1,61^{ab}
VI (mm)		119,00±3,61^{a}	100,67±5,13^{bc}	88,33±4,93^{d}	93,00±1,00^{cd}	98,33±2,08^{c}	108,00±1,00^{b}	84,00±2,65^{d}
SI (mm)		9,00±1,00^{ab}	10,33±1,53^{a}	4,67±0,58^{b}	10,00±1,00^{a}	6,67±2,08^{ab}	10,00±2,65^{a}	7,00±1,00^{ab}
UI (mm)		1,00±1,00^{a}	1,00±1,73^{a}	0,00±1,00^{a}	0,00±1,73^{a}	0,67±1,53^{a}	0,00±1,00^{a}	0,33±0,58^{a}
Tekstür								
Sertlik (gf)		1284,74±104,18^{d}	1584,69±141,60^{d}	2220,74±110,34^{b}	1435,25±77,01^{d}	1747,63±199,09^{c}	1266,15±62,22^{d}	2735,73±76,35^{a}
Esneklik		0,91±0,01^{a}	0,88±0,02^{a}	0,72±0,03^{c}	0,74±0,03^{c}	0,76±0,02^{c}	0,81±0,02^{b}	0,73±0,01^{c}
Kohezivite		0,71±0,02^{a}	0,60±0,03^{b}	0,50±0,01^{c}	0,51±0,06^{c}	0,55±0,01^{bc}	0,52±0,01^{c}	0,51±0,02^{c}
Çiğnenebilirlik		828,54±70,46^{bc}	832,87±116,75^{bc}	799,28±75,46^{bc}	543,42±35,63^{d}	733,84±73,53^{c}	529,96±35,35^{d}	1012,27±21,87^{a}
Elastikiyet		0,33±0,04^{a}	0,26±0,020^{ab}	0,19±0,05^{b}	0,21±0,06^{b}	0,22±0,01^{b}	0,22±0,01^{b}	0,20±0,01^{b}
Renk								
Kabuk	*L**	58,98±3,05^{c}	69,12±1,96^{ab}	56,17±3,52^{c}	63,45±4,34^{b}	58,18±2,81^{c}	73,17±1,31^{a}	68,15±2,00^{ab}
	*a**	12,47±1,88^{a}	3,21±1,83^{c}	8,80±2,31^{b}	2,82±0,78^{d}	4,48±0,36^{c}	1,64±0,85^{e}	0,38±0,87^{f}
	*b**	30,99±2,86^{a}	25,92±2,26^{b}	24,16±1,03^{b}	16,58±1,80^{d}	12,15±1,16^{e}	21,29±1,24^{c}	17,01±2,03^{d}
	ΔE	-	18,14±0,75^{a}	9,44±0,80^{b}	23,42±0,35^{a}	22,71±0,92^{a}	19,97±1,02^{a}	23,55±0,20^{a}
	*C**	33,87±2,95^{a}	26,20±2,38^{b}	26,47±0,82^{b}	17,30±0,47^{c}	13,21±0,88^{d}	17,90±0,70^{c}	21,17±0,12^{c}
	h°	68,41±4,16^{c}	83,05±0,42^{ab}	70,86±3,32^{c}	88,76±0,04^{a}	70,54±1,37^{c}	81,17±0,83^{b}	85,57±0,04^{ab}
Kırıntı	*L**	75,03±0,84^{a}	71,43±1,24^{b}	66,43±0,91^{c}	61,26±1,27^{d}	59,45±0,66^{d}	69,67±1,76^{b}	64,39±1,59^{c}
	*a**	-2,27±0,29^{f}	-0,99±0,16^{e}	0,44±0,43^{c}	1,97±0,29^{b}	3,68±0,14^{a}	-0,45±0,30^{d}	-0,03±0,42^{cd}
	*b**	24,32±0,80^{a}	16,48±1,10^{b}	16,85±0,39^{b}	13,82±0,37^{c}	10,56±0,18^{d}	17,26±0,18^{b}	14,67±1,36^{c}
	ΔE	-	8,38±1,58^{de}	10,65±0,91^{d}	13,36±0,93^{c}	20,70±0,73^{a}	17,49±0,25^{b}	7,88±0,41^{e}
	*C**	24,39±0,86^{a}	16,08±0,73^{b}	16,87±0,37^{b}	14,74±0,33^{c}	11,16±0,03^{d}	13,92±0,08^{c}	17,24±0,04^{b}
	h°	275,15±0,10^{a}	273,27±0,51^{a}	88,55±0,12^{b}	270,13±0,02^{a}	71,05±0,57^{b}	81,94±0,20^{b}	271,51±0,15^{a}

Sonuçlar ortalama ± standart sapma şeklinde verilmiştir. Aynı satır içinde farklı harflerle gösterilen ortalamalar arasındaki fark istatistiksel olarak anlamlıdır ($p < 0,05$). CC: Kontrol muffin, AC: Aquafaba muffin, BC: Muz muffin, FC: Keten tohumu muffin, PC: Psyllium muffin, SWC: Çöven muffin, CHC: Chia muffin; VI: Hacim indeksi, SI: Simetri indeksi, UI: Tekdüzelik indeksi.

Bu gözlem, BC örneğinin orta düzey tan δ değeri (0,707) ile de uyumludur. Bu değer, elastik davranışın baskın olduğunu ancak diğer bitkisel formülasyonlara kıyasla daha az belirgin olduğunu göstermektedir. Bu örnekte gözlenen viskoelastik denge, pişirme sırasında hava hücrelerinin genişlemesini sınırlayarak düşük muffin hacmine katkıda bulunmuştur.

Çeşitli yumurta ikamelerinin muffinlerin dokusal özellikleri üzerindeki etkileri değerlendirilmiş ve sonuçlar Çizelge 4.3'te sunulmuştur. Bulgular, yumurta ikamelerinin sertlik, esneklik, kohezivite ve çiğnenebilirlik gibi parametreleri önemli ölçüde etkilediğini göstermiştir. En yüksek sertlik değeri CHC örneğinde (2735,73 gf), en düşük ise SWC örneğinde (1266,15 gf) belirlenmiştir. Çoğu yumurta ikamesi sertliği artırmış, bu durumun özellikle lif içeriğiyle ilişkili su tutma kapasitesi farklılıklarından kaynaklanabileceği düşünülmektedir (Li ve ark., 2024). Esneklik ölçümleri, yumurtanın sağladığı elastikiyetin bitkisel alternatiflerle tam olarak taklit edilemediğini göstermiştir. Özellikle BC ve CHC örneklerinde esneklik değerleri düşüktür. En yüksek kohezivite değeri CC örneğinde (0,70) belirlenirken, en düşük değer BC örneğinde (0,50) saptanmıştır. Bu sonuçlar, bitkisel bileşenlerin muffin matrisiyle farklı şekillerde etkileşerek bağlanma davranışını ve içyapıyı etkilediğini göstermektedir (Guedes de Melo ve ark., 2022). Çiğnenebilirlik açısından, CHC örneği en yüksek (1012,27) ve SWC örneği en düşük (529,96) değeri göstermiştir. Genel olarak, elde edilen sonuçlar bitkisel kaynaklı yumurta ikamelerinin muffinlerin dokusal özelliklerini önemli ölçüde değiştirdiğini ve istenen doku profiline göre formülasyonların optimize edilmesinin gerekliliğini ortaya koymaktadır.

Renk, muffinlerde Maillard ve karamelizasyon reaksiyonlarından etkilenen önemli bir kalite özelliğidir. Kabuğun rengi büyük ölçüde şeker – amino asit etkileşimleriyle belirlenirken, iç rengin bileşimi kullanılan hammaddeler tarafından şekillenir (Ansorena ve ark., 2022; Yazici ve Ozer, 2021). Bu çalışmada, kabuk ve kırıntı renkleri CIELAB renk sistemi kullanılarak değerlendirilmiş ve sonuçlar Çizelge 4.3'te özetlenmiştir. Kabuk parlaklığı (L*) 56,17 ile 73,17 arasında değişmiş, en yüksek değer SWC örneğinde (73,17) gözlenmiştir. Bu durum, sabunotu özütünün beyazlatıcı etkisiyle ilişkilendirilebilir (Çelik ve ark., 2007). AC örneği de kontrol örneğine (CC) kıyasla

daha yüksek parlaklık göstermiştir; bu sonuç, nohuttan elde edilen aquafaba'nın açıklığı artırdığını bildiren önceki bulgularla uyumludur (Aslan ve Ertaş, 2020). Aynı pişirme koşullarına rağmen, SWC örneğinin daha fazla nem tutması, daha yüksek L* değerine katkı sağlamış olduğu düşünülmektedir. Tüm örneklerde, kırıntı rengi kabuktan daha kırmızımsı ve sarımsı olarak saptanmıştır. Yumurta ikameleri kabuk a* ve b* değerlerinde azalmaya neden olmuştur; en yüksek a* (12,47) ve b* (30,99) değerleri CC örneğinde ölçülmüştür. Muffinlerin iç sıcaklığı 100 °C'yi geçmediği için Maillard reaksiyonları sınırlıdır; bu nedenle gözlenen renk farklılıkları esas olarak hammaddelere atfedilmektedir (Gómez ve ark., 2008). CC örneğinin sarımsı tonları, yumurta sarısında bulunan karotenoidlerden kaynaklanmaktadır (Akbin ve ark., 2025). AC, BC ve SWC örnekleri benzer kırıntı b* değerleri göstermiştir ($p > 0,05$) ve kontrol örneğinden sonra en sarı tonları sergilemiştir. Bu bulgular, keten tohumu ve psyllium ile yapılan muffinlerin istatistiksel olarak benzer iç renk değerlerine sahip olduğunu bildiren önceki çalışmalarla uyumludur (Risk ve ark., 2023).

L*, a* ve b* değerlerine ek olarak, renk farklılıklarını daha ayrıntılı değerlendirmek için Kroma (C*), ton açısı (h°) ve toplam renk farkı (ΔE) hesaplanmıştır. Kontrol muffin (CC), hem kabukta (C* = 33,87) hem de kırıntıda (C* = 24,39) en canlı renge sahip olmuştur. PC ve FC örneklerinde ise C* değerleri anlamlı derecede düşük bulunmuş, bu durum daha zayıf renk tonlarını yansıtmaktadır. Ton açısı analizine göre kabuk renkleri turuncu – sarı (CC: 68,41°) tonlarından daha sarımsı tonlara (FC: 88,76°; CHC: 85,57°) kaymıştır. İç kısımda CC ve AC örnekleri yaklaşık 270°'lik ton açısı göstermiştir; bu değerler matematiksel olarak CIELAB renk uzayında mavi – yeşil tonlara karşılık gelse de, bu yüksek değerler esas olarak düşük negatif a* ile baskın pozitif b* değerlerinin birleşiminden kaynaklanmaktadır. Kabukta en büyük ΔE farkı CHC (23,55) ve FC (23,42) örneklerinde görülmüştür. İç kısımda ΔE, PC (20,70) ve SWC (17,49) örneklerinde belirgin düzeyde kalmıştır. Bu sonuçlar, muffin formülasyonlarında yumurta ikamelerinin görsel olarak fark edilir renk değişimlerine yol açtığını göstermektedir. Dikkat çekici biçimde, BC örneğinin kabuk ΔE değeri diğer ikamelerden daha düşük bulunmuştur. Bu durum, muz püresinin doğal şeker içeriğinin Maillard ve karamelizasyon reaksiyonlarını kontrol örneğiyle benzer bir yöne yönlendirmesiyle açıklanabilir (Mustafa ve ark., 2018; Segundo ve ark., 2017). Böylece,

hidrojel bazlı ikamelerin (psyllium, keten tohumu, chia) neden olduğu ton ve doygunluk değişimleri engellenmiş ve renk vektörü kontrol örneğine daha yakın kalmıştır.

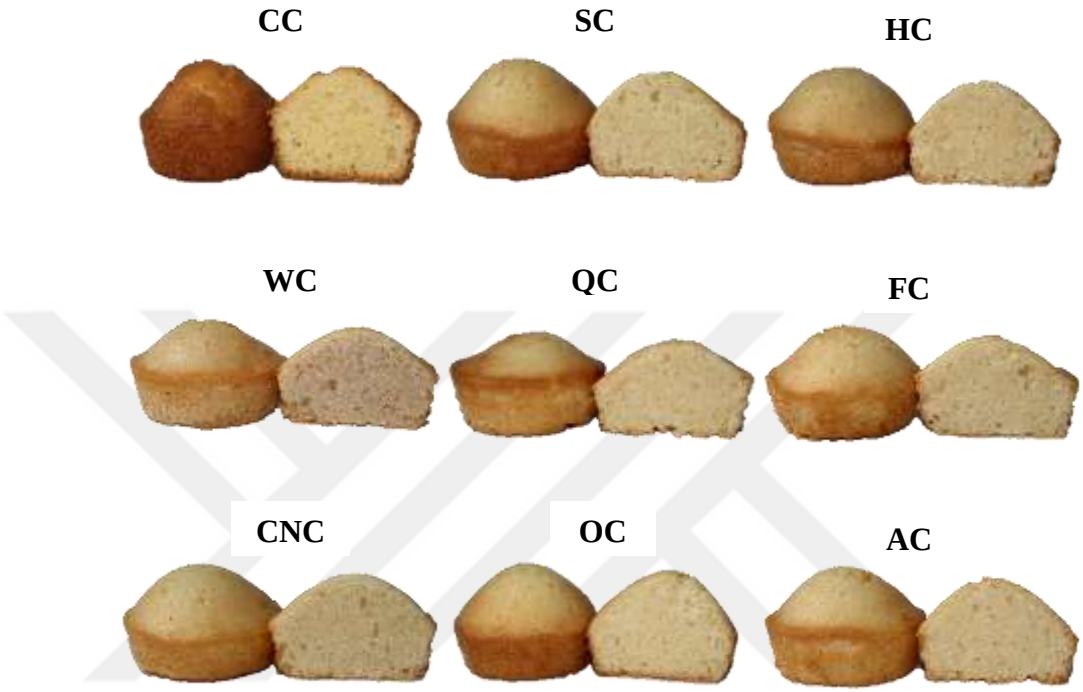
4.2.2. Farklı süt ikameleri ile üretilen muffinler

Muffin örneklerinin fiziksel özellikleri ve dış görünümleri Çizelge 4.4'te özetlenmiş ve Şekil 4.6'da gösterilmiştir. Pişirme sonrasında, pişme kaybı oranının %5,63 (AC) ile %6,91 (OC) arasında değiştiği ancak örnekler arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark bulunmadığı görülmektedir ($p > 0,05$). Ancak AC ve CNC muffinlerinde gözlenen hafifçe düşük değerler, pişirme sırasında nem tutma kapasitesinin daha iyi olduğunu göstermektedir. Buna karşılık, OC muffinlerinde kaydedilen daha yüksek kayıp, çözünür lif ve β – glukan varlığı ile ilişkili olabilir; bu bileşenler hamur matrisinde su dağılımını ve buharlaşma dinamiklerini değiştirebilir (Bieniek ve Buksa, 2024).

VI en yüksek değeri kontrol örneğinde (119,00 mm) göstermiştir ve bu durum, yumurta proteinlerinin yapısal katkılarıyla uyumludur. Bitkisel süt alternatiflerinin, inek sütüne göre daha sınırlı jelleşme, su tutma ve viskoelastik özellikler gösterdiği belirtilmektedir. Bu farklılık, söz konusu örneklerin daha düşük VI değerleri sergileme eğilimini açıklamaktadır (Reyes-Jurado ve ark., 2023). Bitkisel sütlerle üretilen muffinler arasında OC (102,33 mm), AC (100,67 mm) ve HC (101,33 mm) örnekleri iyi bir kabarma performansı sergilemiştir. WC örneği ise en düşük VI değerini göstermiştir (91,00 mm). VI değerleri için resmi bir eşik belirlenmemiş olmakla birlikte, 100 mm üzerindeki ölçümler genellikle iyi yapı özelliklerinin göstergesi olarak kabul edilmektedir.

Aquafaba – süt kombinasyonlarının 100 mm'nin üzerinde VI değerleri sağladığı bildirilmektedir (Kutlu ve ark., 2024; Topaloğlu Günan ve Yolci Ömeroğlu, 2025). Ayrıca, mercimek proteini temelli muffinlerde, yumurta ve süt proteinleri tamamen ikame edilmiş olsa bile benzer hacim indekslerinin korunabildiği rapor edilmiştir (Jarpa-Parra ve ark., 2017). Bu sonuçlar, bitkisel proteinler ve unların genellikle yapısal genleşmeyi azalttığını, ancak optimize edilmiş formülasyonlarla muffin kalitesi açısından istenen aralıkta VI değerlerinin elde edilebileceğini göstermektedir. Yapılan

istatistiksel analizler örnekler arasında VI değerleri açısından anlamlı farklar bulunduğunu göstermiştir ($p < 0,05$) ve muffin yüksekliklerindeki görsel farklılıkları desteklemektedir (Şekil 4.6).



Şekil 4.6. İnek sütü ve farklı süt ikameleri ile formüle edilen muffin örnekleri

SI değerleri 7,00 ile 10,33 mm arasında değişmiştir. Bu değerler, örneklerin pişirme sırasında yapısal çökme yaşamadığını göstermektedir (Gómez ve ark., 2008). Kek örneklerinde genellikle pozitif SI değerleri gözlenmektedir. Bu durum, pişirme sırasındaki gaz genleşmesi ve ardından yapının sabitlenmesi sonucunda kekin merkezinin kenarlarına kıyasla daha yüksek bir konumda olduğunun göstergesi olarak kabul edilmektedir (Dadalı ve Elmacı, 2019). Ancak SI değerleri aşırı yüksek olduğunda, bu durum hamurun eşit dağılmaması veya fırın içerisindeki ısı farklılıklarından kaynaklanan yüzey düzensizliklerini ortaya koymaktadır.

Çizelge 4.4. Farklı süt ikameleriyle hazırlanan muffin örneklerinin fiziksel özellikleri

		CC	SC	HC	WC	QC	FC	CNC	OC	AC
Hacim										
Pişme Kaybı (%)		6,41±0,39^{a}	6,08±0,39^{a}	6,67±0,64^{a}	6,07±1,12^{a}	6,34±0,89^{a}	6,31±0,14^{a}	5,91±0,29^{a}	6,91±0,64^{a}	5,63±1,03^{a}
VI (mm)		119,00±3,61^{a}	95,67±1,15^{bcde}	101,33±0,58^{bc}	91,00±2,65^{e}	94,67±1,15^{cde}	94,00±0,00^{de}	95,33±1,15^{cde}	102,33±0,58^{b}	100,67±5,13^{bcd}
SI (mm)		9,00±1,00^{a}	7,33±0,58^{a}	8,67±1,53^{a}	7,00±1,00^{a}	9,33±1,53^{a}	10,00±1,73^{a}	8,67±0,58^{a}	9,67±1,15^{a}	10,33±1,53^{a}
UI (mm)		1,00±1,00^{a}	0,00±1,73^{a}	0,67±0,58^{a}	0,33±0,58^{a}	0,67±0,58^{a}	0,00±1,00^{a}	0,67±1,53^{a}	1,00±0,00^{a}	1,00±1,73^{a}
Tekstür										
Sertlik (gf)		1284,74±104,18^{bc}	1616,01±205,37^{a}	1584,69±141,61^{a}	976,59±68,83^{d}	1158,40±82,19^{c}	1015,00±3,33^{cd}	1416,21±143,37^{ab}	1459,38±101,54^{ab}	1404,69±103,67^{ab}
Esneklik		0,91±0,01^{a}	0,88±0,01^{b}	0,88±0,02^{b}	0,86±0,00^{c}	0,88±0,01^{b}	0,84±0,01^{d}	0,89±0,01^{ab}	0,89±0,01^{ab}	0,89±0,03^{ab}
Kohezivite		0,71±0,00^{a}	0,58±0,00^{c}	0,59±0,03^{c}	0,64±0,02^{b}	0,62±0,01^{bc}	0,60±0,01^{c}	0,60±0,03^{c}	0,62±0,01^{bc}	0,60±0,01^{c}
Çiğnenebilirlik		828,54±70,46^{a}	823,56±117,80^{a}	832,87±116,75^{a}	534,95±23,83^{d}	633,71±33,72^{cd}	513,33±9,88^{d}	755,78±74,46^{bc}	808,05±64,91^{ab}	748,21±72,95^{bc}
Elastikiyet		0,33±0,00^{a}	0,25±0,00^{c}	0,26±0,02^{c}	0,30±0,02^{ab}	0,29±0,01^{b}	0,27±0,01^{bc}	0,27±0,02^{bc}	0,28±0,01^{bc}	0,26±0,01^{c}
Renk										
Kabuk	*L**	58,98±3,05^{c}	64,65±2,77^{ab}	62,89±2,19^{bc}	65,12±1,17^{ab}	65,27±2,35^{ab}	64,40±2,17^{ab}	67,46±2,86^{ab}	63,67±1,06^{bc}	69,12±1,96^{a}
	*a**	12,48±1,88^{a}	6,04±3,42^{b}	6,44±2,67^{ab}	4,74±0,79^{b}	3,91±2,97^{b}	4,45±3,65^{b}	4,95±2,91^{b}	5,03±2,45^{b}	3,21±1,83^{b}
	*b**	30,99±2,86^{a}	28,96±0,47^{ab}	28,75±0,90^{ab}	24,57±0,92^{b}	24,49±2,61^{b}	26,34±2,64^{b}	27,82±1,85^{ab}	27,74±1,13^{ab}	25,92±2,26^{b}
	ΔE	-	13,08±4,22^{a}	11,56±3,24^{a}	14,33±0,79^{a}	15,07±4,16^{a}	14,03±4,11^{a}	15,85±3,84^{a}	13,00±2,38^{a}	18,20±2,70^{a}
	*C**	33,49±2,01^{a}	29,72±1,05^{ab}	29,54±1,27^{ab}	25,03±1,05^{b}	24,91±2,92^{b}	26,85±3,21^{b}	28,34±2,28^{b}	28,26±1,49^{b}	26,16±2,42^{b}
	h°	67,88±4,84^{b}	78,38±6,36^{ab}	77,51±4,96^{ab}	79,12±1,38^{ab}	76,51±3,22^{ab}	81,01±6,76^{a}	80,21±5,27^{a}	79,87±4,55^{a}	83,19±3,66^{a}
Kırıntı	*L**	75,03±0,85^{a}	69,58±0,55^{ab}	72,02±1,13^{b}	64,69±1,16^{c}	69,38±0,82^{b}	70,46±0,84^{ab}	69,98±0,63^{ab}	70,62±1,82^{ab}	71,43±1,24^{ab}
	*a**	-2,28±0,29^{d}	-0,90±0,04^{bc}	-0,86±0,15^{bc}	1,22±0,10^{a}	-1,15±0,19^{c}	-0,66±0,05^{b}	-0,99±0,13^{bc}	-1,02±0,22^{bc}	-0,99±0,16^{bc}
	*b**	24,33±0,80^{a}	17,18±0,51^{b}	16,15±0,60^{bc}	12,11±1,08^{d}	14,85±0,45^{c}	14,90±0,48^{c}	14,99±0,36^{c}	15,92±0,43^{bc}	16,48±1,10^{bc}
	ΔE	-	9,45±0,64^{b}	9,25±0,88^{b}	16,72±1,53^{a}	11,47±0,77^{b}	10,99±0,71^{b}	11,07±0,52^{b}	10,03±1,15^{b}	9,14±1,43^{b}
	*C**	24,43±0,79^{a}	17,20±0,51^{b}	16,17±0,60^{bc}	12,17±1,08^{d}	14,89±0,46^{c}	14,91±0,48^{c}	15,02±0,37^{c}	15,95±0,44^{bc}	16,51±1,11^{bc}
	h°	275,35±0,75^{a}	272,98±0,09^{c}	273,05±0,45^{c}	84,22±0,73^{d}	274,42±0,67^{ab}	272,52±0,14^{c}	273,78±0,43^{bc}	273,67±0,75^{bc}	273,41±0,41^{bc}

Veriler ortalama ± standart sapma olarak verilmiştir. Aynı satır içinde farklı harflerle gösterilen değerler arasındaki fark istatistiksel olarak anlamlıdır ($p < 0,05$). CC: Kontrol muffin, SC: Soya sütlü muffin, HC: Fındık sütlü muffin, WC: Ceviz sütlü muffin, QC: Kinoa sütlü muffin, FC: Keten tohumu sütlü muffin, CNC: Hindistan cevizi sütlü muffin, OC: Yulaf sütlü muffin, AC: Badem sütlü muffin; VI: Hacim indeksi, SI: Simetri indeksi, UI: Tekdüzelik indeksi.

Bu çalışmada en düşük SI değeri, en pürüzsüz yüzey profilini temsil eden SC örneğinde (7,33 mm) saptanmıştır. Buna karşın AC ve FC örnekleri, yüzey düzensizliklerinin daha belirgin olduğunu gösteren daha yüksek SI değerleri (≥ 10 mm) sergilemiştir. Bununla birlikte, örnekler arasındaki bu farkların istatistiksel olarak anlamlı olmadığı belirlenmiş ($p > 0,05$); bu durum, bitkisel süt ikamesi türünün yüzey simetrisi üzerinde belirgin bir etki oluşturmadığını ortaya koymuştur.

UI (Uniformity Index) değerlerinin 0,00 ile 1,00 mm arasında değiştiği saptanmıştır. Özellikle SC ve FC örneklerinin 0,00 mm değerine sahip olması, bu formülasyonlarda son derece simetrik bir yapının oluştuğunu göstermektedir. Elde edilen bulgular, düşük UI değerlerinin düzgün muffin morfolojisi ile ilişkili olduğunu bildiren literatür verileriyle (Dadalı ve Elmacı, 2019) uyumluluk sergilemektedir. İstatistiksel analiz sonuçları, formülasyonlar arasında anlamlı bir farklılık olmadığını ortaya koymuş ($p > 0,05$); bu durum, süt ikamesi kullanımının muffin yüzey simetrisi üzerinde belirgin bir varyasyon oluşturmadığını doğrulamıştır.

Daha yüksek depolama modülü (G′) değerine sahip muffin hamurları, daha sıkı ve elastik ağ yapıları oluşturma eğilimindedir. Bu durum, hava tutulumunu sınırlayarak muffinlerin son hacmini azaltabilir. Örneğin, en yüksek K′ değerine (1838,30 Pa.sn) sahip Hindistan cevizi sütü örneği (CNC), aynı zamanda daha yüksek sertlik ve orta düzey VI göstermiştir. Bu durum, aşırı sert hamurların pişirme sırasında kabarcık büyümesini sınırladığını desteklemektedir. Buna karşılık, nispeten düşük K′ değerlerine sahip badem (AC, 1235,10 Pa.sn) ve fındık (HC, 1048,20 Pa.sn) örnekleri, daha zayıf yapılar sergilemiş ve daha akışkan bir kıvam göstermiştir; ancak bu durum kararlı bir muffin yüksekliği gelişimini sınırlamıştır. En düşük K′ (598,32 Pa.sn) ve en yüksek tan δ (0,778) değerine sahip kontrol örneği (CC), daha düşük elastik baskınlık göstermiştir. Bu sonuç, inek sütü proteinlerinin aquafaba ile birlikte, bazı bitkisel süt formülasyonlarında gözlenen kadar güçlü bir viskoelastik ağ oluşturamadığını göstermektedir. Önceki çalışmalar, tek başına aquafabanın elastik jel benzeri yapılar oluşturabildiğini, lif veya hidrofilik kolloid açısından zengin bitkisel bileşenlerin (örneğin β – glukanlar veya tohum kaynaklı hidrofilik polisakkaritler) varlığının ise G′’yi artırıp tan δ’yı düşürerek hamur kararlılığını ve pişirme performansını

geliştirdiğini göstermektedir (Bieniek ve Buksa, 2024; Reyes-Jurado ve ark., 2023; Troshchynska ve ark., 2022). Bu bulgular, Hindistan cevizi, yulaf ve kinoa sütlerinin aquafaba bazlı hamurları inek sütüne kıyasla daha etkili biçimde güçlendirdiğini ve süt bileşiminin reolojik davranış ile nihai muffin kalitesini belirlemede önemli olduğunu ortaya koymaktadır.

Bu tez kapsamında çeşitli süt alternatiflerinin muffinlerin dokusal özellikleri üzerindeki etkileri de değerlendirilmiş ve sonuçlar Çizelge 4.4'te sunulmuştur. Bulgular, süt türünün tekstürel parametreler üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğunu göstermiştir. En yüksek sertlik değerleri SC (1616,01 gf) ve HC (1584,69 gf) örneklerinde, en düşük değerler ise WC (976,59 gf) ve FC (1015,00 gf) örneklerinde gözlenmiştir. Çoğu bitkisel süt, protein bileşimi ve iç doku içindeki su dağılımı farklılıkları nedeniyle, CC'ye kıyasla sertliği artırmıştır (Aslan ve Bilgiçli, 2022). En yüksek esneklik CC örneğinde (0,91) gözlenmiş, FC (0,84) ve WC (0,86) örneklerinde daha düşük değerler elde edilmiştir. Bu sonuçlar, yumurta veya süt proteinlerinin bitkisel ikamelere kıyasla daha üstün elastikiyet sağladığını bildiren önceki çalışmalarla uyumludur (Crawford ve ark., 2024; Inanlar ve Altay, 2024). Kohezivite değeri ise en yüksek CC örneğinde (0,71) bulunmuş; SC, HC, FC, CNC ve AC örnekleri ise daha düşük yapışkanlık değerleri (0,58 – 0,60) göstermiştir. Bu sonuçlar, bitkisel süt alternatiflerinin içyapısal bağlanmayı sürdürmede daha az etkili olduğunu göstermektedir. Çiğnenebilirlik açısından, en yüksek değerler CC (828,54), SC (823,56) ve HC (832,87) örneklerinde; en düşük değerler ise FC (513,33) ve WC (534,95) örneklerinde gözlenmiştir. Elastikiyet en yüksek CC örneğinde (0,33) ve en düşük SC (0,25), HC (0,26) ve AC (0,26) örneklerinde belirlenmiştir. Bu durum, inek sütünün bitkisel sütlere kıyasla daha iyi yapısal toparlanma sağladığını göstermektedir. Sonuç olarak, süt alternatiflerinin muffinlerin dokusal özelliklerini önemli ölçüde değiştirdiği ve istenen doku profilini elde etmek için formülasyonların optimize edilmesi gerektiği belirlenmiştir.

Bu çalışmada, kabuk ve kırıntı için CIELAB sistemi kullanılarak renk parametreleri ölçülmüş ve sonuçlar Çizelge 4.4'te özetlenmiştir. Kabuk parlaklığı (L*) değerleri 58,98 (CC) ile 69,12 (AC) arasında değişmiştir. En yüksek kabuk parlaklığı AC örneğinde, ardından CNC (67,46) ve WC (65,12) örneklerinde gözlenmiştir. Buna karşılık, en

düşük değer CC örneğinde (58,98) bulunmuştur; bu durum yumurta sarısında doğal olarak bulunan pigmentlerle ilişkilidir (Putri ve ark., 2025). Su bağlama kapasitesini artıran bitkisel proteinler veya liflerle formüle edilen keklerde de benzer parlaklık artışlarının meydana geldiği bildirilmiştir (Du ve ark., 2025; Kutlu ve ark., 2024). Kabuğun kırmızılığına karşılık gelen a* değeri en yüksek CC örneğinde (12,48) bulunmuş; bitkisel süt içeren tüm muffin örnekleri anlamlı derecede daha düşük a* değerleri göstermiştir. Bu azalma, yumurtadan türetilen pigmentlerin yokluğunun kırmızı tonlarını sınırladığını göstermektedir (Du ve ark., 2025). Kabuğun sarılığına karşılık gelen b* değerleri de benzer bir eğilim göstermiştir; CC örneği en yüksek değeri (30,99) sergilerken, WC (24,57) ve QC (24,49) örnekleri belirgin biçimde daha düşük değerler göstermiştir. Muffinlerin iç sıcaklığı 100 °C'yi geçmediğinden, Maillard reaksiyonları sınırlıdır ve gözlenen renk farklılıkları esas olarak hammaddelere bağlanmaktadır (Gómez ve ark., 2008). CC örneğinin sarımsı tonu (Şekil 4.6), yumurta sarısında bulunan karotenoidlerden kaynaklanmaktadır (Agrahar-Murugkar ve ark., 2016).

İç kısım parlaklığı (L*) en yüksek CC (75,03) ve en düşük WC (64,69) örneğinde gözlenmiştir; bu durum belirgin şekilde daha koyu bir kırıntı oluşturmuştur. Tüm örneklerde kırıntı, kabuğa kıyasla daha kırmızımsı veya sarımsı görünmüştür. Özellikle WC örneği, pozitif a* değeri (1,22) gösteren tek örnek olmuştur; bu, belirgin kırmızımsı bir tona işaret ederken, CC ve diğer bitkisel muffinler negatif a* değerleri göstermiştir. İç kısım b* değeri en yüksek CC (24,33) ve en düşük WC (12,11) örneğinde gözlenmiştir. Bu farklar, ceviz sütündeki fenolik bileşikler ve lif gibi bileşenlerin Maillard veya oksidasyon reaksiyonlarına katılarak daha koyu bir iç renk oluşumuna katkıda bulunmasından kaynaklanabilir (Tang ve ark., 2025).

Temel L*, a* ve b* parametrelerinin ötesinde, görsel görünümü daha kapsamlı değerlendirmek için Kroma (C*), ton açısı (h°) ve toplam renk farkı (ΔE) değerleri de hesaplanmıştır. Kontrol muffinleri (CC), hem kabukta (C* = 33,49) hem de kırıntıda (C* = 24,43) en yoğun renklere sahip olmuştur. Ceviz sütüyle yapılan örnekler (WC) ise en düşük doygunluk değerlerini göstermiştir (kabuk: 25,03; kırıntı: 12,17). Ton açısı değerlendirmesi, kabuk renginin CC örneğinde turuncu – sarı (67,88°) tonlardan keten

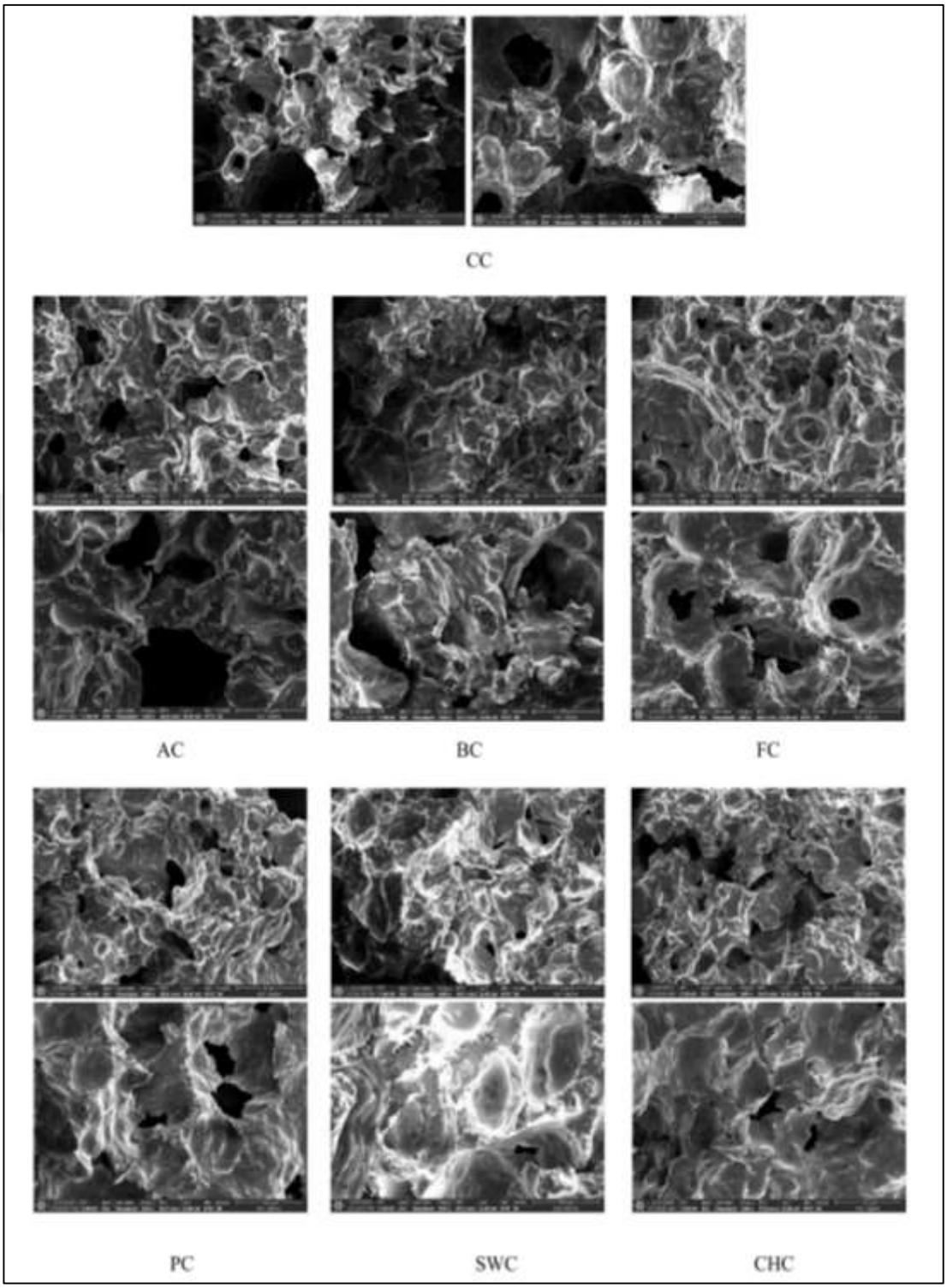
tohumu (FC, 81,01°) ve badem (AC, 83,19°) muffinlerinde daha parlak sarı tonlara kaydığını göstermiştir. Buna karşılık, CC'nin iç kısmı 275,35°'lik bir ton açısı göstermiştir; bu değer CIELAB renk uzayında mavi – yeşil bölgeye karşılık gelmektedir ve negatif a* ile baskın pozitif b* koordinatlarının birleşiminin sonucudur. En büyük toplam renk farkı (ΔE) kabukta AC (18,20) ve CNC (15,85) örneklerinde, kırıntıda ise WC örneğinde (16,72) gözlenmiştir. Bu sonuçlar, bitkisel sütlerin muffin formülasyonlarına dahil edilmesinin kontrol örneğine kıyasla görsel olarak fark edilir renk değişimlerine yol açtığını açık biçimde göstermektedir (Aslan ve Bilgiçli, 2022).

Genel olarak değerlendirildiğinde, yumurta ikamelerinin muffinlerin fiziksel özellikleri, dokusal yapısı ve görsel nitelikleri üzerindeki etkisinin, süt ikamelerine kıyasla daha belirgin ve kapsamlı olduğu görülmektedir. Yumurta ikameleri; pişme kaybı, hacim indeksi, simetri, sertlik, esneklik ve renk parametrelerinde geniş bir varyasyon oluşturarak muffin matrisinin oluşumunu doğrudan etkilemiştir. Özellikle lif ve jel oluşturan bileşenler içeren yumurta ikameleri, hamur yoğunluğunu ve hava tutulumunu değiştirerek hacim gelişimini sınırlamış; buna karşın köpük oluşturma kapasitesi yüksek sistemler hacim ve nem stabilitesini daha iyi korumuştur. Süt ikamelerinin etkisi ise daha sınırlı kalmış ve çoğunlukla nem tutma, yüzey düzgünlüğü ve renk özellikleri üzerinden ortaya çıkmıştır. Bitkisel sütler, özellikle protein, lif ve fenolik bileşimlerine bağlı olarak sertlik ve renk parametrelerini değiştirmiş olsa da, yumurta ikamelerinde gözlenen düzeyde güçlü ve tutarlı yapısal farklılıklar oluşturmamıştır. Bu bulgular, muffin formülasyonlarında ürünün temel yapısal özelliklerinin büyük ölçüde yumurta veya yumurta ikamesinin türü tarafından belirlendiğini, süt seçiminin ise bu yapıyı ince ayarlayan ve ikincil düzeyde şekillendiren bir unsur olarak rol oynadığını göstermektedir.

4. 3. Muffin Örneklerinin Morfolojik Özellikleri

4.3.1. Farklı yumurta ikameleri ile üretilen muffinler

Farklı yumurta ikamelerinin muffinlerin mikroyapısı üzerindeki etkileri SEM kullanılarak incelenmiştir (Şekil 4.7).



Şekil 4.7. Farklı yumurta ikameleriyle üretilen muffin örneklerinin taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile elde edilen mikrografları (×100 ve ×250 büyütme)

CC ve AC örnekleri, homojen gözenek yapısına sahip düzenli bir protein ağı sergilemiştir. Buna karşılık, BC ve CHC örneklerinde daha büyük ve düzensiz

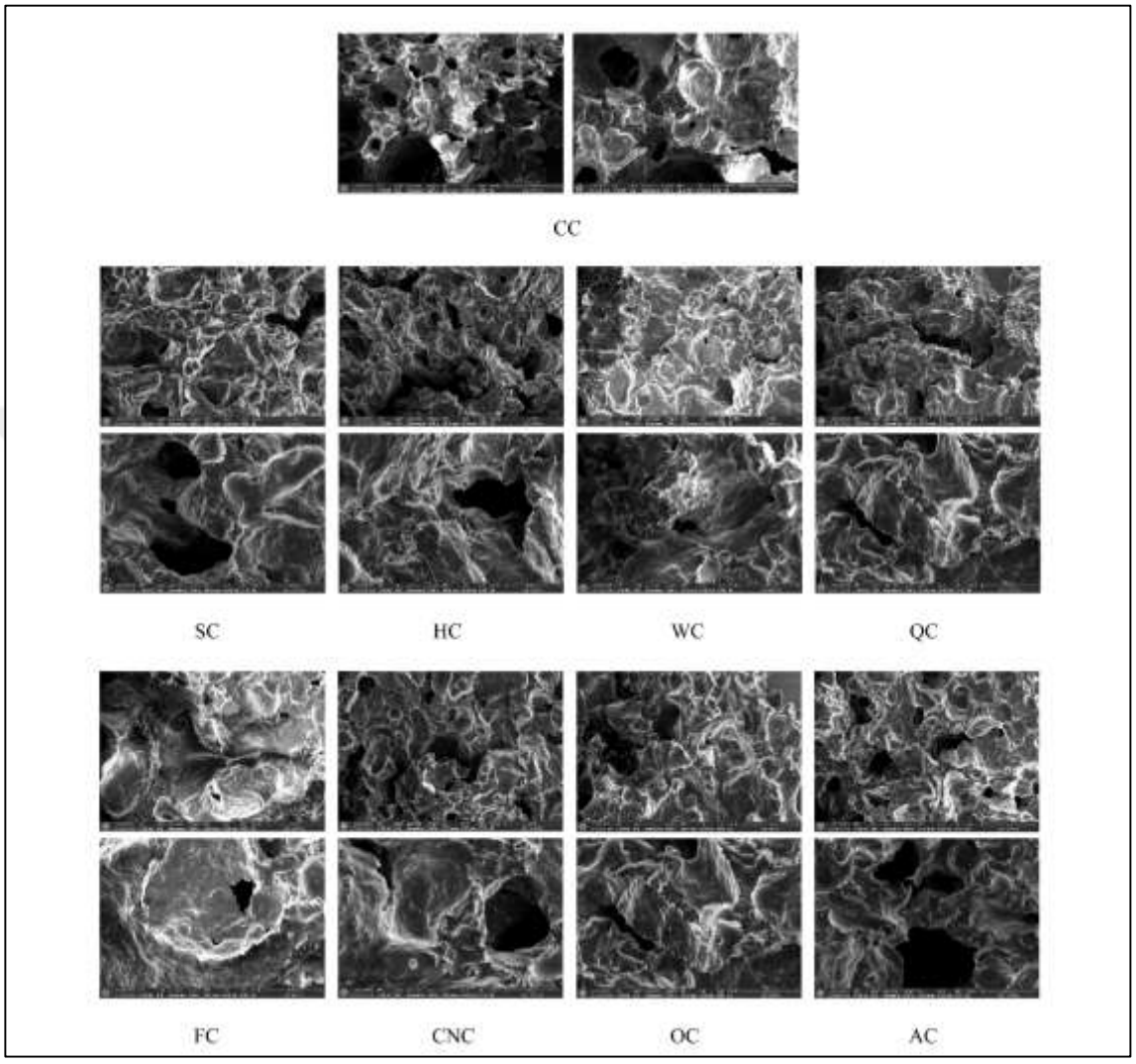
gözenekler gözlenmiş olup, bu durumun nişasta ağırlıklı bileşimleriyle ilişkili olabileceği düşünülmektedir. Ayrıca, PC, FC ve SWC örnekleri arasında protein – karbonhidrat etkileşimlerine bağlı belirgin mikroyapısal farklılıklar tespit edilmiştir. PC örneği yoğun ve sıkı bir ağ yapısı oluştururken, FC örneği düzensiz bir gözenek yapısı sergilemiş, SWC örneği ise yüksek hava tutma kapasitesiyle ilişkili olabilecek şekilde daha büyük ve birbirine bağlı gözenekler üretmiştir. CC ve AC örnekleri en kararlı protein matrisini göstermiştir. Buna karşın, keten tohumu, psyllium ve çöven gibi polisakkarit açısından zengin ikameler gözenek morfolojisinde belirgin değişimlere yol açmıştır.

Bu bulgular, alternatif bileşenlerin muffin mikroyapısını nasıl etkilediğini daha iyi anlayabilmek için kapsamlı analizlere ihtiyaç duyulduğunu göstermektedir. Bu sonucu destekler nitelikte olarak, yüksek katı madde içerikli ve geleneksel formülasyona sahip sade keklerde (pound cake türü ürünlerde) yapılan önceki SEM çalışmaları, ticari yumurta ikamelerinin çoğunun nişasta bazlı olduğunu bildirmiştir. Bu tür kekler genellikle eşit oranlarda un, yağ, şeker ve yumurta içeren klasik fırın ürünleridir. Yoğun dokulu ve ince gözenekli yapılarıyla karakterize edilirler. Söz konusu çalışmalar, nişasta bazlı ikamelerin hamur içinde yoğun ve kompakt ağ yapıları oluşturduğunu, buna karşın protein açısından zengin ikamelerin küresel biçimli mikro yapılar meydana getirme eğiliminde olduğunu ortaya koymuştur (Halm ve ark., 2024). Sonuç olarak, yumurta ikameleri arasındaki bu yapısal farklılıkların, muffinlerin fiziksel ve dokusal özellikleri üzerinde belirleyici bir etkiye sahip olduğu görülmektedir.

4.3.2. Farklı süt ikameleri ile üretilen muffinler

Muffinlerin mikroyapısına farklı süt alternatiflerinin etkileri SEM analiziyle incelenmiştir (Şekil 4.8). CC örneği, homojen şekilde dağılmış gözeneklere sahip sürekli ve düzgün bir protein – nişasta matrisi sergilemiştir. Buna karşılık, SC ve HC örnekleri daha yoğun ve sıkı yapılar göstermiş, gözenek boyutlarında belirgin bir azalma gözlenmiştir. Benzer sıkı mikroyapılar, bitkisel protein veya kuruyemiş kaynaklı bileşenlerin kullanıldığı keklerde de rapor edilmiştir. Bu tür bileşenlerdeki yüksek katı madde miktarı ve protein – lipit etkileşimleri, gaz hücrelerinin genleşmesini sınırlayarak

daha kompakt içyapılar oluşmasına neden olmaktadır (Du ve ark., 2025; Fatah-Jahromi ve ark., 2024).



Şekil 4.8. Farklı süt ikameleriyle üretilen muffin örneklerinin taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile elde edilen mikrografları (×100 ve ×250 büyütme)

WC ve QC örnekleri, CC örneğine kıyasla nispeten daha büyük ve düzensiz gözenek yapıları sergilemiştir. Bu tür gözenek morfolojisi, genellikle zayıf ağ stabilizasyonu ve heterojen gaz hücresi dağılımıyla ilişkilendirilir. Benzer gözlemler, ceviz unu ve kinoa unu ile formüle edilen keklerde de bildirilmiştir (Burbano ve ark., 2022; Mu ve ark., 2023). FC örneği ise düzensiz ve kısmen çökmüş bir gözenek yapısı göstermiştir. Bu durumun, keten tohumu kaynaklı hidrofilik polisakkaritlerin viskoziteyi artırarak hava hücrelerinin düzenli dağılmasını kısıtlamasıyla açıklandığı düşünülmektedir. Bu

gözlem, aquafaba ile hazırlanan keklerde bildirilen yapısal çökme durumları ile keten tohumu kaynaklı jel yapısının reolojik özellikleri üzerine yapılan bulgularla uyum göstermektedir (Crawford ve ark., 2024; Troshchynska ve ark., 2022). CNC ve OC muffin örnekleri, orta büyüklükte gözeneklerle karakterize edilen kararlı matrisler sergilemiştir. Bu durum, pişirme sırasında ağ yapısının güçlenmesini destekleyen yüksek elastik modül (G′) değerleriyle uyum göstermektedir. AC örneği ise nispeten daha zayıf stabilizasyonu işaret eden daha büyük gözeneklere sahip, orta derecede bütünleşmiş bir yapı oluşturmuştur.

SEM gözlemleri, süt türünün muffin matrisinin organizasyonunu önemli ölçüde etkilediğini doğrulamaktadır. Bu sonuç, reolojik ve tekstürel analizlerle de uyumludur. Lif, müsilaj veya fenolik bileşikler açısından zengin bitkisel sütlerin, gözenek morfolojisini değiştirerek ya kompakt ve yoğun yapılar ya da düzensiz ve genişlemiş gözenekler oluşturma eğiliminde olduğu belirlenmiştir. Bu durum, bitkisel süt bileşiminin hamur içi ağ yapısının oluşumu ve stabilizasyonu üzerinde belirleyici bir etkiye sahip olduğunu göstermektedir.

Genel olarak değerlendirildiğinde, yumurta ikamelerinin muffinlerin mikroyapısı üzerinde oluşturduğu etkinin, süt ikamelerine kıyasla daha belirgin olduğu görülmektedir. Yumurta ikameleri, gözenek boyutu, gözenek dağılımı ve ağ bütünlüğünde belirgin farklılıklar oluşturarak mikroyapının temel karakterini şekillendirmiştir. Özellikle polisakkarit veya nişasta ağırlıklı yumurta ikameleri, düzensiz, genişlemiş veya kompakt gözenek yapılarıyla ilişkilendirilmiştir. Buna karşılık, süt ikamelerinin etkisi daha sınırlı kalmış ve çoğunlukla mevcut protein – nişasta matrisinin düzenlenme biçimi ve gözenek morfolojisi üzerinden gözlenmiştir. Bazı süt alternatifleri daha sıkı ve yoğun yapılar oluştururken, bazıları daha heterojen ve zayıf ağ yapıları sergilemiştir. Ancak süt ikameleri, yumurta ikamelerinde gözlenen düzeyde kapsamlı bir mikroyapısal yeniden yapılanmaya yol açmamıştır. Bu bulgular, muffin mikroyapısının oluşumunda kullanılan yumurta veya yumurta ikamesinin türünün daha baskın bir etkiye sahip olduğunu, süt ikamesinin ise bu yapıyı sınırlı ölçüde değiştirdiğini göstermektedir.

4. 4. Süt ve Muffin Örneklerinin Kimyasal Bileşimi ile Besinsel Özellikleri

4.4.1. İnek sütü ikameleri

Muffin formülasyonlarında kullanılan inek sütü ve sekiz farklı bitki bazlı süt ikamesinin kompozisyonel karakterizasyonu (Çizelge 4.5), son ürünün duyusal ve yapısal özelliklerini belirleyen birincil faktör olarak öne çıkmaktadır.

İncelenen örnekler arasında inek sütü, %3,20 protein ve %3,60 yağ ile en yüksek makro besin yoğunluğuna sahip olup, bu içeriğiyle bitkisel sütlere kıyasla üstün yapısal katkı sağlama potansiyelini göstermektedir. Bitkisel sütlerin genel özelliği, badem (%0,40 protein) ve fındık (%0,57 protein) gibi yemiş bazlı ikameler başta olmak üzere, inek sütüne göre anlamlı ölçüde ($p < 0,05$) düşük protein ve yağ seviyelerine sahip olmasıdır (Walther ve ark., 2022). Bu düşük protein içeriği, fındık sütü ve badem sütü ile hazırlanan muffin hamurlarında gözlenen düşük elastik modül (G′) ve zayıf kohezivite değerlerinin temel nedenini oluşturmaktadır.

Çizelge 4.5. İnek sütü ve farklı süt ikamelerinin kimyasal bileşimi (g/100 g)

Örnek	Nem	Kül	Protein	Yağ
İnek sütü	87,30±0,30^{g}	0,74±0,03^{a}	3,20±0,10^{a}	3,60±0,10^{a}
Soya sütü	89,83±0,21^{f}	0,52±0,02^{b}	3,00±0,10^{a}	1,90±0,10^{d}
Fındık sütü	93,53±0,15^{b}	0,39±0,01^{e}	0,57±0,07^{e}	1,80±0,10^{d}
Hindistan cevizi sütü	91,00±0,20^{e}	0,35±0,01^{f}	0,53±0,06^{e}	2,40±0,10^{c}
Yulaf sütü	90,07±0,15^{f}	0,44±0,01^{cd}	1,03±0,06^{d}	1,30±0,10^{e}
Badem sütü	95,90±0,10^{a}	0,21±0,01^{g}	0,40±0,00^{e}	1,13±0,06^{e}
Ceviz sütü	92,67±0,15^{c}	0,47±0,01^{c}	1,50±0,10^{c}	3,40±0,10^{a}
Kinoa sütü	92,00±0,20^{d}	0,42±0,01^{de}	1,90±0,09^{b}	2,50±0,10^{c}
Keten tohumu sütü	93,00±0,10^{c}	0,45±0,01^{cd}	1,80±0,10^{b}	2,90±0,10^{b}

Bununla birlikte, bitkisel sütler fonksiyonel bileşenler açısından farklı avantajlar sunmaktadır. Yulaf sütü (%7,16) başta olmak üzere, hindistan cevizi (%5,72) ve soya sütü (%4,75) gibi bazı bitkisel sütler, toplam karbonhidrat içeriği açısından diğer örneklere göre daha yüksek değerler göstermiştir. Bu ikamelerin bünyesindeki çözünür lifler (β – glukan, müsilaj) ve hidrokolloidlerin ekstraksiyonundan kaynaklanabileceği düşünülmektedir (Singla ve ark., 2024; Troshchynska ve ark., 2022). Bu

hidrokolloidler, hamurun su bağlama kapasitesini yükselterek, hem yüksek viskozite hem de nihai üründe raf ömrü boyunca daha iyi nem tutma kabiliyeti sağlamaktadır (Meng ve ark., 2023). Besinsel açıdan, inek sütü (%0,74) en yüksek kül oranına sahipken, bitkisel sütlerin kül içeriği %0,21 ile %0,52 arasında değişmektedir. Bu düşük kül oranları, bitkisel sütlerin yapıları gereği, inek sütüne kıyasla genel mineral yükünün daha düşük olduğu yönündeki literatür bulgularıyla uyumludur (Antunes ve ark., 2025; Walther ve ark., 2022).

Sonuç olarak, bitkisel sütlerin kompozisyonel heterojenliği; özellikle protein, yağ ve karbonhidrat fraksiyonlarının dağılımına bağlı olarak, aquafaba bazlı muffinlerin yapısal özellikleri ve besin profili üzerinde belirleyici bir rol oynamaktadır.

4.4.2. Farklı yumurta ikameleri ile üretilen muffinler

Muffin örneklerinin kimyasal bileşimi; nem, kül, protein, yağ, diyet lifi, karbonhidrat ve enerji içeriği açısından, kullanılan yumurta ikamesinin türüne bağlı olarak anlamlı farklılıklar göstermiştir (Çizelge 4.6).

Nem içeriği 13,58 – 19,06 g/100 g arasında değişmiş, en yüksek değer SWC örneğinde, en düşük değer ise AC örneğinde belirlenmiştir. AC dışındaki tüm örnekler, kontrol (CC) örneğine kıyasla daha yüksek nem içeriğine sahip olmuştur. Bu farklılıkların, kullanılan bileşenlerin su tutma kapasitesinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Kül içeriği, tüm örneklerde kontrol grubuna göre anlamlı derecede daha yüksek bulunmuştur ($p < 0,05$); en yüksek değer CHC örneğinde saptanmış olup bu durum, chia tohumundaki organik ve inorganik bileşiklerin yüksek düzeyde bulunmasıyla ilişkilendirilmektedir.

Protein içeriği 5,24 – 8,54 g/100 g aralığında değişmiş ve tüm örneklerde kontrol grubuna göre daha düşük değerler elde edilmiştir. Bu sonucun, yumurta ikamelerinin bitkisel kaynaklı yapısıyla uyumlu olduğu düşünülmektedir. Bu gözlem, baklagil kökenli aquafaba ve chia tohumu kullanılarak hazırlanan formülasyonlara ilişkin önceki çalışmalarla da paralellik göstermektedir (Anwar ve ark., 2020; Konal ve ark., 2025).

Çizelge 4.6. Farklı yumurta ikameleriyle hazırlanan muffin örneklerinin kimyasal bileşimi (g/100 g) ve mineral bileşimi (mg/1000 g)

Örnek	Nem	Kül	Protein	Yağ	TDF	Toplam karbonhidrat	Enerji (kcal/100 g)
CC	14,46±0,09^{d}	0,71±0,04^{g}	8,54±0,04^{a}	22,16±0,35^{a}	0,73±0,15^{c}	53,53±0,35^{d}	448,53±10,86^{a}
AC	13,58±0,08^{e}	0,75±0,06^{f}	5,65±0,08^{c}	19,80±0,46^{bc}	0,93±0,21^{bc}	59,00±0,30^{a}	440,27±12,11^{ab}
BC	14,90±0,09^{d}	1,03±0,05^{b}	5,37±0,09^{e}	19,37±0,61^{bc}	0,60±0,30^{c}	58,60±0,30^{a}	434,77±12,43^{ab}
FC	15,89±0,10^{c}	1,02±0,02^{c}	5,89±0,09^{b}	20,32±0,45^{b}	1,50±0,10^{a}	55,40±0,33^{bc}	433,70±10,31^{ab}
PC	16,40±0,34^{b}	0,84±0,02^{e}	5,52±0,02^{d}	19,34±0,41^{bc}	1,50±0,26^{a}	56,23±0,35^{b}	426,33±9,58^{ab}
SWC	19,06±0,17^{a}	0,86±0,05^{d}	5,24±0,06^{f}	18,78±0,35^{c}	1,30±0,20^{ab}	54,70±0,40^{c}	414,87±13,39^{b}
CHC	15,76±0,06^{c}	1,06±0,06^{a}	5,92±0,03^{b}	19,72±0,40^{bc}	1,47±0,25^{ab}	55,97±0,35^{b}	428,93±9,87^{ab}

	P	Na	Mg	K	Ca
CC	2188,36±103,85^{a}	2001,69±121,29^{a}	98,99±9,98^{g}	747,14±25,31^{e}	219,02±1,16^{c}
AC	1700,91±31,98^{c}	1838,19±33,94^{b}	158,80±5,03^{c}	1169,46±15,75^{b}	244,99±0,66^{b}
BC	1757,49±5,56^{c}	1664,06±10,56^{d}	143,37±2,45^{d}	1352,42±3,13^{a}	178,61±1,59^{d}
FC	1771,93±1,83^{c}	1668,81±5,59^{d}	188,12±0,40^{b}	775,48±6,15^{d}	234,96±0,56^{b}
PC	1764,91±9,46^{c}	1804,63±5,84^{bc}	127,90±1,15^{e}	776,26±4,77^{d}	231,90±9,01^{b}
SWC	1569,93±6,29^{d}	1606,52±2,77^{d}	110,62±1,53^{f}	600,01±3,16^{f}	185,86±0,33^{d}
CHC	1944,11±0,22^{b}	1711,41±1,44^{cd}	208,73±1,84^{a}	872,31±0,59^{c}	372,00±13,85^{a}

Sonuçlar ortalama ± standart sapma şeklinde verilmiştir. Aynı sütun içinde farklı harflerle gösterilen ortalamalar arasındaki fark istatistiksel olarak anlamlıdır ($p < 0,05$). TDF: Toplam diyet lifi. CC: Kontrol muffin, AC: Aquafaba muffin, BC: Muz muffin, FC: Keten tohumu muffin, PC: Psyllium muffin, SWC: Çöven muffin, CHC: Chia muffin

Bununla birlikte, bu tür formülasyonların besinsel kalitesini artırmak için protein zenginleştirme stratejilerinin uygulanması faydalı olabilir. Yağ içeriği 18,78 – 22,16 g/100 g arasında değişmiş ve genellikle kontrol örneğine göre daha düşük bulunmuştur. AC, BC, PC ve CHC örnekleri arasında yağ içeriği açısından istatistiksel olarak anlamlı bir fark gözlenmemiştir ($p > 0,05$). Bu durum, söz konusu alternatiflerin düşük yağ içerikli fırın ürünlerinin geliştirilmesinde potansiyel sunduğunu göstermektedir. Ayrıca, kontrol örneğinin (CC) inek sütüyle, bitkisel formülasyonların ise badem sütüyle hazırlanmış olması dikkate alınmalıdır. İnek sütü ve yumurta doğal olarak daha yüksek protein ve yağ içerdiğinden, bunların bitkisel süt ve yumurta ikameleriyle değiştirilmesi gözlenen düşüşleri açıklamaktadır.

Toplam diyet lifi (TDF) içeriği en yüksek FC ve PC örneklerinde belirlenmiştir (1,50 g/100 g). Bu değer, lif bakımından zengin keten tohumu ve psylliumun özelliklerine

bağlı olarak kontrol örneğinin (CC; 0,73 g/100 g) anlamlı derecede üzerindedir ($p < 0,05$) (Belorio ve Gómez, 2021; Mueed ve ark., 2022). Enerji değerleri 414,87 – 448,53 kcal arasında değişmiş, en yüksek değer CC örneğinde, en düşük değer ise SWC örneğinde saptanmıştır. SWC örneğinde gözlenen %7,5'lik enerji azalımı, düşük yağ içeriğiyle ilişkilendirilmektedir. Diğer örneklerin enerji değerleri de kontrol örneğine göre daha düşük olmasına rağmen, farklar istatistiksel olarak anlamlı bulunmamıştır ($p > 0,05$).

Sodyum (Na), potasyum (K), kalsiyum (Ca), magnezyum (Mg) ve fosfor (P) gibi makro elementler, temel fizyolojik işlevlerin sürdürülebilmesi için vücutta görece yüksek miktarlarda gereklidir. Ca ve Mg, kemik ve diş yapısında önemli rol oynamalarının yanı sıra karbonhidrat ve protein metabolizmasına da katılmaktadır. Fosfor, kemiklerde kalsiyumdan sonra en bol bulunan mineral olup enerji metabolizması, sinir iletimi ve asit – baz dengesinin düzenlenmesinde görev almaktadır. Potasyum, başlıca hücre içi katyon olup kas kasılması, pH dengesi ve iyonik düzenlemede rol oynar. Na ise hücre dışı sıvının temel katyonu olarak ozmotik basıncın kontrolüne ve su – elektrolit taşınımına katkı sağlamaktadır (Ali, 2023).

Muffin örneklerinin mineral bileşimi, kullanılan yumurta ikamelerine bağlı olarak önemli farklılıklar göstermiştir. Muffin örneklerine ait P, Na, Mg, K ve Ca değerleri Çizelge 4.6'da verilmiştir. En yüksek P (2188,36 mg/1000 g) ve Na (2001,69 mg/1000 g) değerleri kontrol örneğinde (CC) belirlenmiş, en düşük değerler ise SWC örneğinde saptanmıştır. Bitkisel kaynaklı yumurta ikamelerinin kullanımı, Na içeriğini anlamlı düzeyde azaltmıştır ($p < 0,05$). Mg içeriği 98,99 – 208,73 mg/100 g aralığında değişmiş, en yüksek değer CHC örneğinde ölçülmüştür. Bu sonuç, chia tohumunun yüksek Mg içeriğiyle uyumludur (Pająk ve ark., 2019). K içeriği en yüksek BC örneğinde (1352,42 mg/1000 g) ve en düşük SWC örneğinde saptanmıştır. Ca içeriği ise en yüksek CHC örneğinde (372,00 mg/1000 g) belirlenmiştir.

AC, FC, PC ve CHC formülasyonlarının genellikle daha yüksek Mg, K ve Ca düzeyleri sağladığı, buna karşılık Na içeriğinin azaldığı görülmüştür. Bu eğilim, kullanılan bitkisel bileşenlerin doğal mineral kompozisyonunu yansıtmaktadır. Örneğin chia

tohumu ve keten tohumu doğal olarak Ca ve Mg açısından zengindir ve aynı zamanda yüksek K:Na oranına sahiptir. Bu özellikler, ilgili muffin örneklerinde artan mineral içeriklerini açıklamaktadır (Agrahar-Murugkar ve ark., 2016; Anwar ve ark., 2020). Yumurtanın yerine sıkça kullanılan muz, yüksek K içeriğiyle (358 mg/100 g) bilinir ve bu özellik, muz bazlı formülasyonda gözlenen yüksek K düzeyine katkıda bulunmuş olabilir (Ranjha ve ark., 2022). Bu bileşenlerin, mineral alımını desteklemenin yanı sıra bitkisel kaynaklı fırın ürünlerinin besinsel değerine ek katkılar sağladığı düşünülmektedir.

4.4.3. Farklı süt ikameleri ile üretilen muffinler

Muffinlerin kimyasal bileşimi, hem besinsel kalite hem de teknolojik işlevsellik açısından belirleyici bir unsurdur. Nem içeriği, dokusal yumuşaklık ve raf ömrü stabilitesi üzerinde etkili olurken; protein ve yağ düzeyleri, pişirme sürecinde yapısal bütünlük ve aroma gelişimini belirlemektedir. Kül ve mineral içerikleri, farklı formülasyonların mikro besin katkılarını değerlendirmeye olanak tanırken; diyet lifi ve toplam karbonhidrat fraksiyonları, sağlıkla ilişkili özellikler ve kalori yoğunluğu ile doğrudan bağlantılıdır (Zielińska ve ark., 2021).

Çizelge 4.7'de görüldüğü üzere, inek sütü içeren kontrol muffin (CC) örneği en yüksek protein (8,51 g/100 g) ve yağ (22,21 g/100 g) değerlerini göstermiş, buna bağlı olarak en yüksek enerji içeriği (448,90 kcal/100 g) hesaplanmıştır. Buna karşılık, tüm bitkisel bazlı formülasyonlarda protein miktarı azalmış (5,40 – 5,92 g/100 g aralığında) ve buna paralel olarak yağ miktarında da düşüş gözlenmiştir. Bu örnekler arasında AC ve QC muffinleri en düşük yağ içeriğine sahip olup (sırasıyla 19,92 ve 19,61 g/100 g), kontrol örneğine kıyasla anlamlı düzeyde daha düşük enerji değerleri göstermiştir ($p < 0,05$). SC ve HC örnekleri, yüksek diyet lifi içerikleriyle (sırasıyla 1,02 ve 0,99 g/100 g) öne çıkarak bu bitkisel sütlerin lif zenginleştirici potansiyelini ortaya koymuştur.

Çizelge 4.7. Farklı süt ikameleriyle hazırlanan muffin örneklerinin kimyasal bileşimi (g/100 g) ve mineral bileşimi (mg/1000 g)

Örnek	Nem	Kül	Protein	Yağ	TDF	Toplam karbonhidrat	Enerji (kcal/100 g)
CC	14,45±0,00^{c}	0,73±0,03^{bc}	8,51±0,07^{a}	22,21±0,02^{a}	0,70±0,01^{bc}	53,45±0,07^{e}	448,90±0,00^{a}
SC	14,91±0,08^{b}	0,82±0,02^{b}	5,75±0,07^{bc}	20,36±0,04^{c}	1,02±0,02^{a}	57,20±0,14^{d}	436,90±0,00^{f}
HC	14,45±0,03^{c}	0,73±0,03^{bc}	5,42±0,04^{d}	20,36±0,05^{c}	0,99±0,01^{a}	58,10±0,00^{bc}	439,10±0,28^{d}
WC	14,86±0,07^{b}	0,72±0,02^{c}	5,92±0,09^{b}	20,82±0,06^{b}	0,49±0,01^{e}	57,20±0,00^{d}	440,70±0,14^{c}
QC	16,18±0,06^{a}	0,97±0,03^{a}	5,46±0,00^{d}	19,61±0,01^{e}	0,64±0,01^{cd}	57,10±0,00^{d}	428,20±0,14^{g}
FC	14,62±0,02^{c}	0,82±0,02^{a}	5,40±0,00^{d}	20,23±0,03^{c}	0,60±0,02^{d}	58,25±0,07^{b}	437,85±0,35^{e}
CNC	14,82±0,02^{b}	0,80±0,01^{bc}	5,68±0,04^{c}	20,06±0,02^{d}	0,73±0,00^{b}	57,95±0,07^{c}	436,35±0,07^{f}
OC	14,20±0,00^{d}	0,93±0,02^{a}	5,44±0,00^{d}	20,76±0,02^{b}	0,60±0,02^{d}	58,05±0,07^{bc}	442,10±0,00^{b}
AC	13,72±0,05^{e}	0,76±0,01^{bc}	5,66±0,01^{c}	19,92±0,04^{d}	0,99±0,01^{a}	58,95±0,07^{a}	439,75±0,07^{d}

	P	Na	Mg	K	Ca
CC	2188,36±103,85^{a}	2201,69±121,29^{a}	138,99±9,98^{b}	1014,14±25,31^{d}	301,99±13,85^{a}
SC	1917,80±22,01^{b}	2015,84±36,11^{ab}	174,31±1,80^{a}	1331,41±5,28^{a}	235,61±3,92^{bc}
HC	1809,51±53,03^{bc}	1936,65±58,66^{bc}	171,40±4,73^{a}	1163,73±33,21^{bc}	252,08±2,63^{b}
WC	1669,66±39,61^{c}	1802,11±51,70^{c}	168,99±4,29^{a}	1142,05±39,47^{bc}	155,31±0,79^{d}
QC	1765,32±21,23^{bc}	1896,96±27,27^{bc}	171,22±0,98^{a}	1153,24±14,43^{bc}	146,15±3,06^{d}
FC	1698,42±13,60^{c}	1776,845±11,96^{c}	169,43±0,96^{a}	1212,24±5,84^{b}	165,94±1,05^{d}
CNC	1815,14±8,13^{bc}	2030,32±17,317^{ab}	168,96±3,83^{a}	1141,18±11,53^{bc}	230,29±1,03^{c}
OC	1648,82±17,88^{c}	1769,86±18,17^{c}	163,69±1,56^{a}	1120,66±4,24^{c}	228,54±5,07^{c}
AC	1721,91±31,98^{c}	1862,19±33,94^{bc}	161,80±5,03^{a}	1169,46±15,75^{bc}	244,99±0,67^{bc}

Sonuçlar ortalama ± standart sapma şeklinde verilmiştir. Aynı sütun içinde farklı harflerle gösterilen ortalamalar arasındaki fark istatistiksel olarak anlamlıdır ($p < 0,05$). TDF: Toplam diyet lifi. CC: Kontrol muffin, SC: Soya sütlü muffin, HC: Fındık sütlü muffin, WC: Ceviz sütlü muffin, QC: Kinoa sütlü muffin, FC: Keten tohumu sütlü muffin, CNC: Hindistan cevizi sütlü muffin, OC: Yulaf sütlü muffin, AC: Badem sütlü muffin.

Mineral profili bakımından örnekler arasında belirgin farklılıklar saptanmıştır. Kontrol muffinleri, Ca bakımından daha zengin bulunmuş (301,99 mg/1000 g), bitkisel süt içeren örneklerde bu değer 146,15 mg/1000 g (QC) ile 252,08 mg/1000 g (HC) arasında değişmiştir. Buna karşılık, SC örneği en yüksek K içeriğine (1331,41 mg/1000 g) sahip olmuş ve bu değer kontrol örneğinden yaklaşık %30 daha yüksek bulunmuştur. CC, SC ve CNC muffinlerinde Na içeriği yüksek düzeylerde ölçülmüştür (>2000 mg/1000 g). Dünya Sağlık Örgütü'nün önerdiği günlük maksimum sodyum alım miktarı 2000 mg olmakla birlikte, bu sınır günlük toplam diyet üzerinden değerlendirilmektedir. İncelenen ürünlerde belirlenen sodyum içeriği, 1 kg ürün bazında bu değere yaklaşmakta veya aşmakta olup, porsiyon büyüklüğü dikkate alındığında tek seferlik

tüketimde bu sınırın aşılması beklenmemektedir (Guideline, 2012). Diğer formülasyonlarda Na içeriği 1770 – 1937 mg/1000 g aralığında kalmıştır. Mg içeriği ise bitkisel bazlı örneklerde (161,8 – 174,3 mg/1000 g) kontrol örneğine (138,99 mg/1000 g) kıyasla sürekli olarak daha yüksek seyretmiştir. Bu durum, bu örneklerin mikro besin çeşitliliğini artırma potansiyeline işaret etmektedir.

Bu bileşimsel değişimler, süt ikameleriyle yapılan reformülasyonlarda gözlenen genel eğilimleri yansıtmaktadır. İnek sütü genellikle daha yüksek protein ve Ca düzeyleri sağlarken, bitkisel sütler enerji yoğunluğu ve yağ içeriğini azaltmakta; buna karşılık lif ve Mg oranlarını artırmaktadır (Johnson ve ark., 2025; Walther ve ark., 2022). Soya ve kuruyemiş bazlı sistemler, özellikle fırıncılık ürünlerinde lif fraksiyonlarını artırmalarıyla ilişkilendirilmektedir (Irondi ve ark., 2025). Öte yandan, kinoa ve ceviz sütlerinde gözlenen düşük Ca düzeyleri, glutensiz formülasyonlarda bildirilen mineral seyreltme eğilimiyle paralellik göstermektedir (Walther ve ark., 2022). SC ve CNC muffinlerinde gözlenen yüksek Na içerikleri (>2000 mg/1000 g), bazı ticari bitkisel sütlerin stabilizasyon amacıyla ilave tuz içermesine dair önceki raporlarla da örtüşmektedir (Antunes ve ark., 2025). Bu farklılıklar, yeniden formülasyon süreçlerinde hem besinsel yeterliliğin hem de teknolojik işlevselliğin korunmasının çift yönlü bir gereklilik olduğunu ortaya koymaktadır.

Genel olarak değerlendirildiğinde, yumurta ikamelerinin muffinlerin kimyasal bileşimi üzerinde oluşturduğu etkinin, süt ikamelerine kıyasla daha kapsamlı ve belirgin olduğu görülmektedir. Yumurta ikameleri; protein, yağ, diyet lifi, enerji ve mineral içeriğinde geniş bir değişkenlik yaratarak muffinlerin temel besinsel profilini doğrudan etkilemiştir. Özellikle lif açısından zengin keten tohumu, psyllium ve chia bazlı ikameler, diyet lifi ve bazı makro minerallerin (Mg, Ca, K) artmasına katkı sağlarken, protein ve enerji değerlerinde kontrol örneğine göre düşüşe yol açmıştır. Buna karşılık, süt ikamelerinin etkisi daha sınırlı olup, çoğunlukla protein, yağ ve enerji yoğunluğunun azalması ile lif ve Mg içeriğinin artışı şeklinde ortaya çıkmıştır. İnek sütü kullanılan kontrol örnekleri, daha yüksek protein, yağ ve Ca içerikleriyle öne çıkarken, bitkisel süt içeren formülasyonlar daha düşük enerji yoğunluğuna neden olmuştur. Buna karşılık, süt ikameleri yumurta ikamelerine kıyasla muffinlerin besinsel bileşimini daha sınırlı

düzeyde etkilemiştir. Bu bulgular, muffin formülasyonlarında ürünün temel kimyasal kompozisyonunun büyük ölçüde kullanılan yumurta veya yumurta ikamesi tarafından belirlendiğini, süt seçiminin ise bu kompozisyonu ikincil düzeyde şekillendiren tamamlayıcı bir unsur olarak rol oynadığını göstermektedir.

4. 5. Farklı Süt İkameleri ile Üretilen Muffin Örneklerinin Yağ Asidi Kompozisyonu

Fırıncılık ürünlerinin yağ asidi bileşimi, hem besinsel kalite hem de teknolojik işlevsellik açısından belirleyici bir unsurdur. Doymuş yağ asitleri (SFA) genellikle yapısal stabiliteyle ilişkilendirilmekle birlikte, aşırı alımları kardiyovasküler hastalık riskini artırmaktadır. Buna karşılık, tekli (MUFA) ve çoklu doymamış yağ asitlerini (PUFA) içeren toplam doymamış yağ asitleri (TUFA), lipid metabolizması ve inflamasyonun düzenlenmesi açısından yararlı kabul edilmektedir (Dicks, 2024).

Bu çalışmada yağ asidi kompozisyonu analizi, süt ikamelerinin farklılaştığı muffin formülasyonlarıyla sınırlandırılmıştır. Yumurta ikameleri; aquafaba, meyve püresi, jel yapılar ve polisakkarit bazlı sistemler gibi yapısal ve bileşimsel açıdan heterojen bileşenler içerdiğinden, yağ fraksiyonunun karşılaştırılabilirliği sınırlı kalmaktadır. Bu nedenle, yağ asidi kompozisyonuna ilişkin değerlendirme, yorumlanabilirliği artırmak amacıyla süt ikameleri üzerinden ele alınmıştır. Muffinlerde kullanılan süt ikamesi, bu yağ asidi gruplarının oranlarını değiştirerek lipid profilini doğrudan etkileyebilmektedir. Örneklere ait kromatogramlar Ek 7'de verilmiştir.

Çizelge 4.8'de verilen sonuçlara göre, tüm örneklerde baskın doymuş yağ asitleri palmitik asit (C16:0) ve stearik asit (C18:0) olmuştur. Kontrol muffin örneği (CC), bitkisel bazlı formülasyonlara kıyasla anlamlı derecede daha yüksek SFA içeriği göstermiştir (%13,40). Bitkisel sütlerle hazırlanan örneklerde bu oran %11,44 – 11,98 arasında değişmiştir. Bu sonuç, süt alternatiflerinin kullanımının SFA oranını azalttığını ve böylece besinsel lipid kalitesinin iyileştirilebileceğini göstermektedir. Bitkisel sütler arasında, FC ve QC örnekleri diğer vegan örneklere kıyasla biraz daha yüksek SFA değerleri göstermiştir. Her ne kadar keten tohumu ve kinoa genellikle yüksek PUFA

içerikleriyle bilinse de, keten tohumu kayda değer miktarda palmitik ve stearik asit de içermektedir (Amri ve ark., 2024). Benzer şekilde, kinoa yağı yaklaşık %20 oranında palmitik asidin yanı sıra oleik ve linoleik asitleri de içermektedir (Zhang ve Li, 2024). Bu doğal yağ asidi profilleri, FC ve QC formülasyonlarında gözlenen SFA artışını açıklamaktadır.

Oleik asit (C18:1), tüm formülasyonlarda baskın tekli doymamış yağ asidi (MUFA) olarak belirlenmiş ve oranı yaklaşık %35 düzeyinde sabit kalmıştır ($p > 0,05$). Bu durum, süt ikameleri arasında belirgin bir farklılık gözlenmemesiyle birlikte, formülasyonda ortak yağ fazı olarak kullanılan ayçiçek yağının yağ asidi profilinin baskın etkisini yansıtmaktadır. Ayçiçek yağı, yüksek oleik asit içeriğiyle karakterize edilen bir bitkisel yağ olup, formülasyonda kullanılan yağ fazına bağlı olarak fırıncılık ürünlerinin MUFA profilini belirleyen başlıca bileşenlerden biridir (Martínez-Cervera ve ark., 2015). Bu nedenle, süt ikamelerinin lipid fraksiyonundaki farklılıklarının, oleik asit düzeyleri üzerinde sınırlı bir etki oluşturduğu; gözlenen MUFA stabilitesinin büyük ölçüde ayçiçek yağının formülasyondaki baskın katkısından kaynaklandığı düşünülmektedir. Bu durum, kardiyovasküler sağlığı destekleyici etkisi iyi bilinen oleik asidin varlığı açısından olumlu kabul edilmektedir (Lu ve ark., 2024).

Linoleik asit (C18:2) ise başlıca çoklu doymamış yağ asidi (PUFA) olup, oranı kontrol örneğinde %50,33 iken, ceviz sütlü muffin (WC) örneğinde %53,21'e ulaşmıştır. En yüksek PUFA değerleri ceviz, keten tohumu ve yulaf sütüyle hazırlanan muffinlerde saptanmış; bu sonuç, süt türevlerine kıyasla daha yüksek oranda doymamış yağ asitleri içeren bu bitkisel kaynakların doğal yağ profilleriyle uyum göstermiştir (Moore ve ark., 2023). Buna karşılık, CNC örneklerinde PUFA oranı bazı diğer bitkisel örneklere kıyasla daha düşük bulunmuştur. FC örneğinde PUFA benzer düzeyde olmakla birlikte özellikle α – linolenik asit (C18:3 n – 3) katkısı dikkat çekmektedir (Shahada ve ark., 2024). Nitekim WC ve FC örneklerinde sırasıyla %0,34 ve %0,31 düzeylerinde α – linolenik asit tespit edilmiştir; bu durum, bu formülasyonların omega – 3 yağ asitleri açısından zenginleştirilmiş fonksiyonel ürünler olarak değerlendirilebileceğini göstermektedir. Bununla birlikte α-linolenik asit düzeyleri mutlak olarak düşük olsa da, bitkisel kaynaklı süt ikamelerinin formülasyona bu fraksiyonu taşımış olması ürünün

lipid çeşitliliğini artırmaktadır. PUFA oranının yükselmesi besinsel açıdan olumlu kabul edilmekle birlikte, PUFA'ların oksidasyona duyarlılığı nedeniyle ürünün depolama stabilitesi açısından antioksidan kapasite ve ambalaj koşullarının da önem kazandığı göz önünde bulundurulmalıdır (Dhiman ve ark., 2024).

Daha önce yapılan araştırmalar, inek sütü yağının doğal olarak palmitik ve stearik asit açısından zengin olduğunu ve bu bileşenlerin fırıncılık ürünlerinde gaz tutulumu ile yapısal stabilitede rol oynadığını vurgulamaktadır. Ancak, bitkisel kaynaklı ikameler, oleik ve linoleik asit oranlarını artırarak hem besinsel kaliteyi hem de sağlık yararlarını geliştirmektedir (Huang ve ark., 2019). Dolayısıyla, özellikle ceviz ve keten tohumu bazlı muffinlerde gözlenen yüksek doymamış yağ asidi oranları, hem teknolojik hem de besinsel açıdan belirgin bir avantaj sağlamaktadır.

Tüm formülasyonlarda TUFA oranı toplam lipid fraksiyonunun %86 – 88'ini oluşturmuş, en yüksek TUFA değerleri bitkisel süt bazlı muffinlerde (>%88) saptanmıştır. Doymamış/doymuş yağ asidi oranındaki bu olumlu değişim, bitkisel sütlerin muffinlerin sağlık profilini iyileştirme potansiyelini ortaya koymakta ve yapısal bütünlüğün korunmasına engel teşkil etmemektedir. Bu bulgular, süt alternatiflerinin stratejik kullanımının hem fonksiyonel performansı hem de besinsel değeri yüksek fırıncılık ürünleri elde etmek için etkili bir yaklaşım olduğunu doğrulamaktadır.

Çizelge 4.8. Farklı süt ikameleriyle hazırlanan muffin örneklerinin yağ asidi kompozisyonu

YA (%)	CC	SC	HC	WC	QC	FC	CNC	OC	AC
C14:0	0,17±0,00^{b}	0,08±0,00^{d}	0,08±0,00^{d}	0,08±0,00^{d}	0,08±0,01^{d}	0,79±0,01^{a}	0,13±0,00^{c}	0,08±0,01^{d}	0,08±0,00^{d}
C16:0	8,08±0,02^{a}	6,62±0,01^{bc}	6,58±0,01^{d}	6,60±0,01^{cd}	6,62±0,01^{bcd}	6,60±0,01^{bcd}	6,60±0,01^{cd}	6,64±0,01^{b}	6,63±0,02^{bc}
C16:1	0,24±0,01^{a}	0,10±0,01^{cd}	0,13±0,01^{bcd}	0,13±0,01^{bc}	0,14±0,01^{b}	0,10±0,01^{d}	0,14±0,01^{b}	0,11±0,01^{bcd}	0,11±0,01^{bcd}
C18:0	4,06±0,14^{a}	3,58±0,02^{b}	3,58±0,01^{b}	3,57±0,06^{b}	3,58±0,02^{b}	3,60±0,01^{b}	3,57±0,02^{b}	3,58±0,01^{b}	3,56±0,01^{b}
C18:1	35,30±0,20^{a}	35,05±0,20^{a}	35,08±0,73^{a}	34,64±0,04^{a}	34,99±0,13^{a}	34,91±0,33^{a}	35,10±0,21^{a}	34,78±0,55^{a}	35,29±0,32^{a}
C18:2	50,33±0,21^{c}	53,03±0,13^{ab}	52,75±0,10^{b}	53,21±0,22^{a}	53,07±0,04^{ab}	52,85±0,11^{ab}	52,73±0,18^{b}	53,04±0,05^{ab}	52,77±0,19^{b}
C18:3	0,13±0,01^{b}	0,11±0,03^{b}	0,08±0,02^{b}	0,34±0,05^{a}	0,08±0,02^{b}	0,31±0,01^{a}	0,08±0,02^{b}	0,07±0,00^{b}	0,08±0,03^{b}
C20:0	0,24±0,02^{a}	0,25±0,01^{a}	0,25±0,01^{a}	0,26±0,02^{a}	0,23±0,03^{a}	0,25±0,02^{a}	0,23±0,02^{a}	0,25±0,01^{a}	0,26±0,01^{a}
C22:0	0,64±0,01^{b}	0,69±0,02^{a}	0,69±0,01^{a}	0,68±0,02^{ab}	0,68±0,01^{ab}	0,68±0,02^{ab}	0,71±0,01^{a}	0,68±0,02^{ab}	0,68±0,01^{a}
C22:1	0,11±0,01^{a}	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
C24:0	0,24±0,01^{d}	0,27±0,01a^{bc}	0,26±0,01^{bcd}	0,25±0,01^{cd}	0,28±0,01^{a}	0,28±0,01^{ab}	0,27±0,01^{abc}	0,25±0,01^{bcd}	0,26±0,00^{bcd}
SFA	13,40±0,11^{a}	11,49±0,02^{bc}	11,44±0,03^{c}	11,45±0,05^{c}	11,71±0,34^{bc}	11,98±0,35^{b}	11,57±0,14^{bc}	11,49±0,01^{bc}	11,49±0,07^{bc}
MUFA	35,64±0,20^{a}	35,25±0,12^{abcd}	35,65±0,11^{a}	34,81±0,09^{d}	35,13±0,15^{bcd}	34,97±0,27^{cd}	35,35±0,09^{abc}	35,25±0,08^{abcd}	35,52±0,20^{ab}
PUFA	50,46±0,21^{d}	53,22±0,08^{ab}	52,81±0,05^{c}	53,50±0,09^{a}	53,17±0,04^{b}	53,23±0,07^{ab}	52,79±0,13^{c}	53,14±0,04^{b}	52,81±0,17^{c}
TUFA	86,10±0,41^{b}	88,47±0,19^{a}	88,46±0,097^{a}	88,31±0,18^{a}	88,30±0,18^{a}	88,20±0,23^{a}	88,14±0,11^{a}	88,39±0,11^{a}	88,33±0,12^{a}

Veriler ortalama ± standart sapma şeklinde verilmiştir. Aynı satır içinde farklı harflerle gösterilen ortalamalar arasındaki fark istatistiksel olarak anlamlıdır ($p < 0,05$). <LOD: Tespit limitinin altında. CC: Kontrol muffin, SC: Soya sütlü muffin, HC: Fındık sütlü muffin, WC: Ceviz sütlü muffin, QC: Kinoa sütlü muffin, FC: Keten tohumu sütlü muffin, CNC: Hindistan cevizi sütlü muffin, OC: Yulaf sütlü muffin, AC: Badem sütlü muffin. SFA: Doymuş yağ asidi, MUFA: Tekli doymamış yağ asidi, PUFA: Çoklu doymamış yağ asidi, TUFA: Toplam doymamış yağ asitleri.

4. 6. Vegan Muffinlerin Toplam Fenolik Madde İçeriği, Antioksidan Kapasitesi ve *In Vitro* Biyoerişilebilirliği

4.6.1. Farklı yumurta ikameleri ile üretilen muffinler

Farklı yumurta ikameleriyle üretilen muffin örneklerinin antioksidan özellikleri, simüle edilmiş sindirim aşamalarında uygulanan TPC, CUPRAC ve DPPH analizleriyle değerlendirilmiş ve kaynaklar arasında belirgin farklılıklar ortaya koymuştur (Çizelge 4.9). Ayrıca örneklerin biyoerişilebilirlik indeksi, sindirim sonrası değerin sindirilmemiş değere oranının % olarak ifade edilmesiyle hesaplanmıştır.

Sindirilmemiş durumda en yüksek toplam fenolik madde içeriği (TPC) AC ve CC örneklerinde ölçülmüş, bunu BC ve SWC örnekleri takip etmiştir. BC'de gözlenen yüksek TPC değeri, muzda doğal olarak bulunan kateşin, gallik asit ve klorojenik asit gibi fenolik bileşiklerden kaynaklanabildiği düşünülmektedir (Sulaiman ve ark., 2011). Benzer şekilde, SWC örneğinde kullanılan çöven otunun saponinler ve çeşitli flavonoidler içerdiği ve belirgin antioksidan potansiyel gösterdiği bildirilmiştir (Hedayati ve ark., 2022). Sindirilmemiş örnekler içerisinde BC, DPPH yöntemiyle en yüksek antioksidan aktiviteyi (85,60 µmol TE/g) sergilemiştir. CUPRAC değerleri incelendiğinde ise AC (0,14 µmol TE/g), BC (0,11 µmol TE/g) ve PC (0,15 µmol TE/g) örneklerinin belirgin düzeyde yüksek olduğu saptanmıştır. Bu sonuçlar, farklı yumurta ikamelerinin antioksidan profili üzerinde belirgin etkileri olduğunu ve bunun kullanılan antioksidan mekanizmasına bağlı olarak değiştiğini göstermektedir.

Ayrıca DPPH ve CUPRAC analizleri arasında belirgin farklılıklar gözlenmiştir. DPPH, organik ortamda küçük ve hidrofobik moleküllerin radikal süpürücü kapasitesini ölçerken, CUPRAC yöntemi tiol tipi antioksidanlar ve hidrofilik bileşikler dahil olmak üzere toplam indirgeme gücünü değerlendirmektedir. CUPRAC reaktifi, daha düşük elektrot potansiyeline sahip olması nedeniyle basit şekerlerle reaksiyona girmemekte ve bu durum yöntemi fenolik temelli antioksidanlara karşı daha seçici hâle getirmektedir (Koç Alibaşoğlu ve ark., 2024). Bu yöntemsel farklılık, özellikle AC örneğinde DPPH aktivitesi düşük olmasına rağmen CUPRAC değerlerinin orantısız derecede yüksek

olmasını açıklamaktadır. Farklı duyarlılıklara ve mekanizmalara sahip olmaları nedeniyle, DPPH ve CUPRAC gibi analizlerin birlikte kullanılması antioksidan potansiyelin daha kapsamlı bir şekilde değerlendirilmesini sağlamaktadır (Capanoglu ve ark., 2022).

Çizelge 4.9. Farklı yumurta ikameleri ile üretilen muffin örneklerinin toplam fenolik madde içeriği ve antioksidan aktiviteleri

	Sindirilmemiş	**Simüle mide sistemi**	**Simüle bağırsak sistemi**
		TPC (mg GAE/g)	
CC	$0,08\pm0,00^{a,B}$	$0,08\pm0,00^{b,B}$	$0,14\pm0,00^{a,A}$
AC	$0,09\pm0,05^{a,A}$	$0,09\pm0,00^{b,A}$	$0,09\pm0,00^{e,A}$
BC	$0,07\pm0,01^{a,A}$	$0,08\pm0,00^{b,A}$	$0,07\pm0,00^{f,A}$
FC	$0,05\pm0,03^{a,B}$	$0,15\pm0,01^{a,A}$	$0,10\pm0,00^{d,AB}$
PC	$0,03\pm0,02^{a,A}$	$0,09\pm0,00^{b,B}$	$0,11\pm0,00^{c,B}$
SWC	$0,06\pm0,06^{a,A}$	$0,08\pm0,00^{b,A}$	$0,06\pm0,00^{g,A}$
CHC	$0,03\pm0,02^{a,B}$	$0,08\pm0,02^{b,AB}$	$0,13\pm0,00^{b,A}$
		CUPRAC (µmol TE/g)	
CC	$0,02\pm0,01^{a,C}$	$0,88\pm0,01^{a,A}$	$0,63\pm0,02^{b,B}$
AC	$0,14\pm0,01^{a,C}$	$0,92\pm0,01^{a,B}$	$1,02\pm0,01^{a,A}$
BC	$0,11\pm0,01^{a,C}$	$0,71\pm0,01^{c,A}$	$0,63\pm0,02^{b,B}$
FC	$0,09\pm0,01^{a,C}$	$0,45\pm0,01^{e,A}$	$0,36\pm0,02^{d,B}$
PC	$0,15\pm0,09^{a,B}$	$0,39\pm0,01^{f,A}$	$0,39\pm0,01^{d,A}$
SWC	$0,07\pm0,01^{a,C}$	$0,76\pm0,02^{b,A}$	$0,60\pm0,01^{bc,B}$
CHC	$0,08\pm0,01^{a,C}$	$0,60\pm0,00^{d,A}$	$0,56\pm0,02^{c,B}$
		DPPH (µmol TE/g)	
CC	$48,22\pm3,22^{d,A}$	$35,05\pm1,19^{cd,B}$	$1,58\pm0,01^{c,C}$
AC	$50,89\pm1,64^{d,A}$	$52,51\pm1,20^{ab,A}$	$1,19\pm0,00^{e,B}$
BC	$85,60\pm1,91^{a,A}$	$58,56\pm2,20^{a,B}$	$1,13\pm0,00^{f,C}$
FC	$72,29\pm0,19^{b,A}$	$39,07\pm10,67^{bcd,B}$	$1,42\pm0,01^{d,C}$
PC	$65,26\pm3,20^{bc,A}$	$12,91\pm0,52^{e,B}$	$1,82\pm0,01^{a,C}$
SWC	$61,36\pm0,30^{c,A}$	$41,40\pm1,96^{abc,B}$	$1,67\pm0,01^{b,C}$
CHC	$47,51\pm1,55^{d,A}$	$23,31\pm2,92^{de,B}$	$1,83\pm0,01^{a,C}$

Sütunlardaki farklı küçük harfler, Tukey testine göre muffin örneklerinin TPC, CUPRAC ve DPPH değerleri arasında anlamlı fark bulunduğunu ($p < 0,05$) göstermektedir. Satırlardaki farklı büyük harfler ise Tukey testine göre sindirimin farklı aşamalarında muffin örneklerinin toplam fenolik madde içerikleri arasında anlamlı fark bulunduğunu ($p < 0,05$) ifade etmektedir. CC: Kontrol muffin, AC: Aquafaba muffin, BC: Muz muffin, FC: Keten tohumu muffin, PC: Psyllium muffin, SWC: Çöven muffin, CHC: Chia muffin

Mide fazında gıda matrisinin parçalanması, fenolik bileşiklerin matrise bağlı formlarından serbestleşmesine veya fenolik – protein etkileşimlerinin yeniden düzenlenmesine yol açabilmektedir. Pepsinin proteinleri polipeptitlere hidrolize etmesi, protein – polifenol komplekslerini kısmen zayıflatarak sindirim sıvısına fenolik geçişini destekleyebilmekte; bununla birlikte aynı koşullar bazı fenoliklerin asidik ortamda dönüşümüne veya kararsızlaşmasına da neden olabilmektedir. Bu nedenle mide fazında ölçülen antioksidan kapasitedeki değişimler, yalnızca fenolik miktarındaki değişimi değil, aynı zamanda matriksten salınan bileşenlerin (örneğin peptitler) toplam kapasiteye olası katkısını ve kullanılan yöntemin bu bileşenlere duyarlılığını da yansıtan çok bileşenli bir yanıt olarak değerlendirilmelidir (Diep ve ark., 2022; Plundrich ve ark., 2015; Alminger ve ark., 2014; Minekus ve ark., 2014).

Mide fazı TPC sonuçları örnekler arasında farklı davranışlar sergilemiş ve bu durumun yumurta ikamelerinin matriks özellikleriyle ilişkili olduğu düşünülmüştür. Mide fazı TPC biyoerişilebilirliği, örnekler arasında %100,0 – %300,0 aralığında değişmiş olup, bu durum mide koşullarında fenoliklerin matrise bağlanma düzeyi ve ekstrakte edilebilirliğinin örneğe bağlı olarak farklılaştığını göstermektedir. Örneğin FC örneğinde TPC'nin 0,05'ten 0,15 mg GAE/g'e yükselmesi, mide fazı biyoerişilebilirliğinin %300,0 olduğunu göstermiş; benzer şekilde PC örneğinde TPC'nin 0,03'ten 0,09 mg GAE/g'e yükselmesi mide fazı biyoerişilebilirliğini yine %300,0 düzeyine taşımıştır. CHC örneğinde mide fazında TPC'nin 0,03'ten 0,08 mg GAE/g'e yükselmesi ise biyoerişilebilirliğin %266,7 olduğunu göstermektedir. Buna karşın CC ve AC örneklerinde TPC'nin mide fazında değişmemesi (CC: 0,08→0,08 mg GAE/g; AC: 0,09→0,09 mg GAE/g) mide fazı biyoerişilebilirliğinin %100,0 düzeyinde kaldığını göstermektedir. Bu bulgular, fenoliklerin protein ve polisakkaritlerle etkileşerek matrikse bağlı kalabilmesi ya da sindirim sırasında farklı düzeylerde serbestleşebilmesi ile açıklanan literatürle uyum göstermektedir (Jakobek, 2015; Rocchetti ve ark., 2022; Kamiloglu ve ark., 2021; Mandalari ve ark., 2016).

Mide fazında CUPRAC değerlerinin tüm örneklerde belirgin biçimde artması, mide koşullarında matriks çözünürlüğünün artmasıyla birlikte indirgeme kapasitesine sahip bileşenlerin sindirim sıvısına geçişinin güçlendiğini düşündürmektedir. Nitekim mide

fazı sonrası CUPRAC biyoerişilebilirliği örnekler arasında %260,0 – %4400,0 aralığında değişmiş ve tüm örneklerde artış yönünde gerçekleşmiştir. Örneğin CC'de CUPRAC değerinin 0,02'den 0,88 µmol TE/g'e yükselmesi, mide fazı biyoerişilebilirliğinin %4400,0 olduğunu göstermektedir. AC (0,14→0,92 µmol TE/g; %657,1) ve BC (0,11→0,71 µmol TE/g; %645,5) örneklerinde de mide fazında benzer büyüklükte artış izlenmiştir. Bununla birlikte CC'de gözlenen çok yüksek oransal artışın, sindirilmemiş örnekte başlangıç düzeyinin oldukça düşük olmasına bağlı olarak oransal büyütmeyi de yansıtabileceği göz önünde bulundurulmalıdır. CUPRAC yönteminin indirgeme gücünü esas alması ve farklı indirgen bileşenlere duyarlı olabilmesi nedeniyle, mide fazında protein hidroliziyle açığa çıkan bileşenlerin toplam kapasiteye katkı sağlaması olasıdır (Apak ve ark., 2004; Cekic ve ark., 2009; Damodaran ve Parkin, 2017). Ayrıca protein – fenolik etkileşimlerinin sindirim boyunca değişebildiği ve bunun fenoliklerin ölçülebilir fraksiyonunu etkileyebildiği bildirildiğinden, mide fazında gözlenen bu artışın matriks bileşimine bağlı bir yanıt olduğu düşünülmektedir (Nemli ve ark., 2024; Rocchetti ve ark., 2022).

Mide fazında DPPH radikal süpürücü aktivite, örnekler arasında farklı eğilimler göstermiştir. Mide fazı sonrası DPPH biyoerişilebilirliği %19,8 – %103,2 aralığında değişmiş; bu durum DPPH temelli yanıtın mide koşullarında örneğe özgü bir davranış sergilediğini göstermektedir. Örneğin PC örneğinde DPPH aktivitesinin 65,26'dan 12,91 µmol TE/g'e düşmesi, mide fazı biyoerişilebilirliğinin %19,8 düzeyine gerilediğini göstermiştir. Benzer şekilde CHC'de 47,51'den 23,31 µmol TE/g'e düşüş %49,1, FC'de 72,29'dan 39,07 µmol TE/g'e düşüş ise %54,1 olarak hesaplanmaktadır. Buna karşın AC örneğinde DPPH aktivitesinin 50,89'dan 52,51 µmol TE/g'e yükselmesi, mide fazı biyoerişilebilirliğinin %103,2 olduğunu göstermiştir. Bu durum, DPPH yönteminin belirli fenolik sınıfların radikal süpürme davranışına daha duyarlı olması ve asidik koşullarda bazı düşük molekül ağırlıklı fenoliklerin dönüşüme veya kararsızlaşmaya daha yatkın hale gelmesiyle ilişkilendirilebilir. Protein – fenolik komplekslerinin mide sindirimi sırasında yapısal olarak değişebildiği ve bunun fenoliklerin ölçülebilir fraksiyonunu etkileyebildiği bildirilmiştir (Plundrich ve ark., 2015; Nemli ve ark., 2024). Bu bulgular, sindirim ortamında özellikle mide ve bağırsak fazları arasındaki pH değişiminin fenolik antioksidanların stabilitesi üzerinde belirleyici

bir rol oynadığını vurgulayan literatürle de uyumludur (Wojtunik-Kulesza ve ark., 2020).

In vitro sindirim sonrasında fenolik maddelerin biyoerişilebilirliğinde belirgin farklılıklar gözlenmiştir. Bağırsak fazı sonrası TPC biyoerişilebilirliği, örnekler arasında %100,0 – %433,3 aralığında değişmiş olup, en yüksek değerler CHC (%433,3) ve PC (%366,7) örneklerinde gözlenmiştir. Bu durum bağlı fenoliklerin salınımının veya dönüşümünün arttığını göstermektedir. FC örneği mide fazında en yüksek TPC değerini göstermesine rağmen bağırsak fazında %37,0 oranında azalma sergilemiş; bu durum bazı polifenolik bileşiklerin alkali bağırsak koşullarında bozunmasıyla ilişkilendirilmiştir (Jakobek, 2015; Minekus ve ark., 2014). Mideden bağırsağa geçişte TPC değerleri, CHC ve PC örneklerinde mide fazına kıyasla sırasıyla %48,8 ve %23,5 artarken, CC örneğinde bağırsak fazı biyoerişilebilirliği sindirilmemiş örneğe göre %175,0 olarak hesaplanmıştır ($p < 0,05$). Buna karşın AC, SWC ve BC örneklerinde TPC biyoerişilebilirliğinde sindirim sonrası istatistiksel olarak anlamlı bir değişim gözlenmemiştir ($p > 0,05$). Bu sonuçlar, literatürde yoğun lif içeren gıda matrislerinde sindirim sırasında bağlı fenoliklerin sınırlı veya matrise bağımlı salınım göstermesiyle açıklanan bulgularla uyum göstermektedir (Jakobek, 2015).

Bağırsak fazı sonrasında CUPRAC temelli antioksidan kapasite AC (1,02 µmol TE/g), CC (0,63 µmol TE/g) ve SWC (0,60 µmol TE/g) örneklerinde belirgin şekilde yüksek bulunmuştur. CUPRAC temelli antioksidan kapasite için bağırsak fazı biyoerişilebilirliği, örnekler arasında %260,0 – %3150,0 aralığında değişmiş; en yüksek artış CC ve AC örneklerinde gözlenmiştir. Özellikle AC örneği sindirilmemiş hâline kıyasla CUPRAC değerinde yaklaşık %628,6 oranında bir artış göstermiştir (0,14 µmol TE/g'den 1,02 µmol TE/g'e). Benzer şekilde CHC ve SWC örneklerinde de bağırsak fazı sonrası CUPRAC değerlerinde artış izlenmiş; CHC 0,08'den 0,56 µmol TE/g'e (%600,0), SWC ise 0,07'den 0,60 µmol TE/g'e (%757,1) yükselmiştir. Buna karşın FC ve PC örneklerinde mide fazı sonrası CUPRAC temelli antioksidan kapasite azalmış ve bağırsak fazında sırasıyla 0,36 ve 0,39 µmol TE/g değerleriyle sınırlı düzeylerde korunmuştur. Bu durum, hassas antioksidan bileşiklerin asidik veya alkali pH koşullarında bozunması ya da sindirim sırasında matrise bağlı formların sınırlı

enzimatik ayrışması ile açıklanabilir (Alminger ve ark., 2014). Mide fazına kıyasla bağırsak fazında CUPRAC değeri AC örneğinde %10,8 artış gösterirken, diğer örneklerde %0,0 – %28,4 aralığında değişim ya da istatistiksel olarak anlamlı olmayan değişimler gözlenmiştir ($p > 0,05$).

Sindirim sonrasında CUPRAC ve DPPH sonuçları arasında yöntem temelli farklılıklar gözlenmiştir. Bağırsak fazı sonrası AC, CC ve SWC örneklerinde CUPRAC temelli antioksidan kapasite öne çıkarken, PC ve CHC örneklerinde DPPH yöntemiyle ölçülen radikal süpürücü aktivite daha belirgin bulunmuştur. Bu durum, iki yöntemin farklı radikal türlerine ve antioksidan sınıflarına olan duyarlılıklarından kaynaklanmaktadır (Munteanu ve Apetrei, 2021). Bu farklılıklar, *in vitro* sindirimin antioksidan kapasite üzerindeki etkilerinin değerlendirilmesinde tamamlayıcı analizlerin birlikte kullanılmasının gerekliliğini ortaya koymaktadır.

CUPRAC analizinin aksine, *in vitro* sindirim sonrasında DPPH yöntemiyle değerlendirilen fenolik antioksidanların biyoerişilebilirliğinin oldukça sınırlı olduğu belirlenmiştir. Bağırsak fazı sonrası DPPH biyoerişilebilirliği, örnekler arasında %1,32 – %3,85 aralığında değişmiş olup, bu durum DPPH temelli radikal süpürücü aktivitenin sindirim süreci sonunda tüm örneklerde düşük düzeylerde kaldığını göstermektedir. Örneğin, BC örneğinde DPPH biyoerişilebilirliği %1,32 olarak hesaplanırken, AC ve FC örneklerinde bu değerler sırasıyla %2,34 ve %1,96 olarak belirlenmiştir. CHC ve PC örnekleri ise bağırsak fazı sonrası sırasıyla %3,85 ve %2,79 biyoerişilebilirlik değerleriyle en yüksek DPPH biyoerişilebilirliğini göstermiş, ancak bu değerler mutlak olarak düşük bir aralıkta kalmıştır. Bu durum, kateşinler ve klorojenik asit gibi düşük molekül ağırlıklı fenolik bileşiklerin sindirim sürecinde karşılaşılan değişken pH koşullarında bozunmasına bağlanabilir. Yeşil muza ilişkin yakın tarihli bir çalışmada da in vitro sindirim boyunca DPPH radikal süpürücü aktivitenin belirgin şekilde azaldığı ve bu durumun klorojenik asit gibi fenolik bileşiklerin stabilitesinin azalmasıyla ilişkili olduğu bildirilmiştir (Bashmil ve ark., 2024). Benzer şekilde, chia tohumlarında da sindirim sonrası DPPH biyoerişilebilirliğinin sınırlı kaldığı rapor edilmiştir (Labanca ve ark., 2019). Bu bulgular, sindirim ortamında özellikle mide ve bağırsak fazları

arasındaki pH değişiminin fenolik antioksidanların stabilitesi üzerinde belirleyici bir rol oynadığını göstermektedir (Wojtunik-Kulesza ve ark., 2020).

Bu sonuçlar, sindirim süreci boyunca antioksidan davranışındaki dinamik değişimleri ortaya koymaktadır. CHC ve PC örnekleri yüksek TPC biyoerişilebilirliği göstermiş (%433,3 ve %366,7), SWC ve AC örnekleri ise güçlü CUPRAC aktivitesini korumuştur (%857,1 ve %728,6). Chia ve psyllium üzerine yapılan çalışmalarda da benzer eğilimler bildirilmiş olup, bu bileşenlerin yüksek lif içerikleri ve güçlü bağlanma özellikleri sayesinde antioksidan kapasiteyi artırdığı gösterilmiştir (Aljobair, 2022; Wojciechowicz-Budzisz ve ark., 2023). Buna karşın, aquafaba temelli örneklerde antioksidan kayıplarının fenolik bileşiklerin proteinlerle etkileşerek fenolik biyoerişilebilirliğini sınırlamasından kaynaklanabileceği bildirilmiştir (Yazici ve ark., 2025).

4.6.2. İnek sütü ikameleri

Süt örneklerinin antioksidan özellikleri, simüle edilmiş sindirim aşamalarında uygulanan TPC, CUPRAC ve DPPH analizleriyle değerlendirilmiş ve kaynaklar arasında belirgin farklılıklar ortaya koymuştur (Çizelge 4.10). Fenolik bileşikler bitki bazlı sütlerin fonksiyonel potansiyeline önemli katkı sağlayan bileşenlerdir ve gastrointestinal geçiş sırasında gösterdikleri stabilite ile salınımları, fizyolojik yararlarının düzeyini belirlemektedir (Grainger ve ark., 2024).

TPC açısından değerlendirildiğinde, inek sütü (CM) sindirilmemiş durumda en yüksek değeri göstermiştir (7,88 mg GAE/g). Ancak sindirim süreci fenolik katkısını belirgin şekilde azaltmış ve yalnızca %25,5'lik bir biyoerişilebilirlik indeksine yol açmıştır. Buna karşılık, çeşitli bitki bazlı alternatifler başlangıçta daha düşük TPC değerlerine sahip olmalarına rağmen sindirim sonrası TPC biyoerişilebilirliğinin %25,5 – %1663 aralığında değişmesi, fenolik bileşiklerin sindirim koşullarında farklı düzeylerde serbestleşebildiğini göstermektedir.

Çizelge 4.10. İnek sütü ve ikamelerinin toplam fenolik madde içeriği ve antioksidan aktiviteleri

	Sindirilmemiş	Simüle mide sistemi	Simüle bağırsak sistemi
		TPC (mg GAE/g)	
CM	7,88±0,70^{a,A}	2,38±0,21^{c,B}	2,01±0,02^{b,B}
SM	1,76±0,00^{c,B}	3,23±0,23^{bc,A}	1,95±0,03^{b,B}
HM	0,18±0,02^{e,C}	0,63±0,05^{d,B}	1,12±0,02^{ef,A}
WM	4,62±0,01^{b,A}	4,93±0,22^{a,A}	3,58±0,02^{a,B}
QM	0,68±0,06^{de,B}	2,80±0,39^{c,A}	1,58±0,02^{c,B}
FM	0,85±0,20^{cde,B}	4,02±0,61^{ab,A}	1,22±0,07^{e,B}
CNM	0,07±0,02^{e,B}	0,41±0,15^{d,B}	1,08±0,05^{f,A}
OM	1,53±0,12^{cd,A}	1,01±0,05^{d,B}	1,41±0,00^{d,A}
AM	0,30±0,02^{e,B}	0,76±0,05^{d,A}	0,33±0,02^{g,B}
		CUPRAC (µmol TE/g)	
CM	1,45±0,10^{a,A}	0,53±0,02^{b,B}	0,67±0,00^{b,B}
SM	0,04±0,01^{c,C}	0,31±0,01^{d,B}	0,55±0,01^{d,A}
HM	0,07±0,07^{c,B}	0,15±0,02^{f,B}	0,43±0,02^{f,A}
WM	1,49±0,00^{a,B}	1,22±0,01^{a,C}	1,69±0,02^{a,A}
QM	0,08±0,02^{c,C}	0,30±0,01^{d,B}	0,61±0,00^{c,A}
FM	0,23±0,10^{bc,B}	0,31±0,01^{d,AB}	0,49±0,01^{e,A}
CNM	0,04±0,00^{c,C}	0,44±0,02^{c,B}	0,65±0,00^{b,A}
OM	0,39±0,10^{b,A}	0,23±0,01^{e,A}	0,41±0,01^{f,A}
AM	0,04±0,00^{c,B}	0,34±0,00^{d,A}	0,29±0,01^{g,B}
		DPPH (µmol TE/g)	
CM	175,45±31,17^{a,A}	24,62±4,78^{bc,B}	0,35±0,01^{e,B}
SM	28,08±1,30^{cd,A}	15,60±1,53^{c,B}	2,26±0,01^{a,C}
HM	54,39±0,75^{bc,A}	16,87±2,12^{c,B}	2,25±0,02^{a,C}
WM	90,43±0,57^{b,B}	152,97±2,73^{a,A}	0,62±0,02^{d,C}
QM	74,59±0,29^{b,C}	20,45±2,02^{c,B}	2,20±0,01^{b,A}
FM	84,03±2,13^{b,A}	35,19±4,13^{b,B}	1,85±0,00^{c,C}
CNM	50,69±0,88^{bc,A}	15,21±1,01^{c,B}	2,23±0,01^{ab,C}
OM	7,96±1,21^{d,B}	20,34±0,76^{c,A}	2,21±0,02^{ab,C}
AM	16,53±0,50^{cd,A}	18,91±3,85^{c,A}	1,85±0,01^{c,B}

Sütunlardaki farklı küçük harfler, Tukey testine göre süt örneklerinin TPC, CUPRAC ve DPPH değerleri arasında anlamlı fark bulunduğunu ($p < 0,05$) göstermektedir. Satırlardaki farklı büyük harfler ise Tukey testine göre süt örneklerinin sindirimin farklı aşamalarındaki toplam fenolik madde içerikleri arasında anlamlı fark bulunduğunu ($p < 0,05$) ifade etmektedir. CM: İnek sütü, SM: Soya sütü, HM: Fındık sütü, WM: Ceviz sütü, QM: Kinoa sütü, FM: Keten tohumu sütü, CNM: Hindistan cevizi sütü, OM: Yulaf sütü, AM: Badem sütü.

Hindistan cevizi sütü (CNM) ve fındık sütü (HM) sırasıyla %1663 ve %617 biyoerişilebilirlik indekslerine ulaşarak bağlı fenoliklerin etkili biçimde serbestleştiğini göstermiştir. Benzer bir eğilim, *in vitro* sindirimin fenolik salınımını belirgin şekilde artırdığı fındık bazlı bitkisel içeceklerde de bildirilmiştir (Conte ve ark., 2025). Kinoa sütleri (QM) de sindirim sonrası fenolik içeriğinde artış göstermiş ve biyoerişilebilirlik %200'ün üzerine çıkmıştır.

Mide fazı TPC sonuçları incelendiğinde, bitki bazlı sütlerde sindirilmemiş örneğe kıyasla farklı yönlerde değişimler gözlenmiştir. FM'de TPC'nin 0,85'ten 4,02 mg GAE/g'e; SM'de 1,76'dan 3,23 mg GAE/g'e; QM'de 0,68'den 2,80 mg GAE/g'e; HM'de 0,18'den 0,63 mg GAE/g'e yükselmesi, asidik pH koşullarında matriks çözünürlüğünün artması ve fenolik bileşiklerin sindirim sıvısında ölçülebilir fraksiyona geçişinin kolaylaşmasıyla ilişkilendirilebilir (Alminger ve ark., 2014; Minekus ve ark., 2014; Rocchetti ve ark., 2022). Buna karşın CM'de TPC'nin 7,88'den 2,38 mg GAE/g'e düşmesi, süt matrisinin özellikleri ve süt proteinleriyle etkileşimler nedeniyle mide koşullarında fenolik fraksiyonun ölçülebilirliğinin azalmasıyla açıklanabilir (Jakobek, 2015). Mide fazında ortaya çıkan bu farklılıkların, bağırsak fazı sonunda hesaplanan TPC biyoerişilebilirlik indekslerindeki değişkenliği desteklediği düşünülmektedir (Rocchetti ve ark., 2022).

Bu sonuçlar, süt ürünlerinin başlangıç fenolik profili zengin olsa da bitki bazlı sütlerin sindirim sonrası gerçek fenolik erişilebilirliği açısından CNM, HM, QM, FM ve OM örneklerinde CM'ye kıyasla daha yüksek TPC biyoerişilebilirliği göstermesiyle üstün performans sergileyebildiğini ortaya koymaktadır. Benzer bir gözlem, fonksiyonel olarak zenginleştirilmiş fındık bazlı bitkisel içeceklerde de rapor edilmiştir (Conte ve ark., 2025).

CUPRAC temelli antioksidan kapasite açısından da sindirim sürecine bağlı farklılıklar gözlenmiştir. Ceviz sütü (WM) bağırsak fazında en yüksek CUPRAC değerine ulaşmıştır (1,69 μmol TE/g). CNM örneğinde CUPRAC biyoerişilebilirliği %1700 olarak hesaplanmıştır. FM ve QM örneklerinde CUPRAC biyoerişilebilirliği sırasıyla %213 ve %762,5 olarak belirlenmiştir. CM ise belirgin bir düşüşle %45,7'ye

gerilemiştir. Bu bulgular, hem mutlak antioksidan kapasitenin hem de biyoerişilebilirliğin süt matrisinin özelliklerine bağlı olarak şekillendiğini, özellikle lipid açısından zengin veya lif – protein etkileşimli sistemlerin sindirim sırasında redoks – aktif bileşikleri stabilize etmede ya da serbestleştirmede daha etkili olduğunu düşündürmektedir (Rocchetti ve ark., 2022).

DPPH radikal süpürücü aktivitesi süt türleri arasında belirgin değişkenlik göstermiştir. SM, HM, CNM ve OM bağırsak fazında en yüksek değerlere ulaşmıştır (sırasıyla 2,26, 2,25, 2,23 ve 2,21 μmol TE/g). Buna karşın CM değeri keskin bir düşüşle 0,35 μmol TE/g'e gerilemiştir. Bitki bazlı örneklerden QM, FM, OM ve AM daha düşük mutlak aktivite göstermiş olsa da sindirim sonrası DPPH biyoerişilebilirlik indeksleri CM'den yüksek bulunmuştur; özellikle OM (%27,8) ve AM (%11,2) dikkat çekmiştir. Bu bulgular, bitki bazlı sütlerin botanik bileşiminin gastrointestinal koşullar altında antioksidan salınımı ve stabilitesini belirlediğini göstermektedir.

SM, HM, CNM, QM, FM, OM ve AM örneklerinde, sindirim sonrası DPPH değerleri CUPRAC değerlerinden daha yüksek bulunmuştur. Bu durum flavonoidler ve fenolik asitler gibi fenolik bileşiklerin güçlü radikal süpürücü aktivitesini yansıtmaktadır. Buna karşılık inek sütü ve ceviz sütünde CUPRAC değerleri daha yüksek çıkmış olup, bu sonuç lipidle ilişkili antioksidanların indirgeme gücüne dayalı analizlerde daha iyi tespit edilebilmesi ile uyumludur (Munteanu ve Apetrei, 2021).

4.6.3. Farklı süt ikameleri ile üretilen muffinler

Muffin örneklerinin antioksidan özellikleri, simüle edilmiş sindirim aşamalarında uygulanan TPC, CUPRAC ve DPPH analizleriyle değerlendirilmiş olup, sonuçlar Çizelge 4.11'de özetlenmiştir. Sindirim süreci fenolik bileşik düzeylerini önemli ölçüde değiştirmiştir. Bu değişimler, proteinler, nişastalar ve lipitlerin polifenollerle olan karmaşık etkileşimlerinin pişirme aşamasında başladığını ve gastrointestinal parçalanma boyunca devam ettiğini göstermektedir (Lippolis ve ark., 2023).

Çizelge 4.11. Farklı süt ikameleriyle hazırlanan muffin örneklerinin toplam fenolik madde içeriği ve antioksidan aktiviteleri

	Sindirilmemiş	Simüle mide sistemi	Simüle bağırsak sistemi
		TPC (mg GAE/g)	
CC	2,08±0,09^{bcd,B}	2,07±0,02^{a,B}	3,50±0,02^{b,A}
SC	1,62±0,17^{cde,A}	1,43±0,04^{b,A}	0,34±0,01^{h,B}
HC	2,12±0,39^{bcd,A}	1,37±0,03^{b,AB}	0,72±0,02^{g,B}
WC	0,98±0,03^{e,B}	1,18±0,17^{b,AB}	1,58±0,01^{f,A}
QC	2,88±0,04^{ab,A}	1,41±0,05^{b,C}	2,49±0,01^{d,B}
FC	1,23±0,21^{de,B}	1,25±0,04^{b,B}	3,68±0,02^{a,A}
CNC	3,59±0,07^{a,A}	1,30±0,06^{b,C}	2,36±0,02^{e,B}
OC	2,48±0,49^{bc,A}	1,44±0,03^{b,AB}	0,34±0,01^{h,B}
AC	2,12±0,08^{bcd,B}	1,38±0,01^{b,C}	2,61±0,01^{c,A}
		CUPRAC (µmol TE/g)	
CC	0,02±0,01^{cd,C}	0,88±0,01^{a,A}	0,63±0,02^{b,B}
SC	0,08±0,02^{ac,C}	0,44±0,02^{d,B}	0,52±0,01^{cd,A}
HC	0,12±0,03^{a,B}	0,49±0,01^{c,A}	0,44±0,01^{e,A}
WC	0,09±0,02^{ab,C}	0,39±0,01^{e,B}	0,47±0,02^{de,A}
QC	0,11±0,01^{ab,C}	0,39±0,01^{e,B}	0,48±0,01^{cde,A}
FC	0,09±0,02^{ab,B}	0,48±0,01^{cd,A}	0,53±0,02^{c,A}
CNC	0,05±0,01^{bcd,C}	0,38±0,00^{e,B}	0,47±0,01^{de,A}
OC	0,09±0,01^{ab,C}	0,50±0,01^{c,A}	0,37±0,01^{f,B}
AC	0,01±0,00^{d,C}	0,72±0,01^{b,B}	0,89±0,02^{a,A}
		DPPH (µmol TE/g)	
CC	48,22±3,22^{b,A}	35,05±1,19^{a,B}	1,58±0,01^{f,C}
SC	43,52±3,96^{bc,A}	10,63±0,04^{c,B}	1,85±0,01^{a,C}
HC	60,53±0,29^{a,A}	14,51±0,89^{bc,B}	1,75±0,01^{c,C}
WC	62,91±1,75^{a,A}	18,61±4,13^{b,B}	1,73±0,01^{cd,C}
QC	20,94±5,48^{e,A}	15,16±1,44^{bc,B}	1,72±0,00^{d,C}
FC	62,43±0,42^{a,A}	10,36±1,15^{c,B}	1,72±0,01^{d,C}
CNC	40,99±0,01^{bcd,A}	15,43±3,04^{bc,B}	1,68±0,00^{e,C}
OC	31,71±0,98^{de,A}	0,39±0,12^{d,B}	1,83±0,01^{b,B}
AC	34,32±3,41^{cd,A}	18,76±1,80^{b,B}	1,75±0,01^{c,C}

Sütunlardaki farklı küçük harfler, Tukey testine göre muffin örneklerinin TPC, CUPRAC ve DPPH değerleri arasında anlamlı fark bulunduğunu ($p < 0,05$) göstermektedir. Satırlardaki farklı büyük harfler ise Tukey testine göre muffin örneklerinin sindirimin farklı aşamalarındaki toplam fenolik madde içerikleri arasında anlamlı fark bulunduğunu ($p < 0,05$) ifade etmektedir. CC: Kontrol muffin, SC: Soya sütlü muffin, HC: Fındık sütlü muffin, WC: Ceviz sütlü muffin, QC: Kinoa sütlü muffin, FC: Keten tohumu sütlü muffin, CNC: Hindistan cevizi sütlü muffin, OC: Yulaf sütlü muffin, AC: Badem sütlü muffin.

Sindirilmemiş durumda en yüksek TPC, CNC ve QC örneklerinde belirlenmiştir (sırasıyla 3,59 ve 2,88 mg GAE/g). Bu değerleri OC ve CC takip etmiştir (sırasıyla 2,48 ve 2,08 mg GAE/g). CNC'deki yüksek TPC, hindistan cevizi sütünde doğal olarak bulunan fenolik bileşiklerle ilişkilendirilebilirken, OC'de gözlenen yüksek değerler yulafın karakteristik fenolik alkaloidleri olan ve güçlü antioksidan aktivite gösteren avenantramidlere bağlanmaktadır (Karunasiri ve ark., 2020; Xie ve ark., 2024).

Sindirilmemiş örneğe kıyasla mide fazında TPC, CNC ve QC örneklerinde sırasıyla %63,9 ve %50,8 azalırken; WC örneğinde %20,3 artış gözlenmiştir. Mide fazından bağırsak fazına geçişte ise TPC, FC ve CC örneklerinde sırasıyla %195,1 ve %69,4 artarken; OC örneğinde %76,5 oranında azalma belirlenmiştir. CNC örneğinde mide fazına kıyasla bağırsak fazında %81,5 artış hesaplanmıştır. Sindirim sonrasında TPC biyoerişilebilirliği %13,6 – %299,7 aralığında belirgin değişkenlik göstermiştir. FC ve WC en yüksek artışları sergilemiş (sırasıyla %299,7 ve %161,3), bu durum bağlı polifenollerin etkili biçimde serbestleştiğini göstermiştir. CC örneğinde bağırsak fazı TPC biyoerişilebilirliği %168,2 olarak hesaplanmıştır. CNC ve OC daha düşük TPC biyoerişilebilirliği göstermiştir (%65,8 ve %13,6). Bu sonuç, TPC biyoerişilebilirliğinin formülasyona bağlı olarak arttığını (FC, WC, CC) veya sınırlı kaldığını (OC, SC, HC) ve matris – polifenol etkileşimlerinin fenolik erişilebilirliğini engelleyebileceğini göstermektedir (Rocchetti ve ark., 2022).

CUPRAC aktivitesi de formülasyonlar arasında bağırsak fazı biyoerişilebilirliği açısından %366,7 – %8900 aralığında değişim göstermiştir. En yüksek bağırsak fazı CUPRAC değerleri AC (0,89 µmol TE/g) ve CC (0,63 µmol TE/g) örneklerinde gözlenmiştir; FC ve SC örnekleri ise bağırsak fazında sırasıyla 0,53 ve 0,52 µmol TE/g değerleriyle takip etmiştir. Sindirilmemiş örneğe kıyasla mide fazında CUPRAC değeri tüm örneklerde artmış; artışlar %254,5 (QC) – %7100 (AC) aralığında gerçekleşmiştir. Mide fazından bağırsak fazına geçişte ise CUPRAC değeri CC örneğinde %28,4 azalmış, OC örneğinde %25,2 azalmış; AC, SC, WC, QC, FC ve CNC örneklerinde %10,4 – %23,7 aralığında artış göstermiştir. AC ve CC örneklerinde bağırsak fazı CUPRAC değerlerinin yüksek biyoerişilebilirlik göstermesi, özellikle AC'de sindirilmemiş değerin çok düşük olması (0,01 µmol TE/g) nedeniyle biyoerişilebilirlik

indeksinin yükselmesiyle de ilişkilendirilebilir. Bu bulgular, antioksidan kapasitenin sindirim boyunca değişiminin formülasyon bileşimine ve matris etkileşimlerine bağlı olarak farklılaştığını düşündürmektedir (Rocchetti ve ark., 2022).

DPPH radikal süpürücü aktivitesi de değişkenlik göstermiştir. SC ve OC bağırsak fazında en yüksek değerlere ulaşmıştır (sırasıyla 1,85 ve 1,82 μmol TE/g), CC ise en düşük bağırsak fazı değerini göstermiştir (1,58 μmol TE/g). Bağırsak fazı DPPH biyoerişilebilirliği örnekler arasında %2,75 – %8,21 aralığında değişmiş; en yüksek değer QC'de (%8,21), en düşük değer WC'de (%2,75) hesaplanmıştır. Sindirilmemiş örneğe kıyasla mide fazında DPPH aktivitesi tüm örneklerde azalmış (yaklaşık %27,3 – %98,8), mide fazından bağırsak fazına geçişte ise DPPH değerleri çoğu örnekte %82,6 –%95,5 aralığında azalmıştır; OC örneğinde mide fazındaki çok düşük değere bağlı olarak bağırsak fazında artış gözlenmiştir. Bu bulgu, sindirim ortamının özellikle asidik mide fazından nötr bağırsak fazına geçişinin fenolik antioksidan stabilitesi için kritik bir belirleyici olduğunu göstermektedir (Wojtunik-Kulesza ve ark., 2020). Bu eğilim, fırıncılık ürünleri üzerine yapılan araştırmalarla da uyumludur; söz konusu çalışmalarda gastrointestinal geçiş boyunca fenolik stabilitesinin büyük ölçüde matris bağımlı olduğu ve bazı bitki bazlı formülasyonların süt bazlı ürünlere kıyasla sindirim sonrası daha yüksek antioksidan aktivite koruduğu bildirilmiştir (Topaloğlu Günan ve Yolci Ömeroğlu, 2025).

Bu sonuçlar, inek sütü yerine bitki bazlı alternatiflerin kullanılmasının antioksidan potansiyeli hem aktivite düzeyleri hem de sindirim sonrası biyoerişilebilirlik açısından değiştirdiğini göstermektedir. TPC biyoerişilebilirliği açısından FC (%299,7), WC (%161,3) ve CC (%168,2) örnekleri öne çıkarken; OC (%13,6) ve SC (%20,8) örneklerinde biyoerişilebilirlik daha sınırlı kalmıştır. CUPRAC biyoerişilebilirliğinde AC (%8900) ve CC (%3165) yüksek değerler göstermiş olup, AC'de bu sonucun sindirilmemiş CUPRAC değerinin çok düşük olmasına bağlı olarak yükseldiği dikkate alınmalıdır. DPPH biyoerişilebilirliği ise örnekler arasında %2,75 – %8,21 aralığında değişmiş ve en yüksek değer QC'de hesaplanmıştır. Bitki bazlı sütlerin antioksidan yanıtları şekillendirmesi, belirli formülasyonların sindirim sonrası daha yüksek

biyolojik aktivite potansiyeli taşıyan fonksiyonel fırıncılık ürünleri olarak değerlendirilebileceğini düşündürmektedir.

4. 7. Muffin Örneklerinin Amino Asit Kompozisyonu

4.7.1. Farklı yumurta ikameleri ile üretilen muffinler

Çizelge 4.12'de verilen toplam amino asit profili analizleri, CC ile vegan formülasyonlar arasında belirgin farklılıklar olduğunu göstermektedir. Amino asitler proteinlerin temel yapı taşlarıdır. Yan zincir özelliklerine göre nötr (örneğin alanin, valin, lösin), asidik (aspartik asit, glutamik asit) ve bazik (arjinin, lisin, histidin) olmak üzere üç grupta sınıflandırılmaktadır. Protein yapısına katılmalarının yanı sıra enerji metabolizması, bağışıklık yanıtı, nörotransmisyon ve doku onarımı gibi birçok fizyolojik süreçte de görev almaktadır (Ling ve ark., 2023).

Elde edilen sonuçlar, CC örneğinin belirli esansiyel amino asitler bakımından vegan formülasyonlara kıyasla daha yüksek değerlere sahip olduğunu göstermektedir. Örneğin, CC örneğinde lösin miktarı 0,33 g/100 g olarak belirlenmiş, bu değer CHC örneğinde %56,7 oranında azalarak 0,14 g/100 g'a, BC örneğinde ise %18,8 oranında azalarak 0,27 g/100 g'a düşmüştür. Benzer şekilde, CC örneğindeki lisin içeriği 0,11 g/100 g iken, CHC örneğinde 0,01 g/100 g'a gerilemiş ve bu durum %90,9 oranında bir azalmaya karşılık gelmiştir. Bu farklılıklar, esansiyel amino asitler açısından zengin ve yüksek biyolojik değere sahip tam protein kaynağı olan yumurtanın formülasyona dahil edilmesiyle uyumludur (Puglisi ve Fernandez, 2022).

Vegan muffin örneklerinde amino asit profili, CC'ye kıyasla belirli amino asitler bakımından farklılaşmıştır. Örneğin FC, 1,46 g/100 g ile en yüksek arjinin içeriğine sahip olmuş ve bu değer CC'de %44,6 daha yüksek bulunmuştur. Arjinin, nitrik oksit sentezi ve bağışıklık düzenlenmesi gibi önemli fizyolojik süreçlerde görev alan, esansiyel olmayan bir amino asittir (Wu ve ark., 2021). Buna ek olarak FC ve SWC örnekleri sırasıyla 0,93 g/100 g ve 0,92 g/100 g ile en yüksek glutamik asit düzeylerine ulaşmıştır. Bu değerler, CC örneğinde belirlenen 0,48 g/100 g düzeyine kıyasla yaklaşık

%91,7 – %93,8 daha yüksektir. Glutamik asit, nörotransmisyon ve metabolik süreçlerin merkezinde yer alan bir amino asittir (Bon ve ark., 2023). Bu avantajlara rağmen, vegan muffinlerde bazı esansiyel amino asitlerde düşüşler de tespit edilmiştir. Özellikle kükürt içeren esansiyel amino asitler açısından sınırlılık dikkat çekmiştir. Metiyonin CC'de 0,09 g/100 g iken CHC'de tespit limitinin altında kalmış; AC (0,05 g/100 g) ve BC (0,06 g/100 g) örneklerinde ise sırasıyla %44,4 ve %33,3 oranında azalma görülmüştür. Benzer şekilde sistin düzeyi CC'de 0,06 g/100 g iken AC'de 0,02 g/100 g'a gerilemiş ve bu durum %66,7'lik bir düşüşe karşılık gelmiştir. Bu bulgular, bitki bazlı ikamelerin belirli esansiyel amino asitlerde (özellikle kükürt içerenler) sınırlılık gösterebileceğine ilişkin literatürle uyumludur (Brosnan ve Brosnan, 2006; Halm ve ark., 2024).

Örneğin, CHC örneğinde metiyonin tespit limitinin altında kalmış; AC (0,05 g/100 g) ve BC (0,06 g/100 g) örneklerinde ise CC'ye (0,09 g/100 g) kıyasla sırasıyla %44,4 ve %33,3 oranında azalma görülmüştür. Metiyonin, protein sentezi için kritik öneme sahip olan ve sistein ile diğer kükürt içeren bileşiklerin öncülü olarak görev yapan bir amino asittir (Brosnan ve Brosnan, 2006). Bir diğer dikkat çekici bulgu, AC (0,07 g/100 g), CHC (0,04 g/100 g) ve PC (0,08 g/100 g) örneklerinde hidroksiprolin bulunmasıdır. CC örneğinde bu amino asit tespit edilmemiştir. Hidroksiprolin genellikle kollajende bol miktarda bulunan bir amino asittir. Bu bileşiğin varlığı, bitkisel kaynaklı hidroksiprolin içeren protein fraksiyonlarının ya da proses koşullarına bağlı protein dönüşümlerinin üründe izlenebilir düzeyde hidroksiprolin oluşumuna katkı sağlamış olabileceğini düşündürmektedir (Kivirikko ve ark., 2024).

Bu formülasyonlarda yalnızca yumurta bileşeninin ikame edildiği, diğer tüm bileşenlerin sabit tutulduğu önemle belirtilmelidir. Dolayısıyla amino asit profillerindeki değişiklikler esas olarak kullanılan yumurta ikamelerinin doğasını yansıtmaktadır. Bu durum, yumurta proteininin tüm esansiyel amino asitleri dengeli ve yeterli miktarlarda içeren tam bir protein kaynağı olduğuna ilişkin literatürdeki iyi bilinen bilgiyle uyumludur (Halm ve ark., 2024). Bitki bazlı proteinlerin amino asit dengesi ve bütünlüğü değişiklik gösterebilir ve bazı esansiyel amino asitler açısından hayvansal kaynaklara kıyasla daha düşük düzeylere sahip olabilir.

Çizelge 4.12. Farklı yumurta ikameleriyle hazırlanan muffin örneklerinin amino asit kompozisyonu (g/100g)

Amino asitler	CC	AC	BC	CHC	PC	FC	SWC
			Asidik amino asitler				
Aspartik asit	0,07 ± 0,00^{c}	0,07 ± 0,00^{c}	0,06 ± 0,00^{d}	0,03 ± 0,00^{e}	0,04 ± 0,00^{e}	0,09 ± 0,00^{a}	0,08 ± 0,00^{b}
Glutamik asit	0,48 ± 0,02^{d}	0,87 ± 0,03^{b}	0,47 ± 0,02^{d}	0,62 ± 0,02^{c}	0,85 ± 0,02^{b}	0,93 ± 0,02^{a}	0,92 ± 0,02^{a}
			Bazik amino asitler				
Arjinin	1,01 ± 0,03^{e}	1,04 ± 0,04^{d}	0,83 ± 0,03^{g}	0,97 ± 0,04^{f}	1,19 ± 0,05^{c}	1,46 ± 0,05^{a}	1,31 ± 0,04^{b}
Histidin	0,32 ± 0,02^{b}	0,28 ± 0,02^{d}	0,24 ± 0,02^{f}	0,25 ± 0,02^{e}	0,28 ± 0,02^{d}	0,33 ± 0,02^{a}	0,30 ± 0,02^{c}
Lizin	0,11 ± 0,00^{b}	0,09 ± 0,00^{d}	0,08 ± 0,00^{e}	0,01 ± 0,00^{f}	0,11 ± 0,00^{c}	0,13 ± 0,01^{a}	0,12 ± 0,00^{b}
			Nötr amino asitler				
Alanin	0,14 ± 0,01^{c}	0,13 ± 0,00^{c}	0,10 ± 0,00^{e}	0,11 ± 0,01^{d}	0,14 ± 0,01^{c}	0,16 ± 0,01^{a}	0,14 ± 0,01^{b}
Serin	<LOD	0,01 ± 0,00^{a}	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
Asparajin	0,07 ± 0,00^{b}	0,07 ± 0,00^{b}	0,05 ± 0,00^{e}	0,05 ± 0,00^{d}	0,07 ± 0,00^{c}	0,08 ± 0,00^{a}	0,07 ± 0,00^{b}
Glutamin	0,01 ± 0,00^{e}	0,01 ± 0,00^{b}	0,01 ± 0,00^{d}	0,01 ± 0,00^{c}	0,01 ± 0,00^{a}	0,01 ± 0,00^{a}	0,01 ± 0,00^{b}
Glisin	0,04 ± 0,00^{d}	0,05 ± 0,00^{c}	0,03 ± 0,00^{e}	0,04 ± 0,00^{d}	0,06 ± 0,00^{b}	0,07 ± 0,01^{a}	0,06 ± 0,00^{b}
Treonin	0,05 ± 0,00^{c}	0,07 ± 0,00^{b}	0,04 ± 0,00^{d}	0,06 ± 0,00^{c}	0,08 ± 0,01^{a}	0,09 ± 0,01^{a}	0,09 ± 0,01^{a}
Tirozin	0,05 ± 0,00^{c}	0,05 ± 0,00^{c}	0,04 ± 0,00^{d}	0,05 ± 0,00^{c}	0,06 ± 0,00^{b}	0,07 ± 0,00^{a}	0,07 ± 0,00^{a}
Sistin	0,06 ± 0,00^{a}	0,02 ± 0,00^{d}	0,05 ± 0,00^{b}	0,04 ± 0,00^{c}	0,04 ± 0,00^{c}	0,05 ± 0,00^{b}	0,05 ± 0,00^{b}
Valin	0,12 ± 0,01^{d}	0,14 ± 0,01^{c}	0,11 ± 0,01^{e}	0,12 ± 0,01^{d}	0,15 ± 0,01^{b}	0,18 ± 0,01^{a}	0,17 ± 0,01^{a}
Metiyonin	0,09 ± 0,00^{a}	0,05 ± 0,00^{d}	0,06 ± 0,00^{c}	<LOD	0,06 ± 0,00^{c}	0,07 ± 0,00^{b}	0,07 ± 0,00^{b}
Norvalin	0,00 ± 0,00^{c}	<LOD	0,00 ± 0,00^{d}	0,02 ± 0,00^{a}	0,01 ± 0,00^{b}	<LOD	<LOD
Triptofan	0,01 ± 0,00^{e}	0,02 ± 0,00^{b}	0,01 ± 0,00^{d}	0,04 ± 0,00^{a}	0,02 ± 0,00^{b}	0,02 ± 0,00^{b}	0,02 ± 0,00^{c}
Fenilalanin	0,11 ± 0,00^{d}	0,12 ± 0,01^{c}	0,01 ± 0,00^{e}	0,10 ± 0,01^{d}	0,14 ± 0,01^{b}	0,16 ± 0,01^{a}	0,16 ± 0,01^{a}
İzolösin	0,09 ± 0,00^{e}	0,11 ± 0,00^{d}	<LOD	0,13 ± 0,01^{a}	0,12 ± 0,01^{c}	0,13 ± 0,01^{b}	0,13 ± 0,01^{a}
Lösin	0,33 ± 0,01^{e}	0,34 ± 0,01^{d}	0,27 ± 0,01^{f}	0,14 ± 0,01^{g}	0,36 ± 0,01^{c}	0,41 ± 0,01^{a}	0,40 ± 0,01^{b}
Hidroksiprolin	<LOD	0,07 ± 0,01^{b}	0,02 ± 0,00^{e}	0,04 ± 0,00^{c}	0,08 ± 0,01^{a}	0,03 ± 0,00^{d}	0,04 ± 0,00^{c}
Sarkosin	0,05 ± 0,00^{c}	0,05 ± 0,00^{c}	0,05 ± 0,00^{c}	0,04 ± 0,00^{d}	0,05 ± 0,00^{b}	0,06 ± 0,00^{a}	0,06 ± 0,00^{b}
Prolin	0,04 ± 0,00^{c}	0,07 ± 0,00^{b}	0,03 ± 0,00^{c}	0,22 ± 0,01^{a}	0,03 ± 0,00^{d}	0,03 ± 0,00^{e}	0,03 ± 0,00^{d}

Sonuçlar ortalama ± standart sapma şeklinde sunulmuştur. Aynı satırda farklı harflerle gösterilen ortalamalar istatistiksel olarak anlamlı farklılık göstermektedir ($p < 0,05$). <LOD: Tespit limitinin altında. CC: Kontrol muffin, AC: Aquafaba muffin, BC: Muz muffin, FC: Keten tohumu muffin, PC: Psyllium muffin, SWC: Çöven muffin, CHC: Chia muffin

Amino asit analizlerinin ham bileşenler yerine pişmiş muffinler üzerinden yapılması, ürünün nihai tüketilebilir formundaki besin değerinin en doğru şekilde yansıtılmasını sağlamak amacıyla tercih edilmiştir. Pişirme sırasında gerçekleşen Maillard reaksiyonları, amino asit – şeker etkileşimleri ve ısı kaynaklı bozunmalar amino asit düzeylerini değiştirebilmektedir (Ansorena ve ark., 2022; Yazici ve Ozer, 2021). Ayrıca bileşenler arasındaki kimyasal etkileşimler (örneğin protein – şeker veya protein – lipid etkileşimleri) bu profilleri daha da etkileyebilmektedir. Bu nedenle analizlerin nihai ürün üzerinden yapılması, tüketiciye ulaşan gerçek besin değerinin belirlenmesini sağlar ve farklı yumurta ikamelerinin protein kompozisyonu ile amino asit dengesi üzerindeki etkilerinin daha doğru bir şekilde değerlendirilmesine olanak tanır.

4.7.2. Farklı süt ikameleri ile üretilen muffinler

Çizelge 4.13'te sunulan amino asit kompozisyonu, CC ve bitki bazlı formülasyonlar arasında belirgin farklılıklar ortaya koymuştur. Asidik amino asitler, WC, QC ve FC'de baskın bulunmuş; WC (1,90 g/100 g) ve QC'de (1,85 g/100 g) glutamik asit düzeyleri, CC'ye (0,48 g/100 g) kıyasla yaklaşık dört katına ulaşmıştır. QC, CC'ye kıyasla (0,07 g/100 g) en yüksek aspartik asit içeriğine sahip olmuştur (0,22 g/100 g). Bu artışlar, ceviz ve kinoa kullanılan formülasyonlarda umami algısıyla ilişkili amino asit fraksiyonunun yükseldiğini göstermekte olup literatürle uyumludur (Tang ve ark., 2024; Zhao ve ark., 2023). Bazik amino asitler arasında arjinin en yüksek seviyelerde belirlenmiştir. WC örneğinde arjinin miktarı 1,93 g/100 g olup CC örneğinin (1,01 g/100 g) yaklaşık iki katıdır. QC (1,78 g/100 g) ve FC (1,40 g/100 g) de yüksek düzeyler göstermiştir. Bu durum, kabuklu yemiş ve tohum kaynaklı proteinlerin arjinin bakımından zengin yapısını ortaya koymaktadır. Arjinin; nitrik oksit sentezi ve bağışıklık düzenlenmesi açısından önemli bir amino asittir (Wu ve ark., 2021). Lisin içeriği örnekler arasında büyük farklılık göstermiştir. CC 0,11 g/100 g lisin içerirken SC (0,01 g/100 g) ve HC (0,01 g/100 g) örneklerinde belirgin düşüşler görülmüştür. Bu durum, birçok bitki proteininde lisinin sınırlayıcı amino asit olduğu yönündeki bilgiyi desteklemektedir (Pucci ve ark., 2024). Ancak WC (0,25 g/100 g) ve QC (0,23 g/100 g) örneklerinde lisin düzeylerinin artmış olması, belirli bitki kaynaklarının bu sınırlılığı kısmen telafi edebileceğini göstermektedir.

Çizelge 4.13. Farklı süt ikameleriyle hazırlanan muffin örneklerinin amino asit kompozisyonu (g/100g)

Amino asitler	CC	SC	HC	WC	QC	FC	CNC	OC	AC
				Asidik amino asitler					
Aspartik asit	0,07±0,00^{c}	0,01±0,00^{g}	0,01±0,00^{g}	0,12±0,00^{b}	0,22±0,00^{a}	0,06±0,00^{d}	0,02±0,00^{f}	0,04±0,00^{e}	0,07±0,00^{c}
Glutamik asit	0,48±0,02^{d}	0,06±0,00^{e}	0,03±0,00^{e}	1,90±0,04^{a}	1,85±0,13^{a}	1,24±0,09^{b}	0,15±0,00^{e}	0,35±0,03^{d}	0,87±0,02^{c}
				Bazik amino asitler					
Arjinin	1,01±0,06^{d}	0,20±0,01^{fg}	0,13±0,01^{g}	1,93±0,05^{a}	1,78±0,11^{b}	1,40±0,05^{c}	0,34±0,01^{f}	0,61±0,01^{e}	1,04±0,02^{d}
Histidin	0,32±0,00^{a}	0,10±0,01^{f}	0,00±0,00^{g}	0,31±0,01^{ab}	0,32±0,02^{a}	0,29±0,01^{bc}	0,13±0,01^{e}	0,21±0,01^{d}	0,28±0,00^{c}
Lizin	0,11±0,01^{b}	0,01±0,00^{e}	0,01±0,00^{e}	0,25±0,00^{a}	0,23±0,02^{a}	0,13±0,01^{b}	0,02±0,00^{e}	0,05±0,00^{d}	0,09±0,00^{c}
				Nötr amino asitler					
Alanin	0,14±0,00^{bc}	0,02±0,00^{e}	0,01±0,00^{e}	0,27±0,01^{a}	0,26±0,02^{a}	0,17±0,02^{b}	0,03±0,00^{e}	0,07±0,00^{d}	0,13±0,01^{c}
Serin	<LOD	<LOD	0,00±0,00^{a}	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	0,00±0,00^{a}
Asparajin	0,07±0,01^{b}	0,01±0,00^{de}	0,01±0,00^{e}	0,10±0,01^{a}	0,10±0,00^{a}	0,08±0,01^{b}	0,02±0,00^{d}	0,04±0,00^{c}	0,07±0,00^{b}
Glutamin	0,01±0,00^{d}	<LOD	0,03±0,00^{a}	0,02±0,00^{a}	0,03±0,00^{a}	0,02±0,00^{b}	0,00±0,00^{e}	0,00±0,00^{e}	0,01±0,00^{c}
Glisin	0,04±0,00^{d}	<LOD	0,01±0,00^{f}	0,16±0,01^{a}	0,16±0,01^{a}	0,09±0,01^{b}	0,01±0,00^{f}	0,02±0,00^{e}	0,05±0,00^{c}
Treonin	0,05±0,00^{d}	<LOD	<LOD	0,15±0,01^{a}	0,15±0,01^{a}	0,10±0,01^{b}	0,02±0,00^{f}	0,03±0,00^{e}	0,07±0,00^{c}
Tirozin	0,05±0,00^{c}	0,01±0,00^{e}	0,00±0,00^{e}	0,12±0,00^{a}	0,12±0,00^{a}	0,08±0,01^{b}	0,02±0,00^{d}	0,02±0,00^{d}	0,05±0,00^{c}
Sistin	0,06±0,00^{a}	0,03±0,00^{de}	0,02±0,00^{f}	0,03±0,00^{b}	0,03±0,00^{cd}	0,02±0,00^{e}	0,03±0,00^{de}	0,03±0,00^{bc}	0,02±0,00^{f}
Valin	0,12±0,01^{c}	0,01±0,00^{ef}	0,01±0,00^{f}	0,39±0,01^{a}	0,38±0,01^{a}	0,22±0,01^{b}	0,03±0,00^{e}	0,06±0,00^{d}	0,14±0,00^{c}
Metiyonin	0,09±0,00^{b}	0,02±0,00^{f}	0,01±0,00^{f}	0,10±0,01^{a}	0,09±0,01^{b}	0,07±0,00^{c}	0,02±0,00^{f}	0,03±0,00^{e}	0,05±0,00^{d}
Norvalin	0,00±0,00^{b}	0,00±0,00^{b}	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	0,01±0,00^{a}	<LOD
Triptofan	0,01±0,00^{c}	<LOD	0,00±0,00^{d}	0,02±0,00^{a}	0,02±0,00^{b}	0,02±0,00^{a}	0,00±0,00^{d}	0,00±0,00^{d}	0,02±0,00^{b}
Fenilalanin	0,11±0,01^{c}	0,02±0,00^{e}	0,01±0,00^{e}	0,29±0,02^{a}	0,28±0,01^{a}	0,18±0,01^{b}	0,03±0,00^{e}	0,06±0,00^{d}	0,12±0,00^{c}
İzolösin	0,09±0,01^{d}	0,01±0,00^{f}	0,01±0,00^{f}	0,28±0,01^{a}	0,27±0,01^{a}	0,15±0,01^{b}	0,02±0,00^{f}	0,05±0,00^{e}	0,11±0,01^{c}
Lösin	0,33±0,02^{c}	0,05±0,00^{ef}	0,03±0,00^{f}	0,60±0,01^{a}	0,59±0,05^{a}	0,43±0,01^{b}	0,10±0,00^{e}	0,19±0,01^{d}	0,34±0,00^{c}
Hidroksiprolin	<LOD	0,05±0,00^{e}	0,03±0,00^{f}	0,23±0,00^{a}	0,20±0,01^{b}	0,05±0,00^{e}	0,07±0,00^{d}	0,08±0,00^{c}	0,07±0,00^{d}
Sarkosin	0,05±0,00^{bc}	0,04±0,00^{d}	0,04±0,00^{d}	0,10±0,01^{a}	0,10±0,00^{a}	<LOD	0,04±0,00^{cd}	0,04±0,00^{d}	0,05±0,00^{b}
Prolin	0,04±0,00^{d}	0,09±0,01^{a}	0,09±0,00^{a}	0,03±0,00^{de}	0,02±0,00^{ef}	0,02±0,00^{f}	0,06±0,00^{c}	0,09±0,00^{a}	0,07±0,01^{b}

Veriler ortalama ± standart sapma şeklinde sunulmuştur. Aynı satırda farklı harflerle gösterilen değerler örnekler arasında istatistiksel olarak anlamlı farklılık olduğunu göstermektedir ($p < 0,05$). <LOD: Tespit limitinin altında. CC: Kontrol muffin, SC: Soya sütlü muffin, HC: Fındık sütlü muffin, WC: Ceviz sütlü muffin, QC: Kinoa sütlü muffin, FC: Keten tohumu sütlü muffin, CNC: Hindistan cevizi sütlü muffin, OC: Yulaf sütlü muffin, AC: Badem sütlü muffin.

Nötr amino asitlerde de yüksek değişkenlik gözlenmiştir. WC ve QC örnekleri, lösin başta olmak üzere birçok esansiyel nötr amino asitte en yüksek değerlere ulaşmıştır. Lösin miktarı WC'de 0,60 g/100 g, QC'de 0,59 g/100 g olarak belirlenmiş ve bu değerler CC'nin (0,33 g/100 g) yaklaşık iki katına karşılık gelmiştir. FC örneğinde de lösin düzeyi yüksek bulunmuştur (0,43 g/100 g). Buna karşılık SC ve HC örneklerinde lösin değerleri oldukça düşük kalmıştır (sırasıyla 0,05 ve 0,03 g/100 g). Valin ve izolösin için de benzer bir dağılım gözlenmiştir. Örneğin valin düzeyi WC'de 0,39 g/100 g ve QC'de 0,38 g/100 g iken SC ve HC örneklerinde 0,01 g/100 g'a düşmüştür; benzer şekilde izolösin WC'de 0,28 g/100 g ve QC'de 0,27 g/100 g iken SC ve HC'de 0,01 g/100 g olarak belirlenmiştir. Dallı zincirli amino asitler (BCAA'lar), protein sentezi ve enerji metabolizması için temel olup bu değişkenlik vegan muffinlerin besinsel kalitesi açısından önemli sonuçlar doğurmaktadır (Nie ve ark., 2018). Metiyonin de benzer bir eğilim göstermiştir. WC ve QC örnekleri CC'ye yakın seviyeleri korurken SC (0,02 g/100 g) ve HC (0,01 g/100 g) örneklerinde belirgin düşüşler kaydedilmiştir (CC: 0,09 g/100 g). Bu durum, soya ve kuruyemiş bazlı süt alternatiflerinde metiyoninin bir diğer sınırlayıcı amino asit olduğunu göstermektedir. Hidroksiprolin ise WC (0,23 g/100 g), QC (0,20 g/100 g) ve OC (0,08 g/100 g) örneklerinde tespit edilmiş, CC örneğinde ise saptanmamıştır. Hidroksiprolin genellikle kollajen ile ilişkilidir. Vegan örneklerde hidroksiprolin saptanması kollajen varlığını göstermemekle birlikte; bitkisel protein fraksiyonlarının bileşimi, işleme koşullarına bağlı dönüşümler veya bileşen kaynaklı iz düzey katkılar çerçevesinde değerlendirilmelidir (Kivirikko ve ark., 2024).

İnek sütünün bitki bazlı süt alternatifleri ile ikame edilmesi, muffinlerin amino asit spektrumunu belirgin şekilde değiştirmiştir. CC örneği metiyonin açısından daha yüksek değerlere sahip olurken WC ve QC gibi bazı formülasyonlar lisin düzeylerinde kontrolü yakalamış veya aşmıştır. Ayrıca WC, QC ve FC örneklerinde glutamik asit, arjinin ve lösin miktarlarının artmış olması dikkat çekicidir. Bu bulgular, bitki bazlı sütlerin hem besinsel sınırlılıklarını hem de işlevsel avantajlarını ortaya koymakta ve vegan muffinlerde amino asit dengesinin kullanılan süt ikamesinin türü tarafından belirlendiğini göstermektedir.

4. 8. Muffin Örneklerinin Raf Ömrünün Değerlendirilmesi

4.8.1. Farklı yumurta ikameleri ile üretilen muffinler

30 günlük depolama süresi boyunca muffin formülasyonları arasında kompozisyonal, tekstürel, renk ve mikrobiyolojik özellikler bakımından belirgin farklılıklar ortaya çıkmıştır (Çizelge 4.14 ve Çizelge 4.15).

Tüm örneklerde nem miktarı zamanla azalmıştır. En belirgin düşüş SWC örneğinde görülmüştür (%19.06 → %9.22). En düşük azalma ise AC örneğinde gerçekleşmiştir (%13.58 → %12.16). Bu bulgu, SWC formülasyonunun neme karşı daha duyarlı olduğunu, AC'nin ise su tutma açısından daha stabil bir profil sergilediğini göstermektedir. Bu fark, kullanılan bileşenlerin yapısal özellikleriyle ilişkilidir. Aquafaba; çözünür protein ve karbonhidrat içeriği nedeniyle su tutma kapasitesi sağlayan, köpük oluşturma, emülsifiye etme ve su absorpsiyonu gibi fonksiyonel özellikleri literatürde tanımlanmış bir bileşendir (Grossi Bovi Karatay ve ark., 2022; Yazici ve ark., 2022). Buna karşılık çöven özütünün saponin içeriği nedeniyle güçlü köpük oluşturma kapasitesi bilinmesine rağmen muffin matrislerinde su bağlama işlevine yönelik kanıt bulunmamaktadır.

Depolama süresince kül ve yağ miktarlarında da değişiklikler gözlenmiştir. 30. gün sonunda en yüksek kül miktarı CHC örneğinde (%1,21) belirlenmiş, en büyük yağ kaybı ise CC örneğinde görülmüştür (%5,50). Yağ miktarında gözlenen artışların, nem kaybı sonucu bileşenlerin yoğunlaşmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Nemdeki azalma, lipidler gibi katı bileşenlerin matris içerisindeki oransal payını artırmaktadır. Yağ içeriğindeki düşüşün, özellikle doymamış yağ asitleri bakımından zengin unlu mamullerde depolama sırasında şekillenen lipid oksidasyonu veya hidrolizi ile ilişkili olduğu düşünülmektedir (Topkaya ve Isik, 2019). Kül değişimleri de benzer şekilde nem kaybı kaynaklı konsantrasyon etkisine veya muffin yapısı içinde minerallerin yeniden dağılımı gibi fiziksel süreçlere bağlanabilir (Anwar ve ark., 2020).

Çizelge 4.14. Farklı yumurta ikameleriyle üretilen muffin örneklerinin raf ömrü boyunca fizikokimyasal özelliklerindeki değişimler

		CC	AC	BC	FC	PC	SWC	CHC
Kompozisyon								
Nem (%)	0.Gün	14,46±0,09^{e}	13,58±0,08^{f}	14,90±0,09^{d}	15,89±0,10^{c}	16,40±0,34^{b}	19,06±0,006^{a}	15,76±0,06^{c}
	15.Gün	12,10±0,29^{de}	13,26±0,45^{bc}	13,12±0,26^{cd}	15,17±0,333^{ab}	15,87±0,451^{a}	15,72±0,47^{a}	11,55±0,308^{e}
	30.Gün	10,07±0,02^{e}	12,16±0,05^{a}	10,65±0,05^{c}	9,07±0,026^{g}	11,66±0,060^{b}	9,22±0,02^{f}	10,27±0,021^{d}
Kül (%)	0.Gün	0,71±0,04^{d}	0,75±0,06^{d}	1,03±0,05^{b}	1,02±0,02^{b}	0,84±0,02^{c}	0,86±0,010^{c}	1,06±0,06^{a}
	15.Gün	0,92±0,04^{a}	0,82±0,46^{ab}	0,71±0,60^{bc}	0,74±0,41^{bc}	0,74±0,51^{bc}	0,64±0,34^{c}	0,69±0,45^{c}
	30.Gün	0,83±0,02^{b}	1,15±0,02^{a}	0,72±0,03^{c}	0,57±0,02^{d}	0,57±0,02^{d}	0,82±0,03^{b}	1,21±0,038^{a}
Yağ (%)	0.Gün	22,16±0,351^{a}	19,80±0,046^{c}	19,37±0,61^{d}	20,32±0,45^{b}	19,34±0,41^{d}	18,78±0,35^{e}	19,72±0,40^{c}
	15.Gün	20,32±0,45^{a}	18,76±0,61^{bc}	18,10±0,46^{c}	20,01±0,50^{ab}	19,79±0,55^{ab}	19,40±0,46^{abc}	18,33±0,40^{c}
	30.Gün	16,66±0,07^{f}	21,04±0,05^{c}	20,35±0,05^{d}	18,56±0,03^{e}	22,18±0,11^{a}	21,17±0,12^{c}	21,60±0,04^{b}
Tekstür								
Sertlik (gf)	0.Gün	1284,74±104,18^{bc}	1584,69±141,60^{d}	2220,74±110,34^{b}	1435,25±77,01^{d}	1747,63±199,09^{c}	1266,15±62,22^{d}	2735,73±76,35^{a}
	15.Gün	2696,99±92,60^{f}	4116,30±127,88^{de}	5519,49±315,17^{ab}	4955,98±251,42^{bc}	4517,81±198,09^{cd}	6102,46±648,56^{a}	5756,63±799,86^{a}
	30.Gün	4351,14±287,97^{c}	5312,84±154,39^{b}	nm	nm	6390,99±546,508^{a}	nm	nm
Esneklik	0.Gün	0,91±0,01^{d}	0,88±0,02^{bc}	0,72±0,03^{b}	0,74±0,03^{b}	0,76±0,02^{b}	0,81±0,02^{a}	0,73±0,01^{b}
	15.Gün	0,82±0,01^{a}	0,76±0,02^{bc}	0,79±0,02^{ab}	0,74±0,02^{c}	0,76±0,02^{bc}	0,75±0,02^{bc}	0,72±0,04^{c}
	30.Gün	0,82±0,02^{a}	0,75±0,02^{b}	nm	nm	0,75±0,07^{b}	nm	nm
Kohezivite	0.Gün	0,71±0,02^{d}	0,60±0,03^{ab}	0,50±0,01^{b}	0,51±0,06^{b}	0,55±0,01^{a}	0,52±0,01^{b}	0,51±0,02^{b}
	15.Gün	0,49±0,04^{bc}	0,40±0,01^{cde}	0,52±0,05^{b}	0,43±0,02^{bcd}	0,41±0,02^{cde}	0,49±0,12^{bc}	0,61±0,06^{a}
	30.Gün	0,45±0,02^{a}	0,34±0,03^{b}	nm	nm	0,39±0,03^{ab}	nm	nm
Çiğnenebilirlik	0.Gün	828,54±70,46^{c}	832,87±116,75^{c}	799,28±75,46^{b}	543,42±35,63^{c}	733,84±73,53^{b}	529,96±35,35^{c}	1012,27±21,87^{a}
	15.Gün	1082,17±47,76^{d}	1236,76±49,36^{cd}	2249,46±203,31^{a}	1571,42±126,75^{b}	1419,52±36,41^{bc}	2225,28±352,04^{a}	2502,77±260,12^{a}
	30.Gün	1610,31±156,28^{ab}	1348,65±126,58^{b}	nm	nm	1870,13±112,49^{a}	nm	nm
Elastikiyet	0.Gün	0,33±0,04^{e}	0,26±0,020^{ab}	0,19±0,05^{b}	0,21±0,06^{b}	0,22±0,01^{a}	0,22±0,01^{a}	0,20±0,01^{b}
	15.Gün	0,179±0,02^{bcd}	0,16±0,04^{de}	0,20±0,02^{bc}	0,17±0,01^{cde}	0,16±0,01^{de}	0,218±0,05^{ab}	0,25±0,03^{a}
	30.Gün	0,165±0,08^{a}	0,14±0,01^{a}	nm	nm	0,17±0,01^{a}	nm	nm

Çizelge 4.14. Farklı yumurta ikameleriyle üretilen muffin örneklerinin raf ömrü boyunca fizikokimyasal özelliklerindeki değişimler (devam)

			CC	AC	BC	FC	PC	SWC	CHC
						Renk			
		0.Gün	58,98±3,05^{c}	69,12±1,96^{ab}	56,17±3,52^{c}	63,45±4,34^{b}	58,18±2,81^{c}	73,17±1,31^{a}	68,15±2,00^{ab}
	*L**	15.Gün	54,13±3,09^{e}	64,23±2,99^{ab}	55,11±3,62^{de}	65,85±3,14^{a}	57,18±2,91^{de}	65,03±2,18^{ab}	65,36±3,62^{ab}
		30.Gün	56,11±4,62^{b}	66,14±3,76^{a}	55,82±2,67^{b}	65,16±2,98^{a}	61,75±3,66^{ab}	65,21±2,22^{a}	66,66±3,38^{a}
		0.Gün	12,47±1,876^{a}	3,21±1,83^{c}	8,80±2,31^{b}	2,82±0,78^{d}	4,48±0,36^{c}	1,64±0,85^{e}	0,38±0,87^{f}
Kabuk	*a**	15.Gün	14,10±1,08^{a}	6,72±1,96^{cd}	10,77±0,84^{b}	3,29±2,49^{e}	5,35±2,08^{cde}	4,51±2,12^{de}	3,51±1,57^{e}
		30.Gün	12,24±0,62^{a}	4,55±2,11^{b}	10,01±0,97^{a}	3,79±2,05^{b}	4,58±1,21^{b}	3,64±1,58^{b}	2,04±1,17^{b}
		0.Gün	30,99±2,86^{a}	25,920±2,255^{b}	24,16±1,03^{b}	16,58±1,80^{d}	12,15±1,16^{e}	21,29±1,24^{c}	17,01±2,03^{d}
	*b**	15.Gün	30,32±2,89^{a}	29,493±1,547^{ab}	27,558±2,36^{ab}	24,22±3,80^{cd}	21,25±3,32^{e}	27,56±2,44^{ab}	26,71±1,62^{bc}
		30.Gün	33,28±2,65^{a}	28,210±2,031^{b}	26,283±1,07^{bc}	23,67±3,09^{cd}	19,87±2,32^{d}	25,69±2,59^{bc}	23,26±1,16^{cd}
		0.Gün	75,03±0,84^{a}	71,43±1,24^{b}	66,43±0,91^{c}	61,26±1,27^{d}	59,45±0,66^{d}	69,67±1,76^{b}	64,39±1,59^{c}
	*L**	15.Gün	75,97±1,74^{a}	71,31±1,14^{bcd}	66,97±1,31^{f}	62,81±1,79^{g}	61,60±0,85^{g}	71,84±0,99^{bc}	65,48±2,07^{f}
		30.Gün	73,75±2,50^{a}	67,91±1,70^{b}	65,32±1,22^{bc}	64,17±1,79^{c}	59,96±2,13^{d}	71,64±0,80^{a}	65,40±1,40^{bc}
		0.Gün	-2,27±0,29^{f}	-0,99±0,16^{e}	0,44±0,43^{c}	1,97±0,29^{b}	3,68±0,14^{a}	-0,45±0,30^{d}	-0,03±0,42^{cd}
Kırıntı	*a**	15.Gün	-0,99±0,43^{de}	-0,89±0,22^{de}	0,86±0,43^{b}	1,20±0,58^{b}	3,11±0,16^{a}	-0,72±0,22^{cd}	-0,62±0,48^{cd}
		30.Gün	-0,76±0,78^{c}	-0,43±0,76^{c}	1,59±0,75^{b}	1,12±0,69^{b}	3,37±0,21^{a}	-0,27±0,14^{c}	-0,21±0,25^{c}
		Day 0	24,32±0,80^{a}	16,48±1,10^{b}	16,85±0,39^{b}	13,82±0,37^{c}	10,56±0,18^{d}	17,26±0,18^{b}	14,67±1,36^{c}
	*b**	Day 15	24,24±0,55^{a}	19,78±0,49^{b}	19,25±0,58^{bc}	15,68±0,74^{f}	15,06±0,49^{f}	18,14±0,28^{e}	15,07±0,42^{f}
		Day 30	23,51±0,96^{a}	19,55±0,57^{b}	18,00±0,92^{c}	14,89±0,46^{d}	13,71±0,66^{d}	17,69±0,37^{c}	14,71±1,30^{d}

Sonuçlar ortalama ± standart sapma şeklinde sunulmuştur. Aynı satırda farklı harflerle gösterilen ortalamalar istatistiksel olarak anlamlı farklılık göstermektedir ($p < 0,05$). CC: Kontrol muffin, AC: Aquafaba muffin, BC: Muz muffin, FC: Keten tohumu muffin, PC: Psyllium muffin, SWC: Çöven muffin, CHC: Chia muffin. nm: Ölçülemedi.

Çizelge 4.15. Farklı yumurta ikameleriyle üretilen muffin örneklerinin raf ömrü boyunca mikrobiyolojik analiz sonuçları

	Aerobik Koloni Sayımı, kob/g			***E. coli*, kob/g**			**Koliformlar, kob/g**			***S. aureus*, kob/g**			**Maya ve Küf, kob/g**			***Salmonella* spp., kob/g**		
	0.Gün	15.Gün	30.Gün	0.Gün	15.Gün	30.Gün	0.Gün	15.Gün	30.Gün	0.Gün	15.Gün	30.Gün	0.Gün	15.Gün	30.Gün	0.Gün	15.Gün	30.Gün
CC	$2{,}7x10^{2\ d,B}$	$7{,}5x10^{2\ c,A}$	$2{,}6x10^{2\ g,B}$	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<LOD	<LOD	<LOD
AC	$5{,}1x10^{2\ c,C}$	$1{,}3x10^{3\ b,B}$	$2{,}1x10^{3\ a,A}$	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<LOD	<LOD	<LOD
BC	$7{,}0x10^{2\ b,B}$	$1{,}9x10^{3\ a,A}$	$1{,}7x10^{3\ b,A}$	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<LOD	<LOD	<LOD
FC	$2{,}9x10^{2\ d,B}$	$5{,}9x10^{2\ d,A}$	$6{,}3x10^{2\ e,A}$	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<LOD	<LOD	<LOD
PC	$2{,}2x10^{2\ e,C}$	$5{,}7x10^{2\ d,A}$	$4{,}8x10^{2\ f,B}$	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<LOD	<LOD	<LOD
SWC	$2{,}5x10^{2\ e,B}$	$7{,}4x10^{2\ c,A}$	$7{,}1x10^{2\ d,A}$	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<LOD	<LOD	<LOD
CHC	$8{,}9x10^{2\ a,C}$	$2{,}1x10^{3\ e,A}$	$9{,}6x10^{2\ c,B}$	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<LOD	<LOD	<LOD

Sonuçlar ortalama ± standart sapma olarak verilmiştir. Aynı sütunda yer alan farklı küçük harfler, örnekler arasındaki farkı göstermektedir. Aynı satırda yer alan farklı büyük harfler ise günler arasındaki farkı ifade etmektedir ($p < 0{,}05$). CC: Kontrol muffin, AC: Aquafaba muffin, BC: Muz muffin, FC: Keten tohumu muffin, PC: Psyllium muffin, SWC: Çöven muffin, CHC: Chia muffin. LOD: Tespit limiti; *Salmonella spp*. için <1 kob/25 g.

Tekstür analizinde sertlik değerlerinin genel olarak arttığı görülmüştür; özellikle SWC ve CHC örneklerinde bu artış 15. gün itibarıyla daha belirgindir. SWC'de çiğnenebilirlik 0. günden 15. güne %319,9 oranında artmış (529,96 → 2225,28) ve elastikiyette hafif bir azalma meydana gelmiştir (%−0,91). Bu belirgin tekstürel değişiklikler, çöven özütündeki saponinlerin köpük oluşturma ve yapı stabilizasyonu sağlayan özellikleriyle ilişkili olabilir; bu etki daha önce diğer gıda sistemlerinde de bildirilmiştir (Gonzalez ve Sörensen, 2020). Bununla birlikte tüm örneklerde kohezivite değerlerinde düşüş görülmesi, nişasta retrogradasyonu ile ilişkili kısmi yapısal zayıflamayı düşündürmektedir. Depolama süresinin ilerlemesiyle birlikte bazı formülasyonlarda sertlik değerlerinin artması, kullanılan 5 kg kapasiteli yük hücresinin ölçüm aralığının aşılmasına neden olmuştur. Bu nedenle, bazı örneklerde 15. ve/veya 30. günlerde güvenilir ölçüm elde edilememiş ve bu hücreler tabloda "nm: ölçülemedi" olarak belirtilmiştir.

Renk parametreleri de depolama süresince değişmiştir. Kabuğun parlaklığı (L*) en yüksek SWC'de kalırken, BC ve CHC örneklerinde kabuk giderek koyulaşmıştır. İç renk özelliklerinde ise PC ve FC örneklerinde parlaklığın azaldığı ve kırmızılığın (a*) arttığı belirlenmiştir. Bu durum, psyllium ve keten tohumu gibi pigment açısından zengin bileşenlerin etkisini yansıtmaktadır (Belorio ve Gómez, 2021; Mueed ve ark., 2022).

Aerobik mezofil bakteri sayımları (APC) $2{,}2\times10^{2}$ – $2{,}1\times10^{3}$ kob/g arasında değişmiş ve Avrupa Komisyonu (EC) No. 2073/2005 yönetmeliğinde belirtilen hazır tüketilen unlu mamuller için kabul edilebilir sınırlar içinde kalmıştır. *E. coli*, koliform, *Staphylococcus aureus* ve maya – küf sayımları tespit limitinin altında kalmış (<10 kob/g), *Salmonella* spp. hiçbir örnekte belirlenmemiştir. Bu bulgular, üretim sırasında hijyen koşullarının sağlandığını ve mikrobiyolojik güvenliğin korunduğunu göstermektedir. Ayrıca aquafaba, keten, psyllium ve chia gibi bitki bazlı bileşenlerin mikrobiyolojik kaliteyi olumsuz etkilemediği doğrulanmıştır. Sonuç olarak formülasyonlar 30 günlük oda sıcaklığı depolamasında iyi raf stabilitesi sergilemiş ve tüketim açısından güvenli kalmıştır.

4.8.2. Farklı süt ikameleri ile üretilen muffinler

30 günlük depolama süresi boyunca muffin formülasyonları arasında kompozisyonal, tekstürel, renk ve mikrobiyolojik özellikler açısından belirgin farklılıklar tespit edilmiştir (Çizelge 4.16 ve Çizelge 4.17).

Nem içeriği iki aşamalı bir değişim göstermiştir. 0. günden 15. güne kadar tüm örneklerde nem miktarı artmıştır. Bu artış, matris içerisindeki suyun yeniden dağılımı ve dengeye ulaşmasıyla ilişkilidir. En yüksek değerler HC ve QC örneklerinde belirlenmiştir (sırasıyla %19,94 ve %19,87). CC ve AC örnekleri ise daha düşük seviyelerde kalmıştır (%17,02 ve %18,28). Ancak 30. gün itibarıyla tüm formülasyonlarda belirgin bir azalma meydana gelmiştir. En büyük düşüş SC (%9,17) ve CC (%10,07) örneklerinde gerçekleşmiştir. FC örneği %15,71 ile en yüksek nem içeriğini korumuştur. Bu durum, depolama boyunca gerçekleşen ilerleyici su kaybını göstermekte olup unlu mamullerde yaygın bir olgudur. FC'nin daha stabil nem profilinin keten tohumu müsilajının su tutma kapasitesi ile ilişkili olabileceği değerlendirilmektedir (Puligundla ve Lim, 2022). Kül içeriğinde orta düzeyde değişimler gözlenmiştir. 30. günde en yüksek kül değerleri OC (%1,18) ve AC (%1,11) örneklerinde ölçülmüştür. Bu artış, nem kaybına bağlı konsantrasyon etkisi ve minerallerin matriste yeniden dağılımı ile açıklanabilir. SC örneği en düşük kül miktarına sahip olmuştur (%0,57). Yağ içeriği de depolama süresince azalmıştır. Bu düşüş, lipid oksidasyonu ve hidroliz süreçleriyle uyumludur. En belirgin azalma CC örneğinde gözlenmiştir (%22,21 → %16,66). Buna karşın WC ve SC örnekleri 30. gün sonunda daha yüksek yağ düzeylerini korumuştur (%21,84 ve %21,73). Bu bulgular, ortam koşullarında depolanan bitkisel yağların doymamış yağ asitleri nedeniyle oksidasyona duyarlı olduğunu göstermektedir (Krause ve ark., 2022).

Çizelge 4.16. Farklı süt ikameleriyle üretilen muffin örneklerinin raf ömrü boyunca fizikokimyasal özelliklerindeki değişimler

		CC	SC	HC	WC	QC	FC	CNC	OC	AC
Kompozisyon										
Nem (%)	0.Gün	14,45±0,00^{c}	14,91±0,08^{b}	14,45±0,03^{c}	14,86±0,07^{b}	16,18±0,06^{a}	14,62±0,02^{c}	14,82±0,02^{b}	14,20±0,00^{d}	13,72±0,05^{e}
	15.Gün	17,02±0,43^{c}	18,42±0,39^{bc}	19,94±0,35^{a}	18,97±0,34^{ab}	19,87±0,51^{ab}	19,34±0,35^{ab}	19,51±0,46^{ab}	17,38±0,25^{c}	18,28±0,45^{bc}
	30.Gün	10,07±0,02^{e}	9,17±0,02^{f}	12,35±0,03^{c}	12,53±0,03^{b}	12,55±0,03^{b}	15,71±0,04^{a}	12,59±0,01^{b}	12,23±0,04^{d}	12,18±0,01^{d}
Kül (%)	0.Gün	0,73±0,03^{bc}	0,82±0,02^{b}	0,73±0,03^{bc}	0,72±0,02^{c}	0,97±0,03^{a}	0,82±0,02^{a}	0,80±0,01^{bc}	0,93±0,02^{a}	0,76±0,01^{bc}
	15.Gün	0,92±0,02^{a}	0,84±0,19^{ab}	0,82±0,03^{ab}	0,90±0,05^{ab}	0,73±0,14^{bc}	0,88±0,21^{ab}	0,81±0,12^{ab}	0,63±0,06^{c}	0,85±0,22^{ab}
	30.Gün	0,83±0,02^{bc}	0,57±0,06^{d}	0,94±0,03^{b}	0,74±0,04^{c}	0,86±0,02^{bc}	0,79±0,03^{c}	0,75±0,02^{c}	1,18±0,10^{a}	1,11±0,03^{a}
Yağ (%)	0.Gün	22,21±0,02^{a}	20,36±0,04^{c}	20,36±0,05^{c}	20,82±0,06^{b}	19,61±0,01^{e}	20,23±0,03^{c}	20,06±0,02^{d}	20,76±0,02^{b}	19,92±0,04^{d}
	15.Gün	20,27±0,45^{a}	20,20±0,33^{a}	19,28±0,55^{ab}	19,92±0,47^{ab}	18,63±0,32^{bc}	19,87±0,24^{ab}	18,44±0,45^{bc}	16,53±0,27^{c}	18,88±0,41^{bc}
	30.Gün	16,66±0,07^{g}	21,73±0,02^{b}	21,67±0,36^{b}	21,84±0,02^{a}	20,94±0,04^{e}	20,94±0,04^{e}	21,21±0,01^{c}	17,99±0,04^{f}	21,05±0,04^{e}
Tekstür										
Sertlik (gf)	0.Gün	1284,74±104,18^{bc}	1616,01±205,37^{a}	1584,69±141,61^{a}	976,59±68,83^{d}	1158,40±82,19^{c}	1015,00±3,33^{cd}	1416,21±143,37^{ab}	1459,38±101,54^{ab}	1404,69±103,67^{ab}
	15.Gün	2696,99±92,60^{c}	nm	3641,62±335,69^{b}	nm	nm	nm	4153,08±189,56^{a}	nm	4116,30±127,89^{a}
	30.Gün	nm	nm	nm	nm	nm	nm	nm	nm	nm
Esneklik	0.Gün	0,91±0,01^{a}	0,88±0,01^{b}	0,88±0,02^{b}	0,86±0,00^{c}	0,88±0,01^{b}	0,84±0,01^{d}	0,89±0,01^{ab}	0,89±0,01^{ab}	0,89±0,03^{ab}
	15.Gün	0,82±0,01^{a}	nm	0,73±0,03^{c}	nm	nm	nm	0,75±0,00^{bc}	nm	0,76±0,02^{bc}
	30.Gün	nm	nm	nm	nm	nm	nm	nm	nm	nm
Kohezivite	0.Gün	0,71±0,00^{a}	0,58±0,00^{c}	0,59±0,03^{c}	0,64±0,02^{b}	0,62±0,01^{bc}	0,60±0,01^{c}	0,60±0,03^{c}	0,62±0,01^{bc}	0,60±0,01^{c}
	15.Gün	0,49±0,04^{a}	nm	0,35±0,01^{c}	nm	nm	nm	0,33±0,01^{c}	nm	0,40±0,01^{b}
	30.Gün	nm	nm	nm	nm	nm	nm	nm	nm	nm
Çiğnenebilirlik	0.Gün	828,54±70,46^{a}	823,56±117,80^{a}	832,87±116,75^{a}	534,95±23,83^{d}	633,71±33,72^{cd}	513,33±9,88^{d}	755,78±74,46^{bc}	808,05±64,91^{ab}	748,21±72,95^{bc}
	15.Gün	1082,17±47,76^{b}	nm	926,20±129,77^{b}	nm	nm	nm	1028,37±15,62^{b}	nm	1236,76±49,37^{a}
	30.Gün	nm	nm	nm	nm	nm	nm	nm	nm	nm
Elastikiyet	0.Gün	0,33±0,00^{a}	0,25±0,00^{c}	0,26±0,02^{c}	0,30±0,02^{ab}	0,29±0,01^{b}	0,27±0,01^{bc}	0,27±0,02^{bc}	0,28±0,01^{bc}	0,26±0,01^{c}
	15.Gün	0,18±0,02^{a}	nm	0,14±0,00^{c}	nm	nm	nm	0,13±0,00^{c}	nm	0,16±0,00^{b}
	30.Gün	nm	nm	nm	nm	0,17±0,01^{a}	nm	nm	nm	nm

Çizelge 4.16. Farklı süt ikameleriyle üretilen muffin örneklerinin raf ömrü boyunca fizikokimyasal özelliklerindeki değişimler (devam)

			CC	SC	HC	WC	QC	FC	CNC	OC	AC
							Renk				
		0.Gün	58,98±3,05^{c}	64,65±2,77^{ab}	62,89±2,19^{bc}	65,12±1,17^{ab}	65,27±2,35^{ab}	64,40±2,17^{ab}	67,46±2,86^{ab}	63,67±1,06^{bc}	69,12±1,96^{a}
	*L**	15.Gün	54,13±3,09^{e}	65,27±4,94^{ab}	58,63±1,66^{cd}	62,92±2,20^{ab}	66,40±4,62^{a}	66,30±4,17^{a}	62,37±1,11^{abc}	61,35±3,66^{bc}	64,23±2,99^{ab}
		30.Gün	56,11±4,62^{b}	64,04±4,89^{a}	61,41±0,88^{ab}	64,15±3,90^{a}	67,61±2,94^{a}	65,33±2,20^{a}	64,23±2,54^{a}	61,46±7,44^{ab}	66,14±3,75^{a}
		0.Gün	12,48±1,88^{a}	6,04±3,42^{b}	6,44±2,67^{ab}	4,74±0,79^{b}	3,91±2,97^{b}	4,45±3,65^{b}	4,95±2,91^{b}	5,03±2,45^{b}	3,21±1,83^{b}
Kabuk	*a**	15.Gün	14,10±1,08^{a}	5,91±2,79^{cde}	7,94±2,93^{c}	5,25±1,44^{cde}	4,49±2,73^{de}	5,04±2,40^{de}	5,79±2,44^{cde}	5,59±2,09^{cde}	6,72±1,96^{cd}
		30.Gün	12,24±0,62^{a}	6,47±2,47^{b}	4,52±2,74^{b}	5,32±2,11^{b}	4,12±1,78^{b}	5,22±1,52^{b}	3,93±1,96^{b}	5,64±2,35^{b}	4,55±2,11^{b}
		0.Gün	30,99±2,86^{a}	28,96±0,47^{ab}	28,75±0,90^{ab}	24,57±0,92^{b}	24,49±2,61^{b}	26,34±2,64^{b}	27,82±1,85^{ab}	27,74±1,13^{ab}	25,92±2,26^{b}
	*b**	15.Gün	30,32±2,89^{a}	28,56±2,41^{ab}	27,41±1,71^{ab}	23,04±2,68de	26,47±2,40^{bc}	26,47±1,91^{bc}	26,68±1,47^{bc}	26,89±1,26^{bc}	29,49±1,55^{ab}
		30.Gün	33,28±2,65^{a}	29,16±1,00^{b}	28,56±2,01^{b}	23,60±2,95^{c}	27,68±1,61^{b}	27,40±1,57^{b}	27,08±1,37^{bc}	27,54±1,19^{b}	28,21±2,03^{b}
		0.Gün	75,03±0,85^{a}	69,58±0,55^{ab}	72,02±1,13^{b}	64,69±1,16^{c}	69,38±0,82^{b}	70,46±0,84^{ab}	69,98±0,63^{ab}	70,62±1,82^{ab}	71,43±1,24^{ab}
	*L**	15.Gün	75,97±1,74^{a}	71,30±0,71^{bcd}	70,54±0,57^{cde}	65,80±1,18^{f}	72,71±0,78^{b}	71,60±1,59^{bc}	69,81±0,55^{de}	69,10±0,81^{e}	71,31±1,14^{bcd}
		30.Gün	73,75±2,50^{a}	71,79±1,29^{a}	68,23±1,16^{ab}	66,97±0,75^{ab}	73,42±0,62^{a}	72,49±0,76^{a}	67,84±2,64^{ab}	62,33±3,16^{b}	67,91±1,70^{ab}
		0.Gün	-2,28±0,29^{d}	-0,90±0,04^{bc}	-0,86±0,15^{bc}	1,22±0,10^{a}	-1,15±0,19^{c}	-0,66±0,05^{b}	-0,99±0,13^{bc}	-1,02±0,22^{bc}	-0,99±0,16^{bc}
Kırıntı	*a**	15.Gün	-0,99±0,43^{de}	-1,28±0,29^{ef}	-1,03±0,25^{de}	2,86±0,24^{a}	-1,58±0,21^{f}	-0,32±0,49^{c}	-1,31±0,07^{ef}	-1,29±0,38^{ef}	-0,90±0,22^{de}
		30.Gün	-0,76±0,78^{b}	-2,55±3,95^{b}	-0,76±0,33^{b}	2,78±0,19^{a}	-1,16±0,11^{b}	-0,01±0,22^{b}	-1,05±0,19^{b}	-1,19±0,06^{b}	-0,43±0,75^{b}
		Day 0	24,33±0,80^{a}	17,18±0,51^{b}	16,15±0,60^{bc}	12,11±1,08^{d}	14,85±0,45^{c}	14,90±0,48^{c}	14,99±0,36^{c}	15,92±0,43^{bc}	16,48±1,10^{bc}
	*b**	Day 15	24,24±0,55^{a}	18,85±0,64^{cde}	18,41±0,84^{de}	14,32±0,45^{g}	18,24±0,44^{e}	18,34±0,63^{de}	19,05±0,42^{cd}	18,87±0,63^{cde}	19,78±0,49^{b}
		Day 30	23,51±0,96^{a}	17,87±0,42^{c}	16,66±2,21^{c}	13,97±0,27^{d}	18,03±0,47^{bc}	17,29±0,39^{c}	18,06±0,52^{bc}	17,80±0,40^{c}	19,55±0,57^{b}

Veriler ortalama ± standart sapma şeklinde sunulmuştur. Aynı satırda farklı harflerle gösterilen değerler örnekler arasında istatistiksel olarak anlamlı farklılık olduğunu göstermektedir ($p < 0,05$). CC: Kontrol muffin, SC: Soya sütlü muffin, HC: Fındık sütlü muffin, WC: Ceviz sütlü muffin, QC: Kinoa sütlü muffin, FC: Keten tohumu sütlü muffin, CNC: Hindistan cevizi sütlü muffin, OC: Yulaf sütlü muffin, AC: Badem sütlü muffin. nm: Ölçülemedi.

Çizelge 4.17. Farklı süt ikameleriyle üretilen muffin örneklerinin raf ömrü boyunca mikrobiyolojik analiz sonuçları

	Aerobik Koloni Sayımı, kob/g			***E. coli*, kob/g**			**Koliformlar, kob/g**			***S. aureus*, kob/g**			**Maya ve Küf, kob/g**			***Salmonella* spp., kob/g**		
	0.Gün	15.Gün	30.Gün	0.Gün	15.Gün	30.Gün	0.Gün	15.Gün	30.Gün	0.Gün	15.Gün	30.Gün	0.Gün	15.Gün	30.Gün	0.Gün	15.Gün	30.Gün
CC	$2{,}7x10^{2\ d,B}$	$7{,}5x10^{2\ d,A}$	$2{,}6x10^{2\ f,B}$	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<LOD	<LOD	<LOD
SC	$2{,}0x10^{2\ e,C}$	$9{,}2x10^{3\ a,A}$	$1{,}2x10^{3\ b,B}$	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<LOD	<LOD	<LOD
HC	$3{,}4x10^{2\ c,C}$	$7{,}8x10^{2\ d,A}$	$5{,}5x10^{2\ d,B}$	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<LOD	<LOD	<LOD
WC	$9{,}1x10^{2\ a,A}$	$1{,}5x10^{2\ e,C}$	$4{,}1x10^{2\ e,B}$	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<LOD	<LOD	<LOD
QC	$3{,}2x10^{2\ c,C}$	$9{,}6x10^{2\ d,A}$	$6{,}0x10^{2\ d,B}$	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<LOD	<LOD	<LOD
FC	$4{,}4x10^{2\ b,C}$	$7{,}3x10^{2\ d,A}$	$6{,}3x10^{2\ d,B}$	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<LOD	<LOD	<LOD
CNC	$2{,}8x10^{2\ d,C}$	$5{,}8x10^{2\ d,B}$	$1{,}3x10^{3\ b,A}$	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<LOD	<LOD	<LOD
OC	$1{,}5x10^{2\ f,C}$	$4{,}8x10^{3\ b,A}$	$8{,}6x10^{2\ c,B}$	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<LOD	<LOD	<LOD
AC	$5{,}1x10^{2\ b,C}$	$1{,}3x10^{3\ c,B}$	$2{,}1x10^{3\ a,A}$	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<LOD	<LOD	<LOD

Sonuçlar ortalama ± standart sapma olarak verilmiştir. Aynı sütunda yer alan farklı küçük harfler, örnekler arasındaki farkı göstermektedir. Aynı satırda yer alan farklı büyük harfler ise günler arasındaki farkı ifade etmektedir ($p < 0{,}05$). CC: Kontrol muffin, SC: Soya sütlü muffin, HC: Fındık sütlü muffin, WC: Ceviz sütlü muffin, QC: Kinoa sütlü muffin, FC: Keten tohumu sütlü muffin, CNC: Hindistan cevizi sütlü muffin, OC: Yulaf sütlü muffin, AC: Badem sütlü muffin. LOD: Tespit limiti; *Salmonella spp*. için <1 kob/25 g.

Tekstürel özellikler 0. ve 15. gün için değerlendirilebilmiştir; 30. günde bu parametreler ölçülememiştir. Sertlik, özellikle CNC (1416,21 gf → 4153,08 gf) ve AC (1404,69 gf → 4116,30 gf) örneklerinde belirgin şekilde artmıştır. AC örneğinde çiğnenebilirlik de yükselmiştir (748,21 → 1236,76). Buna karşın esneklik ve elastikiyet azalmış, bu durum yapısal zayıflamaya işaret etmiştir. Kohezivitenin tüm örneklerde düşmesi, nişasta retrogradasyonu ve protein – nişasta etkileşimlerinin ekmeğimsi yapıyı sınırladığına işaret etmektedir (Topaloğlu Günan ve Yolci Ömeroğlu, 2025).

Renk parametreleri depolamadan önemli ölçüde etkilenmiştir. Kabuk L* değerleri başlangıçta düşmüş, en belirgin değişim CC örneğinde görülmüştür (58,98 → 54,13). QC ise daha yüksek parlaklığı korumuştur. Kabuk a* değerleri CC örneklerinde sürekli olarak daha yüksek seyretmiştir (12,48 – 14,10). Bu durum, yumurta proteinleri ve laktozun Maillard reaksiyonlarını hızlandırmasıyla ilişkilidir (Pucci ve ark., 2024). Kabuk b* değerleri CC'de en yüksek seviyelere ulaşmış (30,99 → 33,28), WC'de ise daha düşük kalmıştır (24,57 → 23,60). İç renk incelendiğinde, OC'de L* belirgin şekilde azalmış (70,62 → 62,33), WC'de a* artmış (1,22 → 2,78) ve b* değerleri çoğu örnekte hafif düşmüştür. Bu değişiklikler, Maillard reaksiyonları ile bitkisel pigmentlerin depolama boyunca renk stabilitesi üzerindeki etkilerini göstermektedir.

Aerobik mezofil bakteri sayımları (APC) $1,5\times10^2$ kob/g (OC, gün 0) ile $9,2\times10^3$ kob/g (SC, gün 15) arasında değişmiş ve bozulma ile ilişkilendirilen seviyelere ulaşmamıştır. Ayrıca tüm örnekler EC No. 2073/2005 yönetmeliğinde belirtilen hazır tüketilen unlu mamuller için mikrobiyolojik kriterleri karşılamıştır. *E. coli*, koliformlar, *Staphylococcus aureus*, maya – küf ve *Salmonella* spp. hiçbir örnekte tespit edilmemiştir. Bu bulgular, üretim sırasında hijyen koşullarının korunduğunu ve depolama süreci boyunca mikrobiyolojik güvenliğin sürdüğünü göstermektedir. Farklı bitki bazlı sütlerin kullanılması mikrobiyolojik kaliteyi olumsuz etkilememiştir. Tüm muffin formülasyonları 30 günlük oda sıcaklığı depolamasında stabil ve güvenli kalmıştır.

Genel olarak tüm formülasyonlar 30 gün boyunca kabul edilebilir kalite ve mikrobiyolojik stabiliteyi korumuştur. En belirgin zorluklar nem kaybı ve tekstür

sertleşmesi olup bu etkiler SC ve CC örneklerinde daha güçlü şekilde görülmüştür. Buna karşın keten ve kuruyemiş bazlı formülasyonlar (FC, AC, CNC) suyu daha etkin tutmuş ve yapısal dayanımı daha iyi korumuştur. Ayrıca tüm örneklerin mikrobiyolojik açıdan güvenli kalması, geniş bir bitki bazlı süt yelpazesinin uzun raf ömrüne sahip unlu mamuller üretiminde başarıyla kullanılabileceğini göstermektedir.

Depolama süreci boyunca yumurta ikameleri ile formüle edilen muffinlerde nem kaybı ve tekstürel sertleşme daha erken ve daha belirgin biçimde ortaya çıkarken, süt ikameleriyle üretilen muffinlerde değişimler daha kademeli ve zamana yayılmıştır. Yumurta ikameleri, özellikle köpük yapısı ve jel benzeri ağların stabilitesi üzerinden depolama davranışını belirlerken; süt ikameleri daha çok lipid oksidasyonu, nem kaybı ve nişasta – protein etkileşimleri yoluyla raf ömrü özelliklerini etkilemiştir. Buna rağmen her iki sistemde de mikrobiyolojik güvenliğin korunması, farklı bitkisel ikamelerin 30 günlük oda sıcaklığı depolamasında teknolojik açıdan uygulanabilir olduğunu göstermektedir.

4. 9. Muffin Örneklerinin Hedonik Duyusal Değerlendirilmesi

4.9.1. Farklı yumurta ikameleri ile üretilen muffinler

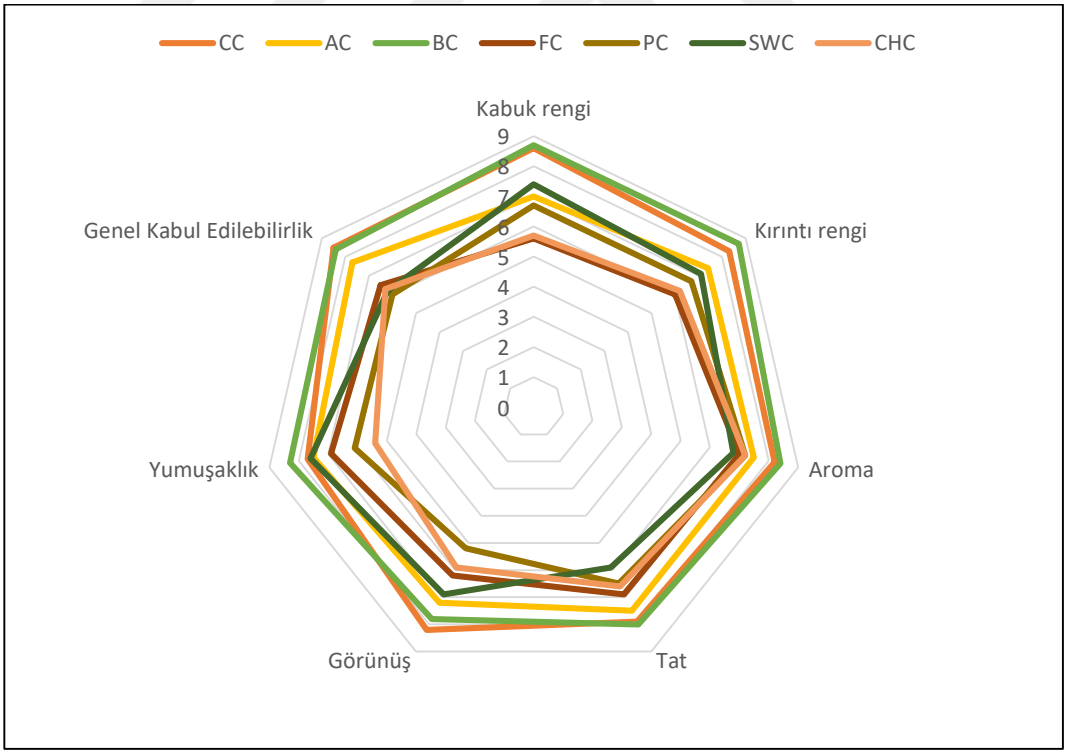
Duyusal özellikler, gıda ürünlerinde tüketici kabulünü belirleyen temel unsurlardan biridir. Duyusal değerlendirme sonuçları (n = 24) Çizelge 4.18'de ve bu verilerle üretilen radar diyagramı Şekil 4.9 verilmiştir. Pişmiş ürünlerin renk özellikleri, hem bileşenlerin doğal renkleri hem de pişirme sırasında gerçekleşen etkileşimler sonucu oluşan renk değişimleri tarafından belirlenmektedir (Kutlu ve ark., 2024).

Kabuk ve iç renk puanları 5,60 ile 8,70 arasında değişmiş ve en yüksek değerler BC örneğinde elde edilmiştir. Muz püresi ilavesi BC örneğinin şeker içeriğini artırmış; bu durum, daha yoğun esmerleşme reaksiyonları ile görsel çekiciliği yükseltmiş olabilir (Yazici ve Ozer, 2021). Yeşil muz unuyla üretilen keklerde yapılan bir çalışmada da muz miktarının artmasıyla a* değerlerinde yükselme gözlendiği bildirilmiştir (Teeta ve ark., 2023). Bu bulgu, mevcut çalışmadaki gözlemi desteklemektedir.

Çizelge 4.18. Farklı yumurta ikameleriyle üretilen muffin örneklerinin duyusal özelliklerine ilişkin puanlar

	Kabuk rengi	Kırıntı rengi	Aroma	Tat	Görünüş	Yumuşaklık	Genel Kabul Edilebilirlik
CC	8,60±0,70^{a}	8,30±0,68^{a}	8,20±0,63^{ab}	7,90±0,88^{ab}	8,20±1,23^{a}	7,70±1,06^{ab}	8,50±0,53^{a}
AC	7,00±0,47^{b}	7,40±0,70^{b}	7,50±0,71^{bc}	7,50±0,71^{abc}	7,20±0,79^{abc}	7,50±0,71^{ab}	7,70±0,67^{b}
BC	8,70±0,48^{a}	8,70±0,48^{a}	8,40±0,69^{a}	8,00±0,82^{a}	7,80±0,63^{ab}	8,30±0,48^{a}	8,40±0,52^{ab}
FC	5,60±0,52^{c}	6,00±0,27^{c}	7,00±0,47^{c}	6,90±0,57^{bcd}	6,20±0,48^{cde}	6,90±0,57^{bc}	6,50±0,52^{c}
PC	6,70±0,68^{b}	6,70±0,48^{b}	7,20±0,63^{c}	6,50±0,71^{cd}	5,20±0,79^{e}	6,10±0,57^{cd}	6,00±0,67^{c}
SWC	7,40±0,70^{b}	7,10±0,57^{b}	6,80±0,63^{c}	5,90±0,74^{d}	6,90±0,57^{bcd}	7,60±0,52^{ab}	6,20±0,42^{c}
CHC	5,70±0,68^{c}	6,20±0,42^{c}	7,20±0,42^{c}	6,60±0,69^{cd}	5,90±0,57^{de}	5,40±0,84^{d}	6,30±0,68^{c}

Sonuçlar ortalama ± standart sapma şeklinde sunulmuştur. Aynı sütunda farklı harflerle gösterilen ortalamalar istatistiksel olarak anlamlı farklılık göstermektedir ($p < 0,05$). CC: Kontrol muffin, AC: Aquafaba muffin, BC: Muz muffin, FC: Keten tohumu muffin, PC: Psyllium muffin, SWC: Çöven muffin, CHC: Chia muffin.



Şekil 4.9. Farklı yumurta ikameleriyle üretilen muffin örneklerinin duyusal özelliklerine ilişkin radar diyagramı

Aroma puanları 6,80 ile 8,40 arasında değişmiş ve BC örneği en yüksek puanı almıştır. FC, PC, SWC ve CHC örnekleri tat ve aroma açısından daha düşük ortalamalara sahip olsa da bu farklar istatistiksel olarak anlamlı bulunmamıştır ($p > 0,05$). Tüm muffinlerde tat puanları 5,90 ile 8,00 arasında değişmiştir. Görünüş açısından CC en yüksek puanı almıştır (8,20). PC örneğinin en düşük görünüş puanını alması (5,20), düşük b* değerleriyle ilişkilendirilmektedir (bkz. Çizelge 4.3). Yumuşaklık puanları 5,40 (CHC) ile 8,30 (BC) arasında değiştiği görülmektedir. CHC'de görülen düşük puan, chia jelinin oluşturduğu taneli yapıdan kaynaklandığı düşünülmektedir.

Genel kabul edilebilirlik puanları 6,00 ile 8,50 arasında değişmiştir. BC örneği, toplam beğeni bakımından CC'ye en yakın sonuçları vermiştir. FC, PC, SWC ve CHC örnekleri arasında anlamlı bir fark bulunmamıştır ($p > 0,05$). Tüm örneklerin 6'nın üzerinde puan almış olması, panelistler tarafından genel kabulün sağlandığını göstermektedir. Bitki bazlı ikameler kullanıldığında geleneksel formülasyonlara benzer duyusal kabul elde etmenin güç olabildiği bilinmektedir (Ansorena ve ark., 2022).

4.9.2. Farklı süt ikameleri ile üretilen muffinler

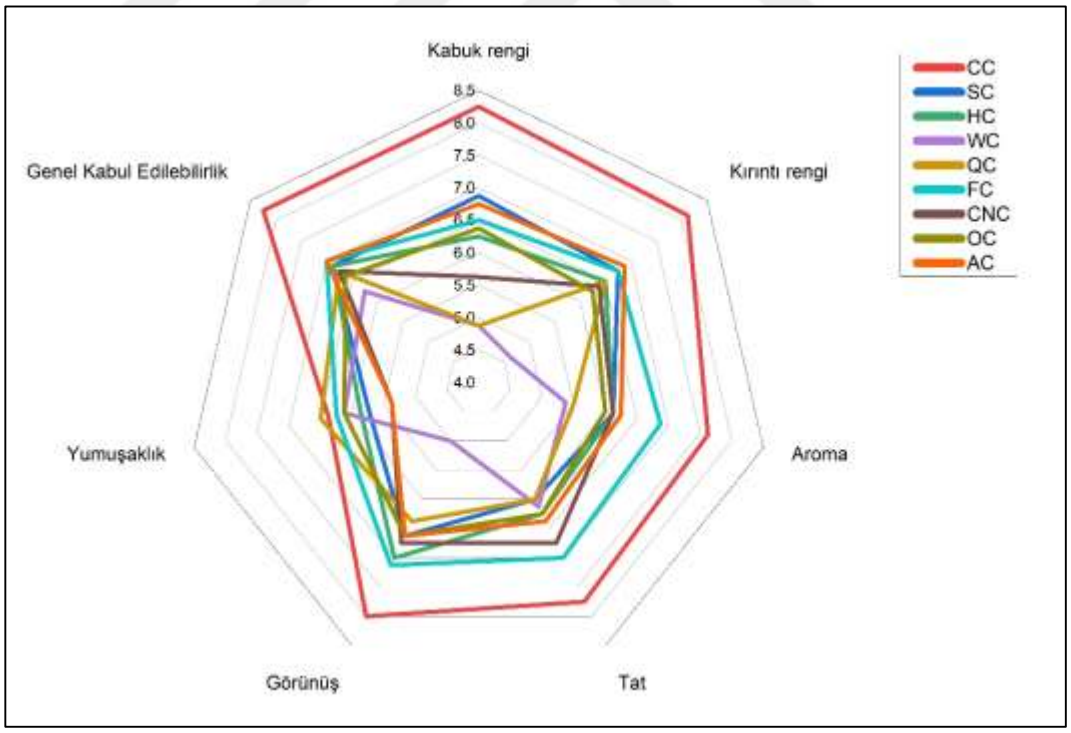
Duyusal değerlendirmede panel testi sonuçları ($n = 20$) Çizelge 4.19'da ve bu verilerle üretilen radar diyagramı Şekil 4.10'da verilmiştir. Kabuk ve iç renk puanları yaklaşık 5,0 ile 8,5 arasında değişmiş, en yüksek değerler kontrol örneğinde (CC) elde edilmiştir. Bu sonuç, yumurta proteinleri ve laktozun Maillard esmerleşmesine katkısını yansıtmaktadır. Pişmiş ürünlerin rengi, hem bileşenlerin doğal pigmentleri hem de pişirme sırasında gerçekleşen kimyasal etkileşimlerle şekillenmektedir (Topaloğlu Günan ve Yolci Ömeroğlu, 2025).

Aroma ve tat puanları 5,38 ile 7,75 aralığında değişmiştir. CC örneği 7,75 ile en yüksek tat puanına sahip olmuştur. AC (6,38), FC (7,00) ve CNC (6,75) örnekleri de olumlu değerlendirmeler almıştır. Buna karşılık WC ve QC örneklerinde puanlar daha düşük kalmıştır (6,13 – 6,00). Bu durum, daha koyu iç renk ve daha belirgin tat ile ilişkilendirilebilir.

Çizelge 4.19. Farklı süt ikameleriyle üretilen muffin örneklerinin duyusal özelliklerine ilişkin puanlar

	Kabuk rengi	Kırıntı rengi	Aroma	Tat	Görünüş	Yumuşaklık	Genel Kabul Edilebilirlik
CC	8,25±1,16^{a}	8,13±0,64^{a}	7,62±1,19^{a}	7,75±0,89^{a}	8,00±1,31^{a}	6,37±2,07^{a}	8,25±0,71^{a}
SC	6,88±1,16^{ab}	6,75±1,28^{ab}	6,12±1,73^{a}	6,00±2,07^{a}	6,63±0,92^{ab}	5,75±1,49^{a}	6,88±1,25^{a}
HC	6,25±1,83^{ab}	6,50±1,60^{ab}	6,13±2,42^{a}	6,25±1,83^{a}	7,00±1,41^{ab}	5,88±2,10^{a}	6,88±1,36^{a}
WC	4,87±1,96^{b}	4,63±2,13^{b}	5,38±2,26^{a}	6,13±2,36^{a}	5,00±2,20^{b}	6,13±1,64^{a}	6,25±2,12^{a}
QC	4,88±1,96^{b}	6,50±1,60^{ab}	5,50±2,20^{a}	6,00±1,60^{a}	6,38±1,41^{ab}	6,50±1,85^{a}	6,75±1,39^{a}
FC	6,50±1,20^{ab}	6,75±1,49^{ab}	6,88±1,46^{a}	7,00±1,31^{a}	7,13±0,83^{ab}	6,25±1,58^{a}	7,00±1,19^{a}
CNC	5,625±1,69^{b}	6,38±1,68^{ab}	6,13±1,55^{a}	6,75±1,67^{a}	6,75±1,39^{ab}	5,38±1,69^{a}	6,75±0,89^{a}
OC	6,38±1,92^{ab}	6,25±1,83^{ab}	6,00±2,14^{a}	6,25±2,05^{a}	6,63±1,41^{ab}	6,13±2,03^{a}	6,62±1,30^{a}
AC	6,75±1,16^{ab}	6,88±1,36^{ab}	6,25±1,39^{a}	6,38±1,92^{a}	6,63±1,51^{ab}	5,38±2,20^{a}	7,00±1,31^{a}

Sonuçlar ortalama ± standart sapma şeklinde sunulmuştur. Aynı sütunda farklı harflerle gösterilen ortalamalar istatistiksel olarak anlamlı farklılık göstermektedir ($p < 0,05$). CC: Kontrol muffin, SC: Soya sütlü muffin, HC: Fındık sütlü muffin, WC: Ceviz sütlü muffin, QC: Kinoa sütlü muffin, FC: Keten tohumu sütlü muffin, CNC: Hindistan cevizi sütlü muffin, OC: Yulaf sütlü muffin, AC: Badem sütlü muffin.



Şekil 4.10. Farklı süt ikameleriyle üretilen muffin örneklerinin duyusal özelliklerine ilişkin radar diyagramı

Yumuşaklık puanları arasında istatistiksel olarak anlamlı bir farklılığa rastlanmamıştır ($p > 0,05$). Genel beğeni ise 6,25 ile 8,25 arasında değişmiştir. CC en yüksek genel beğeni puanına ulaşmıştır (8,25). AC ve FC örnekleri de kontrol örneğine yakın bir beğeni düzeyi sergilemiştir. WC ise en düşük genel beğeni değerine sahip olmuştur (6,25). Bu farklılıklara rağmen tüm muffin örnekleri duyusal kabul eşiğinin üzerinde puanlanmış ve tüketici kabulünün genel olarak korunduğu gösterilmiştir. Bitki bazlı ürünler üzerine yapılan önceki çalışmalarda da benzer eğilimler bildirilmiştir. Örneğin, badem katkılı muffinlerde genel kabul puanları 9'lu hedonik ölçekte 7,0'ın üzerinde bulunmuştur (Topaloğlu Günan ve Yolci Ömeroğlu, 2025). Keten tohumu katkılı ürünlerde ise 6,0 – 7,0 aralığında kabul edilebilirlik korunurken aroma ve tekstür özelliklerinde değişiklikler gözlenmiştir (Santiago ve ark., 2019).

Duyusal değerlendirme sonuçları, yumurta ikamelerinin muffinlerin renk, aroma ve yumuşaklık algısı üzerinde süt ikamelerine kıyasla daha belirgin bir etki oluşturduğunu göstermiştir. Özellikle muz bazlı formülasyon, esmerleşme ve aroma yoğunluğu sayesinde genel beğeni düzeyini artırırken, jel ve polisakkarit temelli yumurta ikamelerinde yumuşaklık ve görünüş puanlarının daha sınırlı kaldığı gözlenmiştir. Buna karşılık, süt ikameleriyle üretilen muffinlerde duyusal farklılıklar daha dar bir aralıkta seyretmiş; kontrol örneği genel beğeni açısından öne çıksa da badem ve keten tohumu sütü gibi bazı bitkisel alternatiflerin kabul edilebilirliği kontrol örneğine yakın düzeylerde korunmuştur. Bu bulgular, yumurta ikamelerinin duyusal algıyı şekillendirmede daha belirleyici bir rol oynadığını, süt ikamelerinin ise duyusal kabul üzerinde daha sınırlı fakat yönlendirici etkiler oluşturduğunu göstermektedir.

4. 10. Muffin Örneklerinde Nicel Tanımlayıcı Duyusal Analiz (QDA) Sonuçları

4.10.1. Farklı yumurta ikameleri ile üretilen muffinler

Nicel tanımlayıcı duyusal analiz (QDA) ile elde edilen duyusal analiz sonuçları, farklı yumurta ikameleri kullanılarak üretilen muffin örnekleri için ayrı ayrı değerlendirilmiştir. Değerlendirmelerin yorumlanabilirliğini artırmak ve panelistlerin ölçek kullanımında tutarlılığı sağlamak amacıyla eğitim oturumlarında her bir duyusal

özellik için referans standartlar belirlenmiş, değerlendirme sürecinde kontrol muffin (CC) referans örnek olarak kullanılmıştır. Çizelge 4.20 incelendiğinde, örnekler arasında duyusal özellikler bakımından istatistiksel olarak anlamlı farklılıklar olduğu görülmektedir ($p < 0,05$). Bu verilerle üretilen radar diyagramı ise Şekil 4.11'de verilmiştir.

Çizelge 4.20. Farklı yumurta ikameleriyle üretilen muffin örneklerinin nicel tanımlayıcı duyusal analiz değerlendirme puanları

	CC	AC	BC	FC	PC	SWC	CHC
Kabuk rengi	8,50±0,22^{b}	7,39±0,17^{d}	8,73±0,12^{a}	6,56±0,23^{e}	7,90±0,21^{c}	8,49±0,14^{b}	8,39±0,11^{b}
Kırıntı rengi	8,95±0,31^{c}	7,99±0,22^{d}	9,40±0,12^{a}	7,37±0,22^{e}	9,26±0,18^{ab}	9,01±0,21^{bc}	8,12±0,09^{d}
Gözenek büyüklüğü	7,37±0,18^{b}	7,09±0,14^{c}	7,81±0,14^{a}	6,60±0,36^{d}	6,37±0,18^{d}	7,44±0,16^{b}	6,58±0,12^{d}
Gözenek homojenliği	10,39±0,17^{ab}	9,28±0,14^{c}	10,61±0,13^{a}	8,21±0,24^{d}	9,05±0,25^{c}	10,34±0,24^{b}	9,21±0,09^{c}
Pişmiş ürün aroması	10,89±0,38^{b}	9,40±0,18^{c}	11,40±0,12^{a}	7,80±0,34^{e}	9,62±0,19^{c}	11,08±0,24^{b}	8,69±0,11^{d}
Baklagil aroması	3,64±0,16^{c}	8,50±0,16^{a}	2,46±0,10^{e}	4,66±0,33^{b}	4,48±0,18^{b}	4,67±0,20^{b}	3,11±0,09^{d}
Muz aroması	4,07±0,25^{b}	1,29±0,14^{e}	11,30±0,13^{a}	1,47±0,23^{e}	1,43±0,14^{e}	3,18±0,13^{c}	2,21±0,09^{d}
Tahıl aroması	7,60±0,20^{de}	6,36±0,18^{f}	7,39±0,11^{e}	9,59±0,31^{b}	11,26±0,17^{a}	7,75±0,16^{d}	8,47±0,14^{c}
Tatlılık	8,53±0,22^{b}	7,57±0,17^{c}	9,26±0,12^{a}	5,30±0,25^{e}	7,67±0,20^{c}	8,56±0,14^{b}	7,31±0,09^{d}
Çiğ baklagil aroması	3,43±0,18^{e}	7,41±0,13^{a}	2,20±0,10^{g}	6,81±0,27^{b}	5,72±0,16^{c}	4,34±0,18^{d}	2,81±0,09^{f}
Acılık	5,28±0,12^{b}	4,28±0,13^{d}	3,78±0,09^{e}	4,82±0,27^{c}	6,73±0,19^{a}	5,27±0,18^{b}	4,91±0,09^{c}
Ağızda kalan tat	4,55±0,17^{d}	4,52±0,13^{d}	4,23±0,08^{e}	5,41±0,25^{b}	5,92±0,17^{a}	5,09±0,18^{c}	4,11±0,09^{e}
Sertlik	9,34±0,18^{c}	7,25±0,11^{f}	7,92±0,14^{e}	8,96±0,29^{d}	10,39±0,16^{a}	9,19±0,20^{c}	10,11±0,10^{b}
Nemlilik	7,38±0,18^{d}	8,63±0,11^{a}	8,49±0,12^{a}	7,66±0,36^{c}	8,72±0,16^{a}	7,43±0,21^{cd}	7,91±0,10^{b}
Yapışkanlık	6,40±0,16^{de}	7,48±0,14^{b}	7,28±0,11^{bc}	7,22±0,28^{c}	9,28±0,16^{a}	6,25±0,18^{e}	6,61±0,10^{d}
Çiğnenebilirlik	8,49±0,18^{b}	7,25±0,11^{d}	8,28±0,11^{c}	8,53±0,25^{b}	10,50±0,16^{a}	8,54±0,20^{b}	8,41±0,10^{bc}
Kohezivite	7,50±0,14^{c}	6,35±0,14^{e}	7,70±0,12^{b}	7,35±0,23^{cd}	8,94±0,16^{a}	7,24±0,15^{d}	7,51±0,10^{bc}
Parçalanabilirlik	6,52±0,21^{d}	5,69±0,13e	6,55±0,08d	6,78±0,28^{bc}	9,39±0,16^{a}	6,60±0,16^{cd}	6,91±0,10^{b}

CC: Kontrol muffin, AC: Aquafaba muffin, BC: Muz muffin, FC: Keten tohumu muffin, PC: Psyllium muffin, SWC: Çöven muffin, CHC: Chia muffin.

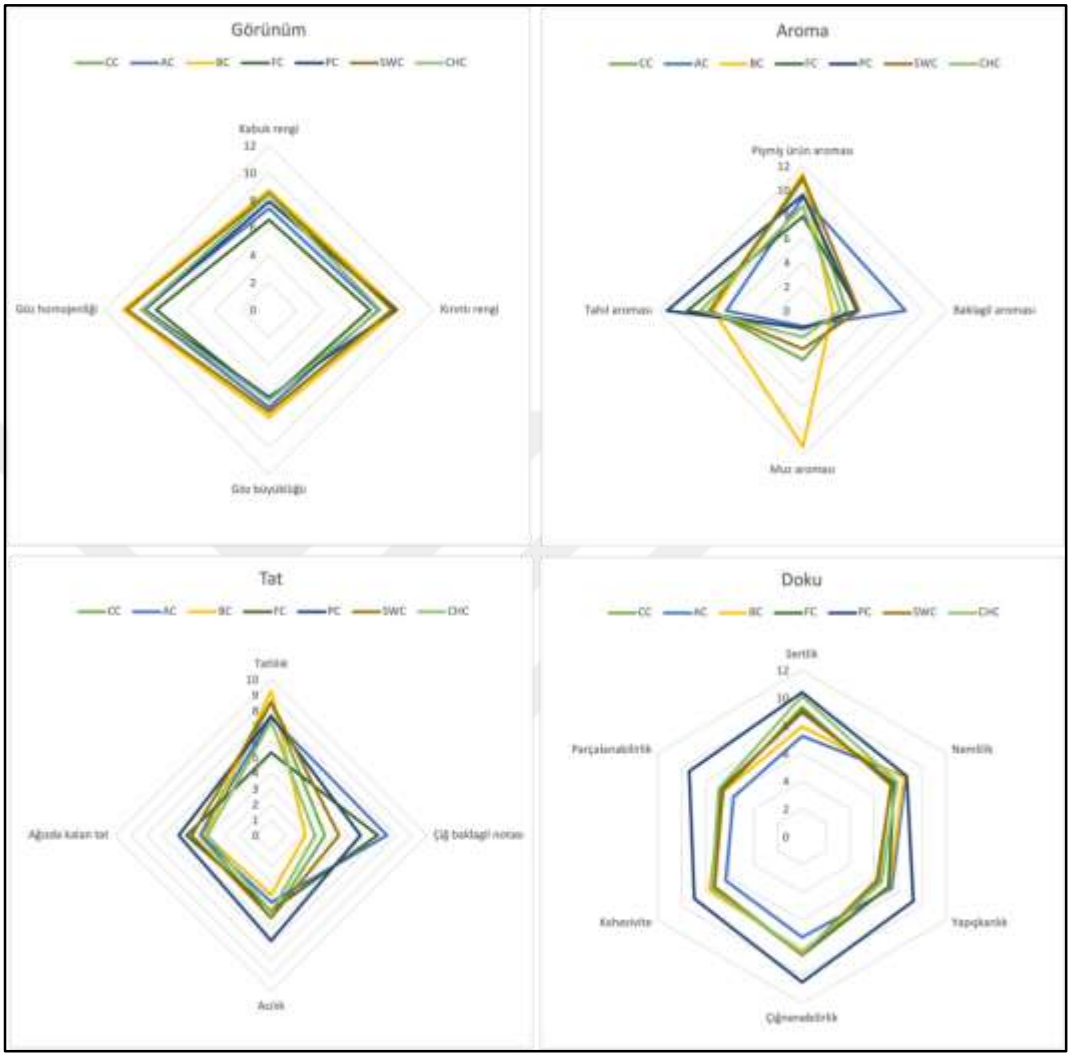
Çizelge 4.20'ye göre, görünüm kategorisinde kabuk rengi yoğunluğu BC örneğinde en yüksek değerde (8,73) belirlenmiş; CC (8,50), SWC (8,49) ve CHC (8,39) örnekleri benzer yüksek değerlere sahip olmuştur. FC örneğinin (6,56) daha düşük kabuk rengi skoru alması, keten tohumu jelinin hamur sisteminin yüzey nem dengesini ve esmerleşme reaksiyonlarının ilerleyişini değiştirebilmesiyle ilişkili olabilir. Kırıntı rengi bakımından en yüksek skorlar BC (9,40) ve PC (9,26) örneklerinde kaydedilmiş; SWC (9,01) de yüksek değerlere yakın bulunmuştur. FC (7,37) ve AC (7,99) örneklerinde

daha açık iç renk saptanmıştır. BC örneğinde kırıntı renginin daha koyu algılanması, muz püresinin doğal şeker içeriğinin pişirme sırasında renk gelişimini artırmasıyla açıklanabilir (Ranjha ve ark., 2022; Santiago ve ark., 2019). Gözenek büyüklüğü BC örneğinde en yüksek (7,81), PC örneğinde ise en düşük (6,37) değerle belirlenmiştir. Gözenek homojenliği açısından BC (10,61) ve CC (10,39) örnekleri daha düzenli bir iç yapı sergilerken, FC (8,21) örneği daha düşük homojenlik değeri almıştır. Bu bulgu, bazı jel/lif temelli ikamelerin hamur reolojisini artırarak gaz hücrelerinin birleşmesini sınırlayabilmesine karşın, belirli formülasyonlarda heterojen dağılıma da yol açabileceğini düşündürmektedir.

Aroma kategorisinde pişmiş ürün aroması BC (11,40) ve CC (10,89) örneklerinde yüksek bulunmuş, SWC (11,08) bu örnekleri takip etmiştir. FC örneğinde pişmiş ürün aromasının daha düşük (7,80) ölçülmesi, keten tohumu jelinin kendi karakteristik bileşenlerinin "pişmiş ürün" algısını görece baskılayabilmesi veya uçucu bileşiklerin salımını matriste değiştirmesiyle ilişkili olabilir. Baklagil aroması AC örneğinde (8,50) en yüksek bulunmuştur. Aquafaba içeren sistemlerde baklagil kaynaklı uçucu bileşiklerin duyusal algıyı artırabildiği literatürde de bildirilmektedir (Mustafa ve ark., 2018; Akbin ve ark., 2025). Muz aroması BC örneğinde (11,30) yüksek düzeyde algılanmış, diğer örnekler düşük seviyelerde kalmıştır. Tahıl aroması PC örneğinde en yüksek (11,26) bulunmuş; FC (9,59) ve CHC (8,47) örnekleri de görece yüksek değerler göstermiştir. Bu sonuç, özellikle psyllium gibi lifçe zengin ikamelerin ürünün aromatik profilini "tahılımsı" aromalar yönünde değiştirebildiğini düşündürmektedir.

Tat bileşenlerinde tatlılık BC örneğinde en yüksek (9,26) saptanmış; FC örneği en düşük tatlılık değerini (5,30) göstermiştir. BC örneğinde tatlılık skorunun yüksek olması, muz püresinin içerdiği doğal şekerlerin duyusal tatlılık algısını artırmasıyla açıklanabilir (Ranjha ve ark., 2022). Çiğ baklagil aroması AC (7,41) ve FC (6,81) örneklerinde yüksek; BC (2,20), CHC (2,81) ve CC (3,43) örneklerinde daha düşük bulunmuştur. Acılık parametresinde PC örneği en yüksek (6,73) değere sahipken BC örneği en düşük (3,78) değeri göstermiştir. Ağızda kalan tat PC (5,92) ve FC (5,41) örneklerinde daha yüksek bulunmuştur. Bu durum, lif ve jel oluşturan bileşenlerin

ağızda kalıcılığı artırabilmesi ve tat/aroma bileşiklerinin salım kinetiğini değiştirebilmesiyle açıklanabilir.



Şekil 4.11. Farklı yumurta ikameleriyle üretilen muffin örneklerinin nicel tanımlayıcı duyusal analizine ilişkin radar diyagramı

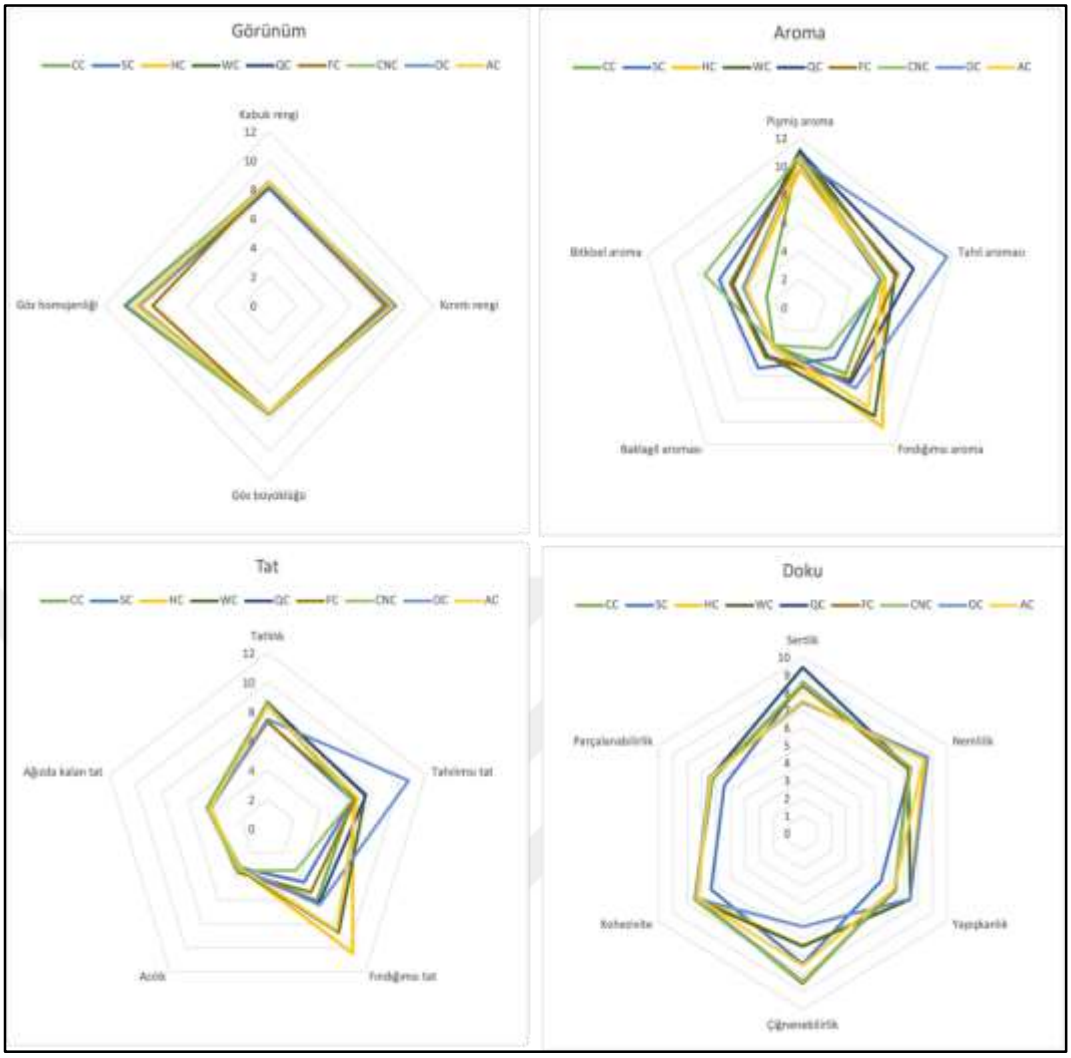
Doku özelliklerinde sertlik PC (10,39) ve CHC (10,11) örneklerinde yüksek, AC örneğinde (7,25) ise daha düşük bulunmuştur. Nemlilik AC (8,63), BC (8,49) ve PC (8,72) örneklerinde yüksek değerler göstermiştir. Yapışkanlık PC örneğinde (9,28) belirgin biçimde artmış; bu örneği AC (7,48) ve BC (7,28) izlemiştir. Çiğnenebilirlik, kohezivite ve parçalanabilirlik değerlerinin PC örneğinde sırasıyla 10,50; 8,94 ve 9,39 düzeylerine yükselmesi, psylliumun güçlü hidrojel yapısı ile hamur matrisini daha kompakt ve dayanıklı hâle getirmesiyle ilişkilendirilebilir. Bu bulgu, hidrokolloid

temelli yumurta ikamelerinin dokusal özellikleri artırarak daha yoğun bir yapı oluşturabildiğini bildiren çalışmalarla uyumludur (Belorio ve Gómez, 2021; Erkoç ve ark., 2021).

Genel olarak değerlendirildiğinde, bu sonuçlar tek bir ikame maddesinin tüm duyusal parametrelerde kontrol örneğiyle aynı profili sağlamasının zor olduğunu; ancak her ikame bileşeninin belirli duyusal boyutlarda avantaj sağlayabileceğini göstermektedir. Aquafaba örneklerinde baklagil ve çiğ baklagil aromalarının artması aromatik profil açısından sınırlayıcı bir unsur olabilmekteyken (Mustafa ve ark., 2018), muz püresi içeren örneklerde renk ve tatlılık algısı güçlenmiş; psyllium gibi jel oluşturan lif bazlı ikamelerde ise doku bütünlüğü belirgin şekilde artmıştır. Dolayısıyla, bitkisel yumurta ikamelerinin seçiminde hedeflenen ürün profiline (daha yumuşak doku, daha nötr aroma, daha yüksek hacim vb.) göre bileşenlerin fonksiyonel etkilerinin birlikte değerlendirilmesi gerekmektedir (Yazici ve Ozer, 2021).

4.10.2. Farklı süt ikameleri ile üretilen muffinler

Nicel tanımlayıcı duyusal analiz (QDA) ile elde edilen duyusal analiz sonuçları, farklı süt ikameleri kullanılarak üretilen muffin örnekleri için ayrı ayrı değerlendirilmiştir. Değerlendirmelerin yorumlanabilirliğini artırmak ve panelistlerin ölçek kullanımında tutarlılığı sağlamak amacıyla eğitim oturumlarında her bir duyusal özellik için referans standartlar belirlenmiş, değerlendirme sürecinde kontrol muffin (CC) referans örnek olarak kullanılmıştır. Çizelge 4.21 incelendiğinde, örnekler arasında bazı duyusal özellikler bakımından istatistiksel olarak anlamlı farklılıklar bulunduğu görülmektedir ($p < 0,05$). Bitkisel süt ikamelerine ilişkin nicel tanımlayıcı analiz sonuçları, duyusal niteliklerde ortaya çıkan varyasyonun daha çok bileşenlerin matris özelliklerinden kaynaklandığını ortaya koymaktadır. Şekil 4.12'de sunulan radar diyagramları, kontrol örneği ile bitkisel süt ikameli muffinler arasındaki profil dağılımlarını karşılaştırmalı olarak göstererek, her süt türünün duyusal katkı örüntüsünü açık bir şekilde yansıtmaktadır.



Şekil 4.12. Farklı süt ikameleriyle üretilen muffin örneklerinin nicel tanımlayıcı duyusal analizine ilişkin radar diyagramı

Çizelge 4.21'e göre görünüm kategorisinde kabuk rengi yoğunluğu tüm örneklerde yüksek düzeyde olup değerler birbirine yakın bulunmuştur. Kabuk rengi yoğunluğu 8,09 (SC) ile 8,56 (CNC) aralığında değişmiş; örnekler arasında fark bulunmakla birlikte kabuk rengi skorlarının genel olarak yüksek aralıkta toplandığı görülmüştür ($p < 0,05$). Kırıntı rengi bakımından QC (9,19), CNC (9,08), CC (9,04) ve AC (8,98) örnekleri yüksek değerler almış, FC örneği ise daha düşük kırıntı rengi ile karakterize edilmiştir (8,39) ($p < 0,05$). Gözenek büyüklüğü tüm örneklerde benzer düzeylerde değerlendirilmiş ve süt ikamelerinin bu parametre üzerinde belirgin bir farklılık oluşturmadığı görülmüştür. Gözenek homojenliği açısından WC (10,50), QC (10,49),

CC (10,43) ve CNC (10,33) örnekleri daha düzenli bir gözenek yapısı sergilerken, FC (8,49) örneği en düşük homojenlik değerine sahip bulunmuştur ($p < 0,05$).

Aroma kategorisinde pişmiş ürün aroması WC (11,16), CC (11,13) ve QC (11,07) örneklerinde yüksek bulunmuş; en düşük değer HC örneğinde saptanmıştır (9,77) ($p < 0,05$). Tahıl aroması en belirgin şekilde OC örneğinde algılanmış ve bu örnek diğer formülasyonlardan ayrışmıştır. Tahıl aroması OC'de 11,58 ile en yüksek değerini almış; QC'de 8,94 düzeyinde bulunmuş, diğer örneklerde ise daha düşük seviyelerde seyretmiştir. Fındığımsı aroma parametresinde HC (10,50), WC (9,50) ve AC (8,72) örnekleri yüksek değerlere sahip olmuş; CNC (3,61) örneği en düşük fındığımsı aroma ile karakterize edilmiştir ($p<0,05$). Baklagil aroması en yüksek SC örneğinde gözlenmiştir. Baklagil aroması SC'de 5,33 ile en yüksek bulunmuş; diğer örneklerde 3,31 (CNC) ile 4,38 (FC) aralığında değişmiştir ($p < 0,05$). Bitkisel aroma CNC'de 7,54 ile en yüksek saptanmış; en düşük değer CC'de (2,62) belirlenmiştir ($p < 0,05$).

Tat bileşenlerinde tatlılık en yüksek CC (8,67) ve WC (8,64) örneklerinde; en düşük değerler ise SC (7,35), FC (7,31) ve OC (7,50) örneklerinde saptanmıştır ($p < 0,05$). Tahılımsı tat, aroma sonuçlarıyla uyumlu şekilde en yüksek OC örneğinde değerlendirilmiştir. Tahılımsı tat OC'de 10,70 ile en yüksek bulunmuş; QC (7,48) ve WC (7,42) örnekleri daha yüksek bir ikinci düzeyde yer almış; CC'de ise 6,46 olarak belirlenmiştir ($p < 0,05$). Fındığımsı tat parametresinde HC (10,46), WC (8,72) ve AC (8,52) örnekleri öne çıkmış, CNC en düşük fındığımsı tat yoğunluğuna sahip olmuştur (3,48) ($p < 0,05$). Acılık tüm örneklerde düşük – orta aralıkta değerlendirilmiştir. Ağızda kalan tat bakımından bazı örneklerde nispeten daha yüksek değerler gözlenmiştir. Ağızda kalan tat WC'de 4,61; CNC'de 4,58 ve FC'de 4,48 olarak belirlenmiştir.

Çizelge 4.21. Farklı süt ikameleriyle üretilen muffin örneklerinin nicel tanımlayıcı duyusal analiz değerlendirme puanları

	CC	SC	HC	WC	QC	FC	CNC	OC	AC
Kabuk rengi	8,46±0,20^{a}	8,09±0,27^{b}	8,55±0,20^{a}	8,51±0,16^{a}	8,44±0,19^{a}	8,41±0,18^{a}	8,56±0,20^{a}	8,44±0,20^{a}	8,49±0,17^{a}
Kırıntı rengi	9,04±0,29^{a}	8,52±0,21^{c}	8,50±0,28^{c}	8,90±0,23^{ab}	9,19±0,18^{a}	8,39±0,17^{c}	9,08±0,24^{a}	8,67±0,25^{bc}	8,98±0,25^{a}
Gözenek büyüklüğü	7,39±0,16^{a}	7,39±0,20^{a}	7,42±0,18^{a}	7,50±0,20^{a}	7,42±0,18^{a}	7,35±0,14^{a}	7,50±0,18^{a}	7,45±0,15^{a}	7,36±0,16^{a}
Gözenek homojenliği	10,43±0,17^{a}	9,39±0,17^{c}	9,40±0,18^{c}	10,50±0,20^{a}	10,49±0,21^{a}	8,49±0,14^{d}	10,33±0,17^{a}	9,51±0,22^{bc}	9,69±0,15^{b}
Pişmiş ürün aroması	11,13±0,20^{a}	10,32±0,27^{d}	9,77±0,30^{e}	11,16±0,25^{a}	11,07±0,24^{ab}	10,67±0,16^{c}	10,78±0,27^{bc}	10,50±0,20^{cd}	10,50±0,24^{cd}
Tahıl aroması	6,42±0,16^{e}	6,38±0,17^{e}	6,67±0,28^{c}	7,50±0,22^{c}	8,94±0,23^{b}	7,68±0,12^{c}	6,71±0,12^{d}	11,58±0,19^{a}	6,50±0,16^{de}
Fındığımsı aroma	5,80±0,16^{f}	4,43±0,20^{g}	10,50±0,28^{a}	9,50±0,21^{b}	6,51±0,16^{e}	6,31±0,15^{e}	3,61±0,11^{h}	7,07±0,18^{d}	8,72±0,16^{c}
Baklagil aroması	3,34±0,17^{c}	5,33±0,15^{a}	3,50±0,16^{c}	4,22±0,10^{b}	4,25±0,11^{b}	4,38±0,17^{b}	3,31±0,14^{c}	3,40±0,16^{c}	3,40±0,12^{c}
Bitkisel aroma	2,62±0,14^{f}	6,38±0,15^{b}	4,28±0,13^{e}	5,31±0,14^{c}	5,44±0,18^{c}	5,50±0,15^{c}	7,54±0,18^{a}	4,50±0,11^{d}	4,26±0,10^{e}
Tatlılık	8,67±0,17^{a}	7,35±0,14^{c}	8,52±0,22^{ab}	8,64±0,14^{a}	8,54±0,20^{ab}	7,31±0,15^{c}	8,52±0,19^{ab}	7,50±0,14^{c}	8,38±0,17^{b}
Tahılımsı tat	6,46±0,15^{de}	6,44±0,16^{e}	6,48±0,21^{de}	7,42±0,16^{b}	7,48±0,16^{b}	6,65±0,18^{cd}	6,43±0,13^{e}	10,70±0,12^{a}	6,82±0,17^{c}
Fındığımsı tat	6,05±0,16^{d}	4,47±0,16^{f}	10,46±0,20^{a}	8,72±0,16^{b}	6,29±0,14^{c}	5,33±0,12^{e}	3,48±0,14^{g}	6,39±0,12^{c}	8,52±0,13^{b}
Acılık	3,38±0,18^{bc}	3,28±0,12^{c}	3,36±0,17^{c}	3,42±0,14^{bc}	3,44±0,17^{bc}	3,65±0,13^{a}	3,55±0,12^{ab}	3,34±0,14^{c}	3,32±0,13^{c}
Ağızda kalan tat	4,32±0,15^{c}	4,40±0,15^{bc}	4,31±0,14^{c}	4,61±0,15^{a}	4,35±0,18^{c}	4,48±0,14^{abc}	4,58±0,17^{ab}	4,35±0,14^{c}	4,39±0,16^{bc}
Sertlik	8,39±0,18^{b}	8,61±0,14^{b}	7,55±0,19^{c}	8,44±0,17^{b}	9,43±0,20^{a}	8,39±0,14^{b}	8,54±0,15^{b}	7,43±0,17^{c}	7,54±0,16^{c}
Nemlilik	7,41±0,17^{cd}	7,49±0,16^{cd}	8,46±0,24^{b}	7,31±0,14^{d}	7,40±0,18^{cd}	7,36±0,13^{cd}	7,52±0,12^{c}	8,67±0,13^{a}	8,39±0,14^{b}
Yapışkanlık	6,35±0,11^{b}	5,43±0,14^{c}	7,42±0,19^{a}	7,48±0,14^{a}	6,43±0,20^{b}	6,35±0,18^{b}	6,34±0,18^{b}	7,45±0,14^{a}	6,34±0,15^{b}
Çiğnenebilirlik	8,54±0,14^{a}	7,42±0,17^{b}	6,38±0,14^{c}	6,42±0,14^{c}	8,41±0,18^{a}	8,54±0,14^{a}	8,42±0,14^{a}	5,30±0,11^{d}	7,50±0,14^{b}
Kohezivite	7,39±0,16^{ab}	6,35±0,14^{c}	7,30±0,14^{b}	7,46±0,15^{ab}	7,42±0,14^{ab}	7,38±0,14^{ab}	7,53±0,14^{a}	7,41±0,11^{ab}	7,34±0,14^{b}
Parçalanabilirlik	6,34±0,15^{ab}	5,45±0,14^{c}	6,45±0,17^{a}	6,26±0,14^{b}	6,37±0,15^{ab}	6,38±0,12^{ab}	6,30±0,13^{ab}	6,46±0,12^{a}	6,40±0,12^{ab}

CC: Kontrol muffin, SC: Soya sütlü muffin, HC: Fındık sütlü muffin, WC: Ceviz sütlü muffin, QC: Kinoa sütlü muffin, FC: Keten tohumu sütlü muffin, CNC: Hindistan cevizi sütlü muffin, OC: Yulaf sütlü muffin, AC: Badem sütlü muffin

Doku özelliklerinde sertlik en yüksek QC örneğinde görülmüştür. Sertlik QC'de 9,43 iken HC (7,55) ve OC (7,43) örneklerinde daha düşük bulunmuştur. Nemlilik parametresinde OC en yüksek değeri almıştır. Nemlilik OC'de 8,67 ile en yüksek; HC'de 8,46 ve AC'de 8,39 ile benzer biçimde yüksek bulunmuştur. En düşük nemlilik değeri WC'de belirlenmiştir (7,31) ($p < 0,05$). Yapışkanlık WC (7,48), OC (7,45) ve HC'de (7,42) yüksek; SC'de (5,43) ise en düşük bulunmuştur ($p < 0,05$). Çiğnenebilirlik açısından bazı örnekler daha yüksek değerlere sahiptir. Çiğnenebilirlik CC (8,54), FC (8,54), QC (8,41) ve CNC'de (8,42) yüksek; OC'de (5,30) en düşük bulunmuştur ($p < 0,05$). Kohezivite parametresinde CNC en yüksek puanı alırken SC daha düşük bulunmuştur. Kohezivite CNC'de 7,53; SC'de 6,35 olarak belirlenmiştir ($p < 0,05$). Parçalanabilirlikte bazı örnekler daha kırılgan yapı göstermiştir. Parçalanabilirlik HC'de 6,45 ve OC'de 6,46 düzeyinde yüksek bulunmuş; SC'de (5,45) en düşük değer saptanmıştır ($p < 0,05$).

Elde edilen bulgular, bitkisel süt ikamelerinin duyusal profil üzerinde homojen bir etki oluşturmadığını, her süt kaynağının ürünün farklı yönlerini değiştirdiğini göstermektedir. Ceviz, fındık ve badem sütü kullanılan örneklerde fındığımsı aroma ve tat parametrelerinin belirgin şekilde yükselmesi, bu kuruyemişlerin yağ asidi profili ve uçucu bileşik içeriği ile ilişkilendirilebilir. Kuruyemiş bazlı bileşenlerle zenginleştirilen ürünlerde aromatik profilin daha yoğun fındığımsı aromalara kayabildiği, ceviz unlu kek ve muffin formülasyonları üzerinde yapılan çalışmalarda da bildirilmiştir (Burbano ve ark., 2022; Farooq ve ark., 2023). Yulaf sütlü muffinlerde tahılımsı tat ve tahıl aroması puanlarının belirgin biçimde yüksek olması, yulaf bazlı içeceklerde β – glukan ve avenantramid gibi bileşiklerin özgün tahıl karakteri oluşturduğunu bildiren çalışmalarla uyumludur (Bieniek ve Buksa, 2024; Xie ve ark., 2024). Hindistan cevizi sütü içeren CNC örneklerinde artan bitkisel aroma ile yüksek kohezivite ve çiğnenebilirlik değerleri, hindistan cevizi sütü ve türevlerinin yağ fraksiyonu sayesinde kek ve muffinlerde daha yoğun ve bağlı bir yapı oluşturabildiğini gösteren çalışmalarla paralel görünmektedir (Karunasiri ve ark., 2020; Srivastava ve Semwal, 2015).

Doku parametreleri sonuçları, bitkisel süt ikamelerinin sadece aroma ve tat değil, aynı zamanda ürün yapısını da belirgin biçimde şekillendirdiğini ortaya koymaktadır. Kinoa

sütü kullanılan QC örneğinde sertlik ve tahılımsı tat değerlerinin yükselmesi, kinoanın protein ve lif içeriği yüksek bir bileşen olması ve gluten içermese bile hamur matrisini sıkılaştırma eğilimiyle açıklanabilir. Bu etki kinoa unlu kek ve ekmek formülasyonları üzerine yapılan çalışmalarda da vurgulanmaktadır (Bozdogan ve ark., 2019; Mu ve ark., 2023). Diğer yandan OC örneğinde artan nemlilik ve azalan çiğnenebilirlik, yulaf sütündeki çözünür lif fraksiyonunun su tutma kapasitesiyle ilişkilendirilebilir ve β – glukan içeren sistemlerde daha yumuşak, nemli fakat daha az elastik dokular elde edilebildiğini bildiren bulgularla uyumludur (Ahmad ve ark., 2025; Singla ve ark., 2024). Bitkisel sütlerin yağ, protein, lif ve fenolik bileşik içeriklerinin hayvansal sütten önemli ölçüde farklılaştığı ve bunun hem beslenme hem de duyusal kalite açısından yeni fırsatlar sunduğu, bitkisel süt alternatifleri üzerine yapılan kapsamlı derlemelerde de vurgulanmaktadır (Irondi ve ark., 2025; Reyes-Jurado ve ark., 2023; Walther ve ark., 2022). Bu çalışma, söz konusu literatürü muffin sistemi bağlamında desteklemekte ve bitkisel süt ikamelerinin, uygun bileşen seçimi ve formülasyon optimizasyonu ile duyusal olarak kabul edilebilir, hatta bazı niteliklerde avantaj sağlayan ürünler geliştirmek için kullanılabileceğini göstermektedir.

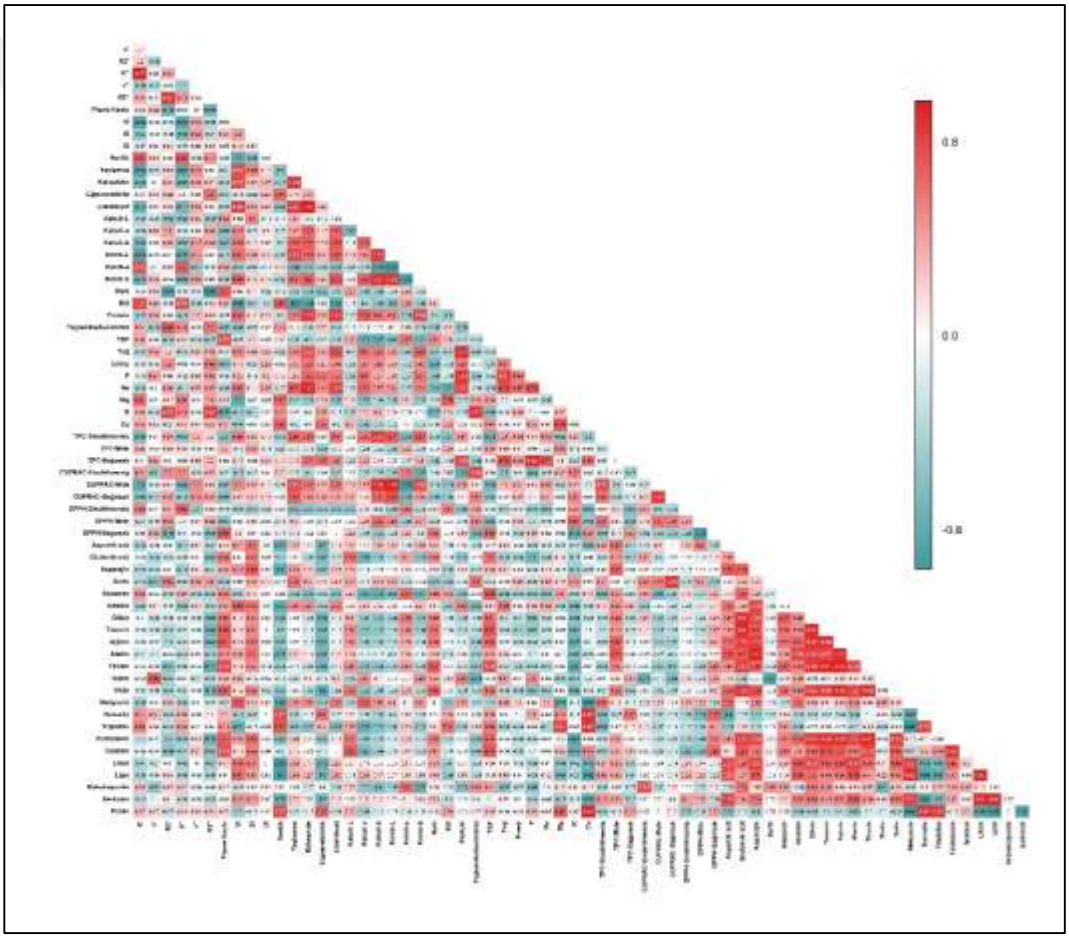
4. 11. Kemometrik Analizler

4.11.1. Korelasyon analizi

Farklı yumurta ikameleri ile üretilen muffinler

Bu çalışmada gerçekleştirilen kemometrik değerlendirme, yumurta içeren kontrol muffin ve yumurta ikameleriyle hazırlanan vegan muffin formülasyonlarının fizikokimyasal, tekstürel ve fonksiyonel özelliklerinin bütüncül biçimde incelenmesine olanak sağlamıştır. Değişkenler arasındaki doğrusal ilişkileri belirlemek amacıyla Pearson korelasyon katsayıları hesaplanmış ve fizikokimyasal özellikler, bileşim parametreleri, tekstürel göstergeler ve fonksiyonel nitelikler arasındaki ilişkiler değerlendirilmiştir (Şekil 4.13).

Protein içeriği ile iç yapışkanlık (r = 0,84) ve elastik geri kazanım (r = 0,83) arasında gözlenen güçlü pozitif ilişkiler, proteinlerin ürün matrisinin yapısal bütünlüğüne ve elastik davranışına önemli katkı verdiğini göstermektedir. Bitkisel hidrokolloidlerin (keten tohumu, chia vb.) protein jellerine benzer viskoelastik davranış sergilemesi, nem tutma kapasitesini artırarak ve yapısal destek oluşturarak bu ilişkileri güçlendirmektedir. Ayrıca Na iyonlarının ortamın iyonik gücünü artırması, chia ve psyllium gibi hidrojel oluşturan bileşenlerde daha düzenli bir jel ağının oluşumunu kolaylaştırabilmekte ve bu durum müsilaj zengini sistemlerde jel kararlılığını artırmaktadır (Aljobair, 2022; Mueed ve ark., 2022).



Şekil 4.13. Farklı yumurta ikameleri ile üretilen muffinlerin fizikokimyasal, bileşimsel, tekstürel ve fonksiyonel özellikleri arasındaki ilişkileri gösteren Pearson korelasyon ısı haritası

Protein içeriğinin yağ (r = 0,91), fosfor (r = 0,89) ve sodyum (r = 0,80) ile pozitif korelasyon göstermesi, kullanılan bitkisel hammaddelerin besinsel bileşimiyle

ilişkilidir. Chia, keten tohumu ve nohut gibi bileşenler doğal olarak hem protein hem yağ bakımından zengin olup; çöven veya psyllium gibi diğer bileşenler mineral içeriğine katkı sağlamaktadır. Bu nedenle gözlenen korelasyonlar, formülasyon etkisinden ziyade aynı hammaddede birlikte bulunan besin öğelerinin ortak salınımını yansıtmaktadır (Ates ve ark., 2025; Sharma ve Saini, 2022).

Glutamik asit ile treonin, glisin ve valin arasındaki yüksek korelasyonlar ($0,88 \leq r \leq 0,90$), benzer şekilde glisin, treonin, arjinin, alanin, tirozin, valin ve fenilalanin arasındaki ilişkiler ($0,80 \leq r \leq 0,93$), aquafaba ve keten tohumu gibi bitkisel protein kaynaklarının doğal amino asit dağılımını yansıtmaktadır. Fenilalanin, tirozin ve glutamik asidin protein ve kül içeriğiyle pozitif korelasyon göstermesi de, besin yoğunluğu yüksek matrislerde bu bileşenlerin birlikte bulunma eğilimini desteklemektedir (Kivirikko ve ark., 2024).

Kalsiyumun prolin, norvalin ve triptofan ile yüksek düzeyde ilişkili olması ($r = 0,93$, 0,87, 0,86), nohut, chia ve çöven özütü gibi bileşenlerin hem kalsiyum hem de amino asit açısından zengin olmasıyla açıklanabilir. Bu bileşenler sindirim sırasında mineral ve amino asitleri aynı anda serbest bırakma eğilimindedir.

İntestinal faz toplam fenolik içeriği (TPC) ile fosfor arasındaki güçlü korelasyon ($r = 0,92$), chia, keten tohumu ve nohut gibi besin öğesi yoğun bileşenlerin sindirim sürecinde hem fosfor hem de fenolik bileşiklerin salınımına birlikte katkı sağlayabileceğini düşündürmektedir. Toplam karbonhidrat miktarının K ile pozitif ilişkisi ($r = 0,87$), muz ve nohut gibi bileşenlerin doğal kompozisyonunu yansıtmaktadır. TPC, CUPRAC ve DPPH değerleri arasındaki yüksek korelasyonlar (0,86 – 0,88), lif veya baklagil zengin formülasyonlarda bildirilen sinerjik antioksidan davranışla uyumludur (Apak ve ark., 2004; Segundo ve ark., 2017).

Asparajin, histidin, lizin ve metiyonin gibi bazı amino asitler ile sertlik arasında gözlenen negatif ilişkiler ($-0,75 \leq r \leq -0,91$), bu amino asitlerin jel matrisindeki elektrostatik ve hidrofilik dengeyi etkileyerek protein – polisakkarit etkileşimlerini zayıflatabileceğini düşündürmektedir. Yiasmin ve ark (2025) bu tür amino asitlerin

yüksek oranda bulunduğu sistemlerde ağ yapısının daha sınırlı geliştiğini ve bunun daha yumuşak bir tekstüre yol açabildiğini bildirmiştir.

Pişme kaybının, nem ve toplam diyet lifi (TDF) ile negatif ilişkisi, su bağlama kapasitesi yüksek bileşenlerin pişirme sırasında kütle kaybını azaltmada belirleyici rol oynadığını göstermektedir (Agrahar-Murugkar ve ark., 2016; Srivastava ve Semwal, 2015).

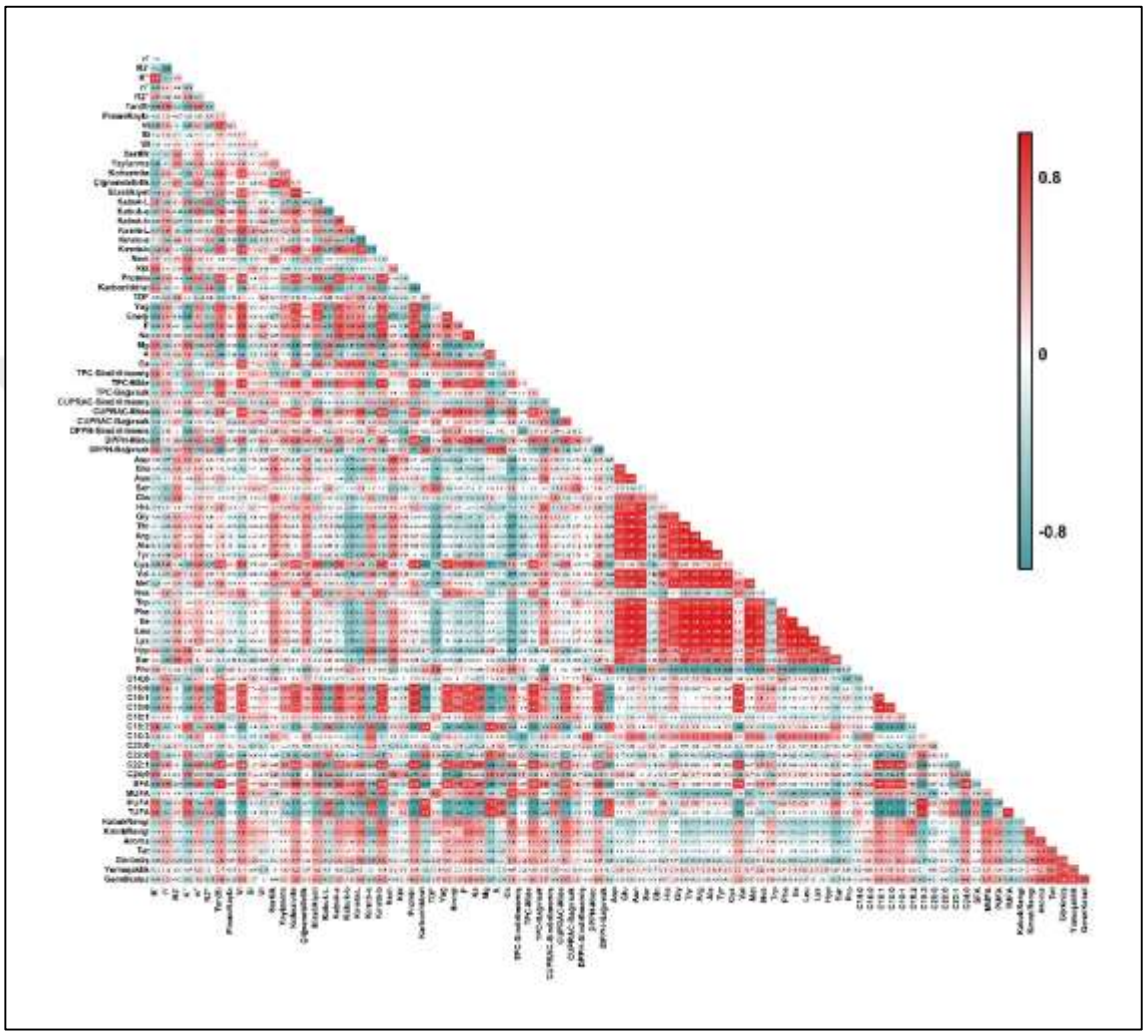
Farklı süt ikameleri ile üretilen muffinler

Bu bölümdeki kemometrik analizler, aquafaba temelli vegan muffinlerde kullanılan süt ikamelerinin ürün özellikleri üzerindeki etkilerini çok boyutlu bir çerçevede inceleme imkanı sağlamıştır. Pearson korelasyon analizinden elde edilen ısı haritası (Şekil 4.14), reolojik model parametreleri ile fizikokimyasal bileşenler, kompozisyon özellikleri ve fonksiyonel göstergeler arasındaki etkileşimlerin açık bir şekilde ortaya konmasına yardımcı olmuştur.

Depolama (K′) ve kayıp modülleri (K″) tutarlılık indeksleri ($r = 0,85$) arasındaki pozitif ilişki, elastik tutarlılığı yüksek örneklerin aynı zamanda daha belirgin viskoz tepki verdiğini ortaya koymuştur. Bu durum, bitkisel hidrokolloidler tarafından stabilize edilen hamurlarda tutarlı bir viskoelastik ağ yapısı geliştiğini düşündürmektedir (Seranthian ve ark., 2024). Buna karşılık, K′ değeri sindirilmemiş ve gastrik fazdaki DPPH ile negatif, intestinal fazdaki DPPH ile pozitif korelasyon göstermiştir ($-0,71 \leq r \leq 0,77$). Bu bulgu, matris elastikiyetinin antioksidan bileşiklerin sindirim sürecindeki salınım profilini etkileyebileceğini düşündürmektedir (Nemli ve ark., 2024; Rocchetti ve ark., 2022).

Sertlik ile çiğnenebilirlik arasındaki yüksek ilişki ($r = 0,91$) ve elastik geri kazanım ile iç yapışkanlık arasındaki güçlü korelasyon ($r = 0,97$), besin yoğunluğu yüksek formülasyonların daha sağlam iç bağlanma ve daha iyi yapısal toparlanma sağladığını göstermektedir. İç yapışkanlığın protein ve yağ içeriği ile pozitif ilişkisi ($r = 0,85$), makro besin öğelerinin tekstür gelişimindeki güçlendirici rolünü desteklemektedir.

Benzer şekilde, hacim indeksinin protein ve gastrik faz TPC değeri ile pozitif ilişki göstermesi (r = 0,81 – 0,91), hacmi yüksek örneklerde fenolik salınım ve sarı ton yoğunluğunun (iç b*, r = 0,88) arttığını göstermektedir.



Şekil 4.14. Farklı süt ikameleri ile üretilen muffinlerin fizikokimyasal, bileşimsel, tekstürel ve fonksiyonel özellikleri arasındaki ilişkileri gösteren Pearson korelasyon ısı haritası

Aspartik asit, glutamik asit ve glisin arasındaki güçlü ilişkiler (r = 0,87 – 0,90), baklagil ve yağlı tohum kaynaklı proteinlerin doğal amino asit dağılımını yansıtmaktadır. Prolinin bu amino asitlerle negatif ilişkisi (r = -0,80), halkalı yapısının hidrojen bağlanmasına dayalı protein ağlarına katılımını sınırladığını düşündürmektedir (Catalini ve ark., 2021). Antioksidan analizleri de yüksek düzeyde paralellik göstermiştir: sindirim fazları boyunca TPC ve CUPRAC arasındaki güçlü korelasyonlar (r ≥ 0,90),

polifenolce zengin matrislerde tutarlı redoks davranışını işaret etmektedir (Kiss ve ark., 2025).

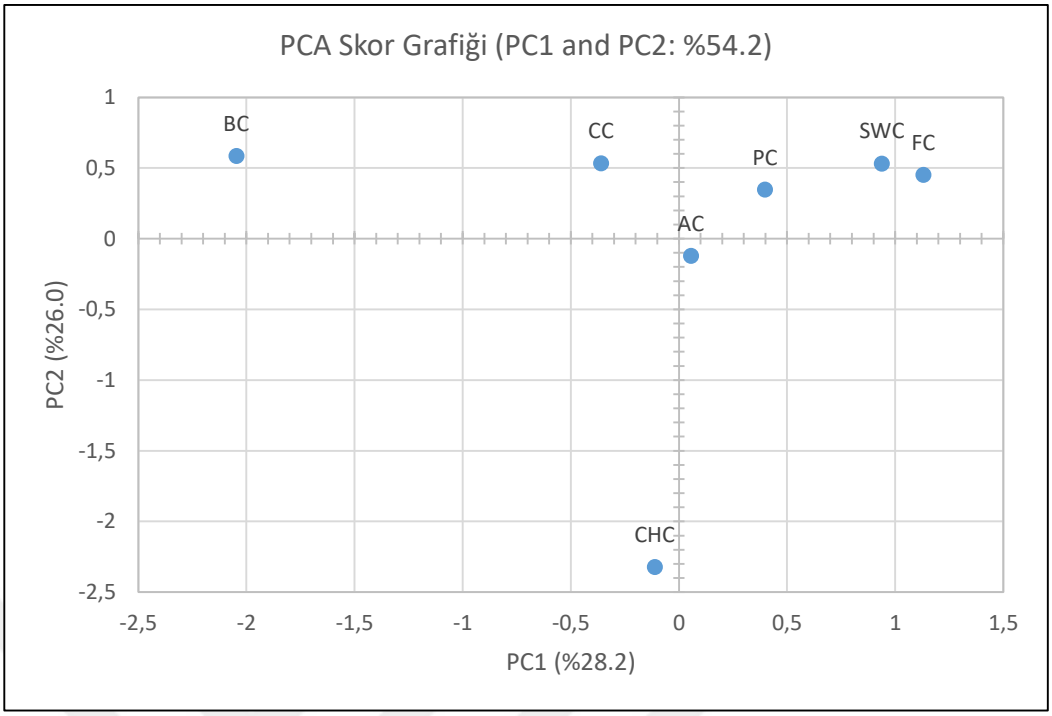
Bileşimsel ve reolojik parametrelerin yanı sıra duyusal parametreler arasında da belirgin ilişkiler gözlenmiştir. Genel beğeni, yumuşaklık, görünüş ve tat ile yüksek düzeyde ilişkili bulunmuştur (r = 0,72 – 0,86). Bu sonuç, tüketici tercihinin ağırlıklı olarak ağız hissi ve görsel kalite tarafından belirlendiğini göstermektedir. Enstrümantal kohezivite ve elastik geri kazanımın duyusal genel beğeni ile pozitif ilişkisi (r = 0,45 – 0,50), yapısal olarak dengeli matrislerin daha hoş ve yumuşak algılandığını ortaya koymaktadır. Kırıntı L* ve b* değerleri ile duyusal renk skorları arasındaki pozitif ilişkiler (r = 0,51 – 0,66), açık ve sarımsı tonların daha çekici bulunduğunu; kırıntı a* değeri ile duyusal iç renk arasındaki negatif ilişki (r = -0,71) ise aşırı kırmızımsı tonların tercih edilmediğini göstermektedir. Kabuk L* değeri ile duyusal kabuk rengi arasındaki zayıf negatif ilişki (r = -0,30), hafifçe koyu bir kabuğun optimum pişmiş görünüm olarak algılandığını düşündürmektedir.

Bu bulgular, reolojik dayanım, bileşim yoğunluğu ve antioksidan kapasitenin bitkisel temelli muffinlerin fiziksel ve fonksiyonel özelliklerini birlikte şekillendiren temel faktörler olduğunu göstermektedir. Ayrıca bu ilişkiler, izleyen bölümlerde tartışılan PCA ve HCA sonuçlarının istatistiksel temelini oluşturmaktadır.

4.11.2. Temel bileşen analizi

Farklı yumurta ikameleri ile üretilen muffinler

Bu çalışmada temel bileşen analizi (PCA) uygulanarak verilerdeki temel örüntülerin ortaya çıkarılması amaçlanmış ve faktör yükleri Ek 8'de sunulmuştur. İlk iki temel bileşen (PC1: %28,2 ve PC2: %26,0), toplam varyansın %54,2'sini açıklamıştır (Şekil 4.15). Bu durum, örnek grupları arasındaki farklılaşmanın değerlendirilmesi için yeterli düzeyde bir boyut indirgeme sağlandığını göstermektedir. Analiz, formülasyonların fizikokimyasal ve fonksiyonel özelliklerine dayalı olarak kümelenme davranışlarının ve ayrışmaların görselleştirilmesine olanak tanımıştır.



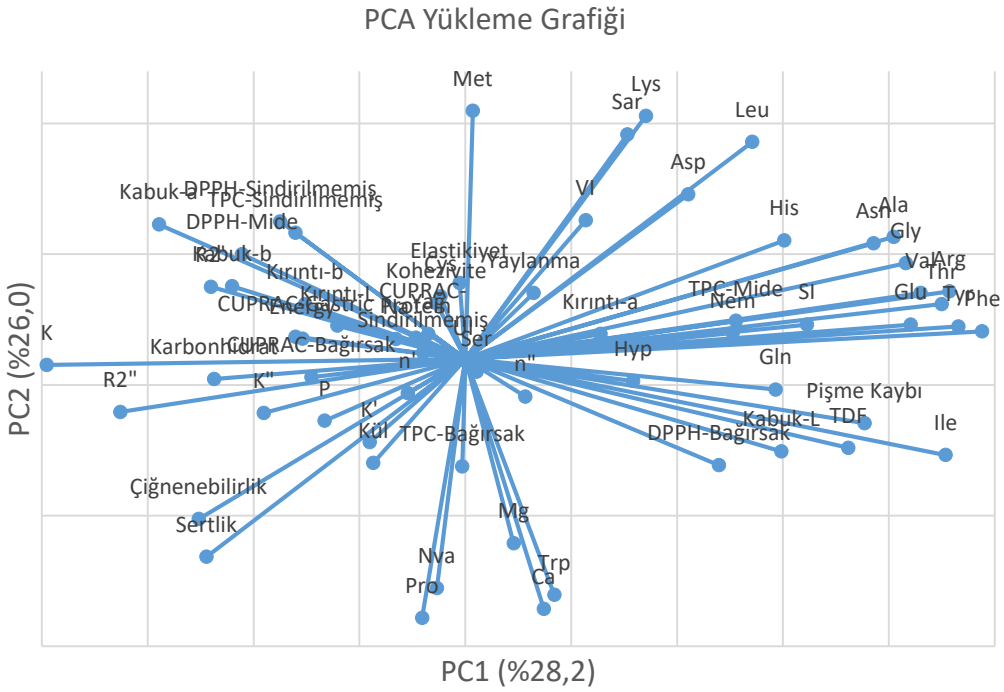
Şekil 4.15. Farklı yumurta ikameleriyle üretilen muffin örneklerine ait temel bileşen analizi (PCA) skor grafiği

PC1, özellikle bileşim ve tekstürel değişkenlerle ilişkili yükler sergilemiştir. Sertlik (-0,489) ve çiğnenebilirlik (-0,504) için negatif yükler gözlenirken, pişme kaybı (0,754), toplam diyet lifi (0,723) ve arjinin (0,914) ile fenilalanin (0,976) gibi bazı amino asitler için pozitif yükler hesaplanmıştır. Bu dağılım, amino asit ve diyet lifi düzeyleri yüksek olan örneklerde daha yumuşak bir yapı ve gelişmiş nem tutma kapasitesinin öne çıktığını göstermektedir. Bu eğilim, chia ve keten tohumu gibi hidrojel ve müsilaj açısından zengin bileşenlerin su tutma kapasitesini artırarak daha yumuşak kırıntı yapısı oluşturduğunu bildiren önceki çalışmalarla uyumludur (Aljobair, 2022; Mueed ve ark., 2022).

Toplam varyansın %26,0'ını açıklayan PC2 ise esas olarak antioksidan özellikler ve mineral bileşimi ile ilişkili değişkenleri temsil etmiştir. Lizin (0,930), lösin (0,830) ve metiyonin (0,949) için yüksek pozitif yükler, Ca (-0,956), Mg (-0,706) ve sertlik (-0,757) için negatif yüklerle karşıtlık göstermiştir. Bu bileşen, esansiyel amino asit içeriği yüksek ve genellikle daha yumuşak yapıya sahip formülasyonlarla, mineralce zengin ve daha sert doku sergileyen formülasyonları birbirinden ayıran bir eksen olarak

yorumlanabilir. Bu bulgu, mineral içeriği yüksek ürünlerin daha rijit yapısal özellikler gösterdiğini belirten korelasyon analizleriyle de tutarlıdır.

Yükleme grafiği (Şekil 4.16), PC1'in bileşim ve tekstürel özellikler tarafından yönlendirildiğini; PC2'nin ise TPC, CUPRAC ve DPPH gibi biyoaktif bileşenler ile esansiyel amino asitlerdeki farklılıklarla şekillendiğini doğrulamaktadır. Bu sonuçlar, önceki analizlerde ortaya konan örüntülerle uyumlu olup literatürde bildirilen bulgularla da desteklenmektedir (Dyachenko ve Bel'skaya, 2023; Tsuji ve Koyanagi, 2025).



Şekil 4.16. Farklı yumurta ikameleriyle üretilen muffin örneklerine ait temel bileşen analizi (PCA) yükleme grafiği

PC3 (%15,0), renk özellikleri ve antioksidan parametrelerdeki farklılıkları büyük ölçüde açıklamıştır. Kırıntı açıklığı (L*) (0,925), gastrik faz CUPRAC aktivitesi (0,928) ve kabuk sarılığı (b*) (0,741) için yüksek pozitif yükler gözlenirken, kırıntı kırmızılığı (a*) negatif yük göstermiştir (-0,916). Bu sonuçlar, PC3'ün özellikle kırıntı parlaklığı ve gastrik koşullardaki antioksidan davranıştaki değişimleri yansıttığını göstermektedir.

PC4 (%11,0) ve PC5 (%7,2), yapısal toparlanma özellikleri, sindirim süresince fenolik bileşiklerin davranışı ve karbonhidrat düzeylerine ilişkin daha ince ayrımları temsil etmektedir. Özellikle PC4'te protein (0,813) ve intestinal faz toplam fenolik içeriği (TPC) (0,856) için yüksek pozitif yükler hesaplanmıştır. Bu durum, sindirim sırasında protein ve fenolik bileşiklerin eş zamanlı salınım gösterebildiğini ve bitkisel kaynaklı matrislerde bu iki besin bileşeninin birlikte biyoyararlanabilir hâle gelme eğiliminde olduğunu ortaya koymaktadır (Dyachenko ve Bel'skaya, 2023; Tsuji ve Koyanagi, 2025).

Skor grafiği (Şekil 4.15), PCA'dan elde edilen bu örüntüleri desteklemiştir. FC, PC ve AC örnekleri PC1 yönünde pozitif kümelenme göstermiş olup, bu yerleşim yüksek lif ve amino asit içeriklerini yansıtmaktadır. Buna karşılık BC ve CC örnekleri PC2 ekseni boyunca konumlanmış ve daha yüksek antioksidan potansiyelleriyle ayrışmıştır. CHC örneği ise her iki eksende de diğer örneklerden uzaklaşarak belirgin bir aykırı konum sergilemiştir. Bu durumun, chia jelinin sınırlı protein katkısı ve yumurtaya kıyasla farklı jelasyon davranışı nedeniyle yapısal bütünlüğü ve fonksiyonel özellikleri farklı şekilde etkilemesinden kaynaklanabileceği düşünülmektedir (Aljobair, 2022).

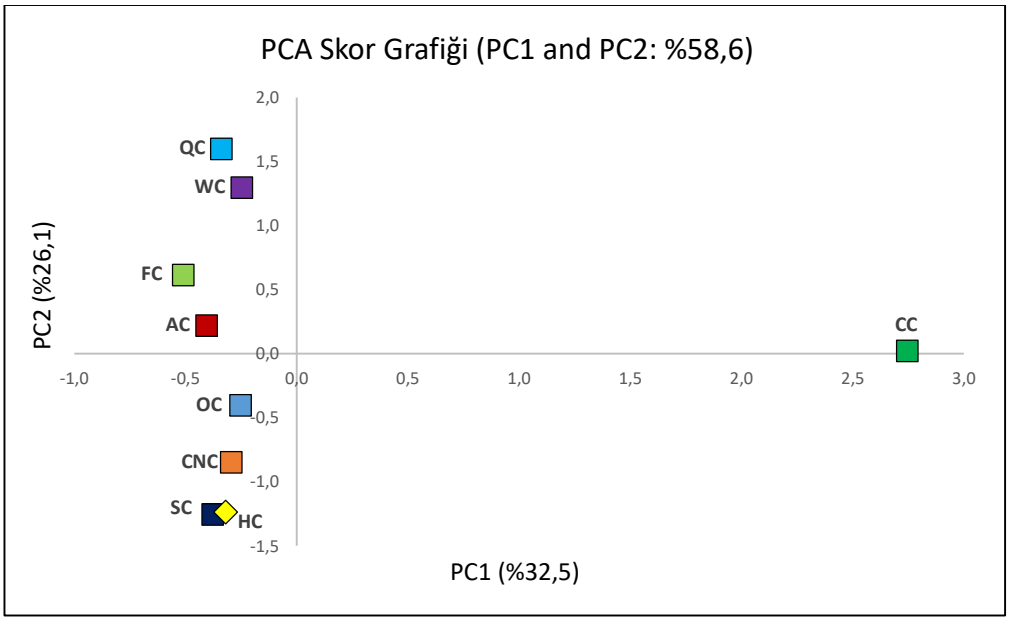
Farklı süt ikameleri ile üretilen muffinler

Bu çalışmada, çok boyutlu veri setini sadeleştirmek ve aquafaba esaslı vegan muffinler arasındaki fiziksel, bileşimsel ve fonksiyonel farklılıkları belirleyen temel faktörleri ortaya koymak amacıyla temel bileşen analizi (PCA) uygulanmıştır (Ek 9). İlk iki temel bileşen (PC1 ve PC2), toplam varyansın %58,6'sını açıklamıştır (Şekil 4.17 ve Şekil 4.18). Bu oran, veri setindeki baskın örüntülerin görselleştirilmesi için yeterli düzeyde bir boyut indirgeme sağlandığını göstermektedir. PC1 (%32,5), ağırlıklı olarak reolojik ve bileşimsel değişkenler tarafından tanımlanırken, PC2 (%26,1), antioksidan yanıt ve amino asit kompozisyonuna ilişkin farklılıkları yansıtmaktadır.

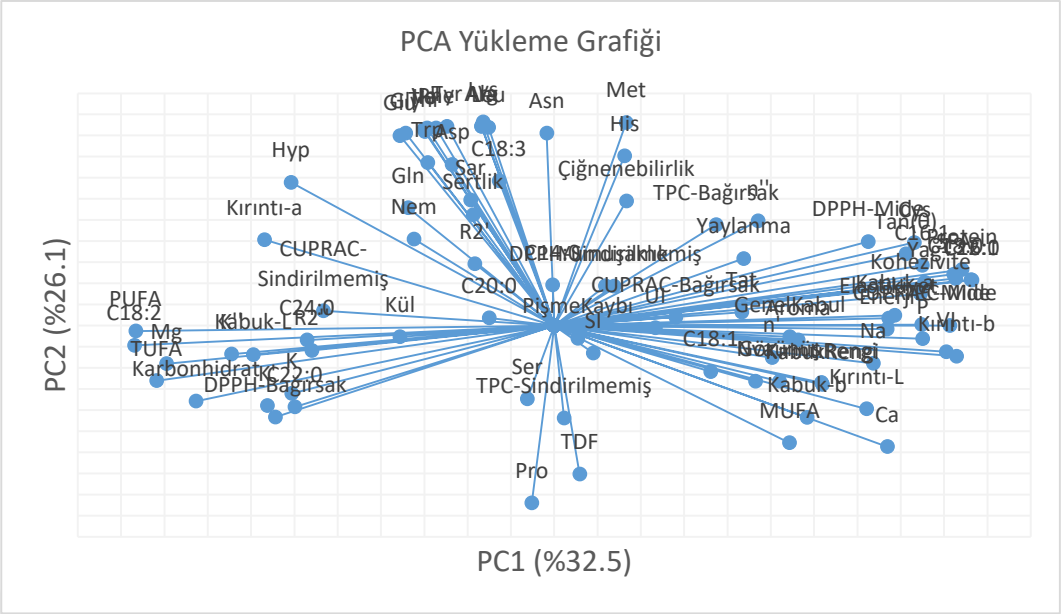
PC1 üzerindeki protein (0,94), yağ (0,86), doymuş yağ asitleri (0,92) ve hacim indeksi (0,91) için gözlenen pozitif yükler, besin açısından zengin ve yapısal olarak bütünlüklü hamurların daha yüksek viskoelastik dayanım sergilediğini ve pişme sırasında daha

fazla genişlediğini göstermektedir. Bu değişkenlerin kohezivite (0,85), elastik geri kazanım (0,77) ve kırıntı b* değeri (0,93) ile yakın ilişki göstermesi, renk oluşumu ve tekstürel birörnekliliğin makro besin içeriği ve matris organizasyonu ile doğrudan bağlantılı olduğunu ortaya koymaktadır. Buna karşılık PUFA (-0,97), TUFA (-0,92) ve toplam karbonhidrat (-0,83) için hesaplanan negatif yükler, doymamış lipid içeriğinin ve karbonhidrat ağırlıklı bileşimin arttığı, genellikle daha yumuşak ve daha az elastik matrislerle ilişkili ters bir bileşimsel eğilimi işaret etmektedir (McClements, 2023; Mohammadi ve ark., 2024).

PC2 üzerinde arjinin (0,94), alanin (0,94), tirozin (0,94), valin (0,94) ve metiyonin (0,96) gibi amino asitler için gözlenen yüksek pozitif yükler, baklagil ve tohum kaynaklı formülasyonların besinsel profilinin protein kökenli bileşenler tarafından belirlendiğini göstermektedir. Aynı eksende prolinin negatif yükü (-0,84), halkalı imino yapısının hidrojen bağına dayalı protein ağlarına katılımını sınırlaması nedeniyle antagonistik davranışını doğrulamaktadır. Benzer şekilde, süt fraksiyonunun gastrik fazında ölçülen antioksidan göstergeler – toplam fenolik madde içeriği (TPC: 0,76), CUPRAC (0,73) ve DPPH (0,73) – PC2 boyunca birlikte kümelenmiş ve sindirimin bu evresine özgü polifenolik yanıtların gruplandığını ortaya koymuştur.



Şekil 4.17. Farklı süt ikameleriyle üretilen muffin örneklerine ait temel bileşen analizi (PCA) skor grafiği



Şekil 4.18. Farklı süt ikameleriyle üretilen muffin örneklerine ait temel bileşen analizi (PCA) yükleme grafiği

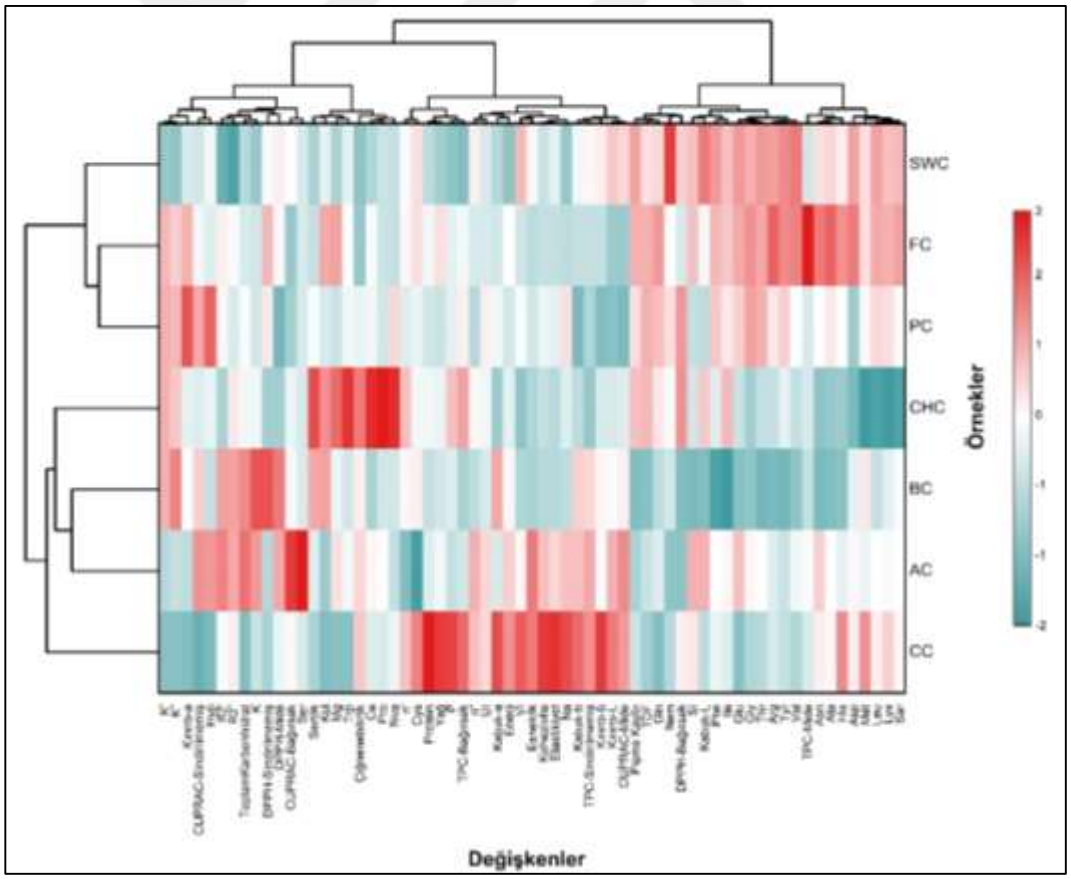
PCA skor grafiği, örnekler arasındaki farklılaşmayı belirgin biçimde göstermiştir. Kontrol muffin (CC), daha yüksek protein, yağ ve SFA yükleri nedeniyle PC1 boyunca diğerlerinden ayrılmış ve güçlü yapısal – bileşimsel bütünlüğünü yansıtmıştır. Bitkisel süt içerikli formülasyonlar ise PC1'in negatif yönünde alt gruplar oluşturmuştur. Kinoa (QC) ve ceviz (WC) sütlü muffinlerin PC2 üzerinde daha yüksek konumlanması, amino asit ve antioksidan özelliklerinin daha belirgin olduğunu göstermiştir (Farooq ve ark., 2023; Li ve ark., 2021). Buna karşılık soya (SC) ve fındık (HC) sütlü muffinlerin daha düşük değerlerde kümelenmesi, daha yüksek doymamış yağ asidi içeriği ve azalmış viskoelastik dayanım ile uyumludur (Karaosmanoğlu, 2022).

PCA sonuçları, korelasyon analizinde ortaya konan çok değişkenli ilişkileri doğrulamıştır. Reolojik, bileşimsel ve antioksidan parametrelerin bütünleşik şekilde kümelenmesi, aquafaba esaslı vegan muffinlerin fonksiyonelliği ve besinsel kalitesinin; yapısal kararlılık, amino asit bileşimi ve redoks potansiyelinin ortak etkisiyle belirlendiğini göstermektedir.

4.11.3. Kümeleme analizi

Farklı yumurta ikameleri ile üretilen muffinler

Hiyerarşik kümeleme analizi (HCA), çok değişkenli istatistiksel bir yöntem olup, örnekleri ortak özelliklerine göre gruplandırarak benzerlik ve farklılıkların ortaya konmasına olanak sağlamaktadır. Bu çalışmada Ward yöntemi ve Öklid uzaklığı kullanılarak örnekler arasındaki yapısal ve fonksiyonel ilişkileri görselleştiren bir dendrogram oluşturulmuştur (Şekil 4.19). Elde edilen dendrogram, çok sayıda değişken üzerinden örneklerin birbirine olan yakınlığının görsel olarak değerlendirilmesine imkân tanımıştır. Bu yaklaşım, PCA sonuçlarını tamamlayıcı nitelikte olup hem genel kümelenme örüntülerini hem de formülasyona özgü ayrışmaları ortaya koymuştur (Bianchi ve Simonato, 2025).



Şekil 4.19. Hiyerarşik Kümeleme Analizi (HCA) sonuçlarına dayalı farklı yumurta ikameleriyle üretilen muffin örneklerinin gruplandırılması

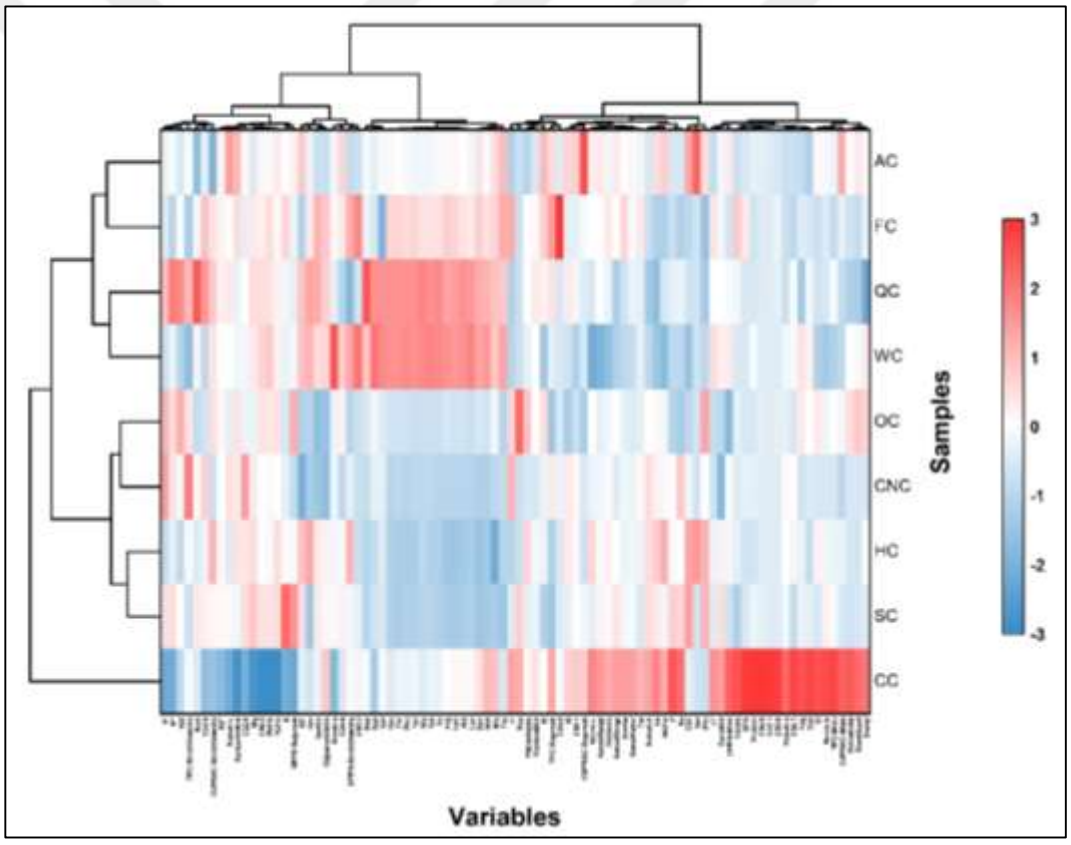
Analiz sonucunda iki temel küme oluşmuştur. Küme I; FC, PC ve AC örneklerini içermiş ve bu örneklerin daha yüksek amino asit içeriği, nem düzeyi ve toplam diyet lifi gibi ortak bileşimsel özellikler paylaştığı görülmüştür. Bu bileşenler, daha düşük sertlik gibi olumlu tekstürel parametrelerle ilişkili olup, yapısal bütünlüğün gelişmesine katkı sağlamıştır. Önceki çalışmalar da aquafaba ve lif açısından zengin formülasyonlarda hidrojel ve hidrokolloid içeriklerinin nem tutma kapasitesini artırarak ürün matrisini yumuşattığını göstermekte olup, Küme I'de gözlenen bu örüntüyü desteklemektedir (Gallo ve ark., 2020; Kilicli ve ark., 2025; Yazici ve ark., 2023).

Küme II sadece SWC örneğini içeren ayrı bir alt grup oluşturmuştur. Bu konumlanmanın, çöven özütünün mineral ve saponin içeriğinden kaynaklanan özgün özellikleriyle ilişkili olabileceği düşünülmektedir. Bu bileşenlerin hem antioksidan kapasiteyi hem de tekstürel özellikleri eş zamanlı olarak etkilemesi, SWC'nin diğer örneklerden ayrışmasını açıklamaktadır (Gonzalez ve Sörensen, 2020). BC ve CHC ise ana kümelerden bağımsız dallanarak farklı formülasyon davranışları sergilemiştir. CHC'nin nispeten düşük protein içeriği ve daha yoğun müsilaj yapısı, matris bileşenleriyle etkileşimi sınırlayarak aquafaba veya keten jeli gibi diğer yumurta ikamelerine kıyasla daha zayıf yapısal bütünlüğe yol açmış olabilir (Aljobair, 2022). BC ise yüksek antioksidan aktivite (DPPH, CUPRAC) ve mineral içeriğiyle ayrışmış olup, bu durum muzun doğal bileşimsel özellikleriyle uyumludur. BC'nin işlevsel açıdan aykırı örnek olarak konumlanması, bazı bileşenlerin baskın kompozisyonel etkileri nedeniyle örneklerin ayrı kümeler oluşturabileceğini göstermektedir (Segundo ve ark., 2017; Teeta ve ark., 2023).

Genel olarak PCA ve HCA sonuçları, formülasyonlar arasında çok boyutlu bir ayrışmanın bulunduğunu ortaya koymuştur. Elde edilen bulgular, aquafaba ve lif açısından zengin bileşenlerin yumurtasız muffinlerde hem yapısal hem fonksiyonel özelliklerin geliştirilmesinde stratejik olarak kullanılabileceğini göstermektedir. Bu çok değişkenli yaklaşımlar, baklagil kaynaklı protein ve polisakkarit sinerjilerinin vurgulandığı önceki çalışmalara paralel olarak, yumurtasız fırıncılık ürünlerinde ürün optimizasyonunu yönlendiren etkili araçlar sunmaktadır (Agrahar-Murugkar ve ark., 2016; Buhl ve ark., 2019; Konal ve ark., 2025; Lin ve ark., 2017).

Farklı süt ikameleri ile üretilen muffinler

Muffin formülasyonları arasındaki ilişkileri değerlendirmek ve benzer fizikokimyasal ile fonksiyonel özelliklere sahip örnek gruplarını belirlemek amacıyla hiyerarşik kümeleme analizi (HCA) uygulanmıştır. Kümeleme işlemi, benzerlik ölçütü olarak Öklid uzaklığının kullanıldığı Ward yöntemi temelinde gerçekleştirilmiştir. Elde edilen dendrogram (Şekil 4.20), örnekler arasındaki genel ilişki örüntüsünü görsel olarak ortaya koymuştur. Bu çok değişkenli yaklaşım, PCA sonuçlarını tamamlayıcı nitelikte olup, veri seti içinde formülasyonların birbirine yakınlığı ve ayrışması hakkında daha detaylı bir yorum yapılmasına olanak sağlamıştır (Bianchi ve Simonato, 2025).



Şekil 4.20. Hiyerarşik Kümeleme Analizi (HCA) sonuçlarına dayalı farklı süt ikameleriyle üretilen muffin örneklerinin gruplandırılması

Küme I, CC, SC, HC, WC ve QC örneklerinden oluşmuş ve bu örneklerin doymamış yağ asitlerince zengin, orta düzeyde antioksidan kapasiteye sahip ve sınırlı viskoelastik dayanım gösteren benzer örüntüler sergilediği belirlenmiştir. Kümeye soya ve fındık

sütlü muffinlerin dâhil olması, lipid ağırlıklı matrislerin nem tutma kapasitesini artırırken gaz hücresi stabilitesini zayıflattığını ve bunun sonucunda daha yumuşak ve daha az kohezif dokular oluşturduğunu göstermektedir (Karaosmanoğlu, 2022). Benzer şekilde ceviz ve kinoa sütlü formülasyonlar da çoklu doymamış yağ asitleri içeriği sayesinde besinsel açıdan zenginleşmekle birlikte, pişmiş matris içinde elastik geri kazanımın sınırlı kalmasına yol açmıştır. Bu bulgular, bitkisel yağ katkısı baskın olan formülasyonların, orta düzeyde yapısal bütünlük ve düşük reolojik dayanımla tanımlanan tutarlı bir grup oluşturduğunu ve bu durumun kuruyemiş ve tohum bazlı fırıncılık ürünlerine ilişkin literatürle uyumlu olduğunu göstermektedir (Du ve ark., 2025; Ozgolet ve ark., 2024).

Küme II ise FC, CNC, OC ve AC örneklerini içermiştir. Bu örnekler, daha yüksek protein ve diyet lifi içerikleri ile daha güçlü tekstürel toparlanma ve artmış antioksidan biyoyararlanım sergilemiştir. FC ve CNC örneklerinin yakın konumlanması, müsilaj ve hidrokolloid açısından zengin bileşenlerin kohezif ve elastik bir kırıntı ağı oluşturarak yapısal bütünlüğü desteklemesiyle ilişkilendirilmiştir (Gallo ve ark., 2020; Yazici ve ark., 2023). OC ve AC örnekleri de benzer şekilde yakın kümelenmiş olup, viskoelastik denge ve yüksek fenolik içerik ile karakterize edilmiştir. Bu iyileşmenin, matris içerisindeki nişasta – protein – lif sinerjisinden kaynaklanabileceği düşünülmektedir. Sonuçlar, hidrokolloid ve lif açısından zengin sistemlerin vegan fırıncılık ürünlerinde hem mekanik hem de biyofonksiyonel özellikleri güçlendirme kapasitesine sahip olduğunu göstermektedir (Crawford ve ark., 2024; Du ve ark., 2025).

Genel olarak PCA ve HCA bulguları, kullanılan bitkisel sütün aquafaba esaslı muffinlerin çok boyutlu davranışı üzerinde belirleyici bir etki oluşturduğunu ortaya koymuştur. Lif ve hidrokolloid yönünden zengin sütler (Küme II), yapısal bütünlüğü ve fonksiyonel performansı artırırken; lipid ağırlıklı formülasyonlar (Küme I) daha yumuşak ve daha az elastik dokularla ilişkilendirilmiştir. Bu bütüncül yorum, bitkisel temelli fırıncılık ürünlerinde formülasyona özgü ilişkilerin belirlenmesinde çok değişkenli modellemenin önemini vurgulamaktadır.

5. SONUÇ

Bu çalışma, bitkisel kaynaklı yumurta ve süt ikamelerinin muffinlerin yapısal, fonksiyonel, duyusal ve besinsel özellikleri üzerindeki etkilerini kapsamlı ve karşılaştırmalı bir yaklaşımla incelemiştir. Elde edilen bulgular, yumurta ve süt ikamelerinin ürün matrisi üzerinde farklı mekanizmalarla etkili olduğunu ve bu ikamelerin tek tip bir performans sergilemediğini ortaya koymuştur. Yumurta ikameleri arasında olgun muz ve aquafaba, yapı dengesi ve tüketici kabulü açısından en öne çıkan seçenekler olurken; chia ve psyllium, özellikle besinsel ve antioksidan özelliklerde anlamlı iyileşmeler sağlamıştır. Muz bazlı örnekler, en yüksek duyusal değerlendirme puanlarını elde ederek panelistler tarafından tercih edilen doku ve aroma özellikleriyle öne çıkmıştır. Ayrıca bitkisel ikamelerin hamurun reolojik davranışını farklı şekillerde etkilediği belirlenmiştir. Özellikle muz ve chia içeren örneklerde gözlenen yüksek G′ değerleri, daha yoğun hamur yapıları ve düşük hacim indeksleriyle ilişkilendirilirken; çöven ekstraktının, literatürde bildirilen köpürme kabiliyeti sayesinde hacim ve kırıntı yumuşaklığını olumsuz etkilemeden desteklediği düşünülmektedir. Beslenme açısından keten tohumu ve psyllium kullanımı, diyet lifi ve mineral içeriğinde belirgin artışlara yol açmış ve bu bulgular, fonksiyonel fırıncılık ürünleri alanındaki güncel eğilimlerle uyum göstermiştir.

Bitkisel süt alternatiflerinin incelendiği çalışmada ise kinoa, keten tohumu ve Hindistan cevizi sütlerinin viskoelastik stabiliteyi ve antioksidan kapasiteyi artırma potansiyeline sahip olduğu belirlenmiştir. Buna karşılık, yulaf ve badem sütüyle hazırlanan formülasyonlar diğer sütlere göre daha sınırlı reolojik ve biyoaktif performans sergilemiştir. Bitkisel süt ikamelerinin kullanımı, pişirme performansını veya duyusal kabul edilebilirliği olumsuz yönde etkilememiş; bu durum, süt yerine bitkisel sütlerin muffin üretiminde teknolojik olarak uygulanabilir olduğunu desteklemektedir. Ürünlerin renk ve bileşim farklılıklarının, her süt matrisinin doğal pigment ve makro besin profiline bağlı olduğu gözlenmiş ve bu bulgular, bileşen özgül fonksiyonelliği yansıtmıştır.

Bu tez kapsamında yürütülen her iki çalışma, fiziksel ve duyusal etkilerin yanı sıra amino asit bileşimi, fenolik madde profili ve biyoerişilebilirlik üzerindeki olası etkileri de sistematik biçimde inceleyerek literatürdeki mevcut bilgi birikimine katkı sağlamıştır. Çok değişkenli istatistiksel analizlerin (PCA ve HCA) entegrasyonu, örneklerin kümelenme davranışlarını kapsamlı biçimde ortaya koymuş ve bileşimsel özelliklerin hem mekanik hem de biyoaktif davranışları yönlendirdiğini desteklemektedir. Ayrıca, seçilen formülasyonlarda 30 gün boyunca mikrobiyolojik güvenliğin ve fizikokimyasal bütünlüğün korunmuş olması, endüstriyel uygulamalar açısından önemli bir katkı sağlamaktadır.

Elde edilen bulgular, hem yumurta hem de süt ikamelerinin, bitkisel bazlı fırıncılık ürünlerinde yapısal ve besinsel açıdan farklı mekanizmalarla etki gösterdiğini ortaya koymaktadır. Kinoa, keten tohumu ve Hindistan cevizi sütü; yapı stabilitesi, özellikle belirli esansiyel amino asitler ve antioksidan kapasite açısından öne çıkan fonksiyonel süt alternatifleri olarak değerlendirilebilirken; muz ve aquafaba ise tekstürel bütünlük ve tüketici kabulü açısından öne çıkmaktadır. Chia ve psyllium içeren formülasyonların yüksek diyet lifi ve mineral içerikleri, fonksiyonel ürün geliştirme potansiyelini desteklemektedir.

Endüstriyel açıdan, bu bulgular bitkisel kaynaklı muffin üretiminde besinsel yeterlilik, sürdürülebilirlik ve tüketici beklentilerini bir arada karşılayabilen, bilimsel temele dayalı bir formülasyon yaklaşımı sunmaktadır. Bitkisel sütlerin özellikle kalsiyum ve protein içeriği bakımından inek sütüne kıyasla daha sınırlı bir besinsel profil sergileyebildiği dikkate alındığında, endüstriyel uygulamalarda ürünlerin besinsel yeterliliğini destekleyecek fortifikasyon stratejilerinin planlanması önem taşımaktadır. Bu kapsamda kalsiyum tuzlarıyla mineral zenginleştirme ve bezelye/soya/baklagil kaynaklı protein fraksiyonları ile protein düzeyinin iyileştirilmesi, bitkisel süt bazlı fırıncılık ürünlerinin beslenme değerini artırabilecek uygulanabilir yaklaşımlar olarak değerlendirilebilir. Buna ek olarak vegan beslenmede kritik kabul edilen D vitamini, B12 ve iyot gibi mikro besin ögelerinin hedeflenmesinin, ürünlerin fonksiyonel konumlandırmasını güçlendirmesi beklenmektedir. Bununla birlikte bitkisel bazlı kek ve muffin ürünlerinin geliştirilmesinde yalnızca ikame yaklaşımı değil, aynı zamanda

çoklu fonksiyonelleştirme stratejileri de dikkate alınmalıdır. Özellikle glütensiz formülasyonların tasarlanması, filizlendirilmiş unların kullanımıyla biyoaktif bileşenlerin artırılması ve lif/protein dengesi iyileştirilmiş yeni nesil ürünlerin geliştirilmesi, sürdürülebilir ve sağlık odaklı ürün çeşitliliğine katkı sunabilir. Bu tür yaklaşımların, bitkisel ikamelerin sağladığı teknolojik avantajları besinsel hedeflerle bütünleştirerek endüstriyel ölçeklenebilirliği artırması beklenmektedir. Ayrıca kinoa sütü ve çöven ekstraktı gibi görece spesifik bileşenlerin endüstriyel kullanımında ekonomik fizibilite de değerlendirilmelidir. Kinoa gibi hammaddelerde tedarik sürekliliği ve maliyet unsurları, çöven ekstraktında ise standardizasyon ve ekstraksiyon verimi gibi parametreler, teknolojik performans kadar belirleyici olabilmektedir. Bu nedenle, formülasyon seçiminin ekonomik uygulanabilirlik analiziyle desteklenmesi, ürün geliştirme süreçlerinde rasyonel karar vermeyi kolaylaştıracaktır. Bitkisel sütlerin ve yumurta ikamelerinin fonksiyonel rollerinin tanımlanması, yapı – fonksiyon ilişkilerinin rasyonel biçimde tasarlanması açısından kritik öneme sahiptir.

Gelecekteki çalışmaların, farklı demografik grupları kapsayan geniş katılımlı tüketici kabul testleriyle elde edilen bulguları doğrulaması gerekmektedir. Ayrıca bezelye, soya, kenevir veya baklagil bazlı içecekler gibi farklı süt ikamelerinin; metilselüloz, nişasta bazlı jel sistemleri veya bitkisel protein konsantreleri gibi farklı yumurta ikamelerinin teknoloji ve duyusal kalite üzerindeki etkilerinin karşılaştırmalı olarak değerlendirilmesinin, ürün matrisi açısından daha geniş bir optimizasyon alanı sağlayabileceği düşünülmektedir. Ayrıca uçucu aroma bileşenleri ile işlem sırasında oluşabilecek olası proses kontaminantların ayrıntılı olarak analiz edilmesi de önem taşımaktadır. Bununla birlikte sürdürülebilirlik iddialarının bilimsel olarak güçlendirilmesi için, gelecek çalışmalarda karbon ayak izi ve yaşam döngüsü değerlendirmesi (LCA) temelli analizlerin uygulanması önerilmektedir. Böylece formülasyon tercihleri yalnızca teknoloji ve beslenme boyutunda değil, çevresel etkiler açısından da nicel verilerle desteklenebilecektir. Fenolik bileşiklerin in vivo biyoerişilebilirliği ve uzun vadeli beslenme etkileri üzerine çalışmalar, sağlık beyanlarını desteklemesi beklenmektedir. Bununla birlikte, iki veya daha fazla yumurta ya da süt ikamesinin aynı formülasyonda birlikte kullanılmasıyla oluşabilecek sinerjik etkilerin araştırılması, protein, aroma, doku ve genel ürün performansı bakımından yeni

avantajlar sağlayabilir. Bu yaklaşımın gelecekteki çalışmalarla geliştirilmesi, hem teknolojik hem de besinsel açıdan optimize edilmiş yeni nesil vegan muffin formülasyonlarının tasarlanmasına katkı sunacaktır.

Son olarak, yumurtasız ve süt içermeyen sistemlerde formülasyon bileşenlerinin su bağlama kapasitesine bağlı olarak su aktivitesi (aw) değişebileceğinden, mikrobiyolojik risk profilinin de farklılaşabileceği göz önünde bulundurulmalıdır. Özellikle lif ve hidrokolloid içeriği yüksek ikamelerin nem dağılımını ve raf ömrü boyunca nem migrasyonunu etkileyerek küf – maya gelişimi üzerinde belirleyici rol oynayabileceği düşünülmektedir. Bu nedenle ilerleyen çalışmalarda aw ölçümlerinin raf ömrü boyunca izlenmesi, mikrobiyal büyüme kinetiğinin değerlendirilmesi ve uygun ambalajlama/koruyucu sistemlerle birlikte bütüncül raf ömrü modellerinin geliştirilmesi önerilmektedir.

KAYNAKLAR

AACC (1983). Approved methods of the American Association of Cereal Chemists - *Approved methods of the American Association of Cereal Chemists*. 1, pp. 70–86. American Association of Cereal Chemists. Minneapolis, USA.

Acoglu Celik, B., Celik, M. A., Jūrienė, L., Jovaišaitė, J., Kazernavičiūtė, R., Bekar, E., Yolci Omeroglu, P., Venskutonis, P. R., & Kamiloglu, S. (2025). Biorefining of walnut shells into polyphenol-rich extracts using ultrasound-assisted, enzyme-assisted, and pressurized liquid extraction coupled with chemometrics. *Foods*, *14*(13), 2245. https://doi.org/10.3390/foods14132245

Agilent Technologies. (2021). *Agilent BioColumns application compendium: Amino acid analysis*. https://www.agilent.com/cs/library/applications/compendium-aminoacid-advancebio-5994-0033EN-us-agilent.pdf

Agrahar-Murugkar, D., Zaidi, A., & Dwivedi, S. (2018). Development of gluten free eggless cake using gluten free composite flours made from sprouted and malted ingredients and its physical, nutritional, textural, rheological and sensory properties evaluation. *Journal of Food Science and Technology*, *55*(7), 2621–2630. https://doi.org/10.1007/s13197-018-3183-1

Agrahar-Murugkar, D., Zaidi, A., Kotwaliwale, N., & Gupta, C. (2016). Effect of egg-replacer and composite flour on physical properties, color, texture and rheology, nutritional and sensory profile of cakes. *Journal of Food Quality*, *39*(5), 425–435. https://doi.org/10.1111/jfq.12224

Ahmad, I., Lopez-Martinez, J. M., & Sadiq, M. B. (2025). Impact of high-pressure processing on rheological, dispersive, and sensorial quality attributes of oat milk. *Journal of Food Science and Technology*, *62*(3), 508–518. https://doi.org/10.1007/s13197-024-06040-x

Ahsan, M., Moin, A., Ashraf, H., Khan, A., & Giuffrè, A. M. (2025). Formulation and characterization of reduced fat muffins using a plant based fat replacer. *Journal of Food Science and Technology*, *62*(3), 551–561. https://doi.org/10.1007/s13197-024-06045-6

Akbin, A. C., Turabi Yolacaner, E., & Sumnu, G. (2025). Effects of legume-based aquafaba on batter rheology and quality characteristics of microwave-infrared baked cakes. *Physics of Fluids*, *37*(1). https://doi.org/10.1063/5.0246262

Ali, A. A. H. (2023). Overview of the vital roles of macro minerals in the human body. *Journal of Trace Elements and Minerals*, *4*, 100076. https://doi.org/10.1016/j.jtemin.2023.100076

Aljobair, M. O. (2022). Effect of chia seed as egg replacer on quality, nutritional value, and sensory acceptability of sponge cake. *Journal of Food Quality*, *2022*(1), 9673074. https://doi.org/10.1155/2022/9673074

Alminger, M., Aura, A., Bohn, T., Dufour, C., El, S. N., Gomes, A., Karakaya, S., Martínez-Cuesta, M. C., McDougall, G. J., & Requena, T. (2014). *In vitro* models for studying secondary plant metabolite digestion and bioaccessibility. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, *13*(4), 413–436. https://doi.org/10.1111/1541-4337.12081

Amri, Z., Bhouri, A. M., Dhibi, M., Hammami, M., Hammami, S., & Mechri, B. (2024). Nutritional composition, lipid profile and stability, antioxidant activities and sensory evaluation of pasta enriched by linseed flour and linseed oil. *BMC Biotechnology*, *24*(1), 31. https://doi.org/10.1186/s12896-024-00841-w

Ansorena, D., Cartagena, L., & Astiasaran, I. (2022). A cake made with no animal origin ingredients: physical properties and nutritional and sensory quality. *Foods*, *12*(1), 54. https://doi.org/10.3390/foods12010054

Antunes, I. C., Bexiga, R., Pinto, C., Martins, L. L., Mourato, M., Pereira, G., Vieira, E., Delerue-Matos, C., & Quaresma, M. (2025). Mineral profile of cow milk and plant-based milk alternatives. *Journal of Dairy Science*, *108*(4), 3324–3333. https://doi.org/10.3168/jds.2024-25752

Anwar, D. A., Shehita, H. A., & Soliman, H. (2020). Development of eggless cake physical, nutritional and sensory attributes for vegetarians by using wholemeal chia (*Salvia hispanica* L) flour. *Middle East J Appl Sci*, *10*(2), 313–329. https://doi.org/10.36632/mejas/2020.10.2.30

Anyiam, P. N., Phongthai, S., Grossmann, L., Jung, Y. H., Sai-Ut, S., Onsaard, E., & Rawdkuen, S. (2025). Potential plant proteins for functional food ingredients: Composition, utilization and its challenges. *NFS Journal*, *38*, 100216. https://doi.org/10.1016/j.nfs.2025.100216

AOAC (2016a). Association of Official Analytical Chemists - *Official methods of analysis*. Official Method 930.15. Moisture in animal feed, AOAC International.

AOAC (2016b). Association of Official Analytical Chemists - *Official methods of analysis*. Official Method 992.15. Crude protein in meat and meat products including pet foods. AOAC International.

AOAC (2016c). Association of Official Analytical Chemists - *Official methods of analysis.* Official Method 991.43. Total, soluble and insoluble dietary fibre in foods. AOAC International.

Apak, R., Güçlü, K., Özyürek, M., & Karademir, S. E. (2004). Novel total antioxidant capacity index for dietary polyphenols and vitamins C and E, using their cupric ion reducing capability in the presence of neocuproine: CUPRAC method. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, *52*(26), 7970–7981. https://doi.org/10.1021/jf048741x

Aslan, M., & Bilgiçli, N. (2022). The comparison of lupin milk with soy milk as an alternative egg substitute for cake production. *Journal of Food Processing and Preservation*, *46*(5), e16572. https://doi.org/10.1111/jfpp.16572

Aslan, M., & Ertaş, N. (2020). Possibility of using 'chickpea aquafaba' as egg replacer in traditional cake formulation. *Harran Tarım ve Gıda Bilimleri Dergisi*, *24*(1), 1–8. https://doi.org/10.29050/harranziraat.569397

Aslan, M., & Ertaş, N. (2021). Foam drying of aquafaba: Optimization with mixture design. *Journal of Food Processing and Preservation*, *45*(3), e15185. https://doi.org/10.1111/jfpp.15185

Atalar, I. (2019). Functional kefir production from high pressure homogenized hazelnut milk. *LWT*, *107*, 256–263. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.03.013

Ates, E. G., Karsli, G. T., Ozcan, O. D., Ozvural, E. B., & Oztop, M. H. (2025). Foaming and emulsifying properties of aquafaba powders as affected by saponin and amino acid content. *LWT*, 117975. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2025.117975

Badia-Olmos, C., Laguna, L., Haros, C. M., & Tárrega, A. (2023). Techno-functional and rheological properties of alternative plant-based flours. *Foods*, *12*(7), 1411. https://doi.org/10.3390/foods12071411

Baixauli, R., Sanz, T., Salvador, A., & Fiszman, S. M. (2008). Muffins with resistant starch: Baking performance in relation to the rheological properties of the batter. *Journal of Cereal Science*, *47*(3), 502–509.

https://doi.org/10.1016/j.jcs.2007.06.015
Balakrishnan, G., & Schneider, R. G. (2022). The role of Amaranth, quinoa, and millets for the development of healthy, sustainable food products—A concise review. *Foods*, *11*(16), 2442. https://doi.org/10.3390/foods11162442
Barreca, D., Nabavi, S. M., Sureda, A., Rasekhian, M., Raciti, R., Silva, A. S., Annunziata, G., Arnone, A., Tenore, G. C., & Süntar, I. (2020). Almonds (*Prunus dulcis* Mill. DA webb): A source of nutrients and health-promoting compounds. *Nutrients*, *12*(3), 672. https://doi.org/10.3390/nu12030672
Bashmil, Y. M., Dunshea, F. R., Appels, R., & Suleria, H. A. R. (2024). Bioaccessibility of phenolic compounds resistant starch, and dietary fibers from Australian green banana during *in vitro* digestion and colonic fermentation. *Molecules*, *29*(7), 1535. https://doi.org/10.3390/molecules29071535
Bath, D. E., Shelke, K., & Hoseney, R. C. (1992). Fat replacers in high-ratio layer cakes. *Cereal Foods World*, *37*(7), 495–500.
Beegum, P. P. S., Nair, J. P., Manikantan, M. R., Pandiselvam, R., Shill, S., Neenu, S., & Hebbar, K. B. (2022). Effect of coconut milk, tender coconut and coconut sugar on the physico-chemical and sensory attributes in ice cream. *Journal of Food Science and Technology*, *59*(7), 2605–2616. https://doi.org/10.1007/s13197-021-05279-y
Bekiroglu, H., Goktas, H., Karaibrahim, D., Bozkurt, F., & Sagdic, O. (2022). Determination of rheological, melting and sensorial properties and volatile compounds of vegan ice cream produced with fresh and dried walnut milk. *International Journal of Gastronomy and Food Science*, *28*, 100521. https://doi.org/10.1016/j.ijgfs.2022.100521
Belorio, M., & Gómez, M. (2021). Psyllium: A useful functional ingredient in food systems. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, *62*(2), 527–538. https://doi.org/10.1080/10408398.2020.1822276
Bianchi, F., & Simonato, B. (2025). Pulses protein concentrates and isolates as stand-alone plant-based egg replacers: An explorative study of their functional properties and technological effect in pancakes. *Food and Bioprocess Technology*, 1–16. https://doi.org/10.1007/s11947-025-03810-z
Bieniek, A., & Buksa, K. (2024). The influence of oat β-glucans of different molar mass on the properties of gluten-free bread. *Molecules*, *29*(19), 4579. https://doi.org/10.3390/molecules29194579
Bon, L. I., Maksimovich, N. Y., & Burak, I. N. (2023). Amino acids that play an important role in the functioning of the nervous system: A review. *Clinical Trials and Clinical Research*, *2*(3). https://doi.org/10.31579/2834-5126/026
Boukid, F., & Gagaoua, M. (2022). Vegan egg: a future-proof food ingredient? *Foods*, *11*(2), 161. https://doi.org/10.3390/foods11020161
Bozdogan, N., Kumcuoglu, S., & Tavman, S. (2019). Investigation of the effects of using quinoa flour on gluten-free cake batters and cake properties. *Journal of Food Science and Technology*, *56*(2), 683–694. https://doi.org/10.1007/s13197-018-3523-1
Brosnan, J. T., & Brosnan, M. E. (2006). The sulfur-containing amino acids: an overview. *The Journal of Nutrition*, *136*(6), 1636S–1640S. https://doi.org/10.1093/jn/136.6.1636S
Buhl, T. F., Christensen, C. H., & Hammershøj, M. (2019). Aquafaba as an egg white substitute in food foams and emulsions: Protein composition and functional

behavior. *Food Hydrocolloids*, *96*, 354–364. https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2019.05.041

Burbano, J. J., Cabezas, D. M., & Correa, M. J. (2022). Gluten-free cakes with walnut flour: a technological, sensory, and microstructural approach. *International Journal of Food Science and Technology*, *57*(8), 4772–4781. https://doi.org/10.1111/ijfs.15591

Cabrita, M., Simões, S., Álvarez-Castillo, E., Castelo-Branco, D., Tasso, A., Figueira, D., Guerrero, A., & Raymundo, A. (2023). Development of innovative clean label emulsions stabilized by vegetable proteins. *International Journal of Food Science and Technology*, *58*(1), 406–422. https://doi.org/10.1111/ijfs.15963

Capanoglu, E., Kamiloglu, S., Cekic, S. D., Baskan, K. S., Avan, A. N., Uzunboy, S., & Apak, R. (2022). Antioxidant activity and capacity measurement. In *Plant antioxidants and health* (pp. 709–773). Springer.

Catalini, S., Rossi, B., Tortora, M., Foggi, P., Gessini, A., Masciovecchio, C., & Bruni, F. (2021). Hydrogen bonding and solvation of a proline-based peptide model in salt solutions. *Life*, *11*(8), 824. https://doi.org/10.3390/life11080824

Cekic, S. D., Başkan, K. S., Tütem, E., & Apak, R. (2009). Modified cupric reducing antioxidant capacity (CUPRAC) assay for measuring the antioxidant capacities of thiol-containing proteins in admixture with polyphenols. *Talanta*, 79(2), 344-351. https://doi.org/10.1016/j.talanta.2009.03.061

Ceylan, F. D., Adrar, N., Bolling, B. W., & Capanoglu, E. (2023). Valorisation of hazelnut by-products: current applications and future potential. *Biotechnology and Genetic Engineering Reviews*, *39*(2), 586–621. https://doi.org/10.1080/02648725.2022.2160920

Chen, Y., Zhang, Z., Chen, Y., Li, T., & Zhang, W. (2024). The role of fat content in coconut milk: Stability and digestive properties. *Food Chemistry*, *446*, 138900. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2024.138900

Chiş, M. S., Păucean, A., Man, S. M., Mureşan, V., Socaci, S. A., Pop, A., Stan, L., Rusu, B., & Muste, S. (2020). Textural and sensory features changes of gluten free muffins based on rice sourdough fermented with *Lactobacillus spicheri* DSM 15429. *Foods*, *9*(3), 363. https://doi.org/10.3390/foods9030363

Christaki, M., Verboven, P., Van Dyck, T., Nicolaï, B., Goos, P., & Claes, J. (2017). The predictive power of batter rheological properties on cake quality–The effect of pregelatinized flour, leavening acid type and mixing time. *Journal of Cereal Science*, *77*, 219–227. https://doi.org/10.1016/j.jcs.2017.07.001

Conte, R., Sepe, F., Margarucci, S., Costanzo, E., Petillo, O., Peluso, G., Marcolongo, L., & Calarco, A. (2025). Functional plant-based beverage fortified with hazelnut cuticle polyphenols: Antioxidant and phenolic content characterization. *Molecules*, *30*(3), 433. https://doi.org/10.3390/molecules30030433

Cotterill, O. J. (2017). *Egg Science and Technology*. CRC Press.

Crawford, K., Kerr, W., & Tyl, C. (2024). Effect of hydrocolloid addition on cake prepared with aquafaba as egg substitute. *International Journal of Food Science and Technology*, *59*(1), 552–559. https://doi.org/10.1111/ijfs.16492

Cui, X.-H., Chen, S.-J., Wang, Y., & Han, J.-R. (2013). Fermentation conditions of walnut milk beverage inoculated with kefir grains. *LWT-Food Science and Technology*, *50*(1), 349–352. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2012.07.043

Çelik, İ., Yılmaz, Y., Işık, F., & Üstün, Ö. (2007). Effect of soapwort extract on physical and sensory properties of sponge cakes and rheological properties of

sponge cake batters. *Food Chemistry*, *101*(3), 907–911. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2006.02.063

Dadalı, C., & Elmacı, Y. (2019). Reduction of sucrose by inhomogeneous distribution in cake formulation. *Journal of Food Measurement and Characterization*, *13*(4), 2563–2570. https://doi.org/10.1007/s11694-019-00176-7

Damodaran, S., & Parkin, K. L. (2017). Amino acids, peptides, and proteins. In *Fennema's food chemistry* (pp. 235–356). CRC press.

Davy, P., & Vuong, Q. V. (2022). Soy milk by-product: Its composition and utilisation. *Food Reviews International*, *38*(sup1), 147–169. https://doi.org/10.1080/87559129.2020.1855191

de Barros Miranda, B., Holanda, G. S., Raposo, A., da Costa Maynard, D., Botelho, R. B. A., Romão, B., de Oliveira, V. R., & Zandonadi, R. P. (2024). Chickpea aquafaba: a systematic review of the different processes for obtaining and their nutritional and technological characteristics. *Journal of Food Science and Technology*, *61*(8), 1439–1456. https://doi.org/10.1007/s13197-023-05920-y

de Kock, H. L., & Magano, N. N. (2020). Sensory tools for the development of gluten-free bakery foods. *Journal of Cereal Science*, *94*, 102990. https://doi.org/10.1016/j.jcs.2020.102990

de la Bastida, A. R., Peirotén, Á., Langa, S., Álvarez, I., Arqués, J. L., & Landete, J. M. (2021). Metabolism of flavonoids and lignans by lactobacilli and bifidobacteria strains improves the nutritional properties of flaxseed-enriched beverages. *Food Research International*, *147*, 110488. https://doi.org/10.1016/j.foodres.2021.110488

Desai, K. M., Naladala, S., & Anandharamakrishnan, C. (2018). Impact of wheat bran addition on the temperature-induced state transitions in dough during bread-baking process. *International Journal of Food Science and Technology*, *53*(2), 404–411. https://doi.org/10.1111/ijfs.13598

Deswal, A., Deora, N. S., & Mishra, H. N. (2014). Optimization of enzymatic production process of oat milk using response surface methodology. *Food and Bioprocess Technology*, *7*(2), 610–618. https://doi.org/10.1007/s11947-013-1144-2

Dhiman, A., Chopra, R., Singh, P. K., Homroy, S., Chand, M., & Talwar, B. (2024). Amelioration of nutritional properties of bakery fat using omega-3 fatty acid-rich edible oils: A review. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, *104*(6), 3175–3184. https://doi.org/10.1002/jsfa.13225

Dicks, L. M. T. (2024). How important are fatty acids in human health and can they be used in treating diseases? *Gut Microbes*, *16*(1), 2420765. https://doi.org/10.1080/19490976.2024.2420765

Diep, T. T., Yoo, M. J. Y., & Rush, E. (2022). Effect of in vitro gastrointestinal digestion on amino acids, polyphenols and antioxidant capacity of tamarillo yoghurts. *International Journal of Molecular Sciences*, 23(5), 2526. https://doi.org/10.3390/ijms23052526

Drabińska, N. (2022). The evaluation of amino acid profiles in gluten-free mini sponge cakes fortified with broccoli by-product. In *Separations*, *9*(3), 81. https://doi.org/10.3390/separations9030081

Du, H., Baek, I., Jang, Y., Said, N. S., & Lee, W. Y. (2025). Effects on physicochemical, nutritional, and quality attributes of fortified vegan muffins incorporated with hempseed as an alternative protein source. *Foods*, *14*(4), 601. https://doi.org/10.3390/foods14040601

Dyachenko, E. I., & Bel'skaya, L. V. (2023). The role of amino acids in non-enzymatic antioxidant mechanisms in cancer: A review. *Metabolites*, *14*(1), 28. https://doi.org/10.3390/metabo14010028

El-Menawy, R. K., Mohamed, D. M., Ismail, M. M., & Hassan, A. M. (2023). Optimal combination of cow and quinoa milk for manufacturing of functional fermented milk with high levels of antioxidant, essential amino acids and probiotics. Scientific Reports, 13(1), 20638. https://doi.org/10.1038/s41598-023-47839-6

Erem, E., Icyer, N. C., Tatlisu, N. B., Kilicli, M., Kaderoglu, G. H., & Toker, Ö. S. (2023). A new trend among plant-based food ingredients in food processing technology: Aquafaba. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, *63*(20), 4467–4484. https://doi.org/10.1080/10408398.2021.2002259

Erkoç, S., Özcan, İ., Özyiğit, E., Kumcuoğlu, S., & Tavman, Ş. (2021). Yumurta ikamesi olarak kullanilan çiya ve keten tohumu jelinin pankek hamuru reolojisi ve ürün özellikleri üzerine etkisinin incelenmesi. *Gıda*, *46*(6), 1397–1414. https://doi.org/10.15237/gida.GD21098

FAO (2003). Food and Agriculture Organization - Food energy: Methods of analysis and conversion factors. FAO Food and Nutrition.

Farooq, A., Hussain, S. Z., Bhat, T. A., Naseer, B., & Shafi, F. (2023). Walnut fruit: Impact of ethylene assisted hulling on in vitro antioxidant activity, polyphenols, PUFAs, amino acids and sensory attributes. *Food Chemistry*, *404*, 134763. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.134763

Fatah-Jahromi, S., Varidi, M. J., Varidi, M., & Nooshkam, M. (2024). Reduced fat and sugar cakes developed by protein/polysaccharide/licorice extract ternary gel-like foams. *LWT*, *194*, 115790. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2024.115790

Fortune Business Insights. (2025). *Cake market size, share & industry analysis report.* https://www.fortunebusinessinsights.com/cake-market-104327

Froiio, F., Cristiano, M. C., Mancuso, A., Iannone, M., & Paolino, D. (2020). Vegetable-milk-based yogurt-like structure: Rheological properties influenced by gluten-free carob seed flour. *Applied Sciences*, *10*(19), 6963. https://doi.org/10.3390/app10196963

Fuentes Choya, P., Combarros-Fuertes, P., Abarquero Camino, D., Renes Bañuelos, E., Prieto Gutiérrez, B., Tornadijo Rodríguez, M. E., & Fresno Baro, J. M. (2023). Study of the technological properties of *Pedrosillano* chickpea aquafaba and its application in the production of egg-free baked meringues. *Foods*, *12*(4), 902. https://doi.org/10.3390/foods12040902

Gallo, L. R. dos R., Assunção Botelho, R. B., Ginani, V. C., de Lacerda de Oliveira, L., Riquette, R. F. R., & Leandro, E. dos S. (2020). Chia (*Salvia hispanica* L.) gel as egg replacer in chocolate cakes: Applicability and microbial and sensory qualities after storage. *Journal of Culinary Science & Technology*, *18*(1), 29–39. https://doi.org/10.1080/15428052.2018.1502111

Garvey, E. C., O'Sullivan, M. G., Kerry, J. P., & Kilcawley, K. N. (2020). Factors influencing the sensory perception of reformulated baked confectionary products. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, *60*(7), 1160–1188. https://doi.org/10.1080/10408398.2018.1562419

Ghotra, B. S., Dyal, S. D., & Narine, S. S. (2002). Lipid shortenings: A review. *Food Research International*, *35*(10), 1015–1048. https://doi.org/10.1016/S0963-9969(02)00163-1

Giri, N. A., Gaikwad, P., Gaikwad, N. N., Manjunatha, N., Krishnakumar, T., Kad, V.,

Raigond, P., Suryavanshi, S., & Marathe, R. A. (2024). Development of fiber-enriched muffins using pomegranate peel powder and its effect on physico-chemical properties and shelf life of the muffins. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, *104*(4), 2346–2358. https://doi.org/10.1002/jsfa.13138

Gisslen, W. (2019). *Profesyonel aşçılık* (Ed. E. Denizci). Nobel Yaşam.

Global Market Insights. (2024*). Plant-based eggs market size – By product, by source, by form, by application, by distribution channel: Growth forecast, 2025–2034* (Report ID: GMI7233). https://www.gminsights.com/industry-analysis/plant-based-eggs-market

Godefroidt, T., Ooms, N., Pareyt, B., Brijs, K., & Delcour, J. A. (2019). Ingredient functionality during foam-type cake making: A review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, *18*(5), 1550–1562. https://doi.org/10.1111/1541-4337.12488

Gómez, M., Oliete, B., Rosell, C. M., Pando, V., & 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

Gonzalez, P. J., & Sörensen, P. M. (2020). Characterization of saponin foam from *Saponaria officinalis* for food applications. *Food Hydrocolloids*, *101*, 105541. https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2019.105541

Grainger, E. M., Jiang, K., Webb, M. Z., Kennedy, A. J., Chitchumroonchokchai, C., Riedl, K. M., Manubolu, M., & Clinton, S. K. (2024). Bioactive (Poly)phenol concentrations in plant-based milk alternatives in the US market. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, *72*(33), 18638–18648. https://doi.org/10.1021/acs.jafc.3c09063

Grand View Research. (2025). *Plant-based egg replacers market size, share & trends analysis report.* https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/plant-based-egg-replacers-market-report0

Grossi Bovi Karatay, G., Rebellato, A. P., Joy Steel, C., & Dupas Hubinger, M. (2022). Chickpea aquafaba-based emulsions as a fat replacer in pound cake: Impact on cake properties and sensory analysis. *Foods*, *11*(16), 2484. https://doi.org/10.3390/foods11162484

Guedes de Melo, B., Santos Fernandes, S., Domínguez Razo, A., Us Medina, U., & Segura Campos, M. R. (2022). Chia seeds as functional ingredient of healthy muffins. *Journal of Food Measurement and Characterization*, *16*(5), 4251–4261. https://doi.org/10.1007/s11694-022-01503-1

Guiné, R. P. F. (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

Gul, O., Saricaoglu, F. T., Mortas, M., Atalar, I., & Yazici, F. (2017). Effect of high pressure homogenization (HPH) on microstructure and rheological properties of hazelnut milk. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, *41*, 411–420. https://doi.org/10.1016/j.ifset.2017.05.002

Guo, Z., Deng, X., Ping, C., Li, X., Li, D., Wu, X., Xiao, X., & Kong, R. (2025). Quinoa: Nutritional and phytochemical value, beneficial effects, and future applications. *Applied Food Research*, 100766. https://doi.org/10.1016/j.afres.2025.100766

Günan, K. T., & Ömeroğlu, P. Y. (2025). Evaluation of plant-based milks in vegan muffins: Functional, structural, rheological and nutritional characterization. *Foods*,

14(23), 3989. https://doi.org/10.3390/foods14233989

Halm, J., Sahin, A. W., Nyhan, L., Zannini, E., & Arendt, E. K. (2024). Commercial egg replacers in pound cake systems: A comprehensive analysis of market trends and application. *Foods*, *13*(2), 292. https://doi.org/10.3390/foods13020292

Hargreaves, S. M., & Zandonadi, R. P. (2018). Flaxseed and chia seed gel on characteristics of gluten-free cake. *Journal of Culinary Science & Technology*, *16*(4), 378–388. https://doi.org/10.1080/15428052.2017.1394951

He, Y., Purdy, S. K., Tse, T. J., Tar'an, B., Meda, V., Reaney, M. J. T., & Mustafa, R. (2021). Standardization of aquafaba production and application in vegan mayonnaise analogs. *Foods*, *10*(9), 1978. https://doi.org/10.3390/foods10091978

Hedayati, A., Naseri, F., Nourozi, E., Hosseini, B., Honari, H., & Hemmaty, S. (2022). Response of *Saponaria officinalis* L. hairy roots to the application of TiO_2 nanoparticles in terms of production of valuable polyphenolic compounds and SO_6 protein. *Plant Physiology and Biochemistry*, *178*, 80–92. https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2022.03.001

Hedayati, S., & 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

Hedayati, S., Jafari, S. M., Babajafari, S., Niakousari, M., & Mazloomi, S. M. (2022). Different food hydrocolloids and biopolymers as egg replacers: A review of their influences on the batter and cake quality. *Food Hydrocolloids*, *128*, 107611. https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2022.107611

Heetesonne, I., Claus, E., De Leyn, I., Dewettinck, K., Camerlinck, M., Schouteten, J. J., & Van Bockstaele, F. (2024). Characterization of pulse-containing cakes using sensory evaluation and ınstrumental analysis. *Foods*, 13(22), 3575. https://doi.org/10.3390/foods13223575

Herkenhoff, M. E., De Medeiros, I. U. D., Garutti, L. H. G., Salgaço, M. K., Sivieri, K., & Saad, S. M. I. (2023). Cashew by-product as a functional substrate for the development of probiotic fermented milk. *Foods*, *12*(18), 3383. https://doi.org/10.3390/foods12183383

Hesso, N., Loisel, C., Chevallier, S., Marti, A., Le-Bail, P., Le-Bail, A., & Seetharaman, K. (2015). The role of ingredients on thermal and rheological properties of cake batters and the impact on microcake texture. *LWT-Food Science and Technology*, *63*(2), 1171–1178. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2015.04.041

Huang, Z., Stipkovits, L., Zheng, H., Serventi, L., & Brennan, C. S. (2019). Bovine milk fats and their replacers in baked goods: A review. *Foods*, *8*(9), 383. https://doi.org/10.3390/foods8090383

Inanlar, B., & Altay, F. (2024). Effects of egg on cake batter rheology and sponge cake texture. *Journal of Food Process Engineering*, *47*(11), e14765. https://doi.org/10.1111/jfpe.14765

Irondi, E. A., Aina, H. T., Imam, Y. T., Bankole, A. O., Anyiam, A. F., Elemosho, A. O., Kareem, B., & Adewumi, T. O. (2025). Plant-based milk substitutes: sources, production, and nutritional, nutraceutical and sensory qualities. *Frontiers in Food Science and Technology*, *5*, 1593870. https://doi.org/10.3389/frfst.2025.1593870

Isık, F., Ozgoren, E., & Sola, Y. (2022). Comparison of quality characteristics of muffins produced with einkorn, whole grain and white wheat flours. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, *28*(7), 1051–1061. https://doi.org/10.5505/pajes.2022.49107

ISO (2008). International Organization for Standardization. *Sensory analysis — General guidance for the design of test rooms*. (ISO 8589:2008).
ISO (2012). International Organization for Standardization. *Sensory analysis — General guidelines for the selection, training and monitoring of assessors*. (ISO 8586:2012).
ISO (2014a). International Organization for Standardization. *Animal and vegetable fats and oils—Gas chromatography of fatty acid methyl esters Part2: Preparation of methyl esters of fatty acids.* (ISO 12966-2:2014).
ISO (2014b). International Organization for Standardization. *Animal and vegetable fats and oils—Gas chromatography of fatty acid methyl esters, Part4: Capillary*. (ISO 12966-4:2014).
ISO (2014c). International Organization for Standardization. *Animal and vegetable fats and oils—Gas chromatography of fatty acid methyl esters—Part 1: Guidelines on modern gas chromatography of fatty acid methyl esters*. (ISO 12966-1: 2014).
ISO (2017). International Organization for Standardization. *Sensory analysis — Methodology — General guidance for conducting sensory studies.* (ISO 11136:2017).
ISO (2018). International Organization for Standardization. *Microbiology of food chain — Horizontal methods for surface sampling* (ISO 18593:2018).
Jakobek, L. (2015). Interactions of polyphenols with carbohydrates, lipids and proteins. *Food Chemistry*, *175*, 556–567. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.12.013
Jarpa-Parra, M., Wong, L., Wismer, W., Temelli, F., Han, J., Huang, W., Eckhart, E., Tian, Z., Shi, K., & Sun, T. (2017). Quality characteristics of angel food cake and muffin using lentil protein as egg/milk replacer. *International Journal of Food Science and Technology*, *52*(7), 1604–1613. https://doi.org/10.1111/ijfs.13433
Jeske, S., Zannini, E., & Arendt, E. K. (2017). Evaluation of physicochemical and glycaemic properties of commercial plant-based milk substitutes. *Plant Foods for Human Nutrition*, *72*(1), 26–33. https://doi.org/10.1007/s11130-016-0583-0
Johnson, A. J., Stevenson, J., Pettit, J., Jasthi, B., Byhre, T., & Harnack, L. (2025). Assessing the nutrient content of plant-based milk alternative products available in the United States. *Journal of the Academy of Nutrition and Dietetics*, *125*(4), 515–527. https://doi.org/10.1016/j.jand.2024.06.003
Kamiloglu, S., Tomas, M., Ozdal, T., & Capanoglu, E. (2021). Effect of food matrix on the content and bioavailability of flavonoids. *Trends in Food Science & Technology*, 117, 15-33. https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.10.030
Karaosmanoğlu, H. (2022). Lipid characteristics, bioactive properties, and mineral content in hazelnut grown under different cultivation systems. *Journal of Food Processing and Preservation*, *46*(7), e16717. https://doi.org/10.1111/jfpp.16717
Kavak, D. D., Yilmaz, B. A., & Akdeniz, B. (2025). Valorization of pear pomace in taro gluten-free muffins: Composition, texture, and sensory profile. *Foods*, 14(22), 3903. https://doi.org/10.3390/foods14223903
Karunasiri, A. N., Gunawardane, M., Senanayake, C. M., Jayathilaka, N., & Seneviratne, K. N. (2020). Antioxidant and nutritional properties of domestic and commercial coconut milk preparations. *International Journal of Food Science*, *2020*(1), 3489605. https://doi.org/10.1155/2020/3489605
Khakasa, E., Muyanja, C., Mugabi, R., Bugaud, C., Forestier-Chiron, N., Uwimana, B., Arinaitwe, I. K., & Nowakunda, K. (2024). Sensory characterization of the perceived quality of East African highland cooking bananas (matooke). *Journal of*

the Science of Food and Agriculture, *104*(8), 4907–4914. https://doi.org/10.1002/jsfa.12606

Kırbaş, Z., Kumcuoglu, S., & Tavman, S. (2019). Effects of apple, orange and carrot pomace powders on gluten-free batter rheology and cake properties. *Journal of Food Science and Technology*, *56*(2), 914–926. https://doi.org/10.1007/s13197-018-03554-z

Kilicli, M., Erol, K. F., Akdeniz, E., Toker, Ö. S., Törnük, F., & Bayram, M. (2025). Production of sorbet with persimmon using green pea aquafaba: Physicochemical characterization and bioaccessibility of bioactive compounds. *Journal of Food Science and Technology*, 1–9. https://doi.org/10.1007/s13197-025-06216-z

Kiss, A., Papp, V. A., Pál, A., Prokisch, J., Mirani, S., Toth, B. E., & Alshaal, T. (2025). Comparative study on antioxidant capacity of diverse food matrices: Applicability, suitability and inter-correlation of multiple assays to assess polyphenol and antioxidant status. *Antioxidants*, *14*(3), 317. https://doi.org/10.3390/antiox14030317

Kivirikko, K. I., Myllylä, R., & Pihlajaniemi, T. (2024). Hydroxylation of proline and lysine residues in collagens and other animal and plant proteins. In *Post-translational modifications of proteins* (pp. 1–51). CRC press.

Koç Alibaşoğlu, E., Acoğlu Çelik, B., Ceylan, F. D., Özoğlu, Ö., Bekar, E., Çapanoğlu, E., Tamer, C. E., Korukluoğlu, M., Çopur, Ö. U., & Yolci Ömeroğlu, P. (2024). Processing of Angelica (*Angelica sylvestris* L.) into a functional jam with addition of carob and cinnamon extracts: Evaluation of sensorial, physicochemical, and nutritional characteristics and in vitro bioaccessibility of phenolics. *Food Science & Nutrition*, *12*(11), 9353–9370. https://doi.org/10.1002/fsn3.4476

Koç, E., & Ömeroğlu, P. Y. (2019). Geleneksel anjelika (melek otu) reçelinin fizikokimyasal ve duyusal özellikleri. *Akademik Gıda*, *17*(4), 485–496. https://doi.org/10.24323/akademik-gida.667262

Konal, G., Dundar, A. N., Sahin, O. I., Parlak, M. E., & Saricaoglu, F. T. (2025). Characterization of cakes produced with different legume aquafaba. *International Journal of Gastronomy and Food Science*, *39*, 101076. https://doi.org/10.1016/j.ijgfs.2024.101076

Krause, S., Keller, S., Hashemi, A., Descharles, N., Bonazzi, C., & Rega, B. (2022). From flours to cakes: Reactivity potential of pulse ingredients to generate volatile compounds impacting the quality of processed foods. *Food Chemistry*, *371*, 131379. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.131379

Kumar, A., & Singh, N. (2024). Comparing gluten-free eggless muffins' viscoelastic, rheological, and textural properties after combining seven plant-based protein isolates with wheat, corn, and rice starches. *International Journal of Food Science and Technology*, *59*(12), 9096–9107. https://doi.org/10.1111/ijfs.17486

Kumaran, A. (2006). Antioxidant and free radical scavenging activity of an aqueous extract of *Coleus aromaticus*. *Food Chemistry*, *97*(1), 109–114. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2005.03.032

Kutlu, G., Yılmaz, S., & Karabulut, A. E. (2024). Development of a new vegan muffin formulation: Assessing its quality and sensory characteristics. *European Food Science and Engineering*, *5*(1), 26–34. https://doi.org/10.55147/efse.1481485

Labanca, R. A., Svelander, C., & Alminger, M. (2019). Effect of particle size of chia seeds on bioaccessibility of phenolic compounds during in vitro digestion. *Cogent Food & Agriculture*, *5*(1), 1694775.

https://doi.org/10.1080/23311932.2019.1694775
Lafarga, T., Villaró, S., Bobo, G., & Aguiló-Aguayo, I. (2019). Optimisation of the pH and boiling conditions needed to obtain improved foaming and emulsifying properties of chickpea aquafaba using a response surface methodology. *International Journal of Gastronomy and Food Science*, *18*, 100177. https://doi.org/10.1016/j.ijgfs.2019.100177
Leahu, A., Ropciuc, S., & Ghinea, C. (2022). Plant-based milks: Alternatives to the manufacture and characterization of ice cream. *Applied Sciences*, *12*(3), 1754. https://doi.org/10.3390/app12031754
Li, L., Lietz, G., & Seal, C. J. (2021). Phenolic, apparent antioxidant and nutritional composition of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) seeds. *International Journal of Food Science and Technology*, *56*(7), 3245–3254. https://doi.org/10.1111/ijfs.14962
Li, X., Wang, L., Tan, B., & Li, R. (2024). Effect of structural characteristics on the physicochemical properties and functional activities of dietary fiber: A review of structure-activity relationship. *International Journal of Biological Macromolecules*, *269*, 132214. https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2024.132214
Lima, J. R., Bruno, L. M., Wurlitzer, N. J., Sousa, P. H. M. de, & Holanda, S. A. de M. (2020). Cashew nut-based beverage: Development, characteristics and stability during refrigerated storage. *Food Science and Technology*. https://doi.org/10.1590/fst.33819
Lin, M., Tay, S. H., Yang, H., Yang, B., & Li, H. (2017). Development of eggless cakes suitable for lacto-vegetarians using isolated pea proteins. *Food Hydrocolloids*, *69*, 440–449. https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2017.03.014
Ling, Z.-N., Jiang, Y.-F., Ru, J.-N., Lu, J.-H., Ding, B., & Wu, J. (2023). Amino acid metabolism in health and disease. *Signal Transduction and Targeted Therapy*, *8*(1), 345. https://doi.org/10.1038/s41392-023-01569-3
Lippolis, T., Cofano, M., Caponio, G. R., De Nunzio, V., & Notarnicola, M. (2023). Bioaccessibility and bioavailability of diet polyphenols and their modulation of gut microbiota. *International Journal of Molecular Sciences*, *24*(4), 3813. https://doi.org/10.3390/ijms24043813
Liu, W., Pu, X., Sun, J., Shi, X., Cheng, W., & Wang, B. (2022). Effect of *Lactobacillus plantarum* on functional characteristics and flavor profile of fermented walnut milk. *LWT*, *160*, 113254. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2022.113254
Liu, Y., Huang, K., Zhang, Y., Cao, H., Luo, D., Yi, C., & Guan, X. (2023). Manufacture and characterization of a novel dairy-free quinoa yogurt fermented by modified commercial starter with *Weissella confusa*. *Food Chemistry: X*, *19*, 100823. https://doi.org/10.1016/j.fochx.2023.100823
Lu, Y., Zhao, J., Xin, Q., Yuan, R., Miao, Y., Yang, M., Mo, H., Chen, K., & Cong, W. (2024). Protective effects of oleic acid and polyphenols in extra virgin olive oil on cardiovascular diseases. *Food Science and Human Wellness*, *13*(2), 529–540. https://doi.org/10.26599/FSHW.2022.9250047
Madhavi, B., Asaithambi, N., Kumar, A., Maiti, P., Rai, D. C., & Duary, R. K. (2025). Impact of chickpea aquafaba-based emulsion on the physicochemical, nutritional, rheological and structural characteristics of little millet (*Panicum sumatrense* Roth.) flour cake. *Sustainable Food Technology*, *3*(1), 286–299. https://pubs.rsc.org/en/content/articlelanding/2025/fb/d4fb00293h
Mäkinen, O. E., Wanhalinna, V., Zannini, E., & Arendt, E. K. (2016). Foods for special

dietary needs: Non-dairy plant-based milk substitutes and fermented dairy-type products. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, *56*(3), 339–349. https://doi.org/10.1080/10408398.2012.761950

Mandalari, G., Vardakou, M., Faulks, R., Bisignano, C., Martorana, M., Smeriglio, A., & Trombetta, D. (2016). Food matrix effects of polyphenol bioaccessibility from almond skin during simulated human digestion. *Nutrients*, 8(9), 568. https://doi.org/10.3390/nu8090568

Manzoor, M. F., Ahmad, N., Aadil, R. M., Rahaman, A., Ahmed, Z., Rehman, A., Siddeeg, A., Zeng, X., & Manzoor, A. (2019). Impact of pulsed electric field on rheological, structural, and physicochemical properties of almond milk. *Journal of Food Process Engineering*, *42*(8), e13299. https://doi.org/10.1111/jfpe.13299

Market Research Reports. (2025). *Global plant-based food market: Industry size, share, trends, growth, and forecast 2025–2032*. Retrieved January 22, 2026, from https://www.mmrstatistics.com/reports/930054/global-plant-based-food-market

Martínez-Cervera, S., Salvador, A., & Sanz, T. (2015). Cellulose ether emulsions as fat replacers in muffins: Rheological, thermal and textural properties. LWT-Food Science and Technology, 63(2), 1083-1090. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2015.04.067

Matos, M. E., Sanz, T., & Rosell, C. M. (2014). Establishing the function of proteins on the rheological and quality properties of rice based gluten free muffins. *Food Hydrocolloids*, *35*, 150–158. https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2013.05.007

McClements, D. J. (2023). Modeling the rheological properties of plant-based foods: Soft matter physics principles. *Sustainable Food Proteins*, *1*(3), 101–132. https://doi.org/10.1002/sfp2.1015

McClements, D. J., & Grossmann, L. (2025). Plant-based eggs and egg products: A review of their composition, formation and properties. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 1–29. https://doi.org/10.1080/10408398.2025.2528755

Mefleh, M., Pasqualone, A., Caponio, F., & Faccia, M. (2022). Legumes as basic ingredients in the production of dairy-free cheese alternatives: A review. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, *102*(1), 8–18. https://doi.org/10.1002/jsfa.11502

Meng, C., Chen, Y., Wang, X., Chen, H., & Deng, Q. (2023). Effect of different temperatures on the storage stability of flaxseed milk. *Foods*, *12*(19), 3571. https://doi.org/10.3390/foods12193571

Meurer, M. C., de Souza, D., & Marczak, L. D. F. (2020). Effects of ultrasound on technological properties of chickpea cooking water (aquafaba). *Journal of Food Engineering*, *265*, 109688. https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2019.109688

Mine, Y., Guyonnet, V., Hatta, H., Nau, F., & Qiu, N. (2023). *Handbook of egg science and technology*. CRC Press. https://doi.org/10.1201/9781003254430

Minekus, M., Alminger, M., Alvito, P., Ballance, S., Bohn, T., Bourlieu, C., Carrière, F., Boutrou, R., Corredig, M., & Dupont, D. (2014). A standardised static in vitro digestion method suitable for food–an international consensus. *Food & Function*, *5*(6), 1113–1124. https://doi.org/10.1039/C3FO60702J

Mohammadi, A., Saberi, F., Rostami, O., Rousta, L. K., & Hashemi, H. (2024). Impact of fat profile on the rheological and structural characteristics of cup cake. *LWT*, *211*, 116922. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2024.116922

Moore, S. S., Costa, A., Pozza, M., Vamerali, T., Niero, G., Censi, S., & De Marchi, M. (2023). How animal milk and plant-based alternatives diverge in terms of fatty

acid, amino acid, and mineral composition. *npj Science of Food*, *7*(1), 50. https://doi.org/10.1038/s41538-023-00227-w

Moradi, P., Hojjatoleslamy, M., & Ahmadi, S. F. (2025). Effect of simultaneous use of fibers on the quality attributes of sponge cake by mixture design approach: Fibers simultaneous effect on the quality of cake. *Food Hydrocolloids for Health*, *7*, 100203. https://doi.org/10.1016/j.fhfh.2025.100203

Mordor Intelligence. (2025). *Plant-based milk market size, share & trends analysis.* https://www.mordorintelligence.com/industry-reports/plant-based-milk-market

Mordor Intelligence. (2025). *Vegan dessert market size, share & trends analysis.* https://www.mordorintelligence.com/industry-reports/vegan-dessert-market

Moura-Alves, M., Machado, C., Silva, J. A., & 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 and Technology*, 57(10), 6580-6590. https://doi.org/10.1111/ijfs.16001

Mu, J., Qi, Y., Gong, K., Brennan, M. A., Ma, Q., Wang, J., & Brennan, C. S. (2023). Effects of quinoa flour (*Chenopodium Quinoa* Willd) substitution on wheat flour characteristics. *Current Research in Food Science*, *7*, 100556. https://doi.org/10.1016/j.crfs.2023.100556

Mueed, A., Shibli, S., Korma, S. A., Madjirebaye, P., Esatbeyoglu, T., & Deng, Z. (2022). Flaxseed bioactive compounds: Chemical composition, functional properties, food applications and health benefits-related gut microbes. *Foods*, *11*(20), 3307. https://doi.org/10.3390/foods11203307

Munteanu, I. G., & Apetrei, C. (2021). Analytical methods used in determining antioxidant activity: A review. *International Journal of Molecular Sciences*, *22*(7), 3380. https://doi.org/10.3390/ijms22073380

Mustafa, R., & Reaney, M. J. T. (2020). Aquafaba, from food waste to a value-added product. *Food wastes and by-products: Nutraceutical and health potential*, 93–126. https://doi.org/10.1002/9781119534167.ch4

Mustafa, R., He, Y., Shim, Y. Y., & Reaney, M. J. T. (2018). Aquafaba, wastewater from chickpea canning, functions as an egg replacer in sponge cake. *International Journal of Food Science & Technology*, *53*(10), 2247–2255. https://doi.org/10.1111/ijfs.13813

Nassef, S. L., Hafez, H. H., & Aly, A. M. (2023). Maximizing the use of flaxseed in the production of vegan bakery products free of gluten, eggs, milk and low carbohydrates. *Assiut Journal of Agricultural Sciences*, *54*(1), 102–115. https://doi.org/10.21608/ajas.2023.176250.1201

Nemli, E., Ozkan, G., Gultekin Subasi, B., Cavdar, H., Lorenzo, J. M., Zhao, C., & Capanoglu, E. (2024). Interactions between proteins and phenolics: Effects of food processing on the content and digestibility of phenolic compounds. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, *104*(5), 2535–2550. https://doi.org/10.1002/jsfa.13275

Nguyen, T. M. N., & Tran, G. B. (2021). Application of chickpeas aquafaba with pre-treatment as egg replacer in cake production. *Chemical Engineering Transactions*, *89*, 7–12. https://doi.org/10.3303/CET2189002

Ni, Z.-J., Zhang, Y.-G., Chen, S.-X., Thakur, K., Wang, S., Zhang, J.-G., Shang, Y.-F., & Wei, Z.-J. (2022). Exploration of walnut components and their association with health effects. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, *62*(19), 5113–5129. https://doi.org/10.1080/10408398.2021.1881439

Nie, C., He, T., Zhang, W., Zhang, G., & Ma, X. (2018). Branched chain amino acids: Beyond nutrition metabolism. *International Journal of Molecular Sciences*, *19*(4), 954. https://doi.org/10.3390/ijms19040954

NMKL (1998). Nordic Committee on Food Analysis. NMKL No:160. Fat determination in foods. NMKL Publications.

NMKL (2005). Nordic Committee on Food Analysis. NMKL No:173. Ash determination in foods. NMKL Publications.

NMKL (2007). Nordic Committee on Food Analysis. NMKL No:186. Determination of trace elements by ICP-MS after pressure digestion. NMKL Publications.

Oral, O., Kavas, N., & Kavas, G. (2023). Almond milk-based yogurt: A new perspective for athlete nutrition. *Scientific Chronicles/Epistimonika Chronika*, *28*(2).

Ozgolet, M., Karasu, S., & Kasapoglu, M. Z. (2025). Development of gluten-free cakes using protein concentrate obtained from cold-pressed terebinth (*Pistacia terebinthus* L.) oil by-products. *Foods*, *14*(6), 1049. https://doi.org/10.3390/foods14061049

Ozgolet, M., Kasapoglu, M. Z., Avcı, E., & Karasu, S. (2024). Enhancing gluten-free muffins with milk thistle seed proteins: Evaluation of physicochemical, rheological, textural, and sensory characteristics. *Foods*, *13*(16), 2542. https://doi.org/10.3390/foods13162542

Özkan-Karabacak, A., Acoğlu-Çelik, B., Özdal, T., Yolci-Ömeroğlu, P., Çopur, Ö. U., Baştuğ-Koç, A., & Pandiselvam, R. (2023). Microwave-assisted hot air drying of orange snacks: Drying kinetics, thin layer modeling, quality attributes, and phenolic profiles. *Journal of Food Biochemistry*, *2023*(1), 6531838. https://doi.org/10.1155/2023/6531838

Pająk, P., Socha, R., Broniek, J., Królikowska, K., & Fortuna, T. (2019). Antioxidant properties, phenolic and mineral composition of germinated chia, golden flax, evening primrose, phacelia and fenugreek. *Food Chemistry*, *275*, 69–76. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.09.081

Pareyt, B., Finnie, S. M., Putseys, J. A., & Delcour, J. A. (2011). Lipids in bread making: Sources, interactions, and impact on bread quality. *Journal of Cereal Science*, *54*(3), 266–279. https://doi.org/10.1016/j.jcs.2011.08.011

Parhusip, A. J. N., Budiman, A. R., & Hendriko, A. (2024). Health beneficial and quality optimization of coconut milk yogurt with pineapple puree fortification by differentiating the fermentation time and the composition percentage of pineapple puree. *Food and Bioprocess Technology*, *17*(10), 3130–3148. https://doi.org/10.1007/s11947-024-03318-y

Parikh, M., Maddaford, T. G., Austria, J. A., Aliani, M., Netticadan, T., & Pierce, G. N. (2019). Dietary flaxseed as a strategy for improving human health. *Nutrients*, *11*(5), 1171. https://doi.org/10.3390/nu11051171

Paul, A. A., Kumar, S., Kumar, V., & Sharma, R. (2020). Milk analog: Plant based alternatives to conventional milk, production, potential and health concerns. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, *60*(18), 3005–3023. https://doi.org/10.1080/10408398.2019.1674243

Peh, F. Z. W., Zhao, L., Chia, Y. Y., Ng, C. K. Z., & Du, J. (2024). Texture improvement and *in vitro* digestion modulation of plant-based fish cake analogue by incorporating hydrocolloid blends. *Current Research in Food Science*, *8*, 100775. https://doi.org/10.1016/j.crfs.2024.100775

Plundrich, N. J., White, B. L., Dean, L. L., Davis, J. P., Foegeding, E. A., & Lila, M. A. (2015). Stability and immunogenicity of hypoallergenic peanut protein–polyphenol complexes during in vitro pepsin digestion. *Food & Function*, 6(7), 2145-2154. https://doi.org/10.1039/c5fo00162e

Pokuah, A. A., Atuna, R. A., Akabanda, F., & Amagloh, F. K. (2024). Enrichment of bread with soymilk using response surface methodology. *Food Chemistry Advances*, *4*, 100570. https://doi.org/10.1016/j.focha.2023.100570

Polmann, G., Badia, V., Danielski, R., Ferreira, S. R. S., & Block, J. M. (2023). Nuts and nut-based products: A meta-analysis from intake health benefits and functional characteristics from recovered constituents. *Food Reviews International*, *39*(8), 5021–5047. https://doi.org/10.1080/87559129.2022.2045495

Poore, J., & Nemecek, T. (2018). Reducing food's environmental impacts through producers and consumers. *Science*, *360*(6392), 987–992. https://doi.org/10.1126/science.aaq0216

Pucci, M., Akıllıoğlu, H. G., Bevilacqua, M., Abate, G., & Lund, M. N. (2024). Investigation of Maillard reaction products in plant-based milk alternatives. *Food Research International*, *198*, 115418. https://doi.org/10.1016/j.foodres.2024.115418

Puglisi, M. J., & Fernandez, M. L. (2022). The health benefits of egg protein. *Nutrients*, *14*(14), 2904. https://doi.org/10.3390/nu14142904

Puligundla, P., & Lim, S. (2022). A review of extraction techniques and food applications of flaxseed mucilage. *Foods*, *11*(12), 1677. https://doi.org/10.3390/foods11121677

Putri, S. F., Evanuarini, H., & Rahayu, P. P. (2025). Evaluation of physico-chemical characteristics of sponge cake with liquid egg yolk. *Asian Food Science Journal*, *24*(1), 41–47. https://doi.org/10.9734/afsj/2025/v24i1766

Pycarelle, S. C., Bosmans, G. M., Nys, H., Brijs, K., & Delcour, J. A. (2020). Stabilization of the air-liquid interface in sponge cake batter by surface-active proteins and lipids: A foaming protocol based approach. *Food Hydrocolloids*, *101*, 105548. https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2019.105548

Rahmati, N. F., & 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

Raikos, V., Hayes, H., & Ni, H. (2020). Aquafaba from commercially canned chickpeas as potential egg replacer for the development of vegan mayonnaise: Recipe optimisation and storage stability. *International Journal of Food Science & Technology*, *55*(5), 1935–1942. https://doi.org/10.1111/ijfs.14427

Ranjha, M. M. A. N., Irfan, S., Nadeem, M., & Mahmood, S. (2022). A comprehensive review on nutritional value, medicinal uses, and processing of banana. *Food Reviews International*, *38*(2), 199–225. https://doi.org/10.1080/87559129.2020.1725890

Raszap Skorbiansky, S., Saavoss, M., & Stewart, H. (2022). Cow's milk still leads in the United States: The case of cow's, almond, and soy milk. *Agricultural Economics*, *53*(2), 204–214. https://doi.org/10.1111/agec.12700

Razi, S. M., Fahim, H., Amirabadi, S., & Rashidinejad, A. (2023). An overview of the functional properties of egg white proteins and their application in the food industry. *Food Hydrocolloids*, *135*, 108183. https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2022.108183

Reyes-Jurado, F., Soto-Reyes, N., Dávila-Rodríguez, M., Lorenzo-Leal, A. C., Jiménez-Munguía, M. T., Mani-López, E., & 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

Risk, A. E., Mohamed, Z. E.-O. M., Othman, D. B., & El-kholany, E. A. (2023). Influence of psyllium, mustard, and flax seeds water extracts as fat replacers on cake quality and hyperlipidemic rats. *Food Technology Research Journal*, *2*(3), 37–54. https://doi.org/10.21608/ftrj.2023.327754

Rocchetti, G., Gregorio, R. P., Lorenzo, J. M., Barba, F. J., Oliveira, P. G., Prieto, M. A., Simal-Gandara, J., Mosele, J. I., Motilva, M., & Tomas, M. (2022). Functional implications of bound phenolic compounds and phenolics–food interaction: A review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, *21*(2), 811–842. https://doi.org/10.1111/1541-4337.12921

Santiago, A., Ryland, D., Cui, S., Blewett, H., & Aliani, M. (2019). Effect of milled flaxseed and storage conditions on sensory properties and selected bioactive compounds in banana and cinnamon muffins used in a clinical trial. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, *99*(2), 831–843. https://doi.org/10.1002/jsfa.9253

Sedat Velioglu, Y., Ekici, L., & Poyrazoglu, E. S. (2006). Phenolic composition of European cranberrybush (*Viburnum opulus* L.) berries and astringency removal of its commercial juice. *International Journal of Food Science and Technology*, *41*(9), 1011–1015. https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2006.01142.x

Segundo, C., Román, L., Lobo, M., Martinez, M. M., & Gómez, M. (2017). Ripe banana flour as a source of antioxidants in layer and sponge cakes. *Plant Foods for Human Nutrition*, *72*(4), 365–371. https://doi.org/10.1007/s11130-017-0630-5

Seranthian, K., Datta, A., & Clanton, A. (2024). Ingredient functionality in batter-type cake baking: Coupled multiphase poro-hygro-viscoelastic model. *Journal of Food Engineering*, *370*, 111867. https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2023.111867

Sethi, S., Tyagi, S. K., & Anurag, R. K. (2016). Plant-based milk alternatives an emerging segment of functional beverages: A review. *Journal of Food Science and Technology*, *53*(9), 3408–3423. https://doi.org/10.1007/s13197-016-2328-3

Shahada, C., Morya, S., & Awuchi, C. G. (2024). A narrative review on nutraceutical, food and industrial applications of flaxseed (*Linum usitatissimum*. L). *Cogent Food & Agriculture*, *10*(1), 2306017. https://doi.org/10.1080/23311932.2024.2306017

Shao, T., Ma, X., Zhang, Y., Wu, R., Wang, X., Gu, R., & Chen, X. (2023). Physical and nutritional properties of Chinese steamed bun (mantou) made with fermented soy milk. *LWT*, *183*, 114849. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2023.114849

Sharma, M., & Saini, C. S. (2022). Amino acid composition, nutritional profiling, mineral content and physicochemical properties of protein isolate from flaxseeds (*Linum usitatissimum*). *Journal of Food Measurement and Characterization*, *16*(1), 829–839. https://doi.org/10.1007/s11694-021-01221-0

Sharma, P., Sharma, D., Kaur, S., & Borah, A. (2021). Optimization of flaxseed milk fermentation for the production of functional peptides and estimation of their bioactivities. *Food Science and Technology International*, *27*(7), 585–597. https://doi.org/10.1177/1082013220973815

Sharma, V., Premi, M., Bansal, V., Bhardwaj, A., Tripathi, N., & Kumar, N. (2024). Effect of Flaxseed gel as an egg substitute on the functional properties of cake: A comparative analysis. *J Food Chem Nanotechnol*, *10*(S1), S1–S6. https://doi.org/10.17756/jfcn.2024-s1-001

Shim, Y. Y., He, Y., Kim, J. H., Cho, J. Y., Meda, V., Hong, W. S., Shin, W.-S., Kang, S. J., & Reaney, M. J. T. (2021). Aquafaba from Korean soybean I: A functional vegan food additive. *Foods*, *10*(10), 2433. https://doi.org/10.3390/foods10102433

Shukla, D., Tewari, B. N., Trivedi, S. P., Dwivedi, S., Kumar, V., & Tiwari, V. (2024). Quality and functional attributes of muffins with incorporation of fruit, vegetable, and grain substitutes: A review. *Journal of Applied and Natural Science*, *16*(1), 344. https://doi.org/10.31018/jans.v16i1.5330

Silva, P. G., Kalschne, D. L., Salvati, D., Bona, E., & Rodrigues, A. C. (2022). Aquafaba powder, lentil protein and citric acid as egg replacer in gluten-free cake: A model approach. *Applied Food Research*, *2*(2), 100188. https://doi.org/10.1016/j.afres.2022.100188

Silva-Paz, R. J., Avilés Pérez, H. A., Rivera-Ashqui, T. A., & Apaza-Humerez, C. R. (2025). Comparison of rapid descriptive sensory methods applied to consumers in the evaluation of muffins. *Foods*, 14(16), 2898. https://doi.org/10.3390/foods14162898

Singla, A., Gupta, O. P., Sagwal, V., Kumar, A., Patwa, N., Mohan, N., Ankush, Kumar, D., Vir, O., & Singh, J. (2024). Beta-glucan as a soluble dietary fiber source: Origins, biosynthesis, extraction, purification, structural characteristics, bioavailability, biofunctional attributes, industrial utilization, and global trade. *Nutrients*, *16*(6), 900. https://doi.org/10.3390/nu16060900

Srivastava, Y., & Semwal, A. D. (2015). Effect of virgin coconut meal (VCM) on the rheological, micro-structure and baking properties of cake and batter. *Journal of Food Science and Technology*, *52*(12), 8122–8130. https://doi.org/10.1007/s13197-015-1966-1

Stantiall, S. E., Dale, K. J., Calizo, F. S., & Serventi, L. (2018). Application of pulses cooking water as functional ingredients: The foaming and gelling abilities. *European Food Research and Technology*, *244*(1), 97–104. https://doi.org/10.1007/s00217-017-2943-x

Stone, H., Bleibaum, R. N., & Thomas, H. A. (2020). *Sensory evaluation practices*. Academic press. https://doi.org/10.1016/C2017-0-03038-0

Sulaiman, S. F., Yusoff, N. A. M., Eldeen, I. M., Seow, E. M., Sajak, A. A. B., & Ooi, K. L. (2011). Correlation between total phenolic and mineral contents with antioxidant activity of eight Malaysian bananas (*Musa* sp.). *Journal of Food Composition and Analysis*, *24*(1), 1–10. https://doi.org/10.1016/j.jfca.2010.04.005

Sun, Z., Yang, Y., Zhang, X., Mourad, F. K., Jin, H., Shu, D., Wang, Z., & Cai, Z. (2023). Effect of egg yolk lipoproteins on foaming properties and interfacial behavior of egg white: Insights into implications for aerated food production. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, *679*, 132558. https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2023.132558

Süfer, Ö., Kumcuoğlu, S., & Tavman, Ş. (2016). Kek ve diğer unlu mamüllerin fırında pişirilmesi sırasında ısı ve kütle transferinin modellenmesi ve hesaplamalı akışkanlar dinamiği HAD uygulaması. *Akademik Gıda*, *14*(1), 61–66.

Şen, L., & Okur, S. (2023). Effect of hazelnut type, hydrocolloid concentrations and ultrasound applications on physicochemical and sensory characteristics of hazelnut-based milks. *Food Chemistry*, *402*, 134288. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.134288

Tabilo-Munizaga, G., & Barbosa-Cánovas, G. V. (2005). Rheology for the food industry. *Journal of Food Engineering*, *67*(1–2), 147–156.

https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2004.05.062
Tan, G., Ozkan, G., & Aydin, E. (2025). Effect of Aquafaba and almond milk on the quality of gluten-free vegan pancakes: Nutritional and sensory evaluation. *Plant Foods for Human Nutrition*, *80*(1), 1–7. https://doi.org/10.1007/s11130-025-01311-0
Tang, T., Gao, Q., Li, J., Gu, L., Chang, C., Su, Y., & Yang, Y. (2025). Effect of egg yolk component and its enzymatic hydrolysate on the flavor and texture of walnut cake. *Food Chemistry*, 145130. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2025.145130
Tang, Y., Liu, Y., Zhang, Y., Cao, Y., Song, P., Hou, L., & Peng, L. (2024). A comparative analysis of the nutrient and phytochemical richness among different varieties of quinoa in China. *Food Science & Nutrition*, *12*(6), 4473–4485. https://doi.org/10.1002/fsn3.4113
Teeta, S., Sarobol, M., Pharanat, W., Muangtha, N., & Poratoso, Y. (2023). Effects of using green banana flour as a substitute for wheat flour on the production of chiffon cakes. *Food Agricultural Sciences and Technology*, *9*(2), 66–78.
TGK (2025). Türk Gıda Kodeksi Mikrobiyolojik Kriterler Yönetmeliği. Türk Gıda Kodeksi (TGK) yönetmeliği. Tarım ve Orman Bakanlığı, Resmî Gazete. 13 Şubat 2025. Sayı: 32812. https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2025/02/20250213-1.htm
Toledo-Merma, P. R., Arias-Santé, M. F., Rincón-Cervera, M. Á., Porras, O., Bridi, R., Rhein, S., Sánchez-Contreras, M., Hernandez-Pino, P., Tobar, N., & Puente-Díaz, L. (2024). Phenolic fractions from walnut milk residue: Antioxidant activity and cytotoxic potential. *Plants*, *13*(24), 3473. https://doi.org/10.3390/plants13243473
Topaloğlu Günan, K., & Yolci Ömeroğlu, P. (2025). Evaluation of plant-based egg substitutes in vegan muffins: Functional, structural, and nutritional characterization. *Foods*, *14*(17), 3012. https://doi.org/10.3390/foods14173012
Topkaya, C., & Isik, F. (2019). Effects of pomegranate peel supplementation on chemical, physical, and nutritional properties of muffin cakes. *Journal of Food Processing and Preservation*, *43*(6), e13868. https://doi.org/10.1111/jfpp.13868
Troshchynska, Y., Bleha, R., Synytsya, A., & Štětina, J. (2022). Chemical composition and rheological properties of seed mucilages of various yellow-and brown-seeded flax (*Linum usitatissimum* L.) cultivars. *Polymers*, *14*(10), 2040. https://doi.org/10.3390/polym14102040
Tsuji, A., & Koyanagi, T. (2025). Significant contribution of amino acids to antioxidant capacity of Japanese rice wine (sake). *Journal of the Science of Food and Agriculture*, *105*(1), 227–234. https://doi.org/10.1002/jsfa.13821
Tulashie, S. K., Amenakpor, J., Atisey, S., Odai, R., & Akpari, E. E. A. (2022). Production of coconut milk: A sustainable alternative plant-based milk. *Case Studies in Chemical and Environmental Engineering*, *6*, 100206. https://doi.org/10.1016/j.cscee.2022.100206
Tuncel, N. Y., Andaç, A. E., Kaya, H. P., Korkmaz, F., & Tuncel, N. B. (2024). The effect of different pre-treatments on unformulated pulse-based milk analogs: Physicochemical properties and consumer acceptance. *Journal of Food Science and Technology*, *61*(2), 268–278. https://doi.org/10.1007/s13197-023-05836-7
Ureta, M. M., Olivera, D. F., & Salvadori, V. O. (2014). Quality attributes of muffins: Effect of baking operative conditions. *Food and Bioprocess Technology*, *7*(2), 463–470. https://doi.org/10.1007/s11947-012-1047-7
Vallath, A., Shanmugam, A., & Rawson, A. (2022). Prospects of future pulse milk

variants from other healthier pulses-As an alternative to soy milk. *Trends in Food Science & Technology*, *124*, 51–62. https://doi.org/10.1016/j.tifs.2022.03.028

Viana, A., Ethur, E. M., de Freitas, E. M., & Hoehne, L. (2023). Chicken eggs substitute using vegetable origin− A review. *Food and Bioprocess Technology*, *16*(8), 1652–1667. https://doi.org/10.1007/s11947-023-02999-1

Walther, B., Guggisberg, D., Badertscher, R., Egger, L., Portmann, R., Dubois, S., Haldimann, M., Kopf-Bolanz, K., Rhyn, P., & Zoller, O. (2022). Comparison of nutritional composition between plant-based drinks and cow's milk. *Frontiers in Nutrition*, *9*, 988707. https://doi.org/10.3389/fnut.2022.988707

Wei, Q., Zhong, X., Haruna, M. H., Yanqiong, C., & Fang, T. (2025). Quality characteristics of quinoa milk processed using different thermal treatment methods. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 104254. https://doi.org/10.1016/j.ifset.2025.104254

WHO (2012). World Health Organization. Potassium intake for adults and children. Geneva, Switzerland, 1–52.

Wirkijowska, A., Teterycz, D., & Zarzycki, P. (2025). The impact of nut-based plant beverages on wheat bread quality: A study of almond, hazelnut, and walnut beverages. *Applied Sciences*, *15*(16), 8821. https://doi.org/10.3390/app15168821

Wojciechowicz-Budzisz, A., Pejcz, E., Spychaj, R., & Harasym, J. (2023). Mixed psyllium fiber improves the quality, nutritional value, polyphenols and antioxidant activity of rye bread. *Foods*, *12*(19), 3534. https://doi.org/10.3390/foods12193534

Wojtunik-Kulesza, K., Oniszczuk, A., Oniszczuk, T., Combrzyński, M., Nowakowska, D., & Matwijczuk, A. (2020). Influence of *in vitro* digestion on composition, bioaccessibility and antioxidant activity of food polyphenols—A non-systematic review. *Nutrients*, *12*(5), 1401. https://doi.org/10.3390/nu12051401

Wu, G., Meininger, C. J., McNeal, C. J., Bazer, F. W., & Rhoads, J. M. (2021). Role of L-arginine in nitric oxide synthesis and health in humans. In *Amino acids in nutrition and health* (pp. 167–187). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-030-74180-8_10

Xie, X., Lin, M., Xiao, G., Liu, H., Wang, F., Liu, D., Ma, L., Wang, Q., & Li, Z. (2024). Phenolic amides (avenanthramides) in oats–an update review. *Bioengineered*, *15*(1), 2305029. https://doi.org/10.1080/21655979.2024.2305029

Xiong, X., Wang, W., Bi, S., & Liu, Y. (2025). Application of legumes in plant-based milk alternatives: A review of limitations and solutions. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, *65*(17), 3348–3364. https://doi.org/10.1080/10408398.2024.2365353

Yadav, D. N., Bansal, S., Jaiswal, A. K., & Singh, R. (2017). Plant based dairy analogues: An emerging food. *Agricultural Research & Technology: Open Access Journal*, *10*(2), 1–4. https://doi.org/10.19080/ARTOAJ.2017.10.555781

Yazici, G. N., & Ozer, M. S. (2021). A review of egg replacement in cake production: Effects on batter and cake properties. *Trends in Food Science & Technology*, *111*, 346–359. https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.02.071

Yazici, G. N., Taspinar, T., & Ozer, M. S. (2022). Aquafaba: A multifunctional ingredient in food production. *Biology and Life Sciences Forum*, *18*(1), 24. https://doi.org/10.3390/Foods2022-13004

Yazici, G. N., Taspinar, T., Binokay, H., Agcam, E., Agirman, B., & Ozer, M. S. (2025). Assessment of physicochemical properties and staling characteristics of eggless gluten-free cakes with aquafaba. *Journal of Food Measurement and*

Characterization, *19*(4), 2557–2573. https://doi.org/10.1007/s11694-025-03131-x

Yazici, G. N., Taspinar, T., Binokay, H., Dagsuyu, C., Kokangul, A., & Ozer, M. S. (2023). Investigating the potential of using aquafaba in eggless gluten-free cake production by multicriteria decision-making approach. *Journal of Food Measurement and Characterization*, *17*(6), 5759–5776. https://doi.org/10.1007/s11694-023-02077-2

Yeganeh, P., Emamifar, A., Karami, M., & Salehi, F. (2024). Investigation on replacing egg with soy flour and psyllium seed gum in gluten-free rice cake. *Journal of Food Science and Technology (Iran)*, *20*(143), 62–77. https://doi.org/10.22034/FSCT.20.143.62

Yiasmin, M. N., Al Azad, S., Easdani, M., Islam, M. S., Hussain, M., Cao, W., Chen, N., Uriho, A., Asaduzzaman, M., & Liu, C. (2025). The state-of-the-art on exploring polysaccharide-protein interactions and its mechanisms, stability, and their role in food systems. *Food Reviews International*, 1–36. https://doi.org/10.1080/87559129.2025.2482150

Yue, Y., Wang, C., Chen, Y., Zheng, M., Zhang, Y., Deng, Q., & Zhou, Q. (2024). Aroma characteristics of flaxseed milk via GC–MS-O and odor activity value calculation: Imparts and selection of different flaxseed varieties. *Food Chemistry*, *432*, 137095. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2023.137095

Zhang, H., & Li, R. (2024). Effects of quinoa on cardiovascular disease and diabetes: A review. *Frontiers in Nutrition*, *11*, 1470834. https://doi.org/10.3389/fnut.2024.1470834

Zhang, J., Liu, Y., Wang, P., Zhao, Y., Zhu, Y., & Xiao, X. (2025). The effect of protein–starch interaction on the structure and properties of starch, and its application in flour products. *Foods*, *14*(5), 778. https://doi.org/10.3390/foods14050778

Zhang, S., Chen, Y., McClements, D. J., Hou, T., Geng, F., Chen, P., Chen, H., Xie, B., Sun, Z., & Tang, H. (2023). Composition, processing, and quality control of whole flaxseed products used to fortify foods. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, *22*(1), 587–614. https://doi.org/10.1111/1541-4337.13086

Zhao, J., Bhandari, B., Gaiani, C., & Prakash, S. (2021). Physicochemical and microstructural properties of fermentation-induced almond emulsion-filled gels with varying concentrations of protein, fat and sugar contents. *Current Research in Food Science*, *4*, 577–587. https://doi.org/10.1016/j.crfs.2021.08.007

Zhao, Y., He, W., Zhao, S., Jiao, T., Hu, H., Li, J., Zhang, L., & Zang, J. (2023). Advanced insights into walnut protein: structure, physiochemical properties and applications. *Foods*, *12*(19), 3603. https://doi.org/10.3390/foods12193603

Zhu, Y., Zhang, J., Hua, Y., Li, Y., Zhang, Y., Yu, X., Shen, R., & Yang, Y. (2025). The application potential of heat-moisture treated whole black highland barley flour in muffin production. *LWT*, 118694. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2025.118694

Zielińska, E., Pankiewicz, U., & Sujka, M. (2021). Nutritional, physiochemical, and biological value of muffins enriched with edible insects flour. *Antioxidants*, *10*(7), 1122. https://doi.org/10.3390/antiox10071122

EKLER

EK 1 Farklı Yumurta İkameleri ile Üretilen Muffin Örneklerinin Amino Asit Kromatogramları

EK 2 Farklı Süt İkameleri ile Üretilen Muffin Örneklerinin Amino Asit Kromatogramları

EK 3 Duyusal Panel Formu

EK 4 Etik Kurul Onayı

EK 5 Nicel Tanımlayıcı Duyusal Analiz (QDA) – Yumurta İkameleri ile Üretilen Muffinler İçin

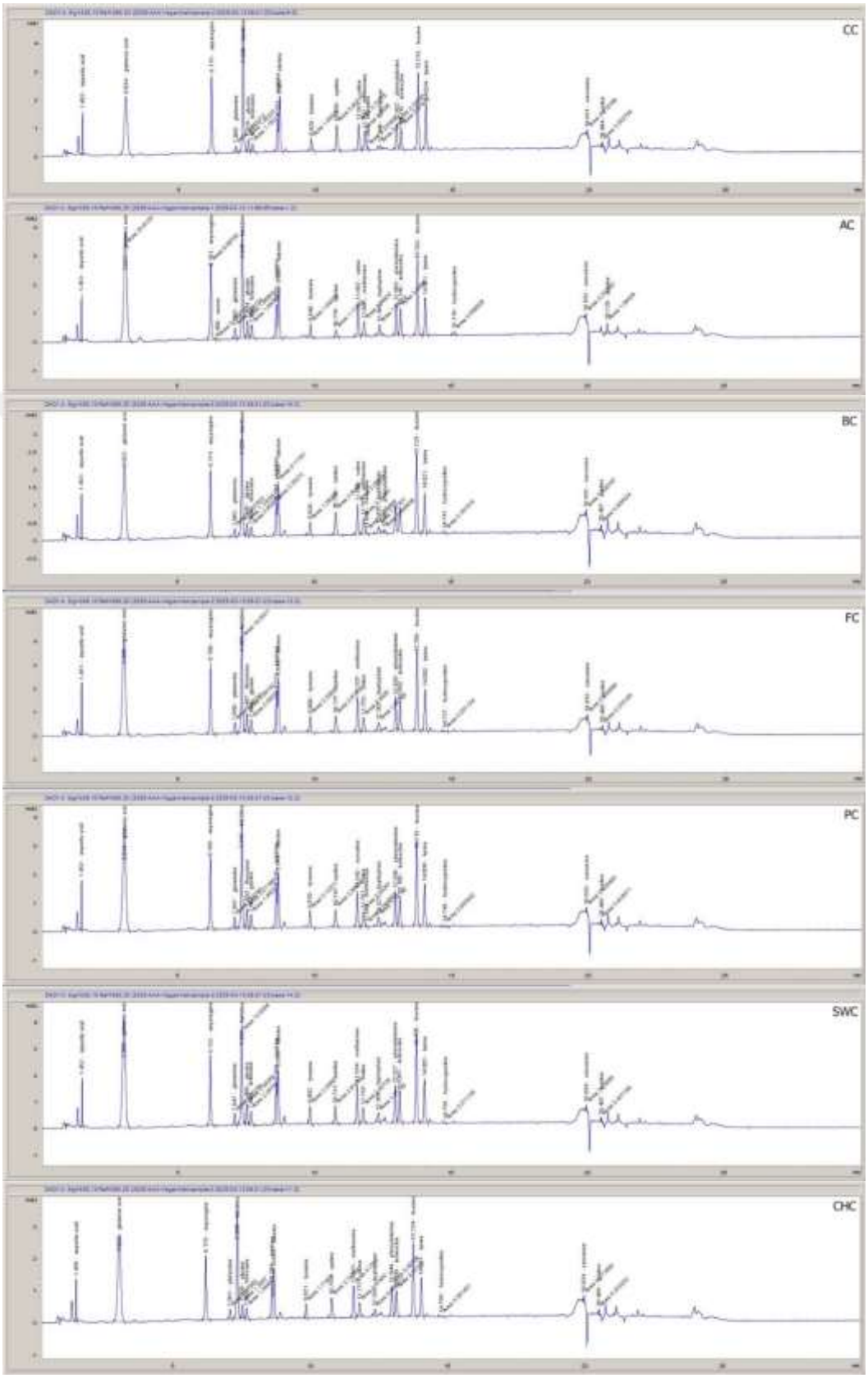
EK 6 Nicel Tanımlayıcı Duyusal Analiz (QDA) – Süt İkameleri ile Üretilen Muffinler İçin

EK 7 Farklı Süt İkameleri ile Üretilen Muffin Örneklerinin Yağ Asidi Kromatogramları

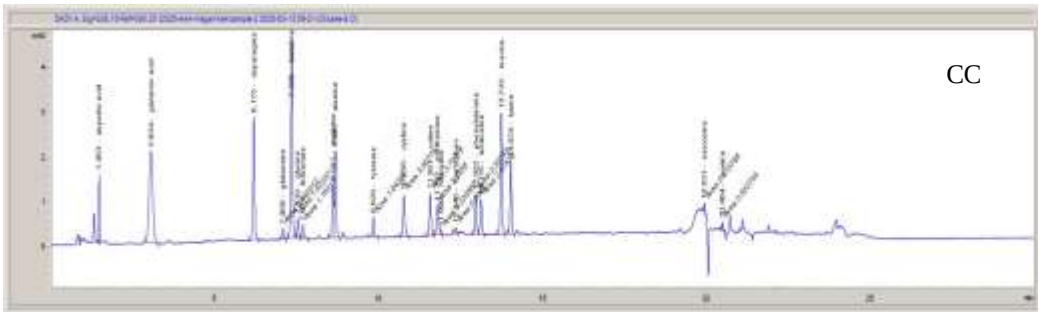
EK 8 Farklı Yumurta İkameleri ile Üretilen Muffin Örneklerinde İlk Yedi Temel Bileşenin Açıkladığı Varyans Oranı

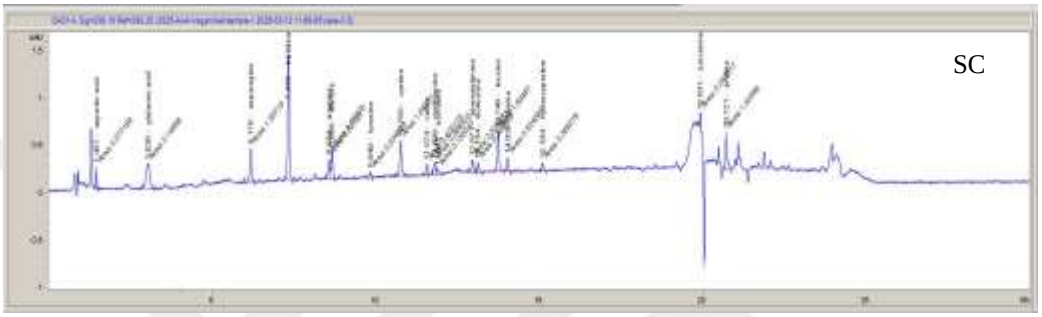
EK 9 Farklı Süt İkameleri ile Üretilen Muffin Örneklerinde İlk Yedi Temel Bileşenin Açıkladığı Varyans Oranı

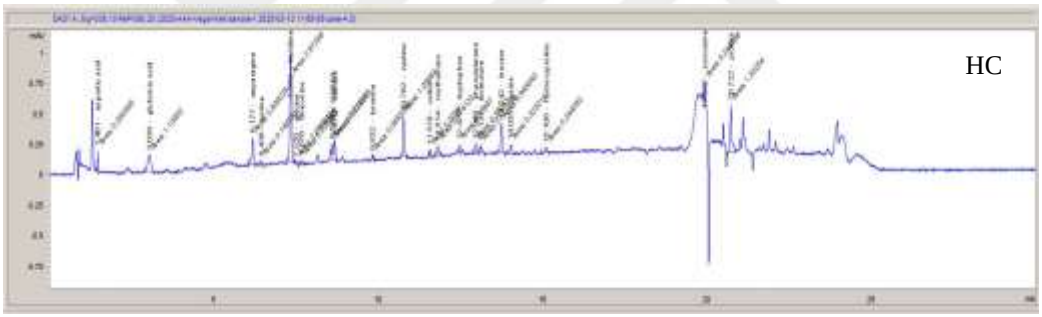
EK 1 Farklı Yumurta İkameleri ile Üretilen Muffin Örneklerinin Amino Asit Kromatogramları

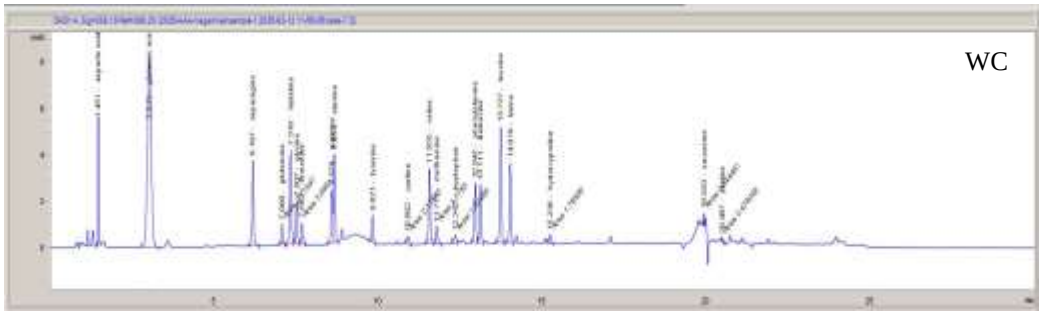


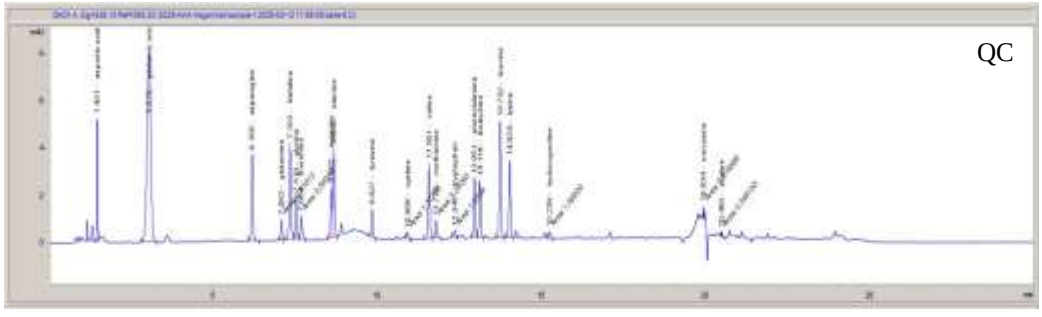
EK 2 Farklı Süt İkameleri ile Üretilen Muffin Örneklerinin Amino Asit Kromatogramları



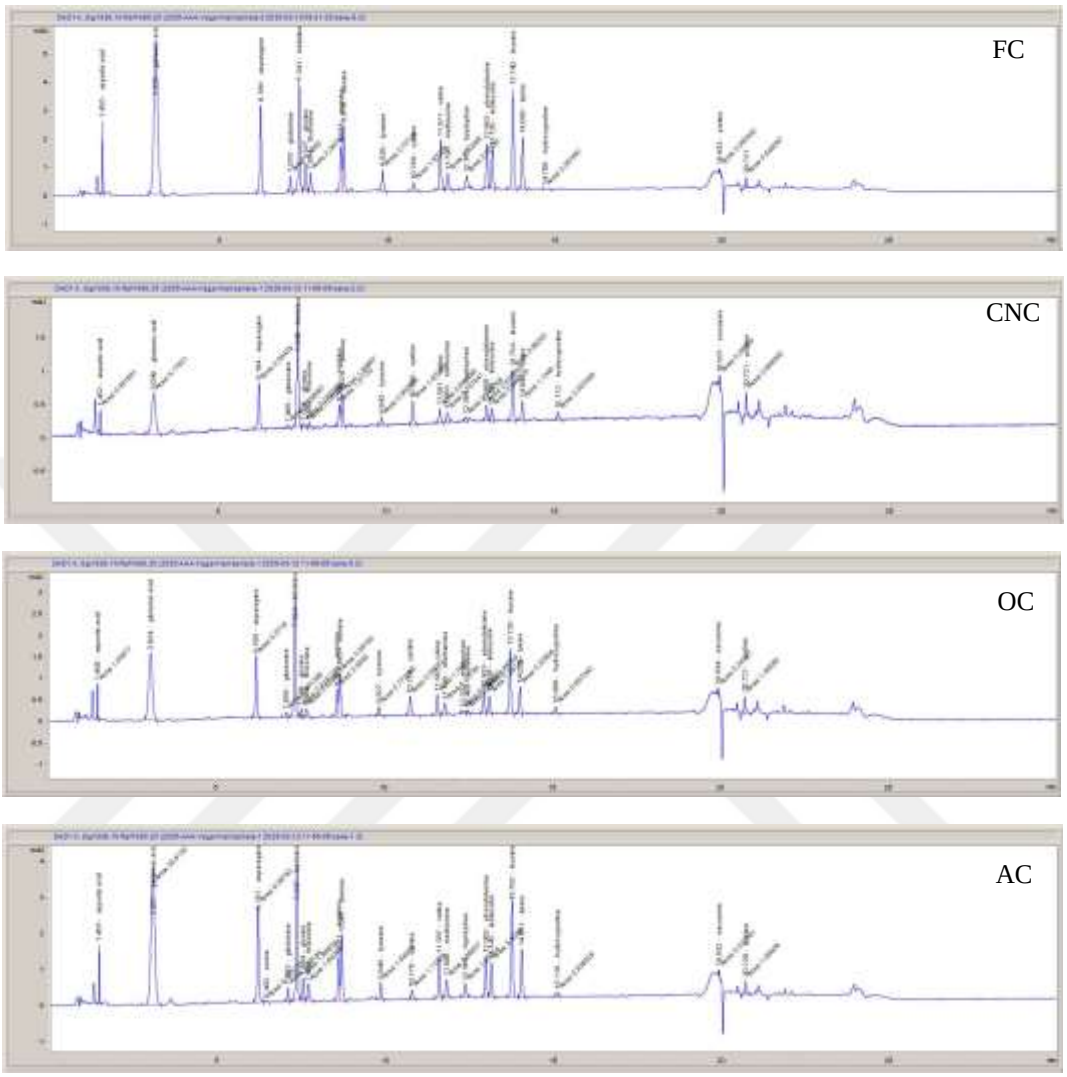








EK 2 Farklı Süt İkameleri ile Üretilen Muffin Örneklerinin Amino Asit Kromatogramları (devam)



EK 3 Duyusal Panel Formu

Sayın katılımcı elinizdeki soru formu, farklı bitkisel sütler ve farklı yumurta alternatifleri kullanılarak üretilmiş vegan keklerin duyusal özelliklerini belirlemeyi amaçlamaktadır. Duyusal analiz formu oluşturulurken kek üzerine daha önce yapılmış olan çalışmalardan faydalanılmıştır. Elde edilecek veriler Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Gıda Mühendisliği Doktora Programında devam etmekte olan doktora tez çalışması için bir veri tabanı oluşturacaktır. Çalışmaya katılmayı kabul ettikten sonra veri toplama formunu doldurmaya başlamış olsanız bile istemediğiniz takdirde çalışmaya katılmaktan vazgeçebilirsiniz. Herhangi bir gıdaya karşı alerjiniz varsa lütfen araştırmacıya belirtiniz. Formu eksiksiz doldurup araştırmacıya vermiş olmanız çalışmaya katılma konusunda gönüllü olduğunuz anlamına gelmektedir. Akademik çalışmamız için hazırladığımız ankete zaman ayırıp yanıtladığınız için teşekkür eder, çalışmalarınızda başarılar dileriz.

Doktora Öğrencisi: Kübra TOPLAOĞLU GÜNAN

Doç. Dr. Perihan YOLCI ÖMEROĞLU

PANELİST BİLGİSİ

Panelist no:_____ **Tarih:_____**

Demografik Özellikler	
1. Cinsiyetiniz:	Kadın☐
	Erkek ☐
2. Yaşınız:	18-25 ☐
	26-34 ☐
	35-44 ☐
	45-54 ☐
	55 ve üzeri ☐
3. Eğitim Durumunuz:	İlköğretim☐
	Lise☐
	Lisans☐
	Yüksek Lisans ☐
	Doktora☐
4. Mesleğiniz:	Serbest meslek ☐
	Özel sektör ☐

	Memur/Kamu ☐
	Emekli ☐
	Öğrenci ☐
	Akademisyen ☐
	Diğer ☐

Kek Duyusal Analiz Formu									
Bu çalışmada kontrol örneği dahil 9 farklı kek çeşidi üretilmiştir. Kek örneklerine ait özellikleri aşağıda verilen puan sistemine göre (1-9 skalasında) değerlendiriniz. Her örnek için duyusal özelliklere puan veriniz. **(9 puan: Mükemmel, 8 Puan: Çok İyi, 7 Puan: İyi, 6 Puan: İyinin Altı, Ortanın Üstü, 5 Puan: Orta, 4 Puan: Ortanın Altı, Kötünün Üstü, 3 Puan: Kötü, 2 Puan: Çok Kötü, 1 Puan: Son Derece Kötü)**									
Duyusal Özellikler	**Örnek Kodları (rastgele 3 haneli kodlar)**								
Kabuk Rengi									
Kırıntı Rengi									
Aroma									
Tat									
Görünüş									
Yumuşaklık									
Genel Kabul Edilebilirlik									
Yorum:									

EK 4 Etik Kurul Onayı

maltepe üniversitesi istanbul www.maltepe.edu.tr maltepe universi istanbul www.maltepe
Tarih: 18.12.2024 13:11
Sayı: E-10267653-- 322996
322996

T.C.
MALTEPE ÜNİVERSİTESİ
ETİK KURULU KARARI

TOPLANTI TARİHİ: 28.11.2024
TOPLANTI SAYISI: 2024/22
TOPLANTI SAATİ : 14:00

KARAR NO : 2024/22-09

Güzel Sanatlar Fakültesi Gastronomi ve Mutfak Sanatları Bölümü Öğr. Gör. Kübra TOPALOĞLU GÜNAN'ın üstlendiği, **"Vegan Kek Üretimi ve Kalitesinin Araştırılması"** başlıklı bilimsel araştırma önerisi, 28 Kasım 2024 tarihinde yapılan Etik Kurulu toplantısında incelenmiştir. Çalışmanın, T.C. Maltepe Üniversitesi Etik Kurulu Yönergesinin 6. maddesinde yazılı "Bilimsel disipline bağlılık, yaşama saygı, zarar vermeme, olası zarar ve riskler konusunda tüm ilgilileri bilgilendirme, insan ve topluma sorumluluk" gibi ilkelere göre yayına temel oluşturan araştırmanın tasarım, planlama ve yürütülme aşamalarında katkıda bulunanlara yer verilmesi, eksiksiz ve doğru kaynak gösterilmesi, gereken biçim ve doğrulukta atıflarda bulunulması kaydıyla yapılması etik ilkeler temelinde toplantıya katılan üyelerin oybirliği ile uygundur.

İlgili diğer kurum ve kuruluşlardan izin alınması araştırmacıların sorumluluğundadır.

	Dr. Öğr. Üyesi Gonca KURU **Başkan Vekili** e-imzalıdır	
Prof. Dr. Zeliha ÖZER **Üye** e-imzalıdır	**Doç. Dr. Berfin VARIŞLI** **Üye** **(Katılmadı)**	**Doç. Dr. Melike Türkan BAĞLI** **Üye** e-imzalıdır
Doç. Dr. Şenay YAVUZ **Üye** e-imzalıdır	**Doç. Dr. Zeynep KILIÇ** **Üye** e-imzalıdır	**Dr. Öğr. Üyesi Merve ERDEM** **Üye** **(Katılmadı)**
Dr. Öğr. Üyesi Başak BAHTİYAR **Üye** **(Katılmadı)**	**Dr. Öğr. Üyesi Emine EKİCİ** **Üye** e-imzalıdır	**Dr. Öğr. Üyesi Gülçin ÇAKICI ÖZTÜRK** **Üye** **(Katılmadı)**

Bu belge güvenli elektronik imza ile imzalanmıştır.
Belge Doğrulama Kodu: 9D9A3E2C-16A4-46FF-AFFF-96E8B6E84DC0 Belge Doğrulama Adresi https://turkiye.gov.tr/maltepe-universitesi

Bu belge, güvenli elektronik imza ile imzalanmıştır.
Belge Doğrulama Kodu: 9d9a3e2c-16a4-46ff-afff-96e8b6e84dc0 Belge Doğrulama Adresi https://turkiye.gov.tr/maltepe-universi

Dr. Öğr. Üyesi Vildan KATMER BAYRAKLI Üye e-imzalıdır	Dr. Öğr. Üyesi Işın Ulaş ERTUĞRUL YILMAZER Üye e-imzalıdır	Dr. Öğr. Üyesi Müge Neda ALTINOKLU Üye (Katılmadı)
Dr. Öğr. Üyesi Hacer DÜZEN Üye e-imzalıdır	Dr. Öğr. Üyesi Özen İNAM Üye e-imzalıdır	Dr. Öğr. Üyesi Aslı EYRENCİ Üye e-imzalıdır

Bu belge güvenli elektronik imza ile imzalanmıştır.
Belge Doğrulama Kodu: 9D9A3E2C-16A4-46FF-AFFF-96E8B6E84DC0 Belge Doğrulama Adresi https://turkiye.gov.tr/maltepe-universitesi-ebys

Bu belge, güvenli elektronik imza ile imzalanmıştır.
Belge Doğrulama Kodu: 9d9a3e2c-16a4-46ff-afff-96e8b6e84dc0 Belge Doğrulama Adresi https://turkiye.gov.tr/maltepe-univers

EK 5 Nicel Tanımlayıcı Duyusal Analiz (QDA) – Yumurta İkameleri ile Üretilen Muffinler İçin

QDA DUYUSAL DEĞERLENDİRME FORMU

Bu form, Nicel Tanımlayıcı Analiz (QDA) yöntemi kapsamında muffin örneklerinin duyusal özelliklerini değerlendirmek amacıyla hazırlanmıştır. Her özellik için **0–15 cm çizgisel skala** üzerinde işaretleme yapınız.

Panelist Adı: _____ **Tarih:** _____ **Saat:** _____
Örnek Kodu: _____ *(Her örnek ayrı bir sayfada değerlendirilecektir)*

Duyusal Özellikler

1. Kabuk Rengi (Ürün kabuğunda kahverengileşme yoğunluğu, Çok açık (0) Çok koyu (15))

0 _____ 15

2. Kırıntı Rengi (Kırıntı renginin koyuluğu, Çok açık (0) Çok koyu (15))

0 _____ 15

3. Gözenek Büyüklüğü (Kesitte gözlenen gözenek çapı, Küçük (0) Büyük (15))

0 _____ 15

4. Gözenek Homojenliği (Gözeneklerin düzenliliği ve benzerliği, Heterojen (0) Homojen (15))

0 _____ 15

5. Pişmiş Ürün Aroması (Kek/pastane pişmiş ürün aroması, 0 (yok) 15 (çok yoğun))

0 _____ 15

6. Baklagil Aroması (Aquafaba/baklagil çağrışımlı aroma, 0 (yok) 15 (çok yoğun))

0 _____ 15

7. Muz Aroması (Olgun muz püresine özgü meyvemsi/tatlı aroma yoğunluğu, 0 (yok) 15 (çok yoğun))

0 _____ 15

8. Tahıl Aroması (Tahıl/kepek/yulaf çağrışımlı aroma yoğunluğu, 0 (yok) 15 (çok yoğun))

0 _____ 15

9. Tatlılık (Sakkaroz kaynaklı tatlı tat yoğunluğu, 0 (yok) 15 (çok yoğun))

0 _____ 15

10. Çiğ Baklagil Aroması (Özellikle istenmeyen ham/yeşil/çiğ baklagil çağrışımı, 0 (yok) 15 (çok yoğun))

0 _____ 15

11. Acılık (Dil üzerinde algılanan acı tat, 0 (yok) 15 (çok yoğun))

0 _____ 15

12. Ağızda Kalan Tat (Art Tat) (Yutma sonrası tat/aroma kalıcılığı, 0 (yok) 15 (çok yoğun))

0 _____ 15

13. Sertlik (İlk ısırmada algılanan kuvvet, Çok düşük (0) Çok yüksek (15))

0 _____ 15

14. Nemlilik (Ağızda nem hissi, Kuru (0) Çok nemli (15))

0 _____ 15

15. Yapışkanlık (Dişlere/ağız yüzeyine yapışma eğilimi, Yok (0) Çok yüksek (15))

0 _____ 15

16. Çiğnenebilirlik (Yutmaya hazır hale gelme için gereken enerji, Düşük (0) Çok yüksek (15))

0 _____ 15

17. Kohezivite (İç Yapı Bütünlüğü) (Yapısal bütünlüğü koruma, Düşük (0) Çok yüksek (15))

0 _____ 15

18. Parçalanabilirlik (Ufalanma/kırılganlık, Yok (0) Çok yüksek (15))

0 _____ 15

EK 6 Nicel Tanımlayıcı Duyusal Analiz (QDA) – Süt İkameleri ile Üretilen Muffinler İçin

QDA DUYUSAL DEĞERLENDİRME FORMU

Bu form, Nicel Tanımlayıcı Analiz (QDA) yöntemi kapsamında muffin örneklerinin duyusal özelliklerini değerlendirmek amacıyla hazırlanmıştır. Her özellik için **0–15 cm çizgisel skala** üzerinde işaretleme yapınız.

Panelist Adı: _____ **Tarih:** _____ **Saat:** _____
Örnek Kodu: _____ *(Her örnek ayrı bir sayfada değerlendirilecektir)*

Duyusal Özellikler

1. Kabuk Rengi (Ürün kabuğunda kahverengileşme yoğunluğu, Çok açık (0) Çok koyu (15))
0 _____ 15

2. Kırıntı Rengi (Kırıntı renginin koyuluğu, Çok açık (0) Çok koyu (15))
0 _____ 15

3. Gözenek Büyüklüğü (Kesitte gözlenen gözenek çapı, Küçük (0) Büyük (15))
0 _____ 15

4. Gözenek Homojenliği (Gözeneklerin düzenliliği ve benzerliği, Heterojen (0) Homojen (15))
0 _____ 15

5. Pişmiş Ürün Aroması (Kek/pastane pişmiş ürün aroması, 0 (yok) 15 (çok yoğun))
0 _____ 15

6. Tahıl Aroması (Tahıl/kepek/yulaf çağrışımı, 0 (yok) 15 (çok yoğun))
0 _____ 15

7. Fındığımsı Aroma (Kavrulmuş kuruyemiş çağrışımı, 0 (yok) 15 (çok yoğun))
0 _____ 15

8. Baklagil Aroması (Baklagil çağrışımlı aroma, 0 (yok) 15 (çok yoğun))
0 _____ 15

9. Bitkisel Aroma (Yeşil/otumsu çağrışım, 0 (yok) 15 (çok yoğun))
0 _____ 15

10. Tatlılık (Sakkaroz kaynaklı tatlı tat yoğunluğu, 0 (yok) 15 (çok yoğun))
0 _____ 15

11. Tahılımsı Tat (Tahılsı tat yoğunluğu, 0 (yok) 15 (çok yoğun))
0 _____ 15

12. Fındığımsı Tat (Kuruyemiş tadı yoğunluğu, 0 (yok) 15 (çok yoğun))
0 _____ 15

13. Acılık (Dil üzerinde algılanan acı tat, 0 (yok) 15 (çok yoğun))
0 _____ 15

14. Ağızda Kalan Tat (Art Tat) (Yutma sonrası tat/aroma kalıcılığı, 0 (yok) 15 (çok yoğun))
0 _____ 15

15. Sertlik (İlk ısırmada algılanan kuvvet, Çok düşük (0) Çok yüksek (15))
0 _____ 15

16. Nemlilik (Ağızda nem hissi, Kuru (0) Çok nemli (15))
0 _____ 15

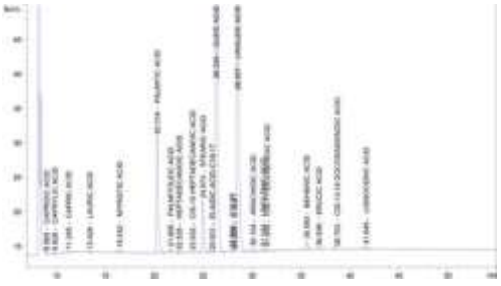
17. Çiğnenebilirlik (Yutmaya hazır hale gelme için gereken enerji, Düşük (0) Çok yüksek (15))
0 _____ 15

18. Yapışkanlık (Ağızda nem hissi, Kuru (0) Çok nemli (15))
0 _____ 15

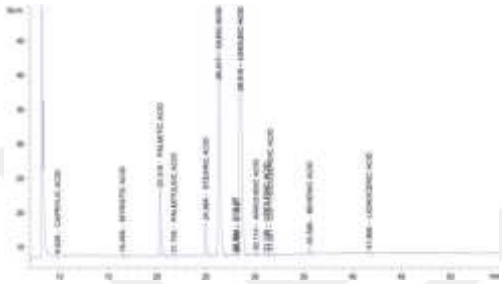
19. Kohezivite (Yapısal bütünlüğü koruma, Düşük (0) Çok yüksek (15))
0 _____ 15

20. Parçalanabilirlik (Ufalanma/kırılganlık, Yok (0) Çok yüksek (15))
0 _____ 15

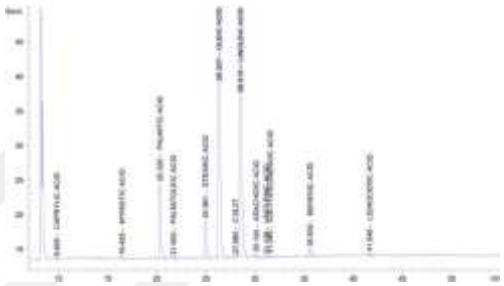
EK 7 Farklı Süt İkameleri ile Üretilen Muffin Örneklerinin Yağ Asidi Kromatogramları



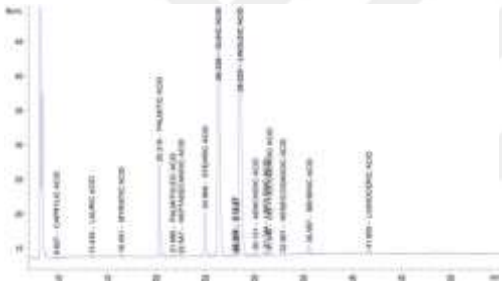
CC



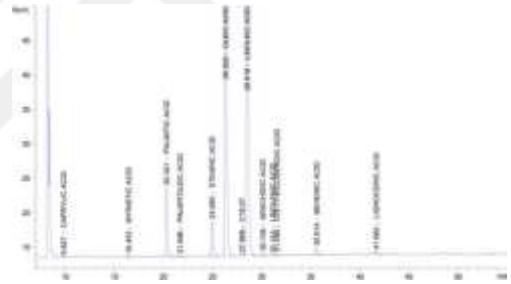
SC



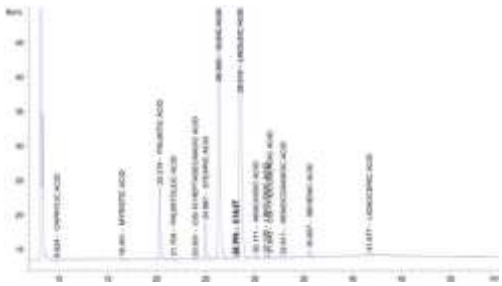
HC



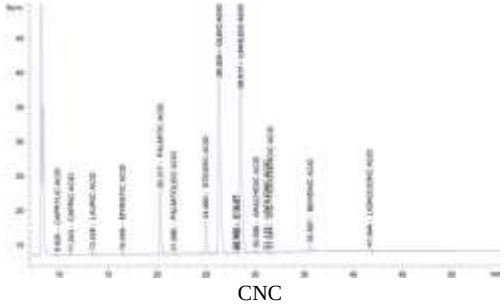
WC



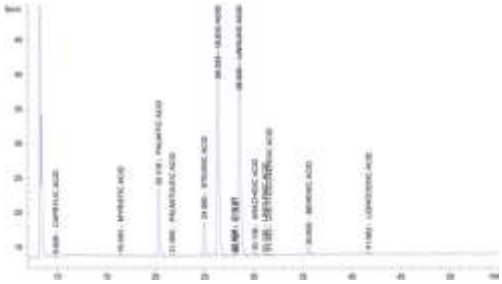
QC



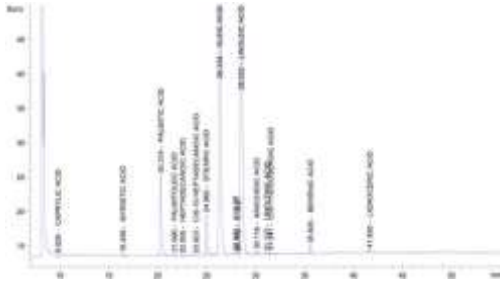
FC



CNC



OC



AC

EK 8 Farklı Yumurta İkameleri ile Üretilen Muffin Örneklerinde İlk Yedi Temel Bileşenin Açıkladığı Varyans Oranı

Değişkenler	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5	PC6	PC7
Eigenvalue	18,324	16,884	9,747	7,130	4,660	3,230	1,176
Yüzde %	28,191	25,975	14,996	10,969	7,169	4,969	1,810
Kümülatif	28,191	54,166	69,162	80,130	87,300	92,269	94,079
K'	-0,181	-0,319	-0,900	-0,124	0,062	0,175	-0,045
n'	-0,109	-0,131	-0,095	0,070	-0,757	0,032	0,258
$R^{2'}$	-0,481	0,276	-0,163	0,363	0,628	0,356	0,066
K''	-0,381	-0,207	-0,860	-0,163	0,123	0,160	-0,047
n''	0,113	-0,144	0,600	0,171	0,148	0,015	-0,312
$R^{2''}$	-0,652	-0,203	-0,107	0,427	0,394	0,423	0,041
Pişme kaybı	0,754	-0,246	-0,212	-0,189	-0,356	-0,128	-0,096
VI	0,227	0,530	0,584	0,379	-0,177	-0,314	0,009
SI	0,645	0,131	0,486	0,072	0,064	0,253	0,096
UI	-0,004	-0,005	0,112	0,242	0,056	-0,053	0,839
Sertlik	-0,489	-0,757	-0,348	-0,184	0,021	0,007	0,029
Esneklik	0,129	0,252	0,775	0,440	0,273	-0,106	0,009
Kohezivite	-0,055	0,213	0,548	0,774	0,021	-0,158	0,070
Çiğnenebilirlik	-0,504	-0,613	0,155	0,392	0,083	-0,114	0,234
Elastikiyet	-0,011	0,290	0,582	0,681	-0,086	-0,186	0,037
Kabuk-L*	0,597	-0,354	0,505	-0,365	0,148	0,006	-0,065
Kabuk-a*	-0,579	0,514	0,155	0,525	-0,251	-0,075	-0,052
Kabuk-b*	-0,441	0,278	0,741	0,278	-0,081	0,214	-0,073
Kırıntı-L*	-0,242	0,127	0,925	0,114	-0,087	-0,021	0,109
Kırıntı-a*	0,255	0,095	-0,916	-0,126	0,198	-0,151	-0,019
Kırıntı-b*	-0,303	0,209	0,735	0,328	-0,440	0,092	0,004
Nem	0,505	0,099	-0,099	-0,630	-0,436	-0,355	-0,066
Kül	-0,174	-0,398	-0,579	-0,476	-0,257	0,407	-0,119
Protein	-0,094	0,081	0,370	0,813	-0,428	0,004	-0,012
Toplam karbonhidrat	-0,475	-0,077	-0,123	-0,304	0,762	0,193	0,075
Toplam diyet lifi	0,723	-0,340	-0,438	-0,117	-0,060	-0,103	0,070
Yağ	-0,070	0,095	0,262	0,817	-0,331	0,232	0,033
Enerji	-0,308	0,077	0,132	0,602	0,107	0,283	0,155
P	-0,266	-0,237	0,099	0,807	-0,440	-0,003	0,005
Na	-0,131	0,076	0,313	0,883	0,112	-0,220	0,124
Mg	0,091	-0,706	-0,341	-0,101	0,224	0,558	-0,019
K	-0,791	-0,023	-0,047	-0,103	0,506	0,313	0,038
Ca	0,148	-0,956	-0,092	0,217	0,014	0,058	0,034
TPC-Sindirilmemiş	-0,321	0,483	0,643	0,162	0,077	0,119	0,096
TPC-Gastrik	0,511	0,146	-0,340	0,151	0,003	0,738	-0,098
TPC-Intestinal	-0,006	-0,412	-0,022	0,856	-0,291	-0,088	0,023
CUPRAC-Sindirilmemiş	-0,080	0,025	-0,387	-0,308	0,803	-0,012	0,119
CUPRAC-Gastrik	-0,321	0,085	0,928	0,056	0,108	0,075	0,053
CUPRAC-Intestinal	-0,291	-0,070	0,755	-0,023	0,559	0,068	0,109
DPPH-Sindirilmemiş	-0,350	0,526	-0,587	-0,433	-0,028	0,228	-0,087
DPPH-Gastrik	-0,422	0,400	0,405	-0,328	0,192	0,575	-0,016

DPPH-Intestinal	0,479	-0,407	-0,183	0,116	-0,418	-0,613	0,008
Aspartik asit	0,421	0,629	0,289	-0,153	-0,145	0,521	-0,080
Glutamik asit	0,841	0,131	-0,069	-0,341	0,376	0,026	0,052
Asparajin	0,771	0,442	0,101	0,229	0,157	0,256	-0,019
Serin	0,021	-0,049	0,457	0,078	0,852	0,180	0,090
Glutamin	0,586	-0,117	-0,492	-0,331	0,056	0,080	0,274
Histidin	0,602	0,453	0,132	0,480	-0,243	0,087	-0,218
Glisin	0,832	0,366	-0,266	-0,146	0,207	-0,033	0,112
Treonin	0,900	0,210	-0,149	-0,183	0,127	-0,127	0,048
Arjinin	0,914	0,258	-0,150	-0,084	-0,116	0,166	-0,044
Alanin	0,809	0,467	-0,066	0,183	0,036	0,244	-0,060
Tirozin	0,931	0,124	-0,178	-0,184	-0,137	-0,046	-0,085
Sistin	-0,047	0,239	-0,134	0,170	-0,937	-0,060	-0,042
Valin	0,860	0,252	-0,050	-0,355	-0,005	0,137	-0,149
Metiyonin	0,014	0,949	0,153	0,227	-0,131	-0,007	-0,012
Norvalin	-0,054	-0,877	-0,255	0,142	-0,187	-0,306	0,005
Triptofan	0,168	-0,903	-0,246	-0,262	0,052	0,059	-0,016
Fenilalanin	0,976	0,105	0,070	0,030	0,003	-0,156	0,014
İzolösin	0,907	-0,368	0,085	0,061	0,012	-0,117	0,034
Lösin	0,542	0,830	0,064	-0,011	0,053	0,007	0,016
Lizin	0,341	0,930	0,032	0,095	-0,003	0,032	0,004
Hidroksiprolin	0,317	-0,085	-0,315	-0,156	0,759	-0,395	0,098
Sarkosin	0,306	0,859	0,056	-0,105	-0,013	0,215	0,149
Prolin	-0,082	-0,991	0,062	0,004	-0,041	0,012	0,018

EK 9 Farklı Süt İkameleri ile Üretilen Muffin Örneklerinde İlk Yedi Temel Bileşenin Açıkladığı Varyans Oranı

Variables	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5	PC6	PC7
Eigenvalue	31,503	25,339	7,640	5,676	5,212	4,598	3,353
Yüzde %	32,477	26,123	7,876	5,852	5,373	4,740	3,456
Kümülatif	32,477	58,600	66,476	72,328	77,701	82,441	85,898
K'	-0,662	-0,379	0,221	-0,515	-0,092	-0,181	-0,091
n'	0,503	-0,151	0,020	-0,220	-0,707	-0,159	-0,314
$R^{2'}$	-0,184	0,293	-0,035	0,281	0,696	0,318	0,388
K"	-0,745	-0,135	0,291	-0,478	0,286	0,000	0,107
n"	0,470	0,495	-0,052	0,041	-0,123	0,347	-0,060
$R^{2"}$	-0,560	-0,117	-0,007	0,078	-0,013	-0,061	-0,048
Tan(θ)	0,812	0,339	0,171	-0,031	-0,314	0,088	-0,087
Pişme kaybı	0,054	-0,061	-0,166	-0,265	-0,120	0,074	0,025
VI	0,905	-0,123	0,086	-0,040	0,131	-0,110	0,102
SI	0,090	-0,130	0,601	0,192	-0,163	-0,279	-0,042
UI	0,233	-0,011	0,296	0,178	0,349	0,239	-0,423
Sertlik	-0,187	0,526	0,116	0,196	-0,047	0,722	0,069
Esneklik	0,437	0,318	-0,087	0,187	0,240	0,408	0,225
Kohezivite	0,845	0,150	-0,144	-0,013	0,044	-0,338	0,160
Çiğnenebilirlik	0,166	0,590	0,029	0,219	-0,002	0,641	0,131
Elastikiyet	0,772	0,035	-0,146	-0,002	0,081	-0,444	0,187
Kabuk-L*	-0,695	-0,137	0,231	0,246	0,127	-0,261	-0,092
Kabuk-a*	0,786	0,049	-0,183	-0,131	0,094	0,187	-0,127
Kabuk-b*	0,583	-0,434	-0,280	-0,098	0,025	0,135	-0,195
Kırıntı-L*	0,721	-0,394	0,327	0,093	-0,050	0,108	-0,081
Kırıntı-a*	-0,670	0,407	-0,516	0,195	0,023	-0,112	0,037
Kırıntı-b*	0,929	-0,144	0,121	-0,038	0,068	0,087	0,050
Nem	-0,324	0,410	0,278	-0,588	0,029	0,524	0,013
Kül	-0,356	-0,053	0,439	-0,553	-0,172	-0,155	0,165
Protein	0,941	0,266	-0,058	-0,085	0,107	0,010	-0,033
Toplam karbonhidrat	-0,828	-0,358	0,071	0,330	-0,074	-0,208	-0,044
Toplam diyet lifi	0,058	-0,702	0,086	0,389	0,433	0,290	0,136
Yağ	0,855	0,205	-0,431	-0,098	-0,065	-0,092	0,052
Enerji	0,768	-0,016	-0,469	0,226	-0,060	-0,337	0,013
P	0,850	-0,062	0,033	-0,139	0,151	0,368	-0,039
Na	0,736	-0,178	0,055	-0,215	0,261	0,366	-0,186
Mg	-0,896	-0,180	-0,097	-0,007	-0,058	0,296	0,026
K	-0,606	-0,321	-0,135	0,208	-0,092	0,392	0,099
Ca	0,769	-0,573	-0,098	0,095	0,226	-0,079	0,008
TPC-Sindirilmemiş-Muffin	0,023	-0,438	0,513	-0,539	0,145	-0,164	-0,165
TPC-Gastrik-Muffin	0,913	0,001	0,137	-0,202	0,152	0,056	0,043
TPC-Intestinal-Muffin	0,373	0,478	0,555	0,281	-0,286	-0,032	-0,334
CUPRAC-Sindirilmemiş-Muffin	-0,533	0,071	-0,233	-0,310	-0,250	0,430	0,299
CUPRAC-Gastrik-Muffin	0,848	0,005	0,181	0,331	0,192	-0,220	0,034
CUPRAC-Intestinal-Muffin	0,280	0,041	0,376	0,664	0,362	-0,244	-0,106
DPPH-Sindirilmemiş-Muffin	0,118	0,188	-0,610	0,506	-0,327	0,298	-0,121

DPPH-Gastrik-Muffin	0,724	0,398	0,121	0,179	0,325	0,145	-0,096
DPPH-Intestinal-Muffin	-0,644	-0,433	-0,289	0,007	0,032	-0,046	0,327
Aspartik asit	-0,236	0,763	0,463	-0,263	0,236	0,015	0,098
Glutamik asit	-0,357	0,900	0,211	0,051	0,021	-0,068	0,040
Asparajin	-0,018	0,911	0,280	0,109	-0,012	-0,216	-0,022
Serin	-0,062	-0,346	0,187	0,689	0,509	-0,116	0,067
Glutamin	-0,338	0,558	0,115	0,214	0,184	0,310	0,117
Histidin	0,162	0,804	0,312	0,009	-0,094	-0,372	-0,029
Glisin	-0,343	0,912	0,191	-0,031	0,084	0,005	0,048
Treonin	-0,299	0,918	0,212	0,011	0,015	-0,107	0,022
Arjinin	-0,169	0,944	0,208	0,051	-0,030	-0,148	0,032
Alanin	-0,168	0,943	0,216	-0,014	0,058	-0,116	0,030
Tirozin	-0,248	0,943	0,205	-0,011	-0,003	-0,032	0,018
Sistin	0,831	0,394	-0,129	-0,347	-0,039	-0,018	0,028
Valin	-0,294	0,935	0,167	-0,037	0,061	-0,030	0,041
Metiyonin	0,166	0,961	0,147	0,007	0,028	-0,122	0,031
Norvalin	0,464	-0,264	-0,262	-0,452	-0,129	-0,303	0,277
Triptofan	-0,292	0,772	0,287	0,431	-0,059	-0,175	-0,079
Fenilalanine	-0,273	0,935	0,193	0,005	0,049	-0,062	0,037
İzolösin	-0,301	0,930	0,176	-0,023	0,080	-0,039	0,040
Lösin	-0,152	0,939	0,243	0,042	0,012	-0,141	0,010
Lizin	-0,165	0,964	0,156	-0,039	0,090	-0,060	0,038
Hidroksiprolin	-0,608	0,678	-0,031	-0,272	0,244	-0,089	0,066
Sarkosin	-0,193	0,594	-0,015	-0,359	0,652	-0,057	0,118
Prolin	-0,052	-0,838	-0,320	-0,030	0,301	-0,147	0,185
C14:0	-0,004	0,194	0,178	0,387	-0,833	0,147	-0,169
C16:0	0,964	0,215	0,042	-0,107	0,040	0,014	0,001
C16:1	0,850	0,285	0,032	-0,259	0,168	0,034	-0,069
C18:0	0,926	0,224	0,044	-0,115	-0,002	0,070	-0,043
C18:1	0,361	-0,217	0,341	0,210	0,164	0,185	-0,068
C18:2	-0,970	-0,093	-0,099	0,005	-0,011	-0,036	0,073
C18:3	-0,128	0,686	-0,403	0,320	-0,431	0,074	-0,105
C20:0	-0,150	0,037	-0,338	0,399	-0,072	-0,232	0,311
C22:0	-0,599	-0,385	-0,023	-0,027	0,067	0,152	-0,203
C22:1	0,962	0,218	0,036	-0,100	0,038	0,044	-0,020
C24:0	-0,571	-0,068	0,507	-0,114	-0,274	0,275	-0,023
SFA	0,922	0,244	0,091	-0,007	-0,184	0,059	-0,075
MUFA	0,543	-0,554	0,231	0,100	0,316	-0,031	0,159
PUFA	-0,967	-0,026	-0,136	0,050	-0,111	-0,016	0,112
TUFA	-0,918	-0,260	-0,065	0,101	0,000	-0,031	0,198
Duyusal-Kabuk rengi	0,619	-0,278	0,019	0,244	-0,143	0,008	0,161
Duyusal-Kırıntı rengi	0,617	-0,270	0,466	0,089	-0,107	0,160	0,290
Duyusal-Aroma	0,563	-0,067	0,244	0,206	-0,364	-0,014	0,330
Duyusal-Tat	0,432	0,064	0,193	0,086	-0,344	-0,091	0,561
Duyusal-Görünüm	0,520	-0,264	0,337	0,066	-0,334	0,097	0,475
Duyusal-Yumuşaklık	0,137	0,186	0,133	-0,077	-0,269	-0,044	0,771
Genel kabul edilebilirlik	0,543	-0,053	0,274	0,090	-0,151	0,025	0,578