



T.C.
NECMETTİN ERBAKAN
ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



ENZİMCE İNAKTİF SOYA UNUNUN
SÜPERKRİTİK KARBONDİOKSİT
EKSTRAKTLARININ UN KATKISI OLARAK
EKMEK KALİTESİNE ETKİSİ

İbrahim GÜZEL

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı

Ocak-2026
KONYA
Her Hakkı Saklıdır

TEZ KABUL VE ONAYI

İbrahim GÜZEL tarafından hazırlanan “ENZİMCE İNAKTİF SOYA UNUNUN SÜPERKRİTİK KARBONDİOKSİT EKSTRAKTLARININ UN KATKISI OLARAK EKMEK KALİTESİNE ETKİSİ” adlı tez çalışması 08/01/2026 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

Başkan
Prof. Dr. Mustafa Kürşat DEMİR

Danışman
Prof. Dr. Ahmet ÜNVER

Üye
Prof. Dr. Mustafa Kürşat DEMİR

Üye
Doç. Dr. N. Mustafa NİZAMLIOĞLU

İmza

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

Prof. Dr. Havvanur UÇBEYİAY
FBE Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

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

DECLARATION PAGE

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

İbrahim GÜZEL

08.01.2026

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ENZİMCE İNAKTİF SOYA UNUNUN SÜPERKRİTİK KARBONDİOKSİT EKSTRAKTLARININ UN KATKISI OLARAK EKMEK KALİTESİNE ETKİSİ

İbrahim GÜZEL

NECMETTİN ERBAKAN ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
GIDA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Danışman: Prof. Dr. Ahmet ÜNVER

2026, 82 Sayfa

Jüri

Danışman Prof. Dr. Ahmet ÜNVER
Prof. Dr. Mustafa Kürşat DEMİR
Doç. Dr. N. Mustafa NİZAMLIOĞLU

Bu tez çalışmasında, enzimce inaktif soya unundan süperkritik karbondioksit (SC-CO₂) ekstraksiyonu ile elde edilen ekstraktların ekmek üretiminde un katkısı olarak kullanımı araştırılmıştır. Ekstraksiyon işlemleri 200, 300 ve 400 bar basınç seviyelerinde, 50°C sıcaklık ve 60 dakika süre ile gerçekleştirilmiştir. Elde edilen ekstraktlar, katkısız ekmeklik buğday ununa %0,1, %0,5 ve %1 oranlarında ilave edilerek ekmek üretiminde kullanılmış; kontrol grubu ekstraksız olarak hazırlanmıştır. Üretilen ekmek örneklerinin hacim, ağırlık ve spesifik hacim değerleri belirlenmiş; renk, tekstürel profil analizi (TPA), oksidatif stabilite (indüksiyon periyodu) ve duyu özellikleri kapsamlı olarak değerlendirilmiştir. Sonuçlar, ekstraktların ekmek kalite özelliklerini önemli düzeyde etkilediğini ortaya koymuştur. Özellikle %0,5 ve %1 oranındaki katkılar ekmek hacmi ve kabuk rengi üzerinde iyileştirici etki gösterirken, sertlik değerlerinde artış gözlenmiştir. Duyusal değerlendirmelerde ise orta düzey katkıların (özellikle %0,5) en yüksek beğeni puanlarını aldığı belirlenmiştir. Bu çalışma, süperkritik CO₂ ekstraksiyonu ile elde edilen soya ekstraktlarının ekmek üretiminde fonksiyonel katkı maddesi olarak değerlendirilebileceğini ve sağlıklı, raf ömrü uzun ürün geliştirilmesine katkı sağlayabileceğini göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Ekmek, enzimce inaktif soya unu, süperkritik karbondioksit ekstraksiyonu, reoloji, tekstür, duyu analiz

ABSTRACT

MS THESIS

EFFECT OF SUPERCRITICAL CARBON DIOXIDE EXTRACTS OF ENZYME-INACTIVE SOY FLOUR AS A FLOUR ADDITIVE ON BREAD QUALITY

İbrahim GÜZEL

**THE GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES OF
NECMETTİN ERBAKAN UNIVERSITY**

**THE DEGREE OF MASTER OF SCIENCE
IN FOOD ENGINEERING**

Advisor: Prof. Dr. Ahmet ÜNVER

2026, 82 Pages

Jury

Advisor Prof. Dr. Ahmet ÜNVER

Prof. Dr. Mustafa Kürşat DEMİR

Assoc. Prof. Dr. N. Mustafa NİZAMLIOĞLU

This thesis investigates the use of extracts obtained from enzyme-inactive soybean flour via supercritical carbon dioxide (SC-CO₂) extraction as flour additives in bread production. Extraction processes were carried out at pressure levels of 200, 300, and 400 bar, at a temperature of 50°C, and for a duration of 60 minutes. The obtained extracts were added to additive-free wheat flour at concentrations of 0,1%, 0,5%, and 1% and used in bread production; a control group was prepared without extracts. The volume, weight, and specific volume values of the produced bread samples were determined; color, textural profile analysis (TPA), oxidative stability (induction period), and sensory properties were comprehensively evaluated. The results showed that the extracts significantly affected the quality characteristics of the bread. In particular, the 0,5% and 1% additions showed an improving effect on bread volume and crust color, while an increase in hardness values was observed. In sensory evaluations, it was determined that the moderate additions (especially 0,5%) received the highest liking scores. This study demonstrates that soy extracts obtained through supercritical CO₂ extraction can be evaluated as functional additives in bread production and contribute to the development of healthy, long-shelf-life products.

Keywords: Bread, enzyme-inactive soy flour, supercritical carbon dioxide extraction, rheology, texture, sensory analysis

ÖNSÖZ

Bu çalışmada; enzimce inaktif soya unundan süperkritik karbondioksit (SC-CO₂) ekstraksiyonu ile elde edilen ekstraktların ekmek üretiminde un katkısı olarak kullanımı araştırılmıştır.

Yüksek lisans tezi olarak yaptığım bu çalışmanın her aşamasında bana yol gösteren, destek ve katkılarını esirgemeyen saygıdeğer hocam Prof. Dr. Ahmet ÜNVER'e teşekkür eder, sonsuz saygılarımı sunarım.

Proje çalışmalarım sürecinde her konuda desteğini gördüğüm eşime ve çocuklarıma teşekkür ederim.

Çalışma süresince destek olan Doç. Dr. Tekmile CANKURTARAN KÖMÜRCÜ, Mukadder AKSOY ve Aybüke Nur YAVAŞ'a da teşekkürü borç bilirim.

İbrahim GÜZEL
KONYA-2026

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
ÖNSÖZ	vi
İÇİNDEKİLER	vii
1.GİRİŞ	10
2.KAYNAK ARAŞTIRMASI	12
2.1. Soya	12
2.2. Soya Unu.....	13
2.3. Ekstraksiyon Yöntemleri	14
2.4. Süperkritik Karbondioksit Ekstraksiyonu.....	15
2.5. Soya Unu Ekstraktı ve Ekmek Formülasyonunda Kullanımı	20
3.MATERYAL VE YÖNTEM.....	23
3.1. Materyal	23
3.2. Yöntem.....	23
3.2.1. Deneme deseni	23
3.2.2. Süperkritik karbondioksit ekstraksiyon yöntemi ile soya ekstraktı üretimi .	23
3.2.3. Ekstraktların indüksiyon periyodu.....	24
3.2.4. Katkısız ekmeklik buğday ununda gerçekleştirilen kimyasal ve fizikokimyasal analizler	24
3.2.4.4. Glutograf (GlutoPeak) analizi.....	26
3.2.5. Ekmek üretimi.....	26
3.2.6. Ekmek analizleri	27
3.2.6.1. Renk analizi	27
3.2.6.2. Ağırlık, hacim ve spesifik hacim analizi	27
3.2.6.3. Tekstürel profil analizi.....	28
3.2.6.4. İndüksiyon periyodu	28
3.2.6.5. Duyusal analizler	28
3.2.7. İstatistiksel değerlendirmeler	28
4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA.....	29
4.1. Enzimce İnaktif Soya Unu Ekstraktlarının ve Katkısız Buğday Unu Örneklerinin Renk Değerleri	29
4.2. Katkısız Rafine Buğday Unu Örneklerinin Kimyasal ve Fizikokimyasal Özellikleri	30
4.3. Enzimce İnaktif Soya Unu Ekstraktlarının İndüksiyon Periyodu.....	32
4.4. Ekmek Örneklerine Ait Analiz Sonuçları	33
4.4.1. Ekmek kabuğu ve ekmek içi renk değerlerine ait sonuçlar	33
4.4.1.1. Ekmek kabuğu renk değerlerine ait analiz sonuçları	34

4.4.1.1.1. Kabuk L^* değeri.....	34
4.4.1.1.2. Kabuk a^* değeri.....	36
4.4.1.1.3. Kabuk b^* değeri.....	38
4.4.1.1.4. Kabuk Hue ve SI değeri.....	39
4.4.1.2. Ekmek içi renk değerlerine ait analiz sonuçları.....	40
4.4.1.2.1. Ekmek içi L^* değeri.....	40
4.4.1.2.2. Ekmek içi a^* değeri.....	42
4.4.1.2.3. Ekmek içi b^* değeri.....	43
4.4.1.2.4. Ekmek içi Hue ve SI değerleri.....	45
4.4.2. Ekmeklerin ağırlık, hacim ve spesifik hacim değerlerine ait sonuçlar	47
4.4.2.1. Ekmek ağırlığı.....	47
4.4.2.2. Ekmek hacmi	49
4.4.2.3. Spesifik hacim.....	50
4.4.3. Ekmeklerin tekstür değerlerine ait sonuçlar	50
4.4.3.1. Ekmeklerin 1. Gün tekstür değerlerine ait sonuçlar	51
4.4.3.1.1. Sertlik.....	51
4.4.3.1.2. Elastikiyet	53
4.4.3.1.3. Kohezyon.....	54
4.4.3.1.4. Çiğnenebilirlik	55
4.4.3.1.5. Esneklik	56
4.4.3.2. Ekmeklerin 3. gün tekstür değerlerine ait sonuçlar	57
4.4.3.2.1. Sertlik.....	58
4.4.3.2.2. Elastikiyet	59
4.4.3.2.3. Kohezyon.....	60
4.4.3.2.4. Çiğnenebilirlik	61
4.4.3.2.5. Esneklik	61
4.4.3.3. Ekmeklerin 5. Gün tekstür değerlerine ait sonuçlar	62
4.4.3.3.1. Sertlik.....	62
4.4.3.3.2. Elastikiyet	64
4.4.3.3.3. Kohezyon.....	64
4.4.3.3.4. Çiğnenebilirlik	65
4.4.3.3.5. Esneklik	66
4.4.4. Ekstrakt katkısının ekmek raf ömrü üzerine etkisi	66
4.4.5. Ekmek örneklerinin indüksiyon periyodu değerlerine ait sonuçlar	68
4.6. Ekmek örneklerinin duyu analizi değerlerine ait sonuçlar	70
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	72
5.1 Sonuçlar	72
5.2 Öneriler	73
KAYNAKLAR.....	74



1. GİRİŞ

Ekmek; buğday unu, maya, tuz ve suyun yoğrulup şekillendirilmesi ve ardından pişirilmesiyle elde edilen temel bir gıda maddesidir. Tarihsel ve kültürel olarak kutsal bir anlam taşıyan ekmek, aynı zamanda enerji değeri yüksek, doyurucu ve ekonomik olarak geniş kesimlerin ulaşabildiği bir besin kaynağıdır (Yılmaz vd., 2019). Ancak günümüzde tüketici tercihleri yalnızca besleyicilikle sınırlı kalmamakta; ekmeğin homojen kabarması, hacimli yapısı ve çekici kabuk rengi gibi görsel ve fiziksel özellikleri de kalite kriterleri arasında önemli yer tutmaktadır. Bu bağlamda, unun ekmeğe dönüşüm sürecinde kullanılan ham madde ve katkı maddelerinin rolü belirleyici hale gelmiştir. Katkı maddesi kullanmaksızın bu beklentilerin karşılanması ideal bir yaklaşım olsa da doğal katkı maddelerine yönelik ilgi her geçen gün artmaktadır. Özellikle sağlık bilincinin yükselmesiyle birlikte, rafine unla yapılan ekmeklerin potansiyel olumsuz etkilerine dair çalışmalar da dikkat çekmektedir (Arslan ve Erbaş, 2014).

Fonksiyonel bileşen içeriği zengin olan soya, yüksek kaliteli protein kaynağı olarak dikkat çekmekte ve insan sağlığı üzerindeki olumlu etkileri nedeniyle gıda ürünlerinde kullanım potansiyeli taşımaktadır (Endres, 2001). Kolesterol düşürücü etkisi, kardiyovasküler hastalıklara karşı koruyucu rolü, düşük yağ içeriğiyle obeziteyle mücadeledeki katkısı ve menopoza semptomlarının hafifletilmesindeki etkisi, soya fonksiyonel gıda bileşeni olarak öne çıkarmaktadır (Nilüfer vd., 2008).

Son yıllarda ise doğal bileşiklerin elde edilmesinde çevre dostu ve etkin bir yöntem olarak öne çıkan süperkritik karbondioksit ekstraksiyonu (SC-CO₂), yağsızlaştırılmış bitkisel materyallerden fonksiyonel ekstraktların elde edilmesinde yaygın şekilde kullanılmaktadır. Bu yöntemin düşük sıcaklıklarda çalışabilmesi, termolabil bileşiklerin bozulmadan kazanılmasına olanak tanımakta ve gıda uygulamaları için uygun hale getirmektedir.

Bu tez çalışmasında, enzimce inaktif soya unundan süperkritik karbondioksit ekstraksiyonu ile elde edilen ekstraktların, un katkı maddesi olarak ekmek formülasyonunda kullanımı araştırılmıştır. Ekstraksiyon işlemi, sabit sıcaklık (50 °C) ve süre (60 dakika) parametrelerinde, üç farklı basınç seviyesinde (200, 300 ve 400 bar) gerçekleştirilmiş; elde edilen ekstraktlar, un miktarına göre %0,1, %0,5 ve %1 oranlarında ekmek üretiminde kullanılmıştır. Üretilen ekmek örneklerinin fiziksel, kimyasal ve duyu özellikleri, kontrol grubu ile karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiş

ve soya ekstraktlarının ekmek kalitesi üzerindeki etkileri ortaya konulmuştur. Ayrıca çalışmada, fonksiyonel özellikleri nedeniyle ön plana çıkan soya ekstraktlarının, süperkritik karbondioksit ekstraksiyonu gibi modern bir teknolojiyle elde edilerek geleneksel bir ürün olan ekmekte değerlendirilmesi açısından önem taşımaktadır. Böylece hem daha sağlıklı hem de tüketici beklentilerine uygun ürün geliştirilmesine katkı sağlanması hedeflenmiştir.



2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

2.1. Soya

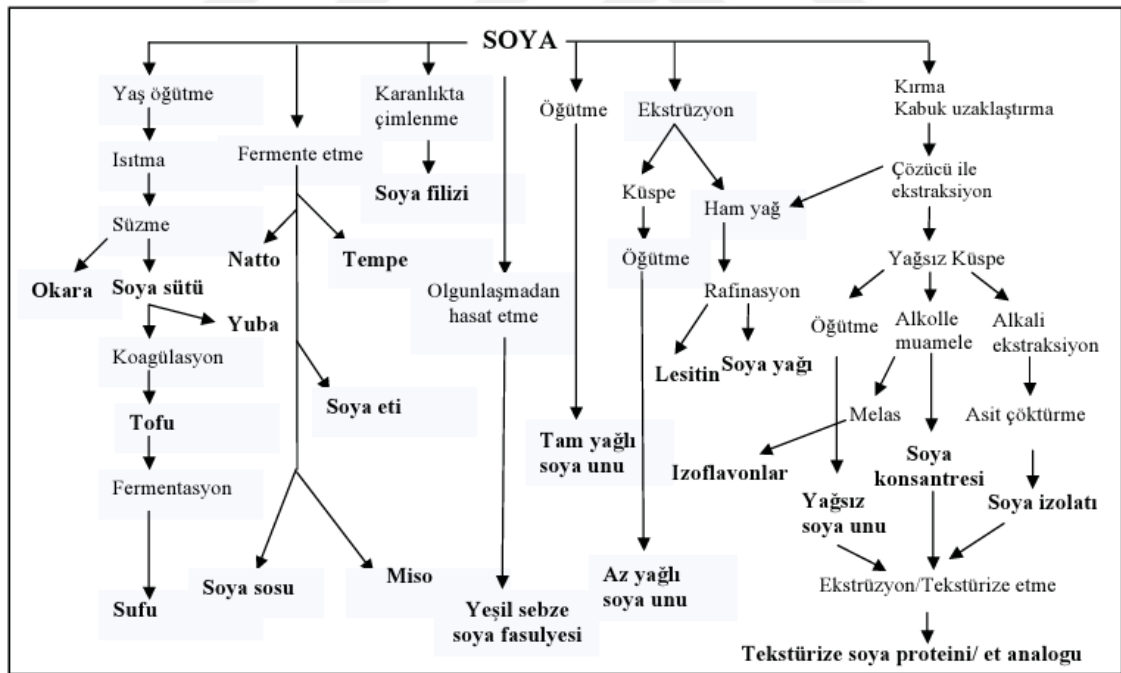
Soya (*Glycine max* (L.) Merrill) baklagiller (Leguminosae/Fabaceae) familyasına ait, Glycine cinsinin Soya alt cinsine giren tek yıllık bir otsu bitki olarak bilinmektedir ve bu alt cins içinde kültüre alınmış *G. max* ile yıllık yabani *G. soja* türleri yer almaktadır (Mishra vd., 2024). Soya tohumu tipik bir baklagil tohumu yapısı taşımaktadır. Soya tohumları dıştan koruyucu bir testayla örtülü olup, içinde gelişmiş bir embriyonik eksen (embriyo) ile iki büyük kotiledon (çenek) olmak üzere üç ana kısımdan oluşmaktadır (Nedel, 2006).

Uzakdoğu toplumlarında, uzun bir yaşamın sırrı olarak değerlendirilen ve oldukça yaygın tüketilen soyanın sağlık üzerine birçok olumlu etkisi çeşitli bilimsel çalışmalarla da kanıtlanmıştır. Yüksek protein içeriği ile etten daha zengin bir kaynak olması, düzenli tüketimde serum kolesterol düzeylerini düşürmesi, kardiyovasküler hastalıklara karşı koruyucu etkiler göstermesi, düşük yağ oranı ile vücut ağırlığının kontrolüne katkı sağlaması, menopoz semptomlarını hafifletmesi ve belirli kanser türlerinin riskini azaltıcı potansiyel etkileri nedeniyle soya, önemli bir fonksiyonel gıda bileşeni olarak değerlendirilmektedir (Liu, 2004). Besinsel açıdan incelendiğinde soya, diğer hububat ve baklagillere kıyasla daha yüksek protein içeriğine (%38–40) sahip olması, bu özelliği ile protein gereksiniminin karşılanmasında önemli bir kaynak olarak öne çıkmaktadır. Ayrıca %18–20 oranındaki yağ içeriği ile baklagiller arasında ikinci sırada yer alan önemli bir yağlı tohum niteliği taşımaktadır (Liu,2004; Nilüfer ve Boyacıoğlu, 2008). Soya fasulyesinin besin bileşenlerine ilişkin veriler Çizelge 2.1’de sunulmaktadır.

Soya, farklı formlarda da kullanılabilmesi nedeni ile, gıda endüstrisinde birçok araştırmaya konu olmuştur. Başlıca; yağ ürünleri (gliserol, rafine soya yağı, soya lesitini), tam soya ürünleri (soya taneleri, soya filizi, soya sütü, soya unu, tofu vb.) ve soya protein ürünleri (soya unu, soya proteini konsantreleri ve izolatları) olmak üzere üç ana temel grup altında sınıflandırılmaktadır (Liu, 2004; Liu, 2012; Endress, 2001). Soya ürünlerinin elde edilme süreçlerine ilişkin aşamalar ise Şekil 2.1’de şematik olarak sunulmaktadır.

Çizelge 2.1. Soyadaki besin öğelerinin ve fitokimyasalların kuru madde bazında konsantrasyonları (Liu, 2004).

Protein (%)	30-50	Kül (%)	4,61-5,94
Amino asitler (%)		Karbonhidratlar (%)	26-38
Alanin	1,49-1,87	Sakkaroz	2,5-8,2
Arginin	2,45-3,49	Rafinoz	0,1-0,9
Aspartik asit	3,87-4,98	Staçiyoz	1,4-4,1
Glutamik asit	6,10-8,72	Vitaminler (µg/g)	
Glisin	1,88-2,02	Tiamin	6,26-6,85
Sistein	0,56-0,66	Riboflavin	0,92-1,19
Prolin	1,88-2,61	α-tokoferol	10,9-28,4
Serin	1,81-2,32	τ-tokoferol	150-190
Histidin	0,89-1,08	σ-tokoferol	24,6-72,5
İzolösin	2,16-2,12	Yağ (%)	12-30
Lösin	2,71-3,20	Yağ asidi kompozisyonu (toplam yağın %)	
Lisin	2,35-2,86	Palmitik Asit	4-23
Metionin	0,49-0,66	Stearik asit	3-30
Fenilalanin	1,70-2,08	Oleik asit	25-86
Treonin	1,33-1,79	Linoleik asit	25-60
Triptofan	0,47-0,54	Linolenik asit	1-15
Tirozin	1,12-1,62	İzoflovanlar (%)	0,1-0,4
Valin	1,52-2,24	Saponinler (%)	0,1-0,3
Fitosteroller (mg/g)	0,3-0,6	Fitik asit (%)	1,0-1,5
Tripsin İnhibitörleri (mg/g)	16,7-27,2	Lektin (Hemaglutenin ünitesi/mg protein)	1,2-6,0
		Lunasin (% yağsız un)	0,33-0,95



Şekil 2.1. Soyanın çeşitli ürünlere işlenmesi süreçlerinin akım şeması (Liu, 2004).

2.2. Soya Unu

Soya unu, yağı uzaklaştırılmış soya tanelerinden elde edilen, protein kaynağı olarak değerlendirilen ve lesitin içeren bir un çeşidi olup, özellikle diyet ve glutensiz

bisküvi üretiminde yaygın olarak kullanılmaktadır (Guo ve Wang, 2025). Yapılan çalışmalarda katkıladığı unlu ürünlerde su tutma kapasitesini önemli ölçüde artırarak raf ömrünü uzattığı, ekmek içinin daha beyaz ve nemli olmasına katkı sağladığı ve kabuk rengini olumlu yönde etkilediği bildirilmiştir (Mills, 2014). Fonksiyonel açıdan zengin olan soya ununun, düşük maliyetli ve besleyici bir protein kaynağı olarak talep gören unlu mamullerde kullanımı oldukça yaygındır. Örneğin, yapılan bir çalışmada, glutensiz ekmeklerde mısır unu yerine %5–15 oranında soya unu ilavesi, protein, yağ, lif ve mineral içeriğinde belirgin artış sağlarken; duyuşsal özellikleri (örneğin renk ve yapı) belirli düzeylerde optimize edebilmiştir (Taghdır vd., 2017).

Soya unu, hamur işleme özelliklerini ve nihai ürün kalitesini iyileştirmesi nedeniyle Batı tipi ekmek üretiminde sıklıkla kullanılan önemli bir bileşendir. Diğer tahıl proteinleri ile karşılaştırıldığında daha yüksek lizin içeriğine sahip olması, onu değerli bir protein kaynağı haline getirmektedir. Özellikle enzim açısından aktif soya unu, Batı tipi ekmek formülasyonlarına düşük düzeylerde ilave edilmekte; içerdiği lipoksijenaz enzimi ise ksantofil pigmentlerini okside ederek ekmek içinin daha açık renkli ve beyaz görünmesini sağlamaktadır (Huang Huang ve Miskelly, 2016).

2.3. Ekstraksiyon Yöntemleri

Gıda teknolojisi alanında ekstraksiyon, doğal kaynaklardan (bitkisel, hayvansal veya mikroorganizmal) hedef bileşenlerin hedefe yönelik olarak ayrılması ve saflaştırılması amacıyla uygulanan bir dizi proses veya yöntemleri ifade etmektedir (Zhang vd., 2018). Bu süreç genellikle uygun çözücüler kullanılarak yürütülür ve ayrılacak bileşenlerin çözünürlük özelliklerine dayanır (Zhang vd., 2018; Abedelmaksoud vd., 2025). Ekstraksiyon, gıda bileşenleri, biyolojik aktif bileşikler, besin maddeleri ve fonksiyonel bileşenlerin elde edilmesinde temel bir adımdır ve özellikle bitkisel kaynaklardan bileşenlerin izolasyonu ve saflaştırılmasında gıda işleme endüstrisinde yaygın şekilde kullanılmaktadır (Çolak ve Tülek, 2003).

Ekstraksiyonun verimliliği, kullanılan çözücünün özellikleri, sıcaklık, işlem süresi ve diğer işlem parametrelerine bağlı olduğu bilinmektedir. Son yıllarda, geleneksel ekstraksiyon yöntemlerinin yanı sıra ultrasonik, mikrodalga ve süperkritik sıvı ekstraksiyon gibi modern teknikler geliştirilmiş olup, bu yöntemler yüksek verimlilik, enerji tasarrufu ve çevresel sürdürülebilirlik açısından avantajlar sunmaktadır (Lloyd ve Van, 2012; Bitwell vd., 2023; Putnik vd., 2018; Navaf vd., 2023).

Ekstraksiyon yöntemleri, laboratuvar ölçeğinde analiz öncesi örnek hazırlama süreçlerinde de kritik öneme sahiptir. Örnek hazırlama aşamasında, aranan etken madde dışındaki karmaşık yapılar uzaklaştırılır ve cihaz kirliliğine yol açabilecek istenmeyen bileşenler elimine edilir. Sıvı-sıvı ekstraksiyonu uzun yıllardır kullanılan temel yöntemlerden biri olmakla birlikte, yüksek çözücü tüketimi, zaman kaybı, maliyet, solvent kalıntısı, emülsiyon oluşumu, yetersiz safiyet ve hatalı sonuçlar gibi dezavantajlara sahiptir. Benzer şekilde, santrifüj, süzme, distilasyon ve liyofilizasyon gibi diğer yöntemler de bazı sınırlılıklar göstermektedir (Yavuz ve Aksoy, 2006). Bu nedenle, özellikle son yıllarda, üründen biyoaktif maddelerin ayrıştırılmasında çevre dostu, yüksek verimli ve yüksek kaliteli ekstrakt elde edilmesini sağlayan gelişmiş yöntemlerin kullanımı önem kazanmıştır (Azmir vd., 2013). Yeni teknolojilerin gelişimi ile birlikte, son yirmi yılda geleneksel ekstraksiyon yöntemlerine alternatif olarak modern ekstraksiyon tekniklerine gösterilen ilgi artmıştır. Bu yöntemlere yönelimin temel nedenleri arasında maliyetleri azaltma, işlem kapasitesini artırma, hızlı ve yüksek verimli sonuçlar elde etme gibi gerekçeler bulunmaktadır. Dolayısıyla, sürekli olarak yeni teknikler geliştirilmekte ve kullanılan solventlere alternatif olabilecek yeni çözücüler araştırılmaktadır.

2.4. Süperkritik Karbondioksit Ekstraksiyonu

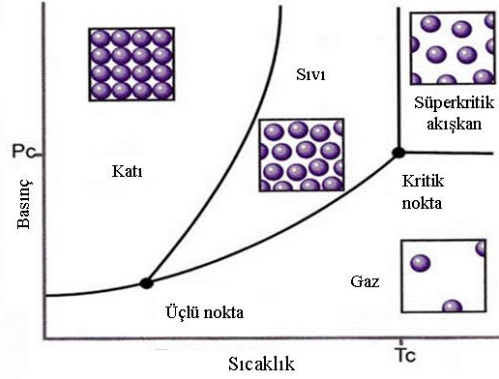
Son yıllarda süperkritik akışkan ekstraksiyonu (SFE) geleneksel ekstraksiyon yöntemlerine alternatif olarak önem kazanmıştır. Her madde kritik bir sıcaklığa (T_c) ve basınca (P_c) sahiptir. Bilindiği gibi maddeler katı, sıvı ve gaz halindedir. Bir madde kritik sıcaklık değerinin veya kritik basınç değerinin üzerine çıkarıldığında dördüncü bir faza geçmektedir (Çolak ve Tülek, 2003). Bu faza geçen maddelere “Süperkritik akışkan” denilmektedir. Çizelge 2.2’de sıvı, gaz ve süperkritik akışkanların fiziksel özelliklerinin karşılaştırılması yapılmıştır.

Çizelge 2.2. Akışkanların fiziksel özelliklerinin karşılaştırılması

Özellik	Sıvı	Süperkritik akışkan	Gaz
Yoğunluk (kg.m^{-3})	600-1600	200-1000	1
Viskozite (kg.(m.s)^{-1})	$1,0 \times 10^{-3}$	$1,0 \times 10^{-4}$	$1,0 \times 10^{-5}$
Yayımlılık	$1,0 \times 10^{-9}$	$1,0 \times 10^{-7}$	$1,0 \times 10^{-4}$

Süperkritik koşullarda olan bir madde hem sıvının hem de gazın taşıdığı özelliklere sahiptir. Bu özelliğinden dolayı sıvılar gibi yüksek yoğunluk ve çözme gücüne

sahipken aynı zamanda gazlar gibi düşük viskozite ve yüzey gerilimine sahiptir (Büyüktuncel, 2012). Şekil 2.2’de saf bir madde için basınç-sıcaklık diyagramında süperkritik bölge ayrıntılı olarak gösterilmiştir.



Şekil 2.2. Saf bir maddenin basınç-sıcaklık faz diyagramı (Atila, 2009).

Süperkritik akışkanın özellikleri (yoğunluk, viskozite ve kırılma indisi) sıcaklık ve basınç ile değiştirilebilmektedir. Süperkritik akışkanların çözme güçleri yoğunluklarına bağlıdır. Süperkritik akışkanların ekstraksiyonda kullanılmasının en önemli nedenlerinden birisi yoğunluğun ve çözme güçlerinin sıcaklık ve basınç ile değiştirilebilir özellikte olmasıdır.

Süper kritik akışkanların özellikleri;

- (i) Süperkritik akışkanlar gazların yayınlığına, sıvıların çözme gücüne sahiptir.
- (ii) Süperkritik akışkanlar geleneksel organik solventler ile elde edilmesi zor veya imkânsız olan ekstraktları kolayca elde edebilmektedir.
- (iii) Kritik noktada en düşük çözme gücüne sahiptirler.
- (iv) Buharlaşma gizli ısıları sıfırdır, bu yüzden ısı kapasiteleri çok yüksektir.
- (v) Yüzey gerilim katsayıları ve viskoziteleri düşüktür. Bu nedenle pompalama masrafları düşüktür.

Ekstraksiyon için çözücü seçimi çok önemlidir. Süperkritik akışkan ekstraksiyonu için genellikle düşük sıcaklık ve basınç değerlerinde süperkritik faza kolayca geçebilmesinden dolayı akışkan olarak karbondioksit tercih edilmektedir. CO₂ için 30,9°C sıcaklık ve 73.8 bar basınç kritik koşulları oluşturmaktadır. Karbondioksit süperkritik faza kolayca geçebilmesinin yanında düşük toksitesi ve kimyasal inert oluşu, ekonomik olması ve kullanımın kolay olması gibi sebeplerle de süperkritik akışkan ekstraksiyonu için sıkça tercih edilen bir akışkandır. Ekstraksiyon özellikleri basınç ve sıcaklıktaki ince değişiklikler ile geniş ve hassas bir şekilde ayarlanabilir (Sapkale vd.,

2010). Diğer süperkritik akışkanlar ve kritik koşulları Çizelge 2.3'te gösterilmiştir. Süperkritik CO₂'in en büyük kısıtlaması polar bileşiklerin ekstrakt edilmesine uygun olmamasıdır (Grosso ve Arkadaşları, 2015). CO₂ non-polar olduğu için polar analitlerin ekstraksiyonunda kullanıldığında ekstraksiyonun etkinliği için karbondioksit modifikatörler eklenir. Yaygın kullanılan modifikatörler metanol ve diklormetandır (Büyüktuncel, 2012).

Çizelge 2.3. Süperkritik akışkanlar ve kritik koşulları

Çözücü	TC (K)	PC (MPa)
Etilen	282,5	5,0
Karbondioksit	304,3	7,4
Etan	305,4	4,9
Propan	369,9	4,3
Amonyak	405,4	11,3
n-pentan	469,6	3,4
Metanol	512,7	8,1
Toluen	591,8	4,1
Su	647,7	22,1

Ekstraksiyonda doğru akışkanın seçimi için yukarıdaki kritik değerler çok önemlidir. Akışkan seçiminde; yöntemin ekonomikliği kritik basınç değeriyle, ısıya hassas maddelerin tahrip olması kritik sıcaklık değeriyle öngörülelebilmektedir. Ayrıca akışkanların diğer özellikleri de seçim konusunda önemlidir. Örneğin amonyak toksik özellikte iken propan patlayıcıdır ve yüksek basınç ortamında kullanılması tehlikeli olabilmektedir (Pekyardımcı, 1991). Bu nedenlerle çoğu biyolojik uygulama CO₂ ile sınırlı kalmıştır (Nakamura vd., 1988).

Basınç ve sıcaklık SFE için kilit parametrelerdendir. Her iki parametredeki değişimler süperkritik akışkanın yoğunluk, viskozite ve difüzyon kabiliyetini etkilemektedir. Basıncadaki artış sıvı yoğunluğunun artışına dolayısıyla çözünürlük artışına sebep olmaktadır. Bununla birlikte basınç parametresi belirli değerlerin üzerine çıktığında, süperkritik akışkanın matris içerisine yayınlığının azalması ve böylelikle çözünürlüğün olumsuz olarak etkilendiği durumlarda olmaktadır. Sıcaklığın ise kontrolsüz arttığı durumlarda tutarsız bir çözücü etkisi gözükmemektedir (Khaw vd., 2017). Sıcaklık artışının genel itibari ile yayınlığının, görünür hacmin ve yoğunluk üzerinde artış etkileri bulunmaktadır. Nejad-Sadeghi vd. (2015), uçucu yağ veriminin sıcaklıkla doğru orantılı ve difüzyonun ise yoğunlukla doğrudan ilgili olduğunu belirtmişlerdir. Bunun yanı sıra Güvenç vd. (1999) SC-CO₂ kullanarak etanolün ekstraksiyonunu araştırdıkları çalışmada toplu ekstraksiyon sisteminde %15-75 (h/h) etanol konsantrasyonu içeren çözeltilerle deneyler yapılmıştır. Deneyin koşulları ise 120 atm basınç, 313⁰K sıcaklık ve

60 dk olarak sağlanmıştır. Bu deney koşullarının SC-CO₂ için normal sıvı yoğunluğuna yakın ve dolayısıyla yüksek çözme gücüne sahip olması için seçilmiştir. Sonuç olarak, ekstraksiyonun veriminin artan basınç ve azalan sıcaklık ile arttığı kaydedilmiştir.

Süperkritik akışkan ile ekstraksiyonda matrisin fiziksel özelliklerinin yanı sıra ekstraksiyon verimliliğinde matrisin yapısı da son derece önemlidir. Süperkritik karbondioksit polar değildir bu yüzden polar olmayan ve bazı düşük molekül ağırlıklı uçucu polar bileşiklerin ekstraksiyonu için tercih edilen bir çözücüdür. Polar bileşiklerin ekstraksiyonu için ise yardımcı çözücü veya modifikatör ilavesi SC-CO₂'in çözme gücünü ve biyoaktif bileşiklerin geri kazanımını arttırmaktadır (Herrero vd., 2006). Modifikatörler pompalama sistemine ikinci bir pompa ve karıştırma odası ile dahil edilebilmektedir.

Matrisin yapısı kullanılması gereken modifikatörün seçimi konusunda yardımcı olmaktadır. Organik çözücü olarak en yaygın kullanılan modifikatörler etanol ve metanoldür. Polifenollerin ekstraksiyonunu araştıran bir çalışmada ilave etanol içeren SC-CO₂'in %7,3'e kadar yüksek bir geri kazanım sağladığı kaydedilmiştir (Da Porto vd., 2014). Ayrıca aynı çalışma grubunun polar bileşikleri geri kazanmada bir yardımcı çözücü kullanmanın gerekli olduğu da tekrar teyit edilmiştir.

Araştırmalar, doğal materyallerde bulunan birçok değerli bileşiğin kullanımına odaklanmış durumdadır. Bunlar sağlık ve gıda endüstrisi başta olmak üzere birçok alanda ekonomik ve sağlığa faydalı etkileri bulunabilen bileşiklerdir. Teknoloji uzmanları, bu bileşiklerin ayrıştırılması ve faydalı özelliklerinin korunması için yeni süreçler ve teknolojiler geliştirmeye yönelik teşvik edilmektedir. Bu alanda birçok araştırmacı çevresel ve sağlık açısından tehlikeli organik çözücülerin daha fazla kullanılması gerekmeden yeşil teknolojilere geçişi mümkün kılan ekstraksiyon işlemlerinin uygulanmasına yönelmiştir. Gelişen teknolojiye dayanarak faydalanma ve aynı zamanda farklı endüstri dallarının oluşturduğu atıkların çevreye geri kazandırılması çabaları, süperkritik akışkanların bir "yeşil teknoloji" uygulaması olarak farkındalık oluşturmalarını sağlamıştır. Süperkritik solventler, doğal ürün elde etmede geleneksel yöntemlere göre daha seçici ve çevresel olarak sürdürülebilir bir alternatif sunmaktadır. Süperkritik akışkan ekstraksiyonu, klasik sıvı solvent ekstraksiyonlarına kıyasla sayısız avantajı nedeniyle (özellikle hızlilik, seçicilik, temizlik ve düşük solvent hacimleri) son on yılda artan bir ilgi ile karşı karşıya kalmıştır. Sonuç olarak günümüzde süperkritik akışkan tabanlı ekstraksiyon yöntemleri büyük potansiyele sahip ve araştırılmaya değer teknolojiler olarak kabul görmektedir.

Günümüzde gıda sanayisi ve doğal ürün işleme alanlarında çevresel sürdürülebilirlik kavramı giderek daha fazla önem kazanmaktadır. Bu bağlamda, organik çözücülerin yoğun kullanıldığı geleneksel ekstraksiyon yöntemlerinin çevreye olan olumsuz etkileri ve son ürünlerde kalan solvent kalıntıları, yeni teknolojilerin geliştirilmesini zorunlu kılmıştır (Azmir vd., 2013). Süperkritik akışkan ekstraksiyonu (SFE), özellikle süperkritik karbondioksit (SC-CO₂) kullanımı ile, bu gereksinimleri karşılayan yeşil ve çevre dostu bir teknoloji olarak öne çıkmaktadır.

SFE teknolojisi, düşük toksisite, yanıcılık ve çevresel kirlilik riski taşımayan karbondioksitin süperkritik fazda çözme gücünün ayarlanabilir olması sayesinde, geleneksel çözücülere kıyasla çok daha güvenli ve çevre dostu bir ekstraksiyon yöntemi sunmaktadır (Da Porto vd., 2014). Ayrıca, kullanılan CO₂'nin atmosferden alınması ve ekstraksiyon sonrası gaz halinde ortama geri verilmesi, bu yöntemin karbon ayak izinin düşük olmasına katkı sağlamaktadır.

Ekstraksiyon sürecinde kullanılan sıcaklıkların genellikle düşük veya ılımlı olması, biyoaktif bileşiklerin termal bozulmasının önlenmesini sağlayarak ürün kalitesini artırmakta ve besin değerinin korunmasına olanak vermektedir (Azmir vd., 2013). Yüksek selektivitesi sayesinde istenmeyen yan bileşenlerin ayrıştırılması minimize edilmekte, böylece ekstraktın safiyeti ve fonksiyonelliği artmaktadır. Bu özellik, özellikle gıda katkı maddeleri, doğal antioksidanlar ve esansiyel yağ asitleri gibi hassas bileşenlerin izolasyonunda önemli avantajlar sunmaktadır. SFE yöntemi, aynı zamanda ekstraksiyon süresini kısaltması ve kullanılan çözücü miktarını azaltması ile endüstriyel süreçlerin verimliliğini artırmaktadır. Bu durum hem enerji tasarrufu hem de üretim maliyetlerinin düşürülmesi açısından sürdürülebilir üretim hedeflerine katkıda bulunmaktadır (Azmir vd., 2013).

Süperkritik ekstraksiyonun gıda sektöründe yaygınlaşması, sadece çevresel değil aynı zamanda ekonomik sürdürülebilirlik açısından da önemlidir. Atık materyallerden biyoaktif bileşenlerin geri kazanımı ve katma değerli ürünlerin geliştirilmesi, doğal kaynakların etkin kullanımını ve israfın azaltılmasını sağlamaktadır. Böylece hem hammadde verimliliği artmakta hem de çevresel kirliliğin önüne geçilmektedir (Da Porto vd., 2014). Süperkritik CO₂ ile yapılan ekstraksiyonlar genellikle apolar bileşenler için uygundur; ancak polar bileşiklerin ekstraksiyonunda metanol veya diklormetan gibi modifikatörlerin eklenmesi gerekmektedir (Grosso vd., 2015; Herrero vd., 2006).

Soya fasulyesi ve diğer yağlı tohumlardan SC-CO₂ ile ekstrakt elde edilmesi üzerine yapılan çalışmalar, modifikatör kullanımı ile birlikte yüksek verim ve kalite elde

edilebileceğini göstermektedir (Da Porto vd., 2014). Ancak, soya unu protein ve enzimlerinin ekstrakte edilmesi için SC-CO₂ ekstraksiyonun optimal parametreleri ve ekstraktların fonksiyonel etkileri hala araştırma konusudur. Ekstraksiyonda doğru akışkanın seçimi için yukarıdaki kritik değerler çok önemlidir. Akışkan seçiminde; yöntemin ekonomikliği kritik basınç değeriyle, ısıya hassas maddelerin tahrip olması kritik sıcaklık değeriyle öngörülelebilmektedir. Ayrıca akışkanların diğer özellikleri de seçim konusunda önemlidir. Örneğin amonyak toksik özellikte iken propan patlayıcıdır ve yüksek basınç ortamında kullanılması tehlikeli olabilmektedir (Pekyardımcı, 1991). Bu nedenlerle çoğu biyolojik uygulama CO₂ ile sınırlı kalmıştır (Nakamura vd., 1988).

Süperkritik CO₂ ekstraksiyonu ile elde edilen ekstraktların potansiyeli, özellikle gıda teknolojisi alanında fonksiyonel bileşenlerin izolasyonu ve kullanımında dikkat çekmektedir. Soya unu ekstraktları, yalnızca yağ ve apolar bileşenlerin geri kazanımıyla sınırlı kalmayıp, uygun parametreler sağlandığında biyoaktif bileşenlerin de etkin bir şekilde korunmasına olanak tanımaktadır. Bu bağlamda, elde edilen ekstraktların ekmek üretiminde kullanılması, geleneksel soya unu katkısına kıyasla daha seçici ve fonksiyonel bir zenginleştirme stratejisi sunmaktadır. Dolayısıyla, SC-CO₂ ile elde edilen ekstraktların ekmek formülasyonlarına entegrasyonu hem ürün kalitesi hem de fonksiyonel özellikler açısından önemli bir araştırma alanı olarak öne çıkacağı düşünülmektedir.

2.5. Soya Unu Ekstraktı ve Ekmek Formülasyonunda Kullanımı

Ekmek katkı maddelerinin kullanım amaçları arasında ürünün besin değerini artırmak, kaliteyi yükseltmek, işlemeyi kolaylaştırmak ve üretim süresini kısaltmak yer almaktadır. Literatürde, enzimce aktif soya unu ve diğer enzimlerin ekmek üretiminde kullanımı ile daha hızlı ekmek yapımının mümkün olduğu; ekmek kalitesinin iyileştirildiği, ayrıca enerji, zaman ve iş gücünden tasarruf sağlandığı bildirilmektedir (Certel ve Ertugay, 1996; Elgün, 1981; Abasız, 2004). Soya ununun yalnızca enzimsel özellikleri değil, içerdiği yüksek protein miktarı da beslenme açısından önemli katkılar sunmakta ve bu sayede, kalite artışına ek olarak geç bayatlayan ekmeklerin üretiminde kullanılabilirliği ifade edilmektedir (Pylar, 1979; Fraziers, 1979; Fellers, 1983; Ötleş ve Atlı, 2000).

Tamay (2005), soya unu katkısı ile (%3, %5 ve %10) çeşitli ekmek ve keklerin üretiminde fiziksel, kimyasal, teknolojik ve reolojik değişimleri incelemiş ve %3

oranındaki katkının diğer yüksek oranlara kıyasla daha olumlu sonuçlar verdiğini rapor etmiştir. Soya ununun lipaz enzim aktivitesini artırarak ekmek hamurundaki yağları parçaladığı, monogliserit ve yağ asitlerinin oluşumu sayesinde bayatlamayı geciktirici etki gösterdiği de bilinmektedir (Abasız, 2004).

Soya unu ve türevlerinin fonksiyonel bileşenleri üzerine yapılan çalışmalar, ürünün yalnızca teknolojik değil, aynı zamanda fonksiyonel özelliklerini de geliştirdiğini ortaya koymuştur. Nilüfer ve Boyacıoğlu (2008), soya sütü tozu (SST), soya unu, soya protein izolatları ve soya liflerinin ekmek özelliklerine etkilerini incelemiş; SST'nin yüksek fenolik madde, izoflavon ve antioksidan kapasitesiyle öne çıktığını bildirmiştir. Çözünür lif ilavesi ekmek hacmini ve yumuşaklığını artırırken, çözünmeyen lif ve protein izolatlarının olumsuz etkiler gösterdiği; SST katkısının ise özellikle içerdiği çözünür lif ve yağın sinerjisiyle bayatlamayı geciktirdiği tespit edilmiştir. Benzer şekilde, Nilüfer (2007) tarafından yürütülen çalışmada soya unu ve türevlerinin besinsel değer, nem tutma kapasitesi ve antioksidan özellikler bakımından ekmek kalitesini artırdığı, ancak yüksek düzeyde protein izolatu kullanımının hacim ve tekstür üzerinde olumsuz sonuçlar doğurduğu vurgulanmıştır.

Ekmek formülasyonlarına soya unu katkısı ile ilgili farklı araştırmalar da literatürde yer almaktadır. Dirim vd. (2014), buğday unu yerine %20 oranında çeşitli baklagil ve sebze unlarının (nohut, soya, barbunya, mercimek, keçiyoynuzu, bezelye) ikamesiyle üretilen ekmekleri incelemiş ve soya unu katkılı ekmeklerin nem içeriğinin düşük, dokusunun daha sıkı olmasına rağmen duyuşal olarak yüksek kabul edilebilirlik gösterdiğini belirlemiştir. Genel değerlendirmede barbunya unu ilk sırada yer alırken, soya unu katkılı ekmek ikinci sırada tüketici beğenisi kazanmıştır.

Uluslararası literatürde yapılan çalışmalarda da benzer bulgular elde edilmiştir. Soya unu eklenmesiyle ekmeğin protein, lif ve antioksidan içeriğinin arttığı; düşük ve orta düzeylerde (%3–10) kullanımın hamur işlenebilirliğini, kabuk rengini ve duyuşal beğeniyi geliştirdiği; ancak yüksek oranlarda (%10–15 ve üzeri) hacim kaybı, sertlik artışı ve fasulyemsi tat gibi olumsuz etkiler yarattığı raporlanmıştır (Shin vd., 2013; Taghdir vd., 2016; Boyacıoğlu, 2006; Pylar, 1988). Bu olumsuzlukların, gluten, askorbik asit, emülgatör veya ek su ilavesiyle kısmen dengelenebileceği bildirilmiştir. Ayrıca, ısı işlem görmüş soya ununun fasulyemsi tadı azaltarak duyuşal kabulü iyileştirdiği belirlenmiştir (Shin vd., 2013). Bununla birlikte, ekmek üretiminde soya ununun aşırı kullanımı gözenek yapısının bozulmasına, ekmek hacminin düşmesine ve renk, koku ile tat üzerinde olumsuz etkilere neden olabilmektedir (Göçmen, 1993). Bu nedenle enzimce aktif soya

ununun %5'ten fazla katılmaması, yağsız soya ununun ise protein takviyesi için %5–10 aralığında kullanılması önerilmektedir (Stauffer, 1983; Rastogi ve Gurmukh, 1989; Cumbee vd., 1997; French, 1997; Riaz, 1999).

Çalışmamızda kullanılan yöntem, bu literatür bulgularına dayanarak yenilikçi bir yaklaşım sunmaktadır. Enzimce inaktif, protein içermeyen ve apolar bileşenlerden oluşan soya unundan süperkritik CO₂ (SC-CO₂) yöntemi ile ekstrakt elde edilmesi ve ekmek üretiminde kullanılması, klasik uygulamalardan farklıdır. SC-CO₂ ekstraksiyonunun modifikatör kullanımı ile polar bileşiklerin geri kazanımını artırabildiği ve yüksek verimli ekstrakt elde edilmesini sağladığı belirtilmektedir (Da Porto vd., 2014; Grosso vd., 2015). Bu yöntemle elde edilen soya ekstraktlarının ekmek üretiminde kullanılması, geleneksel katkı maddelerine kıyasla çevresel, ekonomik ve fonksiyonel avantajlar sunarken; ürün kalitesini artırmanın yanı sıra sürdürülebilir gıda üretimine de katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Materyal

Bu çalışmada katkısız ekmeçlik buğday unu, Konya'da üretim yapan ticari bir tesisten (Konya Yıldızı Un San Tic. A.Ş., Konya, Türkiye) temin edilmiştir. Süperkritik karbondioksit ekstraksiyon işlemlerinde kullanılan enzimce inaktif soya unu, yerli bir üretici firmadan (Naturelka, Manisa, Türkiye) sağlanmıştır. Ekstraksiyon işlemleri sırasında elde edilen soya ekstraktları, 200, 300 ve 400 bar basınç seviyelerinde süperkritik CO₂ koşulları altında üretilmiştir. Elde edilen ekstraktlar, ekmeç üretiminde %0 (kontrol), %0,1, %0,5 ve %1 oranlarında formülasyona dahil edilmiştir.

Ekmeç üretiminde ayrıca yaş maya, sofrta tuzu ve içme suyu kullanılmıştır. Tüm bu bileşenler yerel bir marketten temin edilmiştir.

3.2. Yöntem

3.2.1. Deneme deseni

Çalışma iki aşamalı olarak planlanmış ve yürütülmüştür. İlk aşamada, enzimce inaktif soya unundan süperkritik karbondioksit (SC-CO₂) ekstraksiyon yöntemi kullanılarak üç farklı basınç seviyesinde (200, 300 ve 400 bar) soya ekstraktları elde edilmiştir. Böylece, toplam üç farklı ekstrakt fraksiyonu hazırlanmıştır.

İkinci aşamada, her bir ekstrakt türü, %0, %0,1, %0,5 ve %1 seviyelerinde olmak üzere dört farklı oranla katkısız buğday unu bazlı standart bir ekmeç formülasyonuna dahil edilmiştir. Bu kapsamda, 3 (ekstrakt tipi) × 4 (ekstrakt oranı) faktöriyel düzene göre toplam 12 farklı deney grubu oluşturulmuştur. Elde edilen ekmeç örneklerinin bazı fiziksel (hacim, spesifik hacim, ağırlık), tekstürel ve duyusal özellikleri değerlendirilmiştir.

3.2.2. Süperkritik karbondioksit ekstraksiyon yöntemi ile soya ekstraktı üretimi

Şekil 3.1'de gösterilen SCO₂ cihazında, enzim açısından inaktif hale getirilmiş soya unu, 50°C sıcaklıkta ve sırasıyla 200 bar, 300 bar ve 400 bar basınç koşullarında 60 dakika süreyle ekstraksiyona tabi tutulmuş ve bu işlem sonucunda soya ekstraktı elde edilmiştir.



Şekil 3.1. SCO₂ cihazı

3.2.3. Ekstraktların indüksiyon periyodu

İndüksiyon periyodu, AOCS Cd 12b-92'e göre yapılmıştır. Belirli sıcaklık ve hava akışında yağların oksidasyonu sonucu oluşan uçucu bileşenlerin artışına paralel, belirli bir kırılma noktasının belirlendiği bir değerdir. İndüksiyon periyodu, parçalanma ürünlerinin damıtık suya transfer olması sonucu suyun iletkenliğinde oluşan değişimle ölçülmektedir. İndüksiyon periyodu ne kadar uzun ise yağın oksidatif stabilitesi o denli yüksektir. Bu yöntemde örnekler 120°C'de 20 L/saat hızla akışı verilerek, Ransimat 892 cihazı (Metrohm AG, Herisau, İsviçre) kullanılarak yapılmıştır ve indüksiyon periyodu sonuçları saat olarak verilmiştir.

3.2.4. Katkısız ekmeklik buğday ununda gerçekleştirilen kimyasal ve fizikokimyasal analizler

3.2.4.1. Kimyasal analizler

Katkısız ekmeklik buğday unu örneklerinin nem oranı, belirli bir sıcaklık ve süre koşulunda etüvde kurutma esasına dayalı olarak belirlenmiştir. Nem tayini, AACC tarafından tanımlanan referans yöntemler doğrultusunda Metot 44-19.01 temel alınarak gerçekleştirilmiştir (AACC, 1999).

Kül içeriğinin belirlenmesi amacıyla, un örneklerine 550°C sıcaklıktaki kül fırınında yakılma işlemi uygulanmış ve sabit ağırlığa ulaşılan kadar işlem sürdürülmüştür. Analizler AACC 08-01.01 standardına uygun şekilde yürütülmüştür (AACC, 1999).

Protein içeriği, AACC 46-12.01 yöntemi esas alınarak Kjeldahl tekniği ile tayin edilmiştir. Bu yöntemde numuneler asidik ortamda sindirilmiş, açığa çıkan azot alkalizasyon sonrası amonyak formuna dönüştürülmüş ve uygun bir asit çözeltisi ile titre edilerek toplam azot miktarı hesaplanmıştır. Tüm örneklerde protein miktarlarının

hesaplanmasında 5,70 azot–protein dönüşüm faktörü kullanılmış ve sonuçlar yüzde (%) olarak ifade edilmiştir (AACC, 1999).

Katkısız ekmeklik buğday unlarının yağ oranı, Soxhlet aleti kullanılarak AACC Metot 30-25 yöntemiyle belirlenmiştir (AACC, 1990). Bu kapsamda, örneklerdeki yağ fazı hekzan kullanılarak elde edilmiş; ekstraksiyon sonrası çözücü ortamdan uzaklaştırılmıştır. Elde edilen kalıntı, sabit ağırlığa ulaşınca kadar kurutulmuş ve gravimetrik olarak tartılarak yağ miktarı yüzde (%) cinsinden hesaplanmıştır.

Ham selüloz miktarının belirlenmesi, katkısız ekmeklik buğday unu örneklerinde AACC 32-10 yöntemi temel alınarak gerçekleştirilmiştir. Analiz sürecinde, örneklerdeki karbonhidratlı bileşenler asidik ortamda, azotlu bileşenler ise bazik ortamda uzaklaştırılmış; su içeriği etüvde kurutma ile giderilmiştir. İşlemler sonucunda geriye kalan kül ve selüloz fraksiyonundan selülozun yakılarak uzaklaştırılmasıyla ham selüloz miktarı hesaplanmıştır (AACC, 1990).

3.2.4.2. Yaş gluten, kuru gluten ve gluten indeks

Un örneklerinin yaş gluten içeriği ile gluten indeks değerleri, AACC 38-12 standardı esas alınarak belirlenmiştir. Analizler sırasında Glutomatic-2200 yıkama cihazı ve Centrifuge 2015 santrifüj cihazı kullanılmıştır. Yöntem kapsamında, hamurdan nişasta ve suda çözünebilen bileşenler uzaklaştırılarak elde edilen yaş gluten miktarı belirlenmiş; santrifüjleme işlemi sonrasında glutenin mekanik dayanımına bağlı olarak gluten indeks değeri hesaplanmıştır (AACC, 1990).

3.2.4.3. Zeleny sedimentasyon

Zeleny sedimentasyon değeri, ICC Standart No: 116/1 yöntemi kullanılmasıyla tespit edilmiştir. (ICC, 2001). Bu amaçla, 3,2 g un örneği 100 mL'lik ölçülü cam kaba tartılmış ve üzerine 50 mL bromfenol çözeltisi ilave edilerek kapatılmıştır. Homojenizasyon için karışım yatay konumda 5 saniye içinde 12 kez çalkalanmış, ardından cihazda 5 dakika süreyle mekanik olarak karıştırılmıştır. Bunu takiben, karışıma 25 mL laktik asit çözeltisi eklenmiş ve 5 dakika daha çalkalama işlemine devam edilmiştir. Son aşamada, tüp düz bir yüzeyde 5 dakika süreyle bekletilmiş ve oluşan çökelti hacmi göz hizasından mililitre (mL) cinsinden okunmuştur. Elde edilen değer, Zeleny sedimentasyon değeri olarak kaydedilmiştir.

3.2.4.4. Glutograf (GlutoPeak) analizi

Katkısız un örneklerinin gluten gelişim özellikleri GlutoPeak cihazı (Brabender GmbH ve Co. KG, Duisburg, Germany) ile belirlenmiştir. Analizlerde 8,5 g un ve 9,5 g saf su kullanılmış, ölçümler 35°C sıcaklık ve 2750 rpm hızda gerçekleştirilmiştir. Cihazdan elde edilen eğrilerden Peak Maximum Time (PMT, s), Maximum Torque (BEM, BU), Peak Maximum (PM, BU) ve Area Under Curve (AUC, cm²) parametreleri kaydedilmiştir.

3.2.4.5. Farinograf analizi

200, 300 ve 400 bar basınç altında elde edilen ekstraktların farklı oranlarda (%0, 0,1, 0,5 ve 1) katılmasıyla elde edilen hamurların farinograf özellikleri, AACC Standart Metot No: 54-21 esas alınarak tespit edilmiştir (AACC, 2000). Farinograf analizleri kapsamında, hamurların su absorpsiyon kapasitesi, gelişme süresi, stabilite süresi ve yumuşama derecesi parametreleri değerlendirilmiştir.

3.2.4.6. Ekstensograf analizi

200, 300 ve 400 bar basınç koşullarında ekstrakte edilen ekstraktların farklı ikame oranlarında (%0, 0,1, 0,5 ve 1) kullanılmasıyla hazırlanan hamurların ekstensograf özellikleri, AACC Standart Metot No: 54-10'a uygun olarak analiz edilmiştir (AACC, 2000). Ekstensograf değerlendirmelerinde, ekmek üretim süreci dikkate alınarak 135°C'de ölçülen enerji değeri, uzamaya karşı direnç, uzama kabiliyeti ve maksimum direnç parametreleri esas alınmıştır.

3.2.5. Ekmek üretimi

Ekmek üretimi, temel bileşenler olan 100 g un, 1,5 g tuz, 3 g yaş maya ve farinograf analizinden elde edilen su absorpsiyon değerinin 2 ml altında kalan miktarda su kullanılarak gerçekleştirilmiştir (Çizelge 3.1) Tüm bileşenler, uygun kıvamlı hamur elde edilinceye dek laboratuvar tipi yoğurma cihazında (Hobart N50, Offenburg, Almanya) karıştırılmıştır. Yoğurma işlemini takiben hamurlar, %75-80 bağıl nemde ve $30 \pm 1^\circ\text{C}$ sıcaklıktaki fermantasyon ortamında iki aşamalı olarak uygulanmıştır. İlk ve ikinci fermantasyon süreleri 30'ar dakika olup, her aşamanın sonunda hamurlar katlanarak gaz çıkışı ve homojen doku sağlanmıştır. Şekil verilen hamurlar, son fermantasyon için tekrar 30°C'de 60 dakika bekletilmiştir. Pişirme işlemi önceden

ısıtılmış $230 \pm 5^\circ\text{C}$ fırında gerçekleştirilmiştir. Fırından çıkan ekmekler 1 saat oda koşullarında soğutulmuş ve kalite analizleri için örnekleme yapılmıştır. Kimyasal analizlerde kullanılacak ekmekler, oda sıcaklığında kurutularak öğütülmüş, hava geçirmez poşetlerde -18°C 'de analiz zamanına kadar muhafaza edilmiştir.

Çizelge 3.1. Ekmek formülasyonları

Bileşen	%0	%0,1	%0,5	%1
Katkısız buğday unu (g)	100	100	100	100
200 bar (mL)	0	0,1	0,5	1,0
300 bar (mL)	0	0,1	0,5	1,0
400 bar (mL)	0	0,1	0,5	1,0
Yaş maya (g)	3,0	3,0	3,0	3,0
Tuz (g)	1,5	1,5	1,5	1,5
Su (ml)	66	66	66	66

3.2.6. Ekmek analizleri

3.2.6.1. Renk analizi

Ekmek kabuk ve iç renk ölçümleri, 2,5 cm kalınlığındaki dilimler üzerinden gerçekleştirilmiştir. Renk tayininde 5 farklı noktadan ölçüm alınmış ve elde edilen değerlerin ortalaması hesaplanmıştır. Analizler, belirlenen standart yöntemlere göre yapılmıştır. Örneklerinin renk değerleri Minolta CR-400 (Konica Minolta, Inc., Osaka, Japonya) cihazı kullanılarak belirlenmiştir. L^* (parlaklık), a^* (kırmızı, yeşil) ve b^* (sarı, mavi) değerleri tespit edilmiştir. Hue (renk özü) değeri $a^* > 0$ ve $b^* > 0$ için $\arctan(b^*/a^*)$; $a^* < 0$ and $b^* > 0$ için $\text{Hue} = \arctan[b^*/a^*] + 180^\circ$ formülü ile, SI (doyunluk indeksi) değeri ise $(a^{*2} + b^{*2})^{1/2}$ formülü ile hesaplanmıştır (Francis, 1998).

3.2.6.2. Ağırlık, hacim ve spesifik hacim analizi

Piştirme sonrasında 60 dakika soğutulan ekmekler tartılmış ve hacimleri kolza tohumu kullanılarak ölçülmüştür. Spesifik hacim, ekmek hacminin gram cinsinden ağırlığına oranı şeklindeki formülasyon kullanılarak hesaplamalar yapılmıştır (Elgün vd., 2001):

$$\text{Spesifik hacim (cm}^3\text{)} = \frac{\text{Ekmek hacmi (cm}^3\text{)}}{\text{Ekmek ağırlığı (g)}}$$

3.2.6.3. Tekstürel profil analizi

TPA analizleri, ekmeklerin 24, 72 ve 120. saatlerdeki tekstürel değişimlerini izlemek amacıyla yapılmıştır. Her ölçüm öncesi ekmekler 2,5 cm kalınlığında dilimlenerek analiz cihazına yerleştirilmiştir. Ölçümler, TA.XT Plus model tekstür analiz cihazı (Stable Micro Systems Ltd., UK) ile, 36 mm çapında silindirik prop kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Test parametreleri: ön test hızı 1 mm/sn, test hızı 5 mm/sn, test sonrası hız 5 mm/sn, sıkıştırma mesafesi 5 mm olacak şekilde belirlenmiştir. Bu analiz ile sertlik, elastikiyet, koheziflik, çiğnenebilirlik ve esneklik gibi parametreler değerlendirilmiştir.

3.2.6.4. İndüksiyon periyodu

Farklı oranlarda ekstrakt kullanımının ekmek örneklerinin oksidatif stabilitesi üzerindeki etkileri, 743 Rancimat (Metrohm, Herisau, İsviçre) kullanılarak belirlenmiştir. Dondurularak kurutulmuş ekmek numuneleri (3 g), reaksiyon tüplerine (çiftli olarak) ölçülmüş ve 120⁰C'de ve 7 L/saat gaz (ortam havası) akış hızında hızlandırılmış oksidasyona tabi tutulmuştur (Ranawanavd., 2016).

3.2.6.5. Duyusal analizler

Elde edilen ekmek örnekleri; tat, aroma, dış görünüm, gözenek yapısı ve genel beğeni kriterlerine göre değerlendirilmiştir. 7 puanlık bir skala (1: çok kötü, 7: mükemmel) esas alınarak oluşturulan puanlama sistemiyle, toplam 5 kişilik yarı eğitimli panelistler tarafından analizler yapılmıştır.

3.2.7. İstatistiksel değerlendirmeler

Tüm veriler JMP (versiyon 10.0, SAS Institute Inc., Cary, ABD) ve SPSS (versiyon 22.0) yazılımları ile analiz edilmiştir. Varyans analizine tabi tutulan sonuçlar, farklı katkı oranlarının etkilerini değerlendirmek amacıyla çoklu karşılaştırma testlerine (ekmek denemelerinde Tukey HSD) tabi tutulmuştur. Anlamlı fark gösteren gruplar grafik ve tablo formatında sunulmuştur ($p \leq 0,05$).

4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

4.1. Enzimce İnaktif Soya Unu Ekstraktlarının ve Katkısız Buğday Unu Örneklerinin Renk Değerleri

Çizelge 4.1’de enzimce inaktif soya unu ekstraktlarının ve katkısız ekmeklik buğday unu örneğinin renk değerleri verilmiştir. Ekstraktlar arasında karşılaştırma yapıldığında, L^* değerinin 200 bar basınçta 36,56 iken 300 ve 400 bar basınçta sırasıyla 34,55 ve 34,34’e düştüğü görülmektedir. Bu durum, basınç arttıkça ekstraktların daha koyu bir renge sahip olduğunu göstermektedir. Literatürde de yüksek basınç ve sıcaklık koşullarında fenolik bileşiklerin ve Maillard reaksiyonu ürünlerinin artış gösterdiği, bunun da ekstraktlarda daha koyu bir renk oluşumuna yol açtığı belirtilmektedir (Hashemi vd., 2022; Lutterodt vd., 2011).

Çizelge 4.1. Ekstraktların ve rafine buğday unu örneklerinin renk değerleri

Ekstrakt çeşidi	L^*	a^*	b^*	Hue	SI
200	36,56±1,03	0,14±0,04	-0,79±0,06	100,11±2,95	0,81±0,06
300	34,55±2,13	0,43±0,12	0,44±0,03	45,92±6,31	0,62±0,10
400	34,34±2,14	0,57±0,23	0,59±0,36	45,28±14,09	0,84±0,37
Katkısız buğday unu	90,69±0,02	-0,68±0,01	10,75±0,02	93,64±0,03	10,78±0,02

a^* değerine bakıldığında, 200 bar ekstraktında değer nötr seviyeye yakınken (0,14), 300 bar (0,43) ve 400 bar (0,57) basınçta artış göstermiştir. Bu artış, basınç yükseldikçe ekstraktlarda kırmızı tonunun hafif şekilde belirginleştiğini göstermektedir. Bu durum, basınç altında hücre duvarı yapılarının parçalanmasıyla antosiyaninler veya karotenoid gibi pigmentlerin daha fazla ekstrakte edilmesi ile açıklanabilir (Ribas-Agustí vd., 2018). b^* değerinde ise 200 bar ekstraktında negatif değer (-0,79) maviye yakın bir ton ifade ederken, 300 (0,44) ve 400 bar (0,59) ekstraktlarında pozitif değerlere ulaşılmış ve sarı tonun öne çıktığı görülmüştür. Bu değişim, basınç artışına bağlı olarak yağda çözünebilen karotenoidlerin ve flavonoidlerin ekstraksiyon veriminin artmasıyla ilişkilendirilebilir. Benzer şekilde, Choudhury vd. (2023) bitkisel ekstraktlarda artan basınçla birlikte sarı renk tonlarının güçlendiğini bildirmiştir. Hue açısı incelendiğinde, 200 bar basınçta 100,11 olan değer yeşile yakın bir tonda iken, 300 ve 400 bar basınçta yaklaşık 45 civarında ölçülmüş ve kırmızı–sarı aralığına kaymıştır. Bu bulgu, ekstraksiyon koşullarının pigment dağılımını değiştirdiğini ve özellikle 300–400 bar

basınçta sarı-kırmızı bileşiklerin daha belirgin hale geldiğini göstermektedir (Chew vd., 2020). SI değeri 200 bar ekstraktında 0,81 ile nispeten doymuş bir renge işaret ederken, 300 bar basınçta 0,62'ye düşmüş, 400 bar basınçta ise 0,84 ile tekrar artmıştır. Bu dalgalanma, farklı basınç seviyelerinde çözünebilen pigmentlerin tür ve miktarındaki değişimden kaynaklanmış olabilir. 300 bar basınçta daha düşük doygunluk, muhtemelen çözünürlüğü düşük pigmentlerin baskın hale gelmesinden, 400 bar basınçta ise daha fazla fenolik ve pigment çözünmesinden ileri gelmiş olabilir. Genel olarak, ekstraksiyon basıncı arttıkça pigment çözünürlüğü ve fenolik madde salınımı artmakta, bu da ekstraktların renk değerlerinde değişime yol açmaktadır. Literatürde, ekstraksiyon parametrelerinin bitkisel ekstraktların renk özellikleri üzerinde belirleyici olduğu ve özellikle yüksek basınç koşullarında renk doygunluğunun fenolik bileşiklerin oksidasyonu ve Maillard ürünlerinin oluşumuyla değiştiği rapor edilmiştir (Hashemi vd., 2022; Ribas-Agustí vd., 2018).

Katkısız rafine buğday unu ise ekstraktlara kıyasla oldukça farklı bir renk profili sergilemiştir. L^* değeri 90,69 ile çok yüksek bulunmuş, bu değer unun açık beyaz rengini göstermektedir. a^* değeri -0,68 ile yeşil yönelimli iken, b^* değeri 10,75 olup sarı rengin belirgin olduğunu ortaya koymaktadır. Hue açısı 93,64 değeriyle sarı-yeşil aralığında yer almakta, SI değeri ise 10,78 ile ekstraktlara kıyasla çok daha yüksek bir doygunluk göstermektedir. Bu farklılığın ekstraktlarda fenolik bileşikler ve pigmentlerin varlığından, rafine unlarda ise nişasta ağırlıklı yapının baskın olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

4.2. Katkısız Rafine Buğday Unu Örneklerinin Kimyasal ve Fizikokimyasal Özellikleri

Katkısız rafine buğday unu örneklerinin kimyasal bileşimi ve teknolojik özellikleri Çizelge 4.2'de sunulmuştur. Unun nem içeriği %14,35 olup, Türk Gıda Kodeksi Buğday Unu Tebliği'nde belirtilen maksimum %14,5 değerinin altında kalmıştır. Bu durum, ürünün depolama stabilitesi açısından uygun olduğunu göstermektedir. Kül miktarı %0,75 olup, bu değer tipik olarak rafine unlarda görülen (%0,5–0,8) aralığa uygundur (Kent, 2002). Protein oranı %11,80 ile orta düzeyde olup, ekmeklik unlar için kabul edilen %10–13 aralığında yer almaktadır (Wrigley vd., 2016). Yağ ve ham selüloz miktarları ise sırasıyla %2,30 ve %0,65 bulunmuştur; bu değerler

buğdayın kepek ve embriyo kısımlarının kısmen uzaklaştırıldığını, fakat tam saflaştırmanın yapılmadığını düşündürmektedir.

Çizelge 4.2 Rafine buğday unu örneklerinin kimyasal ve fizikokimyasal özellikleri

Bileşen (%)	Ekmeklik buğday unu
Nem	14,35±0,05
Kül	0,75±0,1
Protein	11,80±0,64
Yağ	2,30±0,21
Ham selüloz	0,65±0,05
Fizikokimyasal özellikler	
Gluten	26,53±0,25
Kuru gluten	8,17±0,1
Gluten İndeks	92,00±1,21
Normal sedimantasyon	33,00±1,33
Gecikmeli sedimantasyon	37,00±3,83
Glutogram değerleri	
<i>STR-1</i>	732,0±98,1
<i>STR-2</i>	30,0±0,1
<i>RLX-1</i>	179,7±5,03
<i>RLX-2</i>	50,0±0,01
Farinogram değerleri	
<i>Su absorpsiyonu (%)</i>	60,10±0,01
<i>Gelişme süresi (dk)</i>	1,40±0,01
<i>Stabilite (dk)</i>	1,50±0,01
<i>Yumuşama derecesi (BU)</i>	84,00±0,01
Ekstensogram değerleri (90 dk)	
<i>Enerji (cm²)</i>	74,50±4,95
<i>Uzamaya karşı direnç (BU)</i>	377,50±36,06
<i>Uzama kabiliyeti (mm)</i>	14,25±0,21

Gluten miktarı %26,53, kuru gluten %8,17 olarak belirlenmiştir. Özellikle gluten indeksinin %92 gibi oldukça yüksek bir değere sahip olması, glutenin kuvvetli ve kaliteli olduğunu göstermektedir. Yüksek gluten indeksi, hamurun yoğurma sırasında dayanıklılığını artırmakta ve pişirme sonrası ekmek hacmi ile bağlantılıdır (Banu Aprodu, 2020). Sedimantasyon testleri de (normal: 33 mL, gecikmeli: 37 mL) proteinin şişme kapasitesinin iyi olduğunu doğrulamaktadır.

Glutograf testinde STR-1 değeri 732 g olarak bulunmuş olup, bu değer glutenin yüksek gerilme direncini ortaya koymaktadır. RLX-1 (179,7 g) ve RLX-2 (50 g) değerleri

glutenin gevşeme kabiliyetinin orta seviyede olduğunu göstermektedir. Literatürde yüksek STR ve orta RLX değerleri, hamurun hem güçlü hem de kontrollü gevşeme kapasitesine sahip olduğunu, dolayısıyla işlenebilirliğinin iyi olduğunu belirtmektedir (Dobraszczyk ve Morgenstern, 2003).

Farinograf analizinde su absorpsiyonu %60,1 olarak bulunmuş, bu da unun optimum yoğurma için suya olan ihtiyacını göstermektedir. Gelişme süresi (1,4 dk) ve stabilite (1,5 dk) nispeten düşük olup, bu unun hamur gelişiminin hızlı olduğunu, fakat uzun süreli yoğurmaya karşı dayanımının sınırlı olduğunu düşündürmektedir. Yumuşama derecesi 84 BU gibi yüksek bir değerle ölçülmüş, bu da hamurun yoğurma süresince elastikiyetini kısmen kaybettiğini göstermektedir. Bu sonuçlar, katkısız ekmeklik buğday ununun kuvvetli gluten yapısına rağmen kısa stabiliteli ve daha hızlı işlenmesi gereken bir un olduğunu ortaya koymaktadır. Benzer şekilde, düşük farinograf stabilitesi orta kuvvetli unların tipik özelliği olarak rapor edilmiştir (Blokma ve Bushuk, 1988).

Ekstensograf sonuçları, unun uzama davranışını daha ayrıntılı ortaya koymaktadır. Enerji değeri 74,5 cm² ile yüksek bulunmuş, bu da hamurun işlenebilirliğinin ve gaz tutma kapasitesinin iyi olduğunu göstermektedir. Uzamaya karşı direnç 377 BU olup, glutenin kuvvetli olduğunu doğrulamaktadır. Uzama kabiliyeti 14,25 mm ile görece düşüktür; bu durum glutenin esneklikten ziyade direnç yönünün baskın olduğunu göstermektedir. Literatürde yüksek direnç ancak düşük uzama kabiliyeti, güçlü fakat esnekliği sınırlı gluten yapılarında gözlenmektedir (Weegels vd., 1996).

Elde edilen sonuçlar, katkısız ekmeklik rafine buğday ununun protein kalitesi yüksek, gluten yapısı kuvvetli, fakat hamur stabilitesi kısa olan bir un olduğunu göstermektedir. Yüksek gluten indeksi ve enerji değerleri, bu unun özellikle hacimli ekmek üretiminde uygun olduğunu; ancak düşük farinograf stabilitesi ve sınırlı uzama kabiliyeti nedeniyle işleme sırasında dikkatli kontrol gerektiğini göstermektedir. Bu bulgular, literatürde orta-kuvvetli buğday unları için rapor edilen değerlerle uyumludur (Dobraszczyk ve Morgenstern, 2003; Wrigley vd., 2016).

4.3. Enzimce İnaktif Soya Unu Ekstraktlarının İndüksiyon Periyodu

Enzimce inaktif soya unu ekstraktlarının farklı basınç koşullarında elde edilen indüksiyon periyodu (IP) değerleri Çizelge 4.3'de verilmiştir. İndüksiyon periyodu, ekstraktların oksidatif stabilitesini ve otokatalitik oksidasyona karşı direnç sürelerini yansıtmaktadır. Elde edilen bulgulara göre, 200 bar basınçta elde edilen ekstraktın

indüksiyon periyodu 0,02 saat ile en düşük seviyede bulunmuştur. Bu durum, düşük basınç koşullarında ekstraktın oksidasyona karşı dayanıklılığının sınırlı olduğunu göstermektedir. 300 bar basınçta elde edilen ekstraktın indüksiyon periyodu 0,05 saat ile en yüksek değere ulaşmış ve ekstraktın oksidatif stabilitesinin en iyi seviyeye çıktığını ortaya koymuştur. Bu sonuç, orta basınç koşullarında antioksidan bileşenlerin (örneğin izoflavonlar, tokoferoller ve fenolik bileşikler) daha etkin bir şekilde ekstrakte edildiğini düşündürmektedir. 400 bar basınçta elde edilen ekstraktın indüksiyon periyodu ise 0,04 saat olup, 300 bar koşulundan düşük ancak 200 bar koşulundan daha yüksek bulunmuştur. Bu durum, çok yüksek basınçlarda bazı antioksidan bileşenlerde parçalanma veya fonksiyonel kayıpların meydana gelebileceğini düşündürmektedir.

Çizelge 4.3. Enzimce İnaktif Soya Unu Ekstraktlarının İndüksiyon Periyodu

Ekstrakt çeşidi	İndüksiyon Periyodu
200	0,02±0,01
300	0,05±0,01
400	0,04±0,02

Literatürde de benzer şekilde, süperkritik CO₂ veya yüksek basınç ekstraksiyonlarında optimum basınç aralığının genellikle 250–350 bar olduğu, bu aralığın fenolik bileşikler ve tokoferoller gibi doğal antioksidanların ekstraksiyonu için uygun olduğu bildirilmiştir (Temelli, 2009; Herrero vd., 2010). Dolayısıyla, bu çalışmada da 300 bar basıncın optimum ekstraksiyon koşulu olduğu ve bu basınçta elde edilen ekstraktların oksidatif stabilitesinin en yüksek düzeyde ortaya çıktığı söylenebilir.

4.4. Ekmek Örneklerine Ait Analiz Sonuçları

Enzimce inaktif soya unundan süperkritik karbondioksit (SC-CO₂) ekstraksiyon yöntemi ile üç farklı basınç seviyesi (200, 300 ve 400 bar) kullanılarak elde edilen soya ekstraktlarının %0, 0,1, %0,5 ve %1 oranları ekmek üretimi esnasında ayrı ayrı katılarak kullanılmış olup, sonuçlar aşağıda değerlendirilmiştir.

4.4.1. Ekmek kabuğu ve ekmek içi renk değerlerine ait sonuçlar

Ekmekte kalite kriteri olarak renk, tüketici tarafından algılanan kalite özellikleri arasında en belirleyici parametrelerden biridir. Pişirme işlemi sırasında ekmek kabuğunda homojen ve çekici bir altın tonunun oluşması ile ekmek için kremsi beyaz bir renk

sergilemesi, ürünün teknolojik ve duyu kalitesinin önemli göstergeleri olarak kabul edilmektedir. Bu nedenle, ekmek örneklerine ait kabuk ve iç renk değerlerinin değerlendirilmesi, formülasyon ve işlem koşullarının ürün kalitesi üzerindeki etkilerinin ortaya konulması açısından büyük önem taşımaktadır. Ekmeklerin kabuk renk değerlerine yönelik varyans analizi neticeleri Çizelge 4.4'te ve çoklu karşılaştırma testi neticeleri Çizelge 4.5'de sunulmuştur. Ekmeklerin iç renk değerleri için varyans analizi neticeleri Çizelge 4.6'de ve çoklu karşılaştırma testi neticeleri Çizelge 4.7'de sunulmuştur.

4.4.1.1. Ekmek kabuğu renk değerlerine ait analiz sonuçları

4.4.1.1.1. Kabuk L^* değeri

Ekmek örneklerine yönelik varyans analizi neticelerine bakıldığında ekmek örneklerinin L^* değerine ekstrakt çeşidi faktörü $p \leq 0,05$, ekstrakt oranı faktörü ile “*ekstrakt çeşidi* \times *ekstrakt oranı*” interaksyonu ise $p \leq 0,01$ anlamlılık düzeylerinde istatistiksel olarak önemli bulunmuştur. Yapılan varyans analiz değerlendirmesi Çizelge 4.4'te görülmektedir.

Çizelge 4.4. Ekmek örneklerinin kabuk renk değerlerine ait varyans analizi sonuçları¹

VK	SD	L^*		a^*		b^*		Hue		SI	
		KT	F	KT	F	KT	F	KT	F	KT	F
Ekstrakt çeşidi (A)	2	10,86	4,95*	7,25	6,35**	17,36	7,13**	145,25	10,73**	7,48	4,07*
Ekstrakt oranı (B)	3	87,64	26,67**	4,46	2,60ns	44,82	12,28**	147,71	7,27**	30,83	11,19**
(AxB)	6	35,51	5,40**	1,67	1,15	32,87	4,50**	114,93	2,83*	23,84	4,32*
Hata		24,10		12,55	ns	26,76		148,90		20,20	

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

200 bar basınçla elde edilen ekstraktlar kullanıldığında, ekstrakt oranı arttıkça L^* değerinde genel bir azalma eğilimi gözlenmiştir. Kontrol örneğinin L^* değeri $50,99 \pm 1,57$ iken, %0,1 ekstrakt ilavesiyle bu değer $48,74 \pm 0,73$ 'e düşmüş, %0,5 oranında ise $51,80 \pm 1,94$ 'e yükselerek bu gruptaki en yüksek değeri oluşturmuştur (Çizelge 4.5). Ancak %1 oranında ekstrakt ilavesiyle L^* değeri $46,01 \pm 0,52$ 'e kadar düşmüştür. Bu durum, düşük ve orta oranlardaki katkının L^* değeri üzerinde olumlu etkileri olabileceğini, ancak yüksek oranda ekstrakt kullanımının kabuk renginde koyulaşmayı artırdığını göstermektedir. Bu sonuç, özellikle yüksek ekstrakt oranlarında artan fenolik

bileşikler ve serbest şekerlerin Maillard ve karamelizasyon reaksiyonlarını hızlandırmasıyla açıklanabilir (Cornejo vd., 2015; Atudorei vd., 2021). $51,33 \pm 0,55$ ve $50,17 \pm 1,06$ değerleri elde edilirken, %1 oranında katkı ile L^* değeri $48,19 \pm 0,37$ 'e düşmüştür. Bu bulgular, yüksek ekstraksiyon basıncının ekstraktın renk verici özelliklerini sınırlayabileceğini, buna bağlı olarak kabuk renginde daha az değişiklik meydana geldiğini düşündürmektedir.

Basınç düzeylerine göre genel L^* değeri ortalamaları incelendiğinde, istatistiksel olarak bir fark olmamasına karşılık, sayısal olarak en yüksek ortalama değer 300 bar basınçla elde edilen ekstrakt grubunda kaydedilmiştir ($50,73 \pm 2,25$). Bu değeri 400 bar ($50,17 \pm 1,53$) ve 200 bar ($49,39 \pm 2,61$) grupları takip etmiştir. Bu sonuçlar, orta düzey ekstraksiyon basıncının ürünün kabuk rengini daha az koyulaştırdığı ve daha açık renk oluşumunu desteklediğini göstermektedir.

Çizelge 4.5. Ekmek örneklerinin kabuk renk değerlerine ait çoklu karşılaştırma testi sonuçları¹

Ekstrakt çeşidi	Ekstrakt oranı (%)	n	L^*	a^*	b^*	Hue	SI
200	0	2	$50,99 \pm 1,57^a$	$9,50 \pm 0,61^a$	$17,99 \pm 1,77^{ab}$	$62,04 \pm 3,09^a$	$20,37 \pm 1,50^a$
	0,1	2	$48,74 \pm 0,73^{ab}$	$9,45 \pm 0,31^a$	$15,95 \pm 1,11^b$	$59,31 \pm 1,82^a$	$18,55 \pm 0,99^a$
	0,5	2	$51,80 \pm 1,94^a$	$8,94 \pm 1,75^a$	$19,11 \pm 2,34^a$	$64,71 \pm 6,15^a$	$21,18 \pm 1,84^a$
	1	2	$46,01 \pm 0,52^b$	$10,12 \pm 0,69^a$	$15,02 \pm 0,98^b$	$55,99 \pm 3,09^a$	$18,12 \pm 0,69^a$
300	0	2	$50,99 \pm 1,57^{ab}$	$9,50 \pm 0,61^a$	$17,99 \pm 1,77^b$	$62,04 \pm 3,09^b$	$20,37 \pm 1,50^{ab}$
	0,1	2	$53,43 \pm 1,26^a$	$7,81 \pm 0,71^b$	$20,90 \pm 0,40^a$	$69,51 \pm 1,98^a$	$22,32 \pm 0,27^a$
	0,5	2	$50,48 \pm 1,06^{ab}$	$8,26 \pm 0,67^{ab}$	$18,86 \pm 1,04^{ab}$	$66,36 \pm 1,15^{ab}$	$20,59 \pm 1,17^a$
	1	2	$48,00 \pm 0,59^b$	$8,05 \pm 0,16^{ab}$	$15,86 \pm 0,79^c$	$63,6 \pm 1,33^b$	$17,78 \pm 0,70^b$
400	0	2	$50,99 \pm 1,57^a$	$9,50 \pm 0,61^a$	$17,99 \pm 1,77^a$	$62,04 \pm 3,09^a$	$20,37 \pm 1,50^a$
	0,1	2	$51,33 \pm 0,55^a$	$8,76 \pm 0,85^a$	$19,53 \pm 0,66^a$	$65,88 \pm 1,36^a$	$21,41 \pm 0,95^a$
	0,5	2	$50,17 \pm 1,06^{ab}$	$8,70 \pm 0,81^a$	$19,08 \pm 0,29^a$	$65,53 \pm 1,67^a$	$20,97 \pm 0,60^a$
	1	2	$48,19 \pm 0,37^b$	$9,10 \pm 0,18^a$	$17,66 \pm 0,29^a$	$62,74 \pm 0,85^a$	$19,87 \pm 0,18^a$
Ekstrakt çeşidi							
200		8	$49,39 \pm 2,61^a$	$9,50 \pm 0,96^a$	$17,02 \pm 2,20^a$	$60,51 \pm 4,73^b$	$19,55 \pm 1,74^a$
300		8	$50,73 \pm 2,25^a$	$8,40 \pm 0,84^b$	$18,40 \pm 2,12^a$	$65,24 \pm 3,52^a$	$20,27 \pm 1,90^a$
400		8	$50,17 \pm 1,53^a$	$9,02 \pm 0,66^{ab}$	$18,57 \pm 1,15^a$	$64,05 \pm 2,40^a$	$20,66 \pm 1,01^a$
Ekstrakt oranı (%)							
	0	6	$50,99 \pm 1,36^a$	$9,50 \pm 0,52^a$	$17,99 \pm 1,54^{ab}$	$62,04 \pm 2,08^{ab}$	$20,37 \pm 1,30^a$
	0,1	6	$51,17 \pm 2,18^a$	$8,67 \pm 0,92^a$	$18,80 \pm 2,31^a$	$64,90 \pm 4,72^{ab}$	$20,76 \pm 1,84^a$
	0,5	6	$50,82 \pm 1,44^a$	$8,63 \pm 1,06^a$	$19,02 \pm 1,30^a$	$65,53 \pm 3,31^a$	$20,91 \pm 1,16^a$
	1	6	$47,40 \pm 1,13^b$	$9,09 \pm 0,97^a$	$16,18 \pm 1,34^b$	$60,60 \pm 3,87^b$	$18,59 \pm 1,09^b$
Kontrol (Katkılı)			$50,96 \pm 0,36$	$9,62 \pm 0,27$	$16,79 \pm 0,59$	$60,19 \pm 0,19$	$19,35 \pm 0,64$

¹ Aynı harfle işaretlenmiş aynı sütundaki ortalamalar istatistiki olarak birbirinden farklı değildir ($p > 0,05$).

300 bar basınçla elde edilen ekstraktların kullanıldığı örneklerde, en yüksek L^* değeri %0,1 oranındaki katkı ile elde edilmiştir ($53,43 \pm 1,26$). Bu oran, hem kontrol örneğinden ($50,99 \pm 1,57$) hem de diğer oranlardan daha açık renkli bir kabuk görünümü sağlamıştır. %0,5 oranındaki katkı ile elde edilen L^* değeri $50,48 \pm 1,06$ iken, %1 oranında bu değer $48,00 \pm 0,59$ 'a gerilemiştir. Bu sonuçlar, orta basınçla elde edilen ekstraktların özellikle düşük oranlarda ekmek kabuğunda daha açık renk oluşumuna katkı sağlayabileceğini göstermektedir. Ancak katkı oranı %1'e çıktığında, 200 bar grubundakine benzer şekilde L^* değerlerinde belirgin bir düşüş gözlenmiştir. Bu bulgular, katkı düzeyinin artışına bağlı olarak maillard reaksiyonlarının yoğunlaştığını ve kabuk renginin koyulaştığını göstermektedir (El-Safy vd., 2013).

400 bar basınçla elde edilen ekstraktların kullanıldığı örneklerde ise L^* değerleri arasında daha az değişim gözlenmiştir. %0,1 ve %0,5 oranlarında katkı ile sırasıyla Ekstrakt katkı oranlarının ortalama L^* değerleri değerlendirildiğinde, %1 oranındaki katkı ile üretilen örneklerin belirgin biçimde daha koyu renge sahip olduğu ($47,40 \pm 1,13$) ve bu değer diğer oranlardan istatistiksel olarak farklı olduğu belirlenmiştir. Buna karşılık %0,1 ($51,17 \pm 1,53$) ve %0,5 ($50,82 \pm 1,44$) oranlarında katkı yapılan örneklerin, kontrol örneğine ($50,99 \pm 1,36$) yakın veya daha yüksek L^* değerleri gösterdiği ve renk açısından olumsuz bir etki yaratmadığı görülmüştür. Bu durum, ekstrakt katkısının belirli sınırlar içerisinde tutulması halinde ekmek kabuğunun açıklığını koruyabildiğini ve hatta artırabildiğini göstermektedir.

Çalışmada yer alan katkılı kontrol örneğinin L^* değeri $50,96 \pm 0,36$ olarak ölçülmüş olup, bu değer hem katkısız hem de %0,1 ve %0,5 oranlarında ekstrakt içeren örneklerle benzer düzeyde bulunmuştur. Dolayısıyla, uygun oranda SC-CO₂ ekstraktı katkısı, ekmek kabuğunda koyulaşmaya neden olmadan formülasyona dahil edilebilmektedir. Benzer şekilde, Marti vd. (2018) yaptıkları çalışmada, çimlenmiş buğday unu katkısının L^* değerini azalttığını; Angioloni ve Collar (2009) ise yaptıkları çalışmada tam buğday ekmeklerinin rafine unla yapılanlara kıyasla daha düşük L^* değerlerine sahip olduğunu bildirmiştir. Bu bağlamda, bu çalışmadaki sonuçlar, ekstrakt katkısının uygun miktarlarda kullanıldığında buğday unu kaynaklı koyulaşma etkisinden daha az belirgin olduğunu göstermektedir.

4.4.1.1.2. Kabuk a^* değeri

Kabuklarda ölçülen a^* değeri, rengin kırmızı-yeşil eksenindeki konumunu ifade eder; pozitif a^* değerleri kırmızılığı, negatif değerler ise yeşilliği temsil eder. Bu

çalışmada, farklı basınç düzeylerinde (200, 300, 400 bar) ve farklı oranlarda (%0,1, %0,5 ve %1 mL) SC-CO₂ soya unu ekstraktı katkısının ekmek kabuklarının *a** değerleri üzerinde anlamlı etkileri olduğu belirlenmiştir.

Çizelge 4.5’da görüldüğü üzere, 200 bar basınçla elde edilen ekstraktların ekmeklere ilavesiyle *a** değerlerinde değişimler gözlenmiştir. Kontrol örneğinde *a** değeri $9,50 \pm 0,61$ iken, düşük ekstrakt katkısı olan %0,1’de $9,45 \pm 0,31$ olarak hafif bir azalma görülmüştür. %0,5 katkıda *a** değeri $8,94 \pm 1,75$ ile en düşük seviyeye gerilemiş, %1 katkıda ise $10,12 \pm 0,69$ ile belirgin bir artış kaydedilmiştir. Bu sonuçlar, düşük ve orta katkı oranlarında ekstraktın kabukta kırmızı tonları artırıcı etkisinin sınırlı kaldığını, %1 oranında ise ekstrakt içeriğindeki fenolik bileşikler ve reaktif karbonil bileşiklerin artmasıyla maillard reaksiyonlarının şiddetinin yükseldiğini ve kırmızı pigment oluşumunu belirgin şekilde artırdığını göstermektedir (Ragae vd., 2006; Mastrocola ve Munari, 2000).

300 bar basınçla elde edilen ekstraktlar kullanılarak üretilen ekmek örneklerinde de benzer bir eğilim gözlenmiştir. %0,1 katkı oranında *a** değeri $7,81 \pm 0,71$ olarak ölçülmüş, %0,5 katkıda $8,26 \pm 0,67$, %1 katkıda ise $8,05 \pm 0,16$ değerleri elde edilmiştir. Bu sonuçlar, ekstrakt oranı arttıkça kırmızılık değerinde bir yükseliş olduğunu ve bu etkinin belirgin şekilde gözlemlendiğini göstermektedir. Bu durum, 200 bar basınçta elde edilen ekstraktlarla karşılaştırıldığında, 300 bar ekstraktlarının ekmek kabuğunda kırmızılık etkisinin daha sınırlı olduğunu ortaya koymakta olup; gözlenen farklılığın ekstrakt bileşimindeki farklılıklardan kaynaklanabileceği düşünülmektedir.

400 bar basınçta elde edilen ekstrakt katkılı örneklerde de kırmızılık değerinde artış eğilimi korunmuştur; %0,1, %0,5 ve %1 oranlarında *a** değerleri sırasıyla $8,76 \pm 0,85$, $8,70 \pm 0,81$ ve $9,10 \pm 0,18$ olarak ölçülmüştür. Her ne kadar artış eğilimi gözlene de bu gruptaki *a** değerleri 300 bar grubu ile kıyaslandığında özellikle %0,1 ve %0,5 katkı oranlarında daha yüksek, %1 katkıda ise daha düşük bir seviyede kalmıştır. Bu durum, daha yüksek basınçta ekstrakte edilen bazı fenolik bileşiklerin yapısal bozulmaya uğrayarak renk verici etkinliğini yitirmiş olabileceği ihtimalini akla getirmektedir (Ghafoor vd., 2012).

Basınç düzeylerine göre *a** değerlerinin genel ortalamaları incelendiğinde, en yüksek ortalama *a** değeri 200 bar ekstrakt katkılı örneklerde $9,50 \pm 0,96$ olarak elde edilmiş olup, bunu 400 bar grubu $9,02 \pm 0,66$ ve 300 bar grubu $8,40 \pm 0,84$ izlemektedir. Ancak ekstrakt katkı oranlarının karşılaştırılması, *a** değerindeki artışın özellikle en yüksek ortalama değer katkısız örneklerde $9,50 \pm 0,52$ olarak elde edilmiş olup, bunu %1

katkılı örnekler $9,09 \pm 0,97$, %0,1 katkıli örnekler $8,67 \pm 0,92$ ve en düşük değer %0,5 katkıli örneklerde $8,63 \pm 1,06$ izlemektedir. Sayısal olarak fark belirlenmiş olsa da veriler istatistiksel olarak anlamlı bulunmamıştır ($p > 0,05$). Bu bulgular, ekstraktın kırmızılığı artırıcı etkisinin hem ekstraktın elde edildiği basınca hem de kullanım oranına bağlı olduğunu ortaya koymaktadır.

Kontrol örneği $9,50 \pm 0,52$ 'lik a^* değeri ile katkıli örneklerle kıyasla istatistiksel olarak anlamlı biçimde daha yüksek kırmızılığa sahiptir. Katkılı kontrol örneğinin (GG+AA katkıli) a^* değeri ise $9,62 \pm 0,27$ olarak belirlenmiş olup, katkıli ekstrakt örneklerine göre daha yüksek kalmıştır.

4.4.1.1.3. Kabuk b^* değeri

b^* değeri, renk uzayında sarı ($+b^*$) ve mavi ($-b^*$) tonlarını tanımlar ve kabuk yüzeyindeki maillard reaksiyonları ile pigment oluşumunu yansıtır. Elde edilen bulgulara göre, ekstrakt katkısının oranı arttıkça b^* değerlerinde de belirgin bir artış gözlenmiştir.

200 bar basınçla elde edilen ekstraktların katkısıyla hazırlanan ekmek kabuklarında b^* değerleri katkı oranına bağlı olarak dalgalı bir değişim göstermiştir. Kontrol örneğinde $17,99 \pm 1,77$ olan b^* değeri, %0,1 katkıda $15,95 \pm 1,11$ ile azalmış, %0,5 katkıda $19,11 \pm 2,34$ ile en yüksek değere ulaşmış, %1 katkıda ise $15,02 \pm 0,98$ ile tekrar düşüş göstermiştir. Bu sonuçlar, düşük katkı oranında sarı tonların azaldığını, orta katkı oranında artış gözlendiğini ve yüksek katkı oranında sarı tonların yeniden azaldığını ortaya koymaktadır. Bu artış, sarı kahverengi renk tonlarının yoğunlaştığını ve katkı maddesinin kabuk sarılığına katkı sunduğunu göstermektedir (Mildner-Szkudlarz vd., 2023).

300 bar basınçta elde edilen ekstraktların kullanıldığı grupta, b^* değerleri katkı oranı arttıkça belirgin bir azalış göstermiştir. Sırasıyla %0,1 katkıda $20,90 \pm 0,40$, %0,5 katkıda $18,86 \pm 1,04$ ve %1 katkıda $15,86 \pm 0,79$ olarak ölçülmüştür. Bu gruptaki azalışın diğer basınç gruplarına göre daha belirgin olması, 300 bar basıncın pigment ve fenolik madde ekstraksiyonunu daha etkin hâle getirdiğini düşündürmektedir (Ghafoor vd., 2012).

400 bar ekstrakt katkıli örneklerde ise b^* değerleri sırasıyla $19,53 \pm 0,66$, $19,08 \pm 0,29$, $17,66 \pm 0,29$ olarak ölçülmüş, azalış eğilimi devam etse de 300 bar ekstrakt katkıli grubun sarılığına benzer düzeyde kalmıştır. Bu durum, çok yüksek basınçlarda bazı renk verici bileşiklerin bozulabileceği ya da ısıya duyarlı bileşiklerin kayba uğrayabileceğini göstermektedir (Mastrocola ve Munari, 2000).

Basınç gruplarına ilişkin genel ortalamalar karşılaştırıldığında istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık gözlenmemiştir. Bununla birlikte, sayısal değerlerin incelenmesi sonucunda en yüksek değer 400 bar basınçta elde edilen ekstraktlarda görülmekte olup, bunu sırasıyla 300 bar ve 200 bar grupları izlemektedir. Bu sonuçlar, ekstrakt elde etme basıncının renk bileşenlerinin çözünürlüğü ve ekstraktın renk etkisi üzerinde belirleyici rol oynadığını göstermektedir.

Kontrol örneği ($17,99 \pm 1,77$) ile karşılaştırıldığında, katkılı örneklerde b^* değerlerinin genel olarak daha yüksek olduğu yorumu yapılabilmektedir. Katkılı kontrol grubu ise $16,79 \pm 0,59$ değeriyle katkısız gruba göre yüksek, ancak ekstrakt katkılı gruplara göre düşüktür. Bu bulgular, ekstrakt katkısının kabuk renginde sarı tonları güçlendirdiğini göstermektedir (Schoeman, 2014).

4.4.1.1.4. Kabuk Hue ve SI değeri

Hue açısı rengi temsil eden açısal bir ölçüt olup, kabuk renginin genel tonunu (örneğin kırmızımsı mı yoksa sarımsı mı olduğunu) ifade etmektedir. Bu çalışmada Çizelge 4.5'de görüldüğü üzere, tüm örneklerde Hue değerlerinin 55,99 ile 69,51 aralığında değiştiği belirlenmiştir. Kontrol grubunda Hue değeri $62,04 \pm 3,09$ olarak ölçülmüş, katkılı örneklerde ise ekstrakt oranına bağlı olarak bu değerlerde genel bir azalma eğilimi gözlenmiştir. Özellikle 200 bar ekstraktında %1 katkı oranında $55,99 \pm 3,09$, 300 bar ekstraktında $63,06 \pm 1,33$ ve 400 bar ekstraktında $62,74 \pm 0,85$ değerleri elde edilmiştir. Bu bulgular, ekstrakt katkısının kırmızı tonları (a^*) artırarak Hue değerini sarı tonlardan (daha yüksek Hue) kırmızı tonlara doğru kaydırıldığını göstermektedir. Literatürde de Hue açısındaki azalmanın genellikle kırmızı pigment oluşumundaki artışla ilişkili olduğu bildirilmektedir (Schoeman, 2014).

Saturation Index (SI), rengin doygunluğunu ifade eder; daha yüksek SI değerleri daha canlı ve belirgin renkleri gösterir. Bu çalışmada kontrol grubunun SI değeri $20,37 \pm 1,50$ iken, ekstrakt katkısı ile SI değerlerinde bazı değişiklikler gözlenmiştir. Özellikle %1 ekstrakt katkılı örneklerde SI değerleri 200 bar: $18,12 \pm 0,69$, 300 bar: $17,78 \pm 0,70$ ve 400 bar: $19,87 \pm 0,18$ olarak ölçülmüştür. Bu sonuçlar, 200 ve 300 bar gruplarında SI değerlerinde azalma, 400 bar grubunda ise artış olduğunu göstermekte olup, ekstrakt katkısının doygunluk üzerindeki etkisinin basınca bağlı olarak değiştiğini ortaya koymaktadır.

400 bar ile ekstrakte edilen örneklerdeki SI değerlerinin daha yüksek olması, bu basınç seviyesinin renk verici maddelerin daha etkili çözünmesini sağladığını ve böylece

kabukta daha canlı renkler oluştuğunu göstermektedir (Ragae vd., 2006). Ayrıca, SI değerindeki sayısal artışının hem a^* hem de b^* parametrelerinin birlikte yükselmesiyle bağlantılı olduğu, dolayısıyla SC-CO₂ ekstraktlarının hem kırmızı hem de sarı renk bileşenlerini desteklediği anlaşılmaktadır.

4.4.1.2. Ekmek içi renk değerlerine ait analiz sonuçları

4.4.1.2.1. Ekmek içi L^* değeri

Ekmek örneklerine yönelik varyans analizi neticelerine göre, ekmek içi L^* değerlerine *ekstrakt çeşidi* faktörü $p < 0,05$, *ekstrakt oranı* faktörü ile “*ekstrakt çeşidi* × *ekstrakt oranı*” etkileşimi ise $p < 0,01$ anlamlılık düzeylerinde istatistiksel olarak incelenmiştir. Varyans analizi sonuçları Çizelge 4.6’de sunulmuştur.

Çizelge 4.7’de görüldüğü üzere, 200 bar basınçta elde edilen ekstraktın farklı katkı oranlarına göre L^* değerleri incelendiğinde, %0,1 katkı oranında $64,23 \pm 0,13$ ile en yüksek açıklık değeri elde edilmiştir. Katkı oranı %0,5’e çıkarıldığında açıklık azalarak $63,03 \pm 0,55$ seviyesine gerilemiş, %1 ekstrakt katkısında ise L^* değeri $63,41 \pm 0,24$ ile orta düzeyde kalmıştır. Bu durum, düşük oranlarda ekstrakt ilavesinin ekmek iç renginde açıklığı artırıcı bir etki oluşturduğunu, ancak daha yüksek oranlarda ekstrakt içerisinde bulunan bazı bileşiklerin renk koyulaştırıcı etkisi nedeniyle L^* değerinde azalma meydana geldiğini göstermektedir. Literatürde de benzer şekilde, fenolik bileşiklerce zengin ekstraktların düşük dozlarda açık renk sağladığı, yüksek dozlarda ise renk koyulaştırıcı etki gösterebildiği bildirilmektedir (Ahmad vd., 2020).

Çizelge 4.6. Ekmek örneklerinin iç renk değerlerine ait varyans analizi sonuçları¹

VK	SD	L^*		a^*		b^*		Hue		SI	
		KT	F	KT	F	KT	F	KT	F	KT	F
Ekstrakt çeşidi (A)	2	21,76	36,58**	0,12	5,36*	2,30	4,76*	2,28	6,52**	2,27	4,72*
Ekstrakt oranı (B)	3	18,04	20,22**	0,47	13,08**	5,28	7,27**	7,58	14,46*	5,20	7,19**
(AxB)	6	17,90	10,03**	0,20	2,71*	3,11	2,14ns	2,59	2,46ns	3,11	2,15ns
Hata		6,54		0,26		5,32		3,84		5,30	

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

300 bar basınçlı ekstrakt katkı oranlarında ise L^* değerlerinde genel bir düşüş eğilimi vardır. %0 katkıda (kontrol) $63,81 \pm 0,22$ olan L^* değeri, %0,1 ve %1 ekstrakt katkılarında $60,81 \pm 0,95$ ve $61,41 \pm 0,67$ değerleri ile anlamlı olarak daha düşük seviyelere

inmiştir ($p \leq 0,05$). Bu bulgu, 300 bar ekstraktında renk açıcı bileşiklerin 200 bar örneğine kıyasla daha az etkili olduğunu veya ekstrakte edilen bazı renk verici moleküllerin, düşük katkı oranlarında bile rengin koyulaşmasına neden olduğunu düşündürmektedir. Yüksek basınçlı ekstraksiyonun fenolik bileşik profilini değiştirmesi, renk özelliklerini önemli ölçüde etkileyebilir (Tyśkiewicz vd., 2018).

Çizelge 4.7. Ekmek örneklerinin iç renk değerlerine ait çoklu karşılaştırma testi sonuçları¹

Ekstrakt çeşidi	Ekstrakt oranı (%)	n	L^*	a^*	b^*	Hue	SI
200	0	2	63,81±0,22 ^{ab}	-0,28±0,07 ^a	16,09±0,40 ^a	91,01±0,24 ^a	16,10±0,40 ^a
	0,1	2	64,23±0,13 ^a	-0,60±0,12 ^a	16,19±0,31 ^a	92,12±0,46 ^a	16,20±0,30 ^a
	0,5	2	63,03±0,55 ^b	-0,34±0,15 ^a	15,54±0,55 ^a	91,28±0,59 ^a	15,54±0,55 ^a
	1	2	63,41±0,24 ^{ab}	-0,28±0,22 ^a	16,22±0,35 ^a	90,97±0,75 ^a	16,23±0,36 ^a
300	0	2	63,81±0,22 ^a	-0,28±0,07 ^a	16,09±0,40 ^a	91,01±0,24 ^c	16,10±0,40 ^a
	0,1	2	60,81±0,95 ^b	-0,69±0,06 ^c	14,66±0,76 ^b	92,72±0,34 ^a	14,67±0,76 ^b
	0,5	2	61,20±0,92 ^b	-0,52±0,09 ^{bc}	15,37±0,24 ^{ab}	91,95±0,32 ^b	15,38±0,24 ^{ab}
	1	2	61,41±0,67 ^b	-0,51±0,06 ^b	15,53±0,08 ^{ab}	91,89±0,23 ^b	15,54±0,08 ^{ab}
400	0	2	63,81±0,22 ^{ab}	-0,28±0,07 ^a	16,09±0,40 ^a	91,01±0,24 ^b	16,10±0,40 ^a
	0,1	2	63,31±0,71 ^b	-0,51±0,11 ^b	14,86±0,42 ^a	91,98±0,46 ^a	14,87±0,42 ^a
	0,5	2	61,28±0,34 ^c	-0,63±0,03 ^b	15,11±0,77 ^a	92,39±0,20 ^a	15,12±0,77 ^a
	1	2	64,46±0,23 ^a	-0,58±0,09 ^b	16,24±0,52 ^a	92,05±0,38 ^a	16,25±0,52 ^a
Ekstrakt çeşidi							
200		8	63,62±0,54 ^a	-0,38±0,19 ^a	16,01±0,45 ^a	91,34±0,67 ^a	16,02±0,45 ^a
300		8	61,81±1,39 ^b	-0,50±0,16 ^a	15,41±0,66 ^a	91,89±0,68 ^a	15,42±0,65 ^a
400		8	63,22±1,29 ^a	-0,50±0,15 ^a	15,57±0,78 ^a	91,86±0,61 ^a	15,58±0,78 ^a
Ekstrakt oranı (%)							
	0	6	63,81±0,19 ^a	-0,28±0,06 ^a	16,09±0,35 ^a	91,01±0,21 ^b	16,10±0,35 ^a
	0,1	6	62,78±1,65 ^{ab}	-0,60±0,12 ^b	15,23±0,86 ^c	92,27±0,50 ^a	15,25±0,85 ^c
	0,5	6	61,84±1,06 ^b	-0,50±0,15 ^b	15,34±0,52 ^{bc}	91,87±0,60 ^a	15,35±0,52 ^{bc}
	1	6	63,09±1,39 ^a	-0,46±0,18 ^{ab}	16,00±0,47 ^{ab}	91,64±0,67 ^{ab}	16,00±0,47 ^{ab}
Kontrol (Katkılı)			66,83±3,06	-1,06±0,09	14,32±0,77	94,05±0,43	14,35±0,77

¹ Aynı harfle işaretlenmiş aynı sütundaki ortalamalar istatistiki olarak birbirinden farklı değildir ($p < 0,05$).

400 bar basınçla elde edilen ekstrakt katkılarında L^* değerleri genel olarak 61,28±0,34 ile 64,46±0,23 arasında değişmiştir. %1 katkı oranında 64,46±0,23 ile en yüksek açıklık değeri gözlenmiştir. Veriler göz önüne alındığında 400 bar ekstraktının renk açıcı veya renk koyulaştırıcı bileşik dengesinin 300 bar örneğine göre daha farklı olduğunu göstermektedir. Özellikle yüksek basınç ekstraksiyonlarında, bitkisel materyaldeki pigmentler ve polifenoller farklı oranlarda çözünürlük kazanabilir (Ghafoor vd., 2012).

Genel ortalamalara bakıldığında, 200 bar ve 400 bar ekstraktları katkılı ekmeklerin ortalama L^* değeri $63,62 \pm 0,54$ ve $63,22 \pm 1,29$ ile en yüksek L^* değer seviyelerine sahip olduğu görülmektedir. 300 bar ekstraktı katkılı ekmeklerde açıklık ortalaması $61,81 \pm 1,39$ ile anlamlı olarak diğer ekstraktların örneklerine göre daha düşük seviyede olduğu görülmektedir ($p \leq 0,05$). Bu sonuçlar ekstrakt basıncının kabuk iç renk özellikleri üzerinde belirgin bir etkisi olduğunu göstermektedir.

Katkı oranlarına göre ortalama L^* değerleri incelendiğinde, %0 katkılı (kontrol) örnekler $63,81 \pm 0,19$ ile en açık renk değerine sahip olmuştur. %0,1 ve %0,5 katkı oranlarında L^* değerlerinde azalma gözlenmiş; %0,1'de $62,78 \pm 1,65$, %0,5'te $61,84 \pm 1,06$ olmuştur. İlginç şekilde %1 katkı oranında L^* değeri $63,09 \pm 1,39$ 'a yükselerek, renk koyulaşması eğiliminin tersine döndüğü görülmektedir. Bu durum, ekstrakt bileşenlerinin doza bağlı karmaşık renk etkilerini yansıtmaktadır (Anukiruthika vd., 2022).

4.4.1.2.2. Ekmek içi a^* değeri

Çizelge 4.7'de görüldüğü üzere, 200 bar basınçta elde edilen ekstraktla üretilen ekmek örneklerinde a^* değerleri katkı oranına bağlı olarak $-0,28 \pm 0,07$ ile $-0,60 \pm 0,12$ arasında değişmiştir. En düşük (en yeşil) değer, %0,1 ekstrakt katkısında ($-0,60 \pm 0,12$) belirlenmiştir. Kontrol grubu (%0) ve %1 katkı oranlarında ise sırasıyla $-0,28 \pm 0,07$ ve $-0,28 \pm 0,22$ değerleri elde edilmiş olup, bu oranlarda yeşilimsi tonların hafif şekilde azaldığı tespit edilmiştir. Bu sonuçlar, düşük katkı oranlarının ekmek içindeki yeşilimsi renk tonlarını artırabildiğini, yüksek katkı oranlarında ise bu etkinin bir miktar azaldığını göstermektedir.

300 bar ekstraktlı ekmeklerde, a^* değerleri genel olarak 200 bar örneklerine kıyasla daha negatif değerler göstermiştir. Özellikle %0,1 katkı oranında a^* değeri $-0,69 \pm 0,06$ ile en düşük (en yeşil) seviyeye ulaşmıştır. %0 ve %1 katkı oranlarında ise sırasıyla $-0,28 \pm 0,07$ ve $-0,51 \pm 0,06$ değerleri ölçülmüştür. Bu bulgu, 300 bar basınçta ekstrakte edilen bileşenlerin özellikle %0,1 katkı oranında ekmek iç rengini yeşilimsi tonlarda daha belirgin hâle getirdiğini göstermektedir.

400 bar basınçlı ekstrakt katkılı örneklerde a^* değerleri genel olarak 200 ve 300 bar örnekleri arasında seyretmiştir. %0 katkı oranında $-0,28 \pm 0,07$ olan değer, %0,1 ve %0,5 katkı oranlarında sırasıyla $-0,51 \pm 0,11$ ve $-0,63 \pm 0,03$ 'e düşerek yeşilimsi tonların arttığını göstermiştir. %1 katkıda ise a^* değeri $-0,58 \pm 0,09$ olarak hafifçe azalmıştır. Bu

durum, yüksek basınç ekstraksiyonunun fenolik ve klorofil benzeri bileşenlerin yoğunluğunu artırarak yeşilimsi renk etkisini desteklediği şeklinde yorumlanabilir.

Ekstrakt türü bazında ortalamalara bakıldığında, 200 bar ekstraktı katkılı ekmeklerde ortalama a^* değeri $-0,38\pm 0,19$ ile en az yeşilimsi ton gösterirken, 300 ve 400 bar ekstraktlarında bu değerler sırasıyla $-0,50\pm 0,16$ ve $-0,50\pm 0,15$ olarak daha belirgin yeşilimsi renk profili ortaya koymuştur. Bu sonuç, ekstraksiyon basıncının bitkisel pigment ve fenolik bileşenlerin ekstraksiyon verimini artırmasıyla bağlantılıdır (Ghafoor vd., 2012).

Katkı oranı bakımından, %0 katkı örneklerinde a^* değeri $-0,28\pm 0,06$ ile en az yeşilimsi renk gözlenirken, %0,1 katkıda bu değer $-0,60\pm 0,12$ 'a kadar düşerek yeşil tonların arttığı görülmüştür. %0,5 katkı oranında $-0,50\pm 0,15$, %1 katkı oranında ise $-0,46\pm 0,18$ olarak ölçülen a^* değerleri, ekstrakt miktarının artışıyla yeşilimsi rengin genelde arttığını ancak doza bağlı olarak hafif dalgalanmalar yaşandığını göstermektedir.

Bitkisel ekstraktların ekmek gibi fırın ürünlerinin renk profiline etkisi, içeriklerindeki klorofil, fenolik bileşikler ve diğer pigmentlerle yakından ilişkilidir (Nardini, 2022). Özellikle yeşilimsi tonların artışı, ekstrakte edilen klorofil ve benzeri bileşenlerin varlığı ile açıklanabilir (Pérez-Gálvez vd., 2022). Süperkritik CO₂ ekstraksiyonu basıncının artmasıyla bu bileşenlerin konsantrasyonu ve ekstraksiyon verimi yükselmekte, bu da a^* değerlerinin daha negatif (yeşil) yönde değişmesine neden olmaktadır (Ghafoor vd., 2012). Ayrıca, ekstraktın katkı oranına bağlı olarak renk parametrelerinde dalgalanmalar gözlenmesi, fenolik bileşenlerin ışık absorpsiyonu ve pişirme koşullarında oluşan pigment reaksiyonlarının karmaşıklığını yansıtır (Marti vd., 2018).

4.4.1.2.3. Ekmek içi b^* değeri

200 bar basınçla elde edilen ekstrakt katkısı ile üretilen ekmeklerde b^* değerleri, %0 katkı oranında $16,09\pm 0,40$ ile başlangıç seviyesinde yer alırken, %0,1 ve %1 katkı oranlarında sırasıyla $16,19\pm 0,31$ ve $16,22\pm 0,35$ değerlerine yükselmiştir (Çizelge 4.7). %0,5 katkıda ise b^* değeri $15,54\pm 0,55$ ile hafif bir düşüş göstermiştir. Bu bulgular, düşük oranlarda ekstrakt katkısının ekmek iç kısmındaki sarı renk tonlarını artırdığını, ancak orta katkı oranında bu etkinin azaldığını ortaya koymaktadır. Literatürde de fenolik ve pigment bileşenlerin ekstraktın rengini etkileyen temel faktörler olduğu sıklıkla rapor edilmektedir (Nardini, 2022). Ayrıca, 200 bar basınçta elde edilen ekstraktın nispeten

daha düşük yoğunlukta renk pigmentleri içermesi, b^* değerlerinde gözlenen hafif artış ve dalgalanmaların nedeni olabilir.

300 bar basınçta elde edilen ekstraktlı örneklerde b^* değerleri, 200 bar örneklerine kıyasla biraz daha değişkenlik göstermiştir. Kontrol (%0) örneğinde b^* değeri $16,09 \pm 0,40$ iken, %0,1 katkıda $14,66 \pm 0,76$ 'ya düşmüştür. %0,5 ve %1 katkı oranlarında ise sırasıyla $15,37 \pm 0,24$ ve $15,53 \pm 0,08$ değerleri elde edilmiştir. Bu, 300 bar ekstraktının düşük katkı oranlarında sarılık değerini azalttığını, yani daha mavimsi veya nötr bir etki yarattığını göstermektedir. Yüksek basınç ekstraksiyonu fenolik ve pigment profili üzerinde belirgin değişikliklere yol açarak renk parametrelerini etkileyebilir (Tyśkiewicz vd., 2018). Bu durum, 300 bar ekstraktının özellikle düşük oranlarda sarılık tonlarını baskıladığını ve rengin daha nötr veya hafif maviye kaydığını düşündürmektedir.

400 bar basınç ile elde edilen ekstraktlı örneklerde b^* değerleri %0 katkıda $16,09 \pm 0,40$ iken, %0,1 ve %0,5 oranlarında sırasıyla $14,86 \pm 0,42$ ve $15,11 \pm 0,77$ değerlerine düşmüş, ancak %1 katkıda tekrar $16,24 \pm 0,52$ değerine yükselmiştir. Bu durum, 400 bar ekstraktının düşük-orta katkı seviyelerinde sarılık değerini azaltıp, yüksek katkıda eski seviyeye veya üstüne çıkararak sarılığı artırdığını göstermektedir. 400 bar ekstraktının fenolik bileşenler açısından zenginleşmesi ve yüksek katkı oranında bu bileşenlerin renk üzerinde belirgin sarı pigment oluşumunu teşvik etmesi olasıdır (Ghafoor vd., 2012).

Genel ortalamalara göre, 200 bar ekstraktı ile katılanan ekmeklerin b^* değeri $16,01 \pm 0,45$ ile en yüksek sarılık değerine sahipken, 300 bar ekstraktlı örnekler $15,41 \pm 0,66$ ile sayısal olarak daha düşük sarılık sergilemiş fakat bu farkın istatistiksel olarak anlamsız düzeyde olduğu görülmüştür ($p > 0,05$). 400 bar ekstraktlı ekmekler ise $15,57 \pm 0,78$ b^* değeri ile 200 bar örneklerine yakın değerler göstermiştir. Bu, ekstrakt basıncının fenolik pigment profili ve dolayısıyla renk parametreleri üzerinde belirleyici olduğunu göstermektedir.

Katkı oranlarına göre b^* değerleri değerlendirildiğinde, %0 (kontrol) katkı oranında $16,09 \pm 0,35$ ile en yüksek sarılık değeri elde edilmiştir. %0,1 ve %0,5 katkı oranlarında b^* değerlerinde azalma görülmüş; sırasıyla $15,23 \pm 0,86$ ve $15,34 \pm 0,52$ seviyeleri ölçülmüştür. İlginç olarak, %1 katkı oranında b^* değeri $16,00 \pm 0,47$ 'ye yükselerek, sarılıkta kısmi bir artış gözlenmiştir. Bu durum, ekstrakt bileşenlerinin renk oluşturma mekanizmalarında doza bağlı farklı etkiler yarattığını göstermektedir (Anukiruthika vd., 2022).

Renk parametrelerinin özellikle fenolik bileşenler ve pigment konsantrasyonlarıyla ilişkili olduğu bilinmektedir (Nardini, 2022). Süperkritik CO₂ ekstraksiyonunda basınç arttıkça, fenolik profil değişmekte ve bazı pigmentler daha fazla ekstrakte olmaktadır (Ghafoor vd., 2012). Bu da renk parametrelerinde, özellikle sarılıkta (*b**) hem artış hem de azalmaya neden olabilmektedir. Ayrıca fenoliklerin pişirme sürecinde maillard reaksiyonları ve pigment oluşumuna etkisi renk gelişimini değiştirebilir (Marti vd., 2018). Çalışmamızdaki sonuçlar bu literatür bulguları ile uyumludur.

4.4.1.2.4. Ekmek içi Hue ve SI değerleri

Çizelge 4.7’de görüldüğü üzere, Hue açısı rengin tonunu belirleyen önemli bir parametre olup, çalışmamızda ekmek iç kısmında ölçülen Hue değerleri 90,97±0,75 ile 92,72±0,34 arasında değişmiş ve bu değerler göz önüne alındığında genel olarak sarı-yeşil tonlarının baskın olduğu görülmektedir. 200 bar basınçta elde edilen ekstraktın katkı oranlarına göre Hue değerlerinde istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık tespit edilmemekle birlikte ($p > 0,05$), %0,1 katkı oranında 92,12±0,46 ile sayısal olarak en yüksek değer elde edilmiştir. Bu durum, düşük ekstrakt oranının ekmek içindeki sarı-yeşil renk tonlarını açtığını düşündürmektedir. %1 katkıda ise Hue değeri 90,97±0,75’e düşmüş, renk tonu nispeten koyulaşmıştır.

300 bar basınçta üretilen ekstraktın katkı oranları incelendiğinde, %0,1 oranında Hue değeri 92,72±0,34 ile maksimum seviyeye ulaşmış, bu durum düşük ekstrakt oranlarında rengin daha açık ve sarı-yeşil tonlarının daha belirgin hale geldiğini göstermiştir. Kontrol grubunda (%0) Hue değeri 91,01±0,24 olup, yüksek katkı oranlarında (%0,5 ve %1) değerler sırasıyla 91,95±0,32 ve 91,89±0,23’e düşmüştür.

400 bar basınçlı ekstrakt katkılı ekmeklerde ise Hue değerleri genel olarak yüksek seyretmiş, %0,5 katkıda 92,39±0,20 ile sayısal olarak en yüksek değer elde edilmiştir. Bu sonuçlara göre, 400 bar basınçta elde edilen ekstraktın özellikle orta katkı oranlarında sarı-yeşil renk tonlarını destekleyici etki gösterebildiğini ortaya koymaktadır.

Genel ortalamalar bazında, 300 bar ekstraktlı ekmeklerin Hue değerinin sayısal olarak sırasıyla 300 bar (91,89±0,68), 400 bar (91,86±0,61) ve 200 bar (91,34±0,67) örnekleri olarak sıralanabilirken; bu fark istatistiksel olarak anlamlı bulunmamıştır ($p \leq 0,05$).

Literatürde, ekstraktların fenolik bileşen profili ve pigment yoğunluğunun Hue değerleri üzerinde önemli etkileri olduğu belirtilmiştir (Nardini, 2022; Ghafoor vd., 2012). Yüksek basınç ekstraksiyonu, pigment bileşenlerinin çözünebilirliğini ve dağılımını değiştirerek rengin tonunu etkilediği bilinmektedir.

SI, rengin doygunluğunu veya yoğunluğunu yansıtan bir parametredir ve çalışmada gerçekleştirilen ölçümler sonucunda sayısal verilerin $14,67 \pm 0,67$ ile $16,25 \pm 0,52$ arasında değiştiği görülmüştür. 200 bar ekstrakt katkılı ekmeklerde, SI değeri %0 katkıda $16,10 \pm 0,40$ iken, %0,1 katkı oranında $16,20 \pm 0,30$ 'ye yükselmiş, bu da rengin doygunluğunda hafif artışı göstermektedir. %0,5 katkıda $15,54 \pm 0,55$ 'e düşen SI, %1 katkıda tekrar $16,23 \pm 0,36$ 'ya yükselmiştir. Bu dalgalanma, ekstrakt bileşenlerinin doza bağlı olarak renk doygunluğu üzerinde hem artırıcı hem de azaltıcı etkiler yaratabileceğine işaret eder. 300 bar basınçta, SI değeri %0 katkıda $16,10 \pm 0,40$ iken, %0,1 katkıda $14,67 \pm 0,76$ 'ya düşmüştür; bu, ekstraktın düşük oranda doygunluğu azalttığını göstermektedir. %0,5 ve %1 katkı oranlarında SI değerleri sırasıyla $15,38 \pm 0,24$ ve $15,54 \pm 0,08$ ile sayısal olarak biraz artmıştır ancak kontrol seviyesine ulaşamamıştır. Bu durum, 300 bar ekstraktının renk doygunluğunu genel olarak azalttığını düşündürmektedir. 400 bar basınçta ise SI değerleri yüksek kalmıştır. %0 katkıda $16,10 \pm 0,40$, %0,1 katkıda $14,87 \pm 0,42$, %0,5 katkıda $15,12 \pm 0,77$ ve %1 katkıda $16,25 \pm 0,52$ olarak ölçülmüş; özellikle %1 katkıda $16,25 \pm 0,52$ ile en yüksek doygunluk değeri elde edilmiştir. Bu, 400 bar ekstraktının yüksek oranlarda renk doygunluğunu artırıcı etkisi olduğunu göstermektedir.

Ekstrakt türlerine göre ortalamalar incelendiğinde, 200 bar ($16,02 \pm 0,45$) ekstraktının 400 bar ($15,58 \pm 0,78$) ve 300 bar ($15 \pm 0,6542$) ekstraktlarına kıyasla daha yüksek SI değerleri verdiği tespit edilmiştir. Bu farklılıklar, ekstraktların pigment bileşenleri ve fenolik yapılarının ekstraksiyon basıncı ile değişmesine bağlanabilir (Tyśkiewicz vd., 2018).

Hue ve SI değerleri, ekstraktların fenolik ve pigment içerikleri ile doğrudan ilişkilidir (Nardini, 2022). Ekstraksiyon basıncı ve ekstrakt katkı oranı arttıkça, pigmentlerin yapısı ve konsantrasyonu değişerek Hue ve SI etkiler. Yüksek basınçlı ekstraksiyonun özellikle renk pigmentlerinin ekstraksiyonunu artırdığı, bunun da ürün renginde daha belirgin ve doymuş tonlar oluşturduğu bildirilmiştir (Ghafoor vd., 2012). Çalışmamızda da benzer şekilde, 400 bar basınçta elde edilen ekstraktların özellikle yüksek oranlarda ekmek iç renginde daha açık, sarı-yeşil tonları ile yüksek doygunluk yarattığı görülmüştür.

4.4.2. Ekmeklerin ağırlık, hacim ve spesifik hacim değerlerine ait sonuçlar

Farklı basınçlarda (200, 300 ve 400 bar) süperkritik karbondioksit ekstraksiyonu ile elde edilen ekstraktlar ve bu ekstraktların çeşitli oranlarda (%0, %0,1, %0,5 ve %1 mL) ekmek formülasyonuna ilavesinin, ekmek örneklerinin ağırlık, hacim ve spesifik hacim özellikleri üzerindeki etkileri değerlendirilmiştir. Elde edilen bulgular, ekstrakt çeşidi ve kullanım oranına bağlı olarak ekmeklerin fiziksel kalitesinde meydana gelen değişimleri ortaya koymakta ve bu parametrelerin nihai ürün özelliklerine katkısını anlamak açısından önem taşımaktadır. Ekmek örneklerinin ağırlık değerleri üzerinde *ekstrakt çeşidi*, *ekstrakt oranı* ve “*ekstrakt çeşidi* × *ekstrakt oranı*” etkileşiminin istatistiksel olarak $p < 0,01$ düzeyinde önemli olduğu belirlenmiştir (Çizelge 4.8).

Çizelge 4.8. Ekmek örneklerinin fiziksel özelliklerine ait varyans analizi sonuçları¹

VK	SD	Ağırlık		Hacim		Spesifik hacim	
		KT	F	KT	F	KT	F
Ekstrakt çeşidi (A)	2	18,07	24,10**	758,33	1,17ns	0,28	1,89ns
Ekstrakt oranı (B)	3	22,88	20,34**	6104,16	6,30*	0,94	4,13*
(AxB)	6	36,87	16,39**	4083,33	2,10ns	0,61	1,34ns
Hata		4,12		3550,00		0,84	

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

4.4.2.1. Ekmek ağırlığı

Çizelge 4.9’da görüldüğü üzere, 200 bar basınçta elde edilen ekstraktların farklı katkı oranlarıyla üretilen ekmek örneklerinin ağırlıkları incelenmiştir. Kontrol örneğinde (%0 katkı) ağırlık $66,85 \pm 0,64$ g olarak ölçülürken, %0,1 ekstrakt katkısı ile $69,00 \pm 0,57$ g’ye yükselmiş, %0,5 katkıda $67,80 \pm 0,42$ g, %1 katkıda ise $67,00 \pm 1,56$ g olarak tespit edilmiştir. Bu bulgular, düşük seviyelerde ekstrakt katkısının su tutma kapasitesini artırarak ağırlık artışı sağlayabildiğini göstermektedir. Ancak %0,5 ve %1 oranlarında ağırlıkta görülen azalma, ekstraktın kompleks bileşen yapısının su bağlama davranışında lineer olmayan bir etkiye neden olabileceğini düşündürmektedir (Bakhtiyarovna vd., 2020).

300 bar basınçta ekstrakt kullanılan örneklerde, %0 katkı ile $66,85 \pm 0,64$ g olan ağırlık, %0,1 katkıda $64,95 \pm 0,35$ g’ye düşmüş, sonrasında sırasıyla %0,5 katkıda $66,05 \pm 0,21$ g ve %1 katkıda $69,40 \pm 0,71$ g olarak artış gözlemlenmiştir. Bu sonuçlar, ekstrakt oranı ve basınç düzeyine bağlı olarak ağırlıkta orantılı değişimler gözlenebileceğini göstermektedir. Bununla birlikte %1 katkıdaki belirgin artış, 300 bar

basıncın ekstraktın fonksiyonel bileşen içeriğini zenginleştirerek su tutma kapasitesine olumlu katkıda bulunabileceğini düşündürmektedir (Ghafoor vd., 2012).

Çizelge 4.9. Ekmek örneklerinin fiziksel özelliklerine ait çoklu karşılaştırma testi sonuçları¹

Ekstrakt çeşidi	Ekstrakt oranı (%)	n	Ağırlık (g)	Hacim (mL)	Spesifik hacim
200	0	2	66,85±0,64 ^a	222,50±3,54 ^b	3,33±0,08 ^a
	0,1	2	69,00±0,57 ^a	260,00±7,07 ^a	3,77±0,13 ^a
	0,5	2	67,80±0,42 ^a	227,50±10,6 ^b	3,36±0,18 ^a
	1	2	67,00±1,56 ^a	250,00±7,07 ^{ab}	3,73±0,02 ^a
300	0	2	66,85±0,64 ^b	222,50±3,54 ^a	3,33±0,08 ^a
	0,1	2	64,95±0,35 ^b	265,00±14,14 ^a	4,08±0,20 ^a
	0,5	2	66,05±0,21 ^b	240,00±21,21 ^a	3,63±0,31 ^a
	1	2	69,40±0,71 ^a	287,50±45,96 ^a	4,15±0,70 ^a
400	0	2	66,85±0,64 ^b	222,50±3,54 ^a	3,33±0,08 ^a
	0,1	2	67,05±0,49 ^b	232,50±3,54 ^a	3,47±0,03 ^a
	0,5	2	70,35±0,21 ^a	272,50±31,82 ^a	3,87±0,46 ^a
	1	2	71,45±0,49 ^a	262,50±10,61 ^a	3,67±0,12 ^a
Ekstrakt çeşidi					
200		8	67,66±1,14 ^{ab}	240,00±17,53	3,55±0,24
300		8	66,81±1,80 ^b	253,75±33,03	3,80±0,47
400		8	68,93±2,18 ^a	247,50±25,50	3,59±0,29
Ekstrakt oranı (%)					
0		6	66,85±0,49 ^a	222,50±2,74 ^b	3,33±0,07 ^b
0,1		6	67,00±1,85 ^a	252,50±17,25 ^{ab}	3,77±0,29 ^{ab}
0,5		6	68,07±1,95 ^a	246,67±27,33 ^{ab}	3,62±0,35 ^{ab}
1		6	69,28±2,15 ^a	266,67±27,33 ^a	3,85±0,39 ^a
Kontrol (Katlı)			69,60±1,56	362,50±10,61	5,21±0,04

¹ Aynı harfle işaretlenmiş aynı sütundaki ortalamalar istatistiki olarak birbirinden farklı değildir (p > 0,05).

400 bar basınçlı ekstraktla hazırlanan ekmeklerde, %0 katkıdaki 66,85±0,64 gramlık ağırlık, %0,5 katkıda 70,35±0,21 gram ve %1 katkıda 71,45±0,49 grama kadar yükselmiştir. Bu sonuçlar, yüksek basınçta elde edilen ekstraktların daha etkin su bağlama özellikleri gösterdiğini, dolayısıyla pişmiş ürünün ağırlığını artırdığını ortaya koymaktadır. Bu bulgular, ekstraksiyon basıncının fenolik ve fonksiyonel bileşenlerin verimini artırdığına dair literatürle uyumludur (Gao vd., 2024).

Ekstrakt türüne göre ağırlık ortalamaları incelendiğinde, 200 bar ekstraktlı örneklerde ortalama ağırlık 67,66±1,14 gram; 300 bar ekstraktlarda 66,81±1,80 gram; 400 bar ekstraktlı örneklerde ise 68,93±2,18 gram olarak ölçülmüştür. Farklar istatistiksel olarak anlamlı olmamakla birlikte, 400 bar ekstraktı içeren örneklerin diğerlerinden

sayısal olarak biraz daha yüksek olduğu görülmektedir. Bu, yüksek basınçla ekstrakte edilen bileşenlerin, özellikle çözünür lif ve protein türevlerinin, hamurun su tutma kapasitesini artırdığına işaret eder (Bojňanská vd., 2024).

Katkı oranlarına göre değerlendirildiğinde, ekstrakt oranı %0'dan %1'e arttıkça ağırlık ortalamaları 66,85 g'den 69,28 g'ye yükselmiştir. %0,1 ve %0,5 oranlarında da benzer eğilim izlenmiş, bu da ekstrakt katkısının dozajına bağlı olarak su tutma davranışının pozitif yönde değiştiğini göstermektedir. Ancak bazı dalgalanmalar, ekstraktın bileşen profili ile pişirme sürecindeki etkileşimlerin farklılaşmasından kaynaklanabilir (Bakhtiyarovna vd., 2020).

4.4.2.2. Ekmek hacmi

Ekmek hacmi, ürünün yapısal kalitesi, gözeneklilik ve kabarma performansını yansıtan temel parametrelerden biridir. Çizelge 4.9'da gösterildiği üzere, süperkritik CO₂ ekstraksiyonu ile elde edilen ekstraktların farklı katkı oranlarında ekmek formülasyonuna ilave edilmesi sonucu hacim değerlerinde değişimler gözlenmiştir. Kontrol örneğinde (%0 katkı) hacim 222,50±3,54 mL olarak ölçülürken, %0,1 katkıda 260,00±7,07 mL'ye yükselmiş, %0,5 ve %1 katkı oranlarında ise sırasıyla 227,50 ± 10,6 mL ve 250,00±7,07 mL değerleri elde edilmiştir. Bu artışlar, düşük basınçla elde edilen ekstraktların hamur yapısını destekleyerek gaz tutma kapasitesini iyileştirdiğini ve bu sayede kabarma özelliğini artırdığını göstermektedir (Bojňanská vd., 2024).

300 bar basınçla elde edilen ekstrakt katkısında, kontrol örneğinde hacim 222,50±3,54 mL iken %0,1 katkıda 265,00±14,14 mL'ye, %1 katkıda 287,50±45,96 mL'ye kadar çıkmıştır. Bu belirgin artışlar, ekstraktın protein ve fenolik içerikler yönünden daha yoğun olmasının hamur matrisini daha stabil hale getirdiğini ve gaz tutulumunu artırdığını ortaya koymaktadır (Gao vd., 2024).

400 bar basınçla elde edilen ekstrakt katkısında ise %0,5 katkıda 272,50±31,82 mL ile en yüksek hacim değeri elde edilmiştir. Diğer oranlarda hacim değerleri 232,50±3,54 – 272,50±31,82 mL arasında değişmiştir. Bu veriler, ekstraksiyon basıncının çok yüksek olması durumunda bazı bileşenlerin yapısal etkilerinin değişebileceğine, dolayısıyla hacimde dalgalanmalara neden olabileceğine işaret eder (Ghafoor vd., 2012).

Genel ortalamalara bakıldığında, 300 bar ekstrakt katkılı örneklerin hacmi (253,75±33,03 mL), 400 bar (247,50±25,50 mL) ve 200 bar (240,00±17,53 mL) örneklerinden yüksektir. Bu bulgu, orta düzeydeki ekstraksiyon basıncının optimum

fonksiyonel bileşen elde edilmesine olanak sağladığını düşündürmektedir (Bojňanská vd., 2024).

4.4.2.3. Spesifik hacim

200 bar basınçta kontrol örneğinde spesifik hacim $3,33\pm 0,08$ mL/g olarak ölçülürken, %0,1 katkı oranında bu değer $3,77\pm 0,13$ mL/g'ye yükselmiş, %1 katkıda $3,73\pm 0,02$ mL/g ile yine yüksek düzeyde kalmıştır (Çizelge 4.9). Bu, ekstraktın gluten yapısını destekleyerek gaz tutulmasını artırdığını göstermektedir (Bakhtiyarovna vd., 2020).

300 bar ekstrakt katkısında kontrol örneğinde spesifik hacim $3,33\pm 0,08$ mL/g iken, %0,1 katkıda $4,08\pm 0,20$ mL/g ve %1 katkıda $4,15\pm 0,70$ mL/g ile maksimum değerlere ulaşılmıştır. Bu durum, 300 bar ekstraktlarının ekmek kabarmasında verimli katkı maddesi olduğunu ortaya koymaktadır (Gao vd., 2024).

400 bar ekstrakt katkısında spesifik hacim %0,5 katkı oranında $3,87\pm 0,46$ mL/g ile maksimuma ulaşırken, diğer oranlarda $3,33\pm 0,08$ – $3,67\pm 0,12$ mL/g arasında değişmiştir. Bu durum, çok yüksek basınçlı ekstraktların bazı katkı seviyelerinde etkili olmakla birlikte, bazı oranlarda sınırlı fayda sağladığını göstermektedir (Ghafoor vd., 2012).

Ortalama değerlere göre, 300 bar ekstrakt katkılı örnekler sayısal olarak en yüksek spesifik hacme ($3,80\pm 0,47$ mL/g) sahipken, 400 bar $3,59\pm 0,29$ mL/g ve 200 bar $3,55\pm 0,24$ mL/g ile geride kalmıştır. Katkı oranı %0'dan %1'e çıkarıldığında ise spesifik hacimde istatistiksel olarak anlamlı bir artış gözlenmiştir. Bu, ekstraktların hamur ağ yapısına katkı sağlayarak yapısal bütünlüğü desteklediğini ve ekmeğin genel hacim kalitesini artırdığını göstermektedir (Bakhtiyarovna vd., 2020; Bojňanská vd., 2024).

4.4.3. Ekmeklerin tekstür değerlerine ait sonuçlar

Tekstürel özellikler, tüketici kabulünde ekmek değerlendirme kriterleri açısından kritik öneme sahip olup; özellikle sertlik, elastikiyet, koheziflik, çiğnenebilirlik ve esneklik parametreleri kalite göstergesi olarak değerlendirilmektedir. Bu çalışmada, farklı basınç seviyelerinde (200, 300 ve 400 bar) süperkritik CO₂ ile ekstrakte edilen ekstraktların, farklı ikame oranlarında (%0, %0,1, %0,5 ve %1 mL) ekmek formülasyonuna dahil edilmesinin tekstürel özellikler üzerindeki etkileri 1., 3. ve 5. gün verileri üzerinden analiz edilmiştir.

4.4.3.1. Ekmeklerin 1. Gün tekstür değerlerine ait sonuçlar

Çizelge 4.11’de görüldüğü üzere, ekmek örneklerinin 1. gün tekstür özellikleri varyans analizi ile incelendiğinde; sertlik ($p < 0,05$), elastikiyet ($p < 0,05$), kohezyon ($p < 0,05$), çiğnenebilirlik ($p < 0,01$), esneklik ($p < 0,01$) ve “*ekstrakt çeşidi × ekstrakt oranı*” etkileşimi ($p < 0,05$) anlamlılık düzeylerinde incelenmiştir. Bu bulgular, ekstraktın üretildiği basınç ve katkı oranının ekmeklerin ilk gün tekstür özelliklerini farklı boyutlarda etkileyebildiğini göstermekte olup, Çizelge 4.10’de sunulan varyans analizi tablosu, söz konusu parametrelerin etki derecelerini açık bir şekilde ortaya koymaktadır.

4.4.3.1.1. Sertlik

200 bar basınçla elde edilen ekstraktlar kullanıldığında, sertlik değeri %0 ikame oranında $4122,68 \pm 378,09$ g olarak en yüksek seviyede ölçülmüş, bu değer %0,1 ve %1 ikame oranlarında sırasıyla $2731,70 \pm 571,92$ g ve $2692,39 \pm 914,26$ g’ye düştüğü gözlenmiştir. %0,5 ikame oranında ise $3550,18 \pm 331,93$ g elde edilmiştir. Bu durum, ekstrakt katkısının daha gevrek ve yumuşak yapı oluşturduğunu göstermektedir (Çizelge 4.11.).

Çizelge 4.10. Ekmek örneklerinin 1. gün tekstür profil analiz değerlerine ait varyans analizi sonuçları¹

		Sertlik		Elastikiyet		Koheziflik		Çiğnenebilirlik		Esneklik	
		KT	F	KT	F	KT	F	KT	F	KT	F
Ekstrakt çeşidi (A)	2	2427308	4,87*	0,42	1,34ns	0,02	4,38*	1457176	2,39ns	0,02	7,27**
Ekstrakt oranı (B)	3	21866262	29,30**	0,52	1,09ns	0,01	1,20ns	9261655	10,13**	0,00	0,51ns
(AxB)	6	2989765	2,00ns	0,99	1,04ns	0,02	1,17ns	1726178	0,94ns	0,02	2,79*
Hata		5472120		3,48		0,06		6701291		0,02	

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

300 bar basınçla üretilen ekstraktlar incelendiğinde, en düşük sertlik değeri %1 katkı oranında ($1539,71 \pm 417,31$ g) elde edilmiştir ($p \leq 0,05$). Aynı basınçta %0,1 ve %0,5 oranlarında da sertlik değerleri sırasıyla $2334,39 \pm 148,99$ g ve $2712,57 \pm 476,50$ g olarak gözlenmiş ve kontrol grubuna kıyasla anlamlı düzeyde daha düşük bulunmuştur (Çizelge 4.11). Bu bulgular, 300 bar basınçla ekstrakte edilen örneklerin, hamur matrisinde daha iyi dağılım göstererek gözenekli ve yumuşak bir yapı oluşturduğunu düşündürmektedir. Nitekim, Heo vd. (2016) yaptıkları çalışmada, polifenolik bileşenlerin hamur içinde hidrojen bağları yoluyla nişasta-protein etkileşimini etkileyerek yumuşaklığı artırabileceğini bildirmiştir.

Çizelge 4.11. Ekmek örneklerine ait 1. gün tekstür profil analiz sonuçları¹

Ekstrakt çeşidi	Ekstrakt oranı (%)	n	Sertlik (g)	Elastikiyet	Koheziflik	Çıgnenebilirlik (g)	Esneklik
200	0	2	4122,68±378,09 ^a	0,93±0,01 ^a	0,67±0,04 ^a	2580,31±371,90 ^a	0,29±0,02 ^a
	0,1	2	2731,70±571,92 ^a	0,93±0,02 ^a	0,66±0,04 ^a	1702,48±461,90 ^{ab}	0,24±0,01 ^b
	0,5	2	3550,18±331,93 ^a	0,94±0,03 ^a	0,66±0,03 ^a	2185,17±54,59 ^{ab}	0,29±0,02 ^a
	1	2	2692,39±914,26 ^a	0,90±0,03 ^a	0,64±0,04 ^a	1531,52±431,09 ^b	0,26±0,03 ^{ab}
300	0	2	4122,68±378,09 ^a	0,93±0,01 ^a	0,67±0,04 ^a	2580,31±371,90 ^a	0,29±0,02 ^a
	0,1	2	2334,39±148,99 ^{bc}	0,92±0,01 ^a	0,69±0,07 ^a	1491,21±58,19 ^{bc}	0,29±0,02 ^a
	0,5	2	2712,57±476,50 ^b	0,91±0,03 ^a	0,67±0,09 ^a	1632,05±216,85 ^b	0,27±0,06 ^a
	1	2	1539,71±417,31 ^c	0,89±0,03 ^a	0,71±0,04 ^a	964,06±249,55 ^c	0,30±0,02 ^a
400	0	2	4122,68±378,09 ^a	0,93±0,01 ^a	0,67±0,04 ^b	2580,31±371,90 ^a	0,29±0,02 ^a
	0,1	2	3024,89±804,90 ^b	0,97±0,03 ^a	0,79±0,02 ^a	2352,18±763,61 ^a	0,37±0,01 ^a
	0,5	2	2362,29±724,28 ^b	1,76±1,37 ^a	0,72±0,08 ^{ab}	2601,86±1365,70 ^a	0,33±0,06 ^a
	1	2	1632,28±203,94 ^b	0,93±0,02 ^a	0,70±0,04 ^b	1057,77±136,91 ^a	0,29±0,05 ^a
Ekstrakt çeşidi							
200		8	3274,24±804,47 ^a	0,93±0,02	0,66±0,04 ^b	1999,87±532,41	0,27±0,03 ^b
300		8	2677,34±1028,63 ^a	0,91±0,02	0,69±0,05 ^{ab}	1666,91±645,49	0,29±0,03 ^{ab}
400		8	2785,53±1077,76 ^a	1,15±0,69	0,72±0,06 ^a	2148,03±957,27	0,32±0,05 ^a
Ekstrakt oranı (%)							
	0	6	4122,68±327,44 ^a	0,93±0,01	0,67±0,03	2580,31±322,08 ^a	0,29±0,02
	0,1	6	2696,99±582,55 ^{bc}	0,94±0,03	0,72±0,07	1848,62±592,42 ^{bc}	0,30±0,06
	0,5	6	2875,01±703,48 ^b	1,20±0,81	0,68±0,07	2139,70±810,12 ^{ab}	0,30±0,05
	1	6	1954,79±755,34 ^c	0,91±0,03	0,68±0,05	1184,45±368,94 ^c	0,28±0,03
Kontrol (Katlı)			793,48±37,67	0,95±0,05	0,67±0,02	509,01±7,60	0,27±0,01

¹ Aynı harfle işaretlenmiş aynı sütundaki ortalamalar istatistiki olarak birbirinden farklı değildir (p > 0,05).

400 bar basınç altında ekstrakte edilen örneklerde ise, %0,1 ve %0,5 ikame oranlarında sırasıyla 3024,89±804,90 g ve 2362,28±724,28 g değerleri elde edilmiş, en düşük sertlik %1 ekstrakt oranında 1632,27±203,94 g olarak tespit edilmiştir (Çizelge 4.11). 400 bar ile elde edilen ekstraktların, daha yüksek miktarda düşük molekül ağırlıklı bileşik içermesi nedeniyle, hamur içyapısına daha fazla nüfuz ederek yumuşaklığı desteklemiş olabileceği düşünülmektedir. Renzetti ve Arendt (2009), bazı fenolik maddelerin gluten olmayan sistemlerde protein yapılarına bağlanarak elastik matrisin sertliğini azaltabileceğini belirtmiştir.

Basınç düzeylerine göre ortalamalar değerlendirildiğinde, 200 bar grubu ortalama 3274,23±804,47 g ile, sayısal olarak, en yüksek sertlik değerini verirken, 300 ve 400 bar gruplarında bu değer sırasıyla 2677,34±1028,63 g ve 2785,53±1077,76 g'ye düşmüştür (Çizelge 4.11.). Bu sonuçlar, yüksek basınç altında ekstrakte edilen bileşiklerin daha

etkili yapısal etkileşimler gösterdiğini ve hamur matrisini daha yumuşak hale getirdiğini göstermektedir.

Ekstrakt katkı oranlarının ortalamalarına göre yapılan değerlendirmede ise, katkı oranı arttıkça sertlik değerinde istatistiksel olarak anlamlı bir azalma gözlenmiştir ($p \leq 0,05$). Katkısız grupta $4122,68 \pm 327,44$ g olan sertlik değeri, %0,1 ve %0,5 katkılarda sırasıyla $2696,99 \pm 582,55$ g ve $2875,01 \pm 703,48$ g'ye düşerken, %1 katkı oranında $1954,79 \pm 755,34$ g ile en düşük değere ulaşılmıştır (Çizelge 4.1). Bu bulgular, ekstrakt ilavesinin yapı üzerinde yumuşatıcı etki gösterdiğini ve bu etkinin katkı oranına bağlı olduğunu ortaya koymaktadır. Benzer şekilde, Balestra vd. (2011), bitkisel ekstraktların ekmek hamurundaki proteinlerin etkileşimini değiştirerek nişasta jelatinizasyonunu modüle edebileceğini ve böylece daha düşük sertlik sağlayabileceğini raporlamıştır.

4.4.3.1.2. Elastikiyet

Elastikiyet, ekmek içi yapının sıkıştırma sonrası eski formuna dönme kapasitesini yansıttığından, yumuşaklık ve tazeliğe doğrudan ilişkilidir (Gómez vd., 2013). Çizelge 4.11. de görüldüğü üzere, 200 bar basınçla üretilen ekstraktlar kullanıldığında, elastikiyet değerleri %0, %0,1, %0,5 ve %1 ikame oranlarında sırasıyla $0,93 \pm 0,01$, $0,93 \pm 0,02$, $0,94 \pm 0,03$ ve $0,90 \pm 0,03$ olarak belirlenmiştir. Katkı oranlarına bağlı olarak sayısal değerlerde hafif dalgalanmalar gözlenmiş olsa da, bu farklılıklar istatistiksel olarak anlamsız bulunmuştur. Bu durum, düşük basınçla ekstrakte edilen bileşiklerin, hamur yapısında gluten benzeri etki oluşturarak elastikiyeti destekleyici rol oynayabileceğini düşündürmektedir. Kohajdová ve Karovičová (2009) da bazı fonksiyonel katkı maddelerinin viskoelastik hamur yapısını iyileştirerek elastikiyeti artırabileceğini bildirmiştir. 300 bar basınçla elde edilen ekstraktlar kullanıldığında, %0,1 ve %0,5 oranlarında $0,92 \pm 0,01$ ve $0,91 \pm 0,03$ elastikiyet değerleri kaydedilmiş, %1 oranında bu değer $0,89 \pm 0,03$ 'a düşmüştür. Yüksek basınçla ekstrakte edilen biyofonksiyonel bileşiklerin, nişasta ve proteinlerle etkileşerek daha esnek bir iç doku oluşturduğu söylenebilir. Wang vd. (2018), bazı fenolik bileşiklerin nişasta-protein etkileşimlerini düzenleyerek elastikiyet üzerinde olumlu etki gösterdiğini ortaya koymuştur.

400 bar basınçla elde edilen ekstraktlarla üretilen örneklerde ise, elastikiyet %0,1, %0,5 ve %1 oranlarında sırasıyla $0,97 \pm 0,03$, $1,76 \pm 1,37$ ve $0,93 \pm 0,02$ olarak ölçülmüştür. 400 bar grubunun elastikiyet açısından tatmin edici sonuçlar verdiği ve ekstrakt çeşitleri arasında en yüksek ortalama değere sahip olduğu belirlenmiştir. Ekstrakt çeşitleri

arasındaki farklılık, çok yüksek basınç altında elde edilen ekstraktların bazı yapısal bileşenlerde denatürasyona veya aşırı fenolik yoğunluğa bağlı olarak elastikiyeti sınırlayabileceğini düşündürmektedir.

Basınç gruplarının ortalama elastikiyet değerleri karşılaştırıldığında; 200 bar grubu $0,93\pm 0,02$, 300 bar grubu $0,91\pm 0,02$ ve 400 bar grubu $1,15\pm 0,69$ ile sıralanmıştır. Sayısal olarak en yüksek elastikiyet 400 bar basınçla elde edilen ekstrakt grubunda gözlenmiş, bu da söz konusu ekstraktın yapı içinde daha dengeli bir dağılım ve etkileşim sağladığını göstermektedir.

Ekstrakt katkı oranlarının ortalamaları dikkate alındığında, katkı oranı arttıkça elastikiyet değerlerinde istatistiksel olarak anlamlı bir artış tespit edilememiştir ($p > 0,05$). Katkısız örnek $0,93\pm 0,01$ ile en düşük elastikiyet değerine sahipken, %0,1, %0,5 ve %1 katkılı örnekler sırasıyla $0,94\pm 0,03$, $1,20\pm 0,81$ ve $0,91\pm 0,03$ değerlerine ulaşmıştır. Bu sonuçlar, ekstrakt katkısının ekmek içyapısında elastikiyet üzerinde belirgin bir iyileştirici etki göstermediğini, ancak düşük oranlarda kısmi bir destek sağlayabileceğini ortaya koymaktadır. Zhang vd. (2024), bitkisel kökenli doğal antioksidanların ekmek yapısında elastikiyeti destekleyici etkilerini doğrulamıştır.

4.4.3.1.3. Kohezyon

Kohezyon, ekmek içi yapının bütünlüğünü ve içyapının bozulmadan ne ölçüde bir arada tutulabildiğini yansıtan önemli bir tekstürel parametredir. Değerin yüksek olması, ürünün ağızda dağılmadan önce bir arada kalabilme kapasitesinin güçlü olduğunu gösterir (Gómez vd., 2007).

200 bar basınç altında üretilen ekstrakt katkılı ekmek örneklerinin kohezyon değerleri kontrol (%0), %0,1, %0,5 ve %1 ekstrakt katkı oranlarında sırasıyla $0,67\pm 0,04$, $0,66\pm 0,04$, $0,66\pm 0,03$, $0,64\pm 0,04$ olarak belirlenmiştir. Bu durum, çok yüksek basınçlarda ekstrakte edilen bazı bileşiklerin matristeki protein yapılarıyla uyumunun azalmış olabileceğini göstermektedir. Katkı oranının artmasıyla birlikte kohezyon değerlerinde istatistiksel olarak anlamlı olmamakla birlikte hafif bir azalma eğilimi gözlenmiştir. Bu sonuçlar, düşük basınçla ekstrakte edilen bileşenlerin, özellikle su tutma kapasitesi yüksek fenolik yapıların, nişasta ve protein matrisinde kohezyonu beklenen düzeyde desteklemediğini düşündürmektedir. Majzoobi vd. (2015), bazı bitkisel ekstraktların protein matrisini güçlendirerek kohezyon değerlerini artırabildiğini bildirmiştir.

300 bar basınçla üretilen ekstraktlarla hazırlanan ekmeklerde %0,1, %0,5 ve %1 katkı oranlarında kohezyon sırasıyla $0,69\pm0,07$, $0,67\pm0,09$ ve $0,71\pm0,04$ olarak ölçülmüştür. 300 bar basınç altında elde edilen ekstraktların, optimal fenolik profili ve proteinlerle olan etkileşimi sayesinde daha kompakt bir iç yapı sağladığı düşünülmektedir. Bu sonuçlar, Zhang vd. (2024) tarafından bildirilen, polifenol-protein etkileşiminin ürün yapısal bütünlüğünü güçlendirdiği yönündeki bulgularla da örtüşmektedir. 400 bar basınç altında üretilen ekstrakt katkılı örneklerde ise kohezyon değerleri %0,1, %0,5 ve %1 oranlarında sırasıyla $0,79\pm0,02$, $0,72\pm0,08$ ve $0,70\pm0,04$ olarak belirlenmiştir. 400 bar basınçla ekstrakte edilen fraksiyonlar da kohezyon açısından olumlu etki sağlamış ve diğer gruplara kıyasla daha yüksek değerler elde edildiği görülmektedir.

Basınç gruplarına göre ortalama kohezyon değerleri, 200 bar grubu $0,66\pm0,04$, 300 bar grubu $0,69\pm0,05$ ve 400 bar grubu $0,72\pm0,06$ şeklinde sıralanmıştır. İstatistiksel olarak anlamlı farklılıklar gözlenmiş olup ($p \leq 0,05$), en yüksek kohezyon 400 bar grubunda kaydedilmiştir. Bu da 400 bar basıncın ekstrakt kalitesi ve teknolojik etki açısından optimum düzeyde katkı sunduğunu göstermektedir.

Katkı oranı bakımından ortalamalara bakıldığında, kontrol grubu $0,67\pm0,03$ ile en düşük kohezyon değerine sahipken, %0,1, %0,5 ve %1 ekstrakt katkılı örnekler sırasıyla $0,72\pm0,07$, $0,68\pm0,07$ ve $0,68\pm0,05$ kohezyon değerlerine ulaşmıştır. Katkı oranı arttıkça kohezyonun sayısal değer olarak azaldığı fakat bu farkın istatistiksel olarak anlamsız olduğu görülmektedir ($p > 0,05$).

4.4.3.1.4. Çiğnenebilirlik

Çiğnenebilirlik, bir gıdanın ağızda parçalanması için gerekli enerji miktarını ifade eder ve ürünün tüketici tarafından algılanan dokusunu doğrudan etkiler (Sánchez vd., 2018). Ekstrakt oranındaki değişimlerin, yalnızca duyuşal özellikler üzerinde değil, aynı zamanda ürünün çiğnenebilirlik değerleri ve dokusal yapısı üzerinde de belirgin etkiler yarattığı gözlenmiştir. 200 bar basınç; %0 ekstrakt oranında $2580,31\pm371,90$ g olarak ölçülen çiğnenebilirlik, %0,1 ve %1 oranlarında sırasıyla $1702,48\pm461,90$ g ve $1531,52\pm431,09$ g değerlerine düşmüştür. %0,5 katkı oranında ise $2185,17\pm54,59$ g ile orta seviyede bir çiğnenebilirlik elde edilmiştir. Katkı oranının artmasıyla birlikte çiğnenebilirlikte belirgin bir azalma gözlenmektedir. Bu durum, ekstraktların hamur

matrisinde yumuşatıcı etkisiyle liflerin daha kolay parçalanmasına yol açmış olabilir (Kurek vd., 2018).

300 bar grubu çiğnenebilirlik değerlerinde %0,1 ve %0,5 ekstrakt oranlarında sırasıyla 1491,21±58,19 g ve 1632,05±216,85 g ölçülmüş, %1 oranında ise değer 964,06±249,55 g'ye kadar düşmüştür ($p \leq 0,05$). Bu daha düşük değerler, 300 bar basınç altında ekstrakte edilen bileşiklerin hamur yapısını gevşeterek, daha kolay çiğnenebilir bir doku oluşturduğunu göstermektedir. Wang vd. (2018) yaptıkları çalışmada, bitkisel ekstraktların nişasta jelatinizasyonunu etkileyerek ürünün yapısını yumuşatabileceğini raporlamıştır. 400 bar grubu çiğnenebilirlik değerleri ise; %0,1, %0,5 ve %1 katkı oranlarında sırasıyla 2352,18±763,61 g, 2601,86±1365,61 g ve 1057,77±136,91 g olarak tespit edilmiştir. Burada, istatistiksel olarak anlamsız ($p > 0,05$) düzeyde kalsa da sayısal olarak kıyaslandığında %0,5 oranındaki ekstrakt katkısı, diğer gruplara kıyasla daha yüksek çiğnenebilirlik sağlamış, ancak %1 oranında ani bir düşüş görülmüştür. Bu durum, aşırı katkı dozlarında ürün dokusunda yapısal zayıflama veya matriks bütünlüğünün bozulmasına işaret edebilir (Majzoobi vd., 2015).

200, 300 ve 400 bar basınç gruplarının ortalama çiğnenebilirlik değerleri sırasıyla 1999,87±532,41 g, 1666,91±645,49 g ve 2148,03±957,27 g olarak ölçülmüş olup, istatistiksel olarak anlamlı farklılıklar saptanamamıştır ($p > 0,05$). Sayısal olarak bakıldığında, 400 bar grubu, genel olarak diğer basınçlara göre daha yüksek çiğnenebilirlik göstermiştir. Bu, yüksek basınçta ekstrakte edilen bileşiklerin hamur matriksini farklı şekilde etkilediğini düşündürmektedir.

Katkı oranı arttıkça çiğnenebilirlik değerlerinde anlamlı değişiklikler gözlenmiş, %0 oranındaki 2580,31±322,08 g değerinden, %1 oranında 1184,45±368,94 g'ye anlamlı düşüş gerçekleşmiştir ($p \leq 0,05$). Bu, ekstrakt katkısının artmasıyla birlikte ekmeğin daha kolay çiğnenebilir hale geldiğini göstermektedir. Benzer şekilde, Belorio ve Gómez (2020) de fonksiyonel katkı maddelerinin ekmeklerin dokusunu yumuşatıp çiğnenebilirliğini artırdığını raporlamıştır.

4.4.3.1.5. Esneklik

Esneklik, ekmek içinin deformasyondan sonra enerji geri kazanma kapasitesini gösteren önemli bir tekstürel parametredir. Yüksek esneklik değeri, ürünün taze ve dayanıklı olduğunu, düşük değer ise yapısal zayıflama veya bayatlama eğilimini işaret eder (Ferrero vd., 2017).

200 bar grubu esneklik değerleri %0, %0,1, %0,5 ve %1 katkı oranlarında sırasıyla $0,29\pm 0,02$, $0,24\pm 0,01$, $0,29\pm 0,02$ ve $0,26\pm 0,03$ olarak ölçülmüştür. %0,5 katkı oranında esneklik en yüksek değere ulaşırken, %1 oranında hafif bir düşüş gözlenmiştir. Bu durum, ekstraktın orta seviyede ilavesinin ekmek iç yapısının enerji geri kazanım kapasitesini desteklediğini göstermektedir.

300 bar grubu örneklerde esneklik değerleri %0,1, %0,5 ve %1 katkı oranlarında sırasıyla $0,29\pm 0,02$, $0,27\pm 0,06$ ve $0,30\pm 0,02$ olarak belirlenmiştir. Burada, esneklik değerlerinde istatistiksel olarak anlamlı değişiklik olmamakla birlikte ($p > 0,05$), orta düzey ekstrakt katkısının yapı bütünlüğünü koruduğu söylenebilir.

400 bar grubu ekmeklerde esneklik değerleri ise %0,1, %0,5 ve %1 oranlarında sırasıyla $0,37\pm 0,01$, $0,33\pm 0,06$ ve $0,29\pm 0,05$ olarak ölçülmüştür. %0,1 oranındaki katkının diğer oranlara kıyasla daha yüksek esneklik sağladığı gözlenmiş, bu da düşük dozda ekstrakt ilavesinin ürün dayanıklılığını artırabileceğini düşündürmektedir. Yüksek dozda katkı ise esneklikte azalmaya neden olmuştur.

Ortalama değerler açısından bakıldığında, 200 bar grubu $0,27\pm 0,03$, 300 bar grubu $0,29\pm 0,03$ ve 400 bar grubu $0,32\pm 0,05$ ile benzer seviyelerde yer almıştır. İstatistiksel olarak anlamlı farklılıklar gözlemlenirken ($p \leq 0,05$), en yüksek esnekliğe sahip grubun 400 bar basınç grubu olduğu gözlenmektedir.

Katkı oranları açısından, kontrol grubunda $0,29\pm 0,02$ olan esneklik değeri, %0,1 ve %0,5 oranlarında hafif artış göstermiş, ancak %1 oranında tekrar kontrol seviyesine yaklaşmıştır. Bu sonuçlar, ekstraktların uygun dozlarda ekmek dokusunu güçlendirebileceğini göstermektedir. Nawrocka vd. (2018), bitkisel ekstraktların düşük konsantrasyonlarda ekmek dayanıklılığını artırabileceğini, yüksek dozlarda ise yapı üzerinde negatif etkiler oluşturabileceğini belirtmiştir.

4.4.3.2. Ekmeklerin 3. gün tekstür değerlerine ait sonuçlar

Çizelge 4.12’de görüldüğü üzere, ekmek örneklerinin 3. gün tekstür özellikleri varyans analizi ile incelendiğinde; sertlik (ekstrakt oranı $p < 0,05$, ekstrakt çeşidi ve “ekstrakt çeşidi \times ekstrakt oranı” interaksiyonu $p < 0,01$ düzeyinde), elastikiyet ($p > 0,05$), kohezyon (ekstrakt oranı $p < 0,01$), çignenebilirlik (ekstrakt oranı $p < 0,01$, “ekstrakt çeşidi \times ekstrakt oranı” interaksiyonu $p < 0,05$), esneklik (ekstrakt oranı $p < 0,01$) şeklindedir. Bu bulgular, ekstraktın üretildiği basınç ve katkı oranının ekmeklerin 3. gün tekstür özelliklerini farklı boyutlarda etkileyebildiğini göstermekte olup, Çizelge

4.12’de sunulan varyans analizi tablosu, söz konusu parametrelerin etki derecelerini açık bir şekilde ortaya koymaktadır.

4.4.3.2.1. Sertlik

200 bar grubu ekmeklerde sertlik, katkısız örnekte 4473,34±442,29 g olarak ölçülmüş, %0,1 ve %0,5 katkı oranlarında hafif artışla sırasıyla 4625,93±1490,33 g ve 4714,02±366,27 g olarak tespit edilmiştir. %1 oranında ise 4718,80±932,54 g ile sayısal olarak en yüksek sertlik değeri gözlenmiştir (Çizelge 4.13). Bu durum, 200 bar basınç altında ekstrakte edilen bileşenlerin, özellikle fenolik ve protein yapısını güçlendirici etkilerinin devam ettiğini göstermektedir.

Çizelge 4.12. Ekmek örneklerinin 3. gün testtür profil analiz değerlerine ait varyans analizi sonuçları¹

		Sertlik		Elastikiyet		Koheziflik		Çiğnenebilirlik		Esneklik	
		KT	F	KT	F	KT	F	KT	F	KT	F
Ekstrakt çeşidi (A)	2	3281823	4,61*	0,03	1,38ns	0,01	1,49ns	514083	1,22ns	0,01	2,02ns
Ekstrakt oranı (B)	3	9622358	9,02**	0,04	1,31ns	0,08	9,31**	4612954	7,33**	0,06	10,13**
(AxB)	6	9258828	4,34**	0,03	0,44ns	0,01	0,41ns	3615110	2,87*	0,01	0,64ns
Hata		7816902		0,25		0,06		4615489		0,04	

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

300 bar grubu sertlik değerlerinde ise %0,5 katkı oranı ile 5210,15±335,06 g ile en yüksek sertlik kaydedilmiştir. %1 oranındaki örnekte ise sertlik 3277,47±174,77 g’ye düşmüştür. Bu sonuç, aşırı ekstrakt katkısının dokusal sertliği olumsuz etkileyebileceğine işaret etmektedir.

400 bar grubu örneklerde sertlik, %0,1 katkı oranında 4607,05±302,66 g ile yüksek bulunurken, %1 oranında sertlik 2155,58±170,43 g’ye kadar düşmüştür. Bu, yüksek ekstrakt dozlarının dokuyu yumuşattığını ve bayatlama etkilerini azaltabileceğini düşündürmektedir.

Ekstrakt çeşidi gruplarının ortalama sertlik değerleri ise 200 bar için 4633,02±795,41 g, 300 bar için 4173,35±844,05 g ve 400 bar için 3901,43±1083,45 g olarak belirlenmiştir. İstatistiksel analizler 200 bar grubunun sertlik bakımından anlamlı olarak daha yüksek olduğunu göstermektedir (p ≤ 0,05). Literatürde, fenolik bileşiklerin nişasta-protein matrisi üzerindeki etkileri, sertlik artışı ile ilişkilendirilmiştir (Coutinho vd., 2018). Ayrıca, ekstraktların protein ağını güçlendirme ve su tutma kapasitesini artırma etkisi de sertlik üzerinde belirleyici olmuştur (Ferrero, 2017).

Çizelge 4.13. Ekmek örneklerine ait 3. gün testtür profil analiz sonuçları¹

Ekstrakt çeşidi	Ekstrakt oranı (%)	n	Sertlik (g)	Elastikiyet	Koheziflik	Çiğnenebilirlik (g)	Esneklik
200	0	2	4473,34±442,29 ^a	0,96±0,03 ^a	0,67±0,02 ^a	2874,34±166,69 ^a	0,32±0,02 ^a
	0,1	2	4625,93±1490,33 ^a	0,81±0,27 ^a	0,72±0,11 ^a	2642,10±1091,75 ^a	0,43±0,08 ^a
	0,5	2	4714,02±366,27 ^a	0,97±0,01 ^a	0,60±0,01 ^a	2735,48±190,52 ^a	0,32±0,00 ^a
	1	2	4718,80±932,54 ^a	0,86±0,19 ^a	0,68±0,11 ^a	2720,12±695,95 ^a	0,40±0,10 ^a
300	0	2	4473,34±442,29 ^{ab}	0,96±0,03 ^a	0,67±0,02 ^{ab}	2874,34±166,69 ^a	0,32±0,02 ^a
	0,1	2	3732,45±580,50 ^{bc}	0,90±0,10 ^a	0,70±0,04 ^a	2388,00±517,01 ^{ab}	0,40±0,03 ^a
	0,5	2	5210,15±335,06 ^a	0,97±0,04 ^a	0,56±0,05 ^b	2784,48±149,15 ^a	0,30±0,05 ^a
	1	2	3277,47±174,77 ^c	0,95±0,02 ^a	0,60±0,08 ^{ab}	1848,44±243,98 ^b	0,31±0,07 ^a
400	0	2	4473,34±442,29 ^a	0,96±0,03 ^a	0,67±0,02 ^{ab}	2874,34±166,69 ^{ab}	0,32±0,02 ^a
	0,1	2	4607,05±302,66 ^a	0,98±0,03 ^a	0,72±0,01 ^a	3222,37±267,44 ^a	0,41±0,03 ^a
	0,5	2	4369,77±38,11 ^a	1,01±0,09 ^a	0,59±0,07 ^b	2615,31±238,16 ^b	0,32±0,05 ^a
	1	2	2155,58±170,43 ^b	0,93±0,03 ^a	0,66±0,03 ^{ab}	1323,41±116,56 ^c	0,36±0,05 ^a
Ekstrakt çeşidi							
200	8	4633,02±795,41 ^a	0,90±0,16	0,67±0,08	2743,01±569,27	0,37±0,08	
300	8	4173,35±844,05 ^a	0,94±0,06	0,63±0,08	2473,81±507,88	0,33±0,06	
400	8	3901,43±1083,45 ^a	0,97±0,05	0,66±0,06	2508,85±769,72	0,35±0,05	
Ekstrakt oranı (%)							
0	6	4473,34±383,04 ^a	0,96±0,03	0,67±0,02 ^a	2874,34±144,36 ^a	0,32±0,02 ^b	
0,1	6	4321,81±926,21 ^{ab}	0,90±0,16	0,71±0,06 ^a	2750,82±731,13 ^a	0,41±0,05 ^a	
0,5	6	4764,65±442,53 ^a	0,98±0,05	0,58±0,05 ^b	2711,75±185,74 ^a	0,31±0,03 ^b	
1	6	3383,95±1212,67 ^b	0,91±0,11	0,65±0,08 ^{ab}	1963,99±716,00 ^b	0,36±0,08 ^a	
Kontrol (Katlı)			2544,60±665,50	0,96±0,01	0,65±0,11	1554,89±285,35	0,32±0,05

¹ Aynı harfle işaretlenmiş aynı sütundaki ortalamalar istatistiki olarak birbirinden farklı değildir (p > 0,05).

4.4.3.2.2. Elastikiyet

Farklı basınç seviyelerinde üretilen ekstraktların ekmek örneklerindeki elastikiyet değerleri incelendiğinde, 200 bar grubunda 0,96±0,03 ile 0,97±0,04 arasında değişim göstermiş; özellikle %0,1 katkıda değer 0,81±0,27'ye düşerken, daha yüksek katkılarda kontrol seviyesine yakın sonuçlar elde edilmiştir.

300 bar basınçta elastikiyet değerleri 0,96±0,03 ile 0,92±0,02 arasında değişmiş, katkı oranı arttıkça küçük dalgalanmalar gözlenmiş ancak istatistiksel olarak anlamlı bir fark bulunmamıştır.

400 bar grubunda ise elastikiyet değerleri 0,96±0,03 ile 1,00±0,09 arasında ölçülmüş ve katkı oranıyla birlikte hafif bir artış eğilimi gözlenirse de bu artış anlamlı bulunmamıştır.

Ekstrakt çeşidi açısından değerlendirildiğinde elastikiyet değerleri 200, 300 ve 400 bar gruplarında sırasıyla $0,90\pm 0,16$, $0,94\pm 0,06$ ve $0,97\pm 0,05$ olarak belirlenmiş olup basınç düzeyi yükseldikçe elastikiyet değerlerinde sınırlı bir artış eğilimi görülmüştür.

Katkı oranı dikkate alındığında ise kontrol örneği $0,96\pm 0,03$ değerine sahipken, %0,1 katkıda $0,90\pm 0,16$, %0,5 katkıda $0,89\pm 0,03$ ve %1 katkıda $0,91\pm 0,11$ değerleri elde edilmiştir. Bu bulgular genel olarak, ekstrakt katkısının ekmek içyapısında elastikiyet üzerinde belirgin bir iyileştirici etki göstermediğini, yalnızca yüksek basınç altında elde edilen ekstraktların sınırlı düzeyde destek sağlayabileceğini ortaya koymaktadır. Literatürde, ekstraktların elastikiyet üzerinde nötr veya hafif olumlu etkileri olduğu, ancak aşırı dozlarda dokusal bozulmalara yol açabileceği belirtilmiştir (Wang vd., 2018).

4.4.3.2.3. Kohezyon

Farklı basınç seviyelerinde elde edilen ekstraktların ekmek örneklerindeki kohezyon değerleri incelendiğinde (Çizelge 4.13), 200 bar grubunda $0,67\pm 0,02$ ile $0,72\pm 0,11$ arasında değişim göstermiş; katkı oranı %0,1'de hafif bir artışa yol açarken, daha yüksek katkılarda değerler kontrol seviyesine yakın bulunmuştur.

300 bar basınçta kohezyon değerleri $0,67\pm 0,02$ ile $0,60\pm 0,05$ arasında değişmiş, %0,1 katkıda $0,70\pm 0,04$ 'e yükselmesine rağmen, katkı oranı arttıkça değerlerde azalma gözlenmiştir.

400 bar grubunda ise kohezyon $0,67\pm 0,02$ 'den başlayarak %0,1 katkıda $0,72\pm 0,09$ 'a yükselmiş, ardından %0,5 ve %1 katkılarda sırasıyla $0,59\pm 0,07$ ve $0,66\pm 0,03$ değerlerine düşmüştür. Ekstrakt çeşidi açısından değerlendirildiğinde, kohezyon değerleri 200, 300 ve 400 bar gruplarında sırasıyla $0,67\pm 0,08$, $0,63\pm 0,08$ ve $0,66\pm 0,06$ olarak belirlenmiş, basınç düzeyinin kohezyon üzerinde belirgin bir farklılık oluşturmadığı görülmüştür.

Katkı oranı dikkate alındığında ise kontrol örneği $0,67\pm 0,02$ değerine sahipken, %0,1 katkıda $0,71\pm 0,06$ ile hafif bir artış gözlenmiş; ancak %0,5 ($0,58\pm 0,07$) ve %1 ($0,65\pm 0,08$) katkı oranlarında değerlerin düştüğü belirlenmiştir. Genel olarak, ekstrakt katkısının ekmek içyapısında kohezyonu destekleyici belirgin bir etki göstermediği, yalnızca düşük katkı oranlarında kısmi bir artış sağlayabildiği sonucuna ulaşılmıştır. Literatürde, fenolik bileşiklerin uygun konsantrasyonlarda proteinlerle etkileşerek matrisi güçlendirdiği, yüksek konsantrasyonlarda ise yapıyı bozduğu bildirilmektedir (Zhang vd., 2024).

4.4.3.2.4. Çiğnenebilirlik

Çizelge 4.13 göz önüne alındığında, 200 bar basınçta %0,1 ve %0,5 ekstrakt katkıları çiğnenebilirlik üzerinde anlamlı bir değişim yaratmazken ($2642,10 \pm 1091,75$ g ve $2735,48 \pm 190,52$ g), %1 ekstrakt katkısı ile düşüş gözlenmiştir ($2720,12 \pm 695,95$ g).

300 bar basınçta, %0,1 ekstrakt ile çiğnenebilirlik değeri $2388,00 \pm 517,01$ g'ye düşmüş, %0,5 katkıda $2784,48 \pm 149,15$ g ile kontrol seviyesine yaklaşmış ve %1 katkıda belirgin bir düşüş meydana gelmiştir ($1848,44 \pm 243,98$ g).

400 bar basınçta ise %0,1 ve %0,5 ekstrakt katkıları çiğnenebilirlik değerlerinde kontrol ile benzer seviyelerde kalmış ($2750,82 \pm 731,13$ g ve $2711,75 \pm 185,74$ g), %1 katkıda ise belirgin bir azalma gözlenmiştir ($1963,99 \pm 716,00$ g). Elde edilen bulgular, ekstrakt oranının artmasının ekmek yapısının çiğnenebilirliğini sınırlı veya orta düzeyde azalttığını, bu etkinin basınç koşullarıyla birlikte daha belirgin hâle geldiğini göstermektedir.

200, 300 ve 400 bar basınç altında hazırlanan ekmeklerde ekstrakt çeşidi ve ekstrakt oranının çiğnenebilirlik üzerindeki etkileri değerlendirilmiştir. Katkısız kontrol örneklerinin çiğnenebilirlik değerleri her üç basınçta da benzer bulunmuş ($2874,34 \pm 166,69$ g, $2874,34 \pm 166,69$ g ve $2874,34 \pm 144,36$ g), bu durum ekstrakt ilavesi olmadan basıncın çiğnenebilirliği önemli ölçüde etkilemediğini göstermektedir.

Ekstrakt oranına bağlı olarak, 200 bar basınçta %0,1 ve %0,5 katkıları çiğnenebilirlik üzerinde anlamlı bir değişim yaratmazken ($2642,10 \pm 1091,75$ g ve $2735,48 \pm 190,52$ g), %1 ekstrakt katkısı hafif bir düşüşe yol açmıştır ($2720,12 \pm 695,95$ g). 300 bar basınçta düşük oranlı katkıları (%0,1 ve %0,5) kısmi düşüş ve kontrol seviyelerine yakın değerler gösterirken ($2388,00 \pm 517,01$ g ve $2784,48 \pm 149,15$ g), %1 ekstrakt katkısı belirgin bir azalmaya neden olmuştur ($1848,44 \pm 243,98$ g). 400 bar basınçta ise %0,1 ve %0,5 katkıları çiğnenebilirlik değerlerini kontrol seviyesinde tutarken, %1 katkıda belirgin bir düşüş gözlenmiştir ($1963,99 \pm 716,00$ g). Bu bulgular, Kurek vd. (2018) ve Belorio ve Gómez (2020) tarafından bildirilen ekstraktların yumuşatıcı etkileriyle uyumludur.

4.4.3.2.5. Esneklik

Çizelge 4.13'te görüldüğü üzere, 200, 300 ve 400 bar basınç altında hazırlanan ekstrakt katkılı ekmeklerde esneklik değerleri değerlendirilmiştir. Katkısız kontrol

örneklerinin esneklik değerleri tüm basınçlarda benzer bulunmuş olup ($0,32 \pm 0,02$), ekstrakt ilavesi olmadan basıncın ekmek esnekliği üzerinde belirgin bir etki yaratmadığı görülmüştür.

200 bar basınçta, %0,1 ve %1 ekstrakt oranlarında esnekliği biraz artırmış ($0,43 \pm 0,08$ ve $0,40 \pm 0,10$), %0,5 katkıda ise kontrol seviyesine yakın bir değer gözlenmiştir ($0,32 \pm 0,00$). 300 bar basınçta %0,1 katkı esnekliği korunurken ($0,40 \pm 0,03$), %0,5 ve %1 katkılarda hafif düşüşler gözlenmiş ($0,30 \pm 0,05$ ve $0,31 \pm 0,07$). 400 bar basınçta ise düşük ve yüksek ekstrakt oranları esnekliği korunurken (%0,1 ve %1), %0,5 katkıda sınırlı bir azalma meydana gelmiştir ($0,36 \pm 0,08$ ab).

Literatürde Nawrocka vd. (2018) yaptıkları çalışmada bitkisel ekstraktların uygun dozlarda tekstürel dayanıklılığı artırdığını, ancak aşırı dozların negatif etkiler oluşturduğunu bildirmiştir. Bu sonuçlar, ekstraktların ekmeklerin raf ömrü boyunca tekstürel özelliklerini basınç ve katkı oranına bağlı olarak önemli şekilde etkilediğini göstermektedir. Optimum ekstrakt oranı ve basınç kombinasyonlarının seçilmesi, ürün kalitesinin korunması açısından kritik öneme sahiptir.

4.4.3.3. Ekmeklerin 5. Gün tekstür değerlerine ait sonuçlar

5. gün tekstür analizleri, ekmek örneklerinin raf ömrünün ilerleyen safhalarında meydana gelen sertlik, elastikiyet, kohezyon, çiğnenebilirlik ve esneklik değerlerini ortaya koymaktadır. Bu parametreler, ekstraktın basınç ve katkı oranına bağlı olarak ekmek dokusunun dayanıklılığı ve tazelik kaybı üzerindeki etkilerini kapsamlı şekilde değerlendirmek için önemlidir. 5. gün sertlik değerleri, ekstrakt basıncı ve katkı oranına göre önemli farklılıklar göstermiştir.

4.4.3.3.1. Sertlik

200 bar basınçta üretilen ekstraktlar ile hazırlanan ekmeklerde, kontrol örneği $6808,78 \pm 127,08$ g sertlik değeriyle en yüksek değeri almıştır. %0,1, %0,5 ve %1 katkı oranlarında sertlik sırasıyla $5967,95 \pm 802,93$ g, $5599,27 \pm 443,75$ g ve $5380,20 \pm 438,28$ g olarak belirlenmiş, katkı oranı arttıkça sertlikte anlamlı bir azalma gözlenmiştir (Çizelge 4.15.). Bu durum, ekstraktın sertleşmeyi geciktirici ve dokuyu yumuşatıcı etkisini desteklediği düşünülmektedir.

Çizelge 4.14. Ekmek örneklerinin 5. gün testtür profil analiz değerlerine ait varyans analizi sonuçları¹

		Sertlik		Elastikiyet		Koheziflik		Çiğnenebilirlik		Esneklik	
		KT	F	KT	F	KT	F	KT	F	KT	F
Ekstrakt çeşidi (A)	2	4806148	5,75**	0,0	0,83n	0,0	0,57n	2358074	4,67*	0,0	0,13n
Ekstrakt oranı (B)	3	3211270	2563*	0,0	0,68n	0,0	1,53n	1443374	19,06*	0,0	1,74n
(AxB)	6	1527527	6,09**	0,0	0,18n	0,0	1,37n	8239616	5,44**	0,0	1,43n
Hata		9189792		0,0		0,0		5551791		0,0	
				2		8				6	

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

Çizelge 4.15. Ekmek örneklerine ait 5. gün testtür profil analiz sonuçları¹

Ekstrakt çeşidi	Ekstrakt oranı (%)	n	Sertlik (g)	Elastikiyet	Koheziflik	Çiğnenebilirlik (g)	Esneklik
200	0	2	6808,78±127,08 ^a	0,95±0,01 ^a	0,68±0,03 ^a	4366,59±201,72 ^a	0,37±0,05 ^a
	0,1	2	5967,95±802,93 ^{ab}	0,96±0,02 ^a	0,62±0,11 ^a	3534,51±786,10 ^a	0,33±0,09 ^a
	0,5	2	5599,27±443,75 ^{ab}	0,96±0,06 ^a	0,62±0,02 ^a	3353,25±271,38 ^a	0,32±0,01 ^a
	1	2	5380,20±438,28 ^b	0,97±0,05 ^a	0,70±0,05 ^a	3669,55±632,52 ^a	0,38±0,04 ^a
300	0	2	6808,78±127,08 ^a	0,95±0,01 ^a	0,68±0,03 ^a	4366,59±201,72 ^a	0,37±0,05 ^a
	0,1	2	3681,01±1202,88 ^b	0,97±0,03 ^a	0,65±0,06 ^a	2290,79±618,53 ^b	0,35±0,04 ^a
	0,5	2	5545,56±1015,32 ^{ab}	0,96±0,02 ^a	0,63±0,05 ^a	3365,01±776,96 ^{ab}	0,33±0,05 ^a
	1	2	4267,68±334,68 ^b	0,98±0,04 ^a	0,59±0,07 ^a	2446,33±234,56 ^b	0,30±0,06 ^a
400	0	2	6808,78±127,08 ^a	0,95±0,01 ^a	0,68±0,03 ^a	4366,59±201,72 ^a	0,37±0,05 ^{ab}
	0,1	2	5965,85±589,42 ^a	0,93±0,02 ^a	0,71±0,04 ^a	3957,64±416,10 ^a	0,41±0,02 ^a
	0,5	2	5584,13±919,01 ^a	0,95±0,02 ^a	0,61±0,03 ^a	3255,72±625,58 ^a	0,33±0,05 ^{ab}
	1	2	2852,94±193,09 ^b	0,95±0,04 ^a	0,61±0,12 ^a	1674,57±361,93 ^b	0,28±0,05 ^b
Ekstrakt çeşidi							
200		8	5939,05±716,99 ^a	0,96±0,04	0,65±0,06	3730,98±605,42 ^a	0,35±0,06
300		8	5075,76±1435,88 ^a	0,96±0,03	0,64±0,06	3117,18±973,75 ^a	0,34±0,05
400		8	5302,93±1619,67 ^a	0,95±0,02	0,65±0,07	3313,63±1132,67 ^a	0,35±0,06
Ekstrakt oranı (%)							
0		6	6808,78±110,06 ^a	0,95±0,01 ^a	0,68±0,03 ^a	4366,59±174,69 ^a	0,37±0,05 ^a
0,1		6	5204,94±1384,23 ^{bc}	0,95±0,03 ^a	0,66±0,08 ^a	3260,98±925,44 ^b	0,36±0,06 ^a
0,5		6	5576,32±720,19 ^b	0,96±0,03 ^a	0,62±0,03 ^a	3324,66±519,49 ^b	0,33±0,04 ^a
1		6	4166,94±1135,18 ^c	0,97±0,04 ^a	0,63±0,09 ^a	2596,81±951,58 ^b	0,32±0,06 ^a
Kontrol (Katılı)			2719,86±53,91	0,98±0,02	0,63±0,04	1666,02±170,44	0,30±0,00

¹ Aynı harfle işaretlenmiş aynı sütundaki ortalamalar istatistiki olarak birbirinden farklı değildir (p > 0,05).

300 bar ekstrakt katılı ekmeklerde sertlik değerleri daha değişkendir. %0,1 oranında sertlik ciddi biçimde 3681,01±1202,88 g'ye düşerken, %0,5'te 5545,56±1015,32 g'ye yükselmiş ardından %1'de ise 4267,68±334,68 g'ye düştüğü

görülmüştür. Bu dalgalanma, yüksek basınçla ekstrakte edilen bileşenlerin ekmek yapısına farklı etkilerinin olduğuna işaret eder.

400 bar grubunda sertlik %0,1'de $5965,85 \pm 589,42$ g, %0,5'te $5584,13 \pm 919,01$ g ve %1'de $2852,94 \pm 193,09$ g'ye kadar düşmüştür. %1 katkı oranındaki sertlik azalışı istatistiksel olarak anlamlıdır ($p \leq 0,05$) ve ekstraktın yüksek oranlarda dokuyu yumuşattığını göstermektedir.

Ekstrakt türlerinin ortalama sertlik değerleri incelendiğinde 200 bar grubu $5939,05 \pm 716,99$ g, 300 bar grubu $5075,76 \pm 1435,88$ g ve 400 bar grubu $5302,93 \pm 1619,67$ g ile benzer düzeyde olsa da 200 bar grubunun sayısal olarak biraz daha yüksek sertlik sağladığı gözlenmektedir. Literatürde, fenolik ve protein içeriği yüksek ekstraktların nişasta-protein ağını güçlendirerek sertlik artışına yol açabileceği; ancak yüksek ekstrakt konsantrasyonlarının su bağlama kapasitesini artırarak yumuşamaya neden olabileceği bildirilmiştir (Xu vd., 2019; Ferrero, 2017).

4.4.3.3.2. Elastikiyet

Elastikiyet değerleri incelendiğinde, 200 bar grubunda elde edilen değerler $0,95 \pm 0,01$ ile $0,97 \pm 0,05$ arasında değişim göstermiştir. 300 bar grubunda elastikiyet değerlerinin $0,95 \pm 0,01$ ile $0,98 \pm 0,04$ aralığında seyrettiği, 400 bar grubunda ise $0,93 \pm 0,02$ ile $0,95 \pm 0,04$ arasında değişim gösterdiği tespit edilmiştir. Ekstrakt çeşidi açısından değerlendirildiğinde, tüm basınç gruplarında elastikiyet değerleri birbirine oldukça yakın olup $0,95-0,96$ ortalama aralığında yoğunlaştığı görülmektedir. Ekstrakt oranı değerleri incelendiğinde, kontrol grubu (%0) $0,95 \pm 0,01$ olarak belirlenmiştir. %0,1 ekstrakt katkılı örneklerde esneklik değeri $0,95 \pm 0,03$ iken, %0,5 ekstrakt katkısında bu değer $0,96 \pm 0,03$ 'e yükselmiştir. En yüksek esneklik değeri ise %1 ekstrakt katkısında $0,97 \pm 0,04$ olarak tespit edilmiştir. Sayısal olarak artış eğilimi gözlenirse de, bu farklılıklar istatistiksel açıdan anlamlı bulunmamıştır ($p > 0,05$). Bu durum, ekstraktların ekmek içindeki esneklik özelliklerini önemli ölçüde değiştirmedini göstermekte olup, benzer sonuçlar Wang vd. (2018) ve Belorio ve Gómez (2020) tarafından da rapor edilmiştir.

4.4.3.3.3. Kohezyon

Kohezyon değerleri ise $0,59 \pm 0,07$ ila $0,71 \pm 0,04$ aralığında salınım göstermiş olup burada gerçekleşen değişimler istatistiksel olarak anlamsız bulunmuştur ($p > 0,05$). Koheziflik değerleri incelendiğinde, 200 bar grubunda en düşük değer $0,62 \pm 0,02$ olarak

belirlenmiştir. Benzer şekilde, 400 bar grubunda en düşük koheziflik değeri $0,61\pm 0,02$, 300 bar grubunda ise $0,59\pm 0,07$ olarak tespit edilmiştir. Kontrol örneği $0,68\pm 0,03$ değeri ile diğer örnekler arasında ortalama seviyede yer almıştır. Ekstrakt çeşidi açısından gruplar karşılaştırıldığında, 300 bar grubunun $0,64\pm 0,06$ ile sayısal olarak daha düşük bir değere sahip olduğu, buna karşın 200 ve 400 bar gruplarının $0,65$ ortalama değeri ile benzer seviyelerde kaldığı belirlenmiştir. Ancak bu farklılıklar istatistiksel olarak anlamlı bulunmamıştır ($p > 0,05$). Ekstrakt oranı bakımından değerlendirildiğinde, kontrol grubu (%0) $0,68\pm 0,03$ ile en yüksek ortalama değere sahip olurken, %0,5 ekstrakt katkılı örnekler $0,62\pm 0,03$ ile en düşük ortalama değeri göstermiştir.

Kohezyonun ekstraktın protein matrisiyle etkileşimi ve bağ kuvvetlerine bağlı olduğu literatürde belirtilmiştir (Zhang vd., 2024). Düşük kohezyon, ekstraktın yapı içerisindeki bağları zayıflatması veya proteolitik enzimlerin etkisiyle olabilir.

4.4.3.3.4. Çiğnenebilirlik

Çiğnenebilirlik değerleri incelendiğinde (Çizelge 4.15), 200 bar grubunda kontrol örneği $4366,59\pm 201,72$ g olarak belirlenmiş, katkı oranı arttıkça değerlerin $3353,25\pm 271,38$ g ile $3669,55\pm 632,52$ g arasında değişim gösterdiği saptanmıştır. 300 bar grubunda kontrol örneği yine $4366,59\pm 201,72$ g olarak ölçülürken, %0,1 katkıda $2290,79\pm 618,53$ g ile en düşük değerlerden biri tespit edilmiştir. Aynı grupta %0,5 katkı $3365,01\pm 776,96$ g, %1 katkı ise $2446,33\pm 234,56$ g ile daha düşük seviyelerde kalmıştır. 400 bar grubunda ise kontrol örneği $4366,59\pm 201,72$ g iken, %0,1 katkıda $3957,64\pm 416,10$ g, %0,5 katkıda $3255,72\pm 625,58$ g ve %1 katkıda $1674,57\pm 361,93$ g değerleri elde edilmiştir. Genel olarak değerlendirildiğinde, özellikle 300 ve 400 bar gruplarında katkı oranındaki artışın çiğnenebilirlik değerlerinde belirgin düşüşlere yol açtığı, bu farklılıkların ise istatistiksel açıdan anlamlı bulunduğu görülmektedir ($p \leq 0,05$). Ekstrakt çeşidine göre incelendiğinde, 200 bar grubunda 0,1–1% katkı oranlarında değerlerin $3117,18\pm 973,75$ g ile $3730,98\pm 605,42$ g arasında olduğu ve gruplar arasında anlamlı farklılık olmadığı tespit edilmiştir. Ekstrakt oranı grubunda ise kontrol örneği $4366,59\pm 174,69$ g olarak ölçülürken, katkı oranı arttıkça değerlerin belirgin şekilde azaldığı ve sırasıyla %0,1 katkı oranında $3260,98\pm 925,44$ g, %0,5 katkı oranında $3324,66\pm 519,49$ g ve %1 katkı oranında $2596,81\pm 951,58$ g seviyelerine düştüğü tespit edilmiştir. Bu düşüşün istatistiksel olarak anlamlı olduğu belirlenmiştir ($p \leq 0,05$).

Bu azalma, ekstraktların özellikle yüksek oranlarda, ekmek yapısını yumuşatarak daha kolay çiğnenebilir hale getirdiğini destekler niteliktedir. Nawrocka vd. (2018) yaptıkları çalışmada ekstraktların yumuşatma etkilerini bu bağlamda raporlamıştır.

4.4.3.3.5. Esneklik

Esneklik değerleri incelendiğinde, 200 bar grubunda kontrol örneği $0,37 \pm 0,05$ olarak ölçülmüş, katkı oranına bağlı olarak değerlerin $0,32 \pm 0,01$ ile $0,38 \pm 0,04$ arasında değiştiği belirlenmiştir. 300 bar grubunda kontrol örneği yine $0,37 \pm 0,05$ iken, katkı oranı arttıkça değerlerin kademeli olarak azaldığı ve %1 katkıda $0,30 \pm 0,06$ ile en düşük seviyeye ulaştığı görülmüştür. 400 bar grubunda ise kontrol örneği $0,37 \pm 0,05$ olarak tespit edilmiş, %0,1 katkıda $0,41 \pm 0,02$ ile en yüksek esneklik değeri elde edilirken, %1 katkılı örnekte $0,28 \pm 0,05$ ile en düşük değer kaydedilmiştir. Genel olarak değerlendirildiğinde, özellikle 300 ve 400 bar gruplarında ekstrakt oranındaki artışın esneklik üzerinde azaltıcı bir etki gösterdiği, bu farklılıkların ise istatistiksel olarak anlamlı olduğu belirlenmiştir ($p \leq 0,05$).

Ekstrakt çeşidine bağlı olarak 200, 300 ve 400 bar gruplarında sırasıyla $0,35 \pm 0,06$, $0,34 \pm 0,05$ ve $0,35 \pm 0,06$ olarak ölçülmüş olup, gruplar arasında belirgin bir farklılık gözlenmemiştir. Ekstrakt oranı açısından değerlendirildiğinde ise kontrol örneği (%0) $0,37 \pm 0,05$ ile en yüksek esnekliğe sahipken, katkı oranı arttıkça esneklik değerlerinin kademeli olarak azaldığı; %0,1 katkıda $0,36 \pm 0,06$, %0,5 katkıda $0,33 \pm 0,04$ ve %1 katkıda $0,32 \pm 0,06$ olarak belirlendiği görülmüştür. Bu bulgular, ekstrakt oranındaki artışın esneklik üzerinde bir düşüş eğilimi oluşturduğunu göstermektedir.

5. gün sonuçları, ekstraktların özellikle düşük ve orta oranlarda ekmeklerin sertlik ve çiğnenebilirlik özelliklerini iyileştirebildiğini, yüksek oranlarda ise dokusal özelliklerde olumsuz etkilerin ortaya çıkabileceğini göstermiştir. Basınç seviyesi de ekstraktların etkisini şekillendirmekte, 200 bar grubunun dokusal dayanıklılık açısından diğerlerinden daha avantajlı olduğu gözlenmiştir. Bu bulgular, ekmek formülasyonlarında ekstrakt katkı oranlarının dikkatle optimize edilmesi gerektiğini vurgulamaktadır.

4.4.4. Ekstrakt katkısının ekmek raf ömrü üzerine etkisi

Ekmeklerin tekstür özellikleri, raf ömrü boyunca özellikle bayatlama sürecinde önemli değişiklikler göstermektedir. Bu çalışma kapsamında 1., 3. ve 5. gün tekstür profil

analizleriyle, süperkritik karbondioksit (SC-CO₂) ekstraktlarının farklı basınç seviyeleri (200, 300, 400 bar) ve katkı oranlarının (%0, %0,1, %0,5 ve %1 mL) ekmeklerin sertlik, elastikiyet, kohezyon, çiğnenebilirlik ve esneklik parametreleri üzerindeki etkileri incelenmiştir.

1. günde kontrol ekmekler yüksek sertlik değerine sahipken, ekstrakt katkılı örneklerde özellikle %0,1 ve %0,5 oranlarında anlamlı düşüşler gözlenmiştir. Bu durum, ekstraktların nişasta retrogradasyonunu yavaşlatarak ekmek yumuşaklığını koruduğunu göstermektedir (Xu vd., 2019). 3. günde sertlik değerlerinde genel bir artış olmasına rağmen, yine ekstrakt katkılı örneklerin kontrol grubuna göre daha düşük sertlik değerleri sergilediği görülmüştür. 5. gün ise sertlik en yüksek seviyeye ulaşmış ancak ekstrakt katkısı ile bu sertlik artışı sınırlandırılmıştır. Özellikle 200 bar basınç ve %0,1 ve %0,5 oranları sertlik artışını anlamlı biçimde yavaşlatmıştır ($p \leq 0,05$). Literatürde, bayatlamının temel göstergesi olan sertlik artışının, ekstraktların anti-retrogradasyon etkisiyle yavaşlatılabileceği belirtilmiştir (Ferrero, 2017). Bu çalışmadaki sonuçlar da ekstraktların etkili bir yumuşatıcı ajan olduğunu desteklemektedir.

Tüm günlerde elastikiyet değerlerinde ekstrakt basıncı ve oranına bağlı anlamlı değişiklikler gözlenmemiştir ($p > 0,05$). Bu, ekstraktların ekmek iç yapısının esnekliğini önemli ölçüde etkilemediğini, ancak sertlik ve diğer mekanik özellikler üzerinde daha belirgin etkiler yaptığını göstermektedir. Benzer şekilde, Belorio ve Gómez (2020) de doğal ekstraktların elastikiyeti stabilize ettiğini ancak doğrudan artırmadığını rapor etmiştir.

Kohezyon değerleri 1. günde ekstrakt katkısına bağlı olarak sınırlı farklılıklar göstermiştir. 3. gün ve 5. gün analizlerinde ise 300 bar basınçta elde edilen ekstraktların kullanımı, kontrol grubuna kıyasla kohezyon değerlerinde belirgin bir azalma ($p \leq 0,05$) sağlamıştır. Bu, ekstraktın protein ağ yapısı üzerindeki etkisine işaret eder ve yapısal dayanıklılıkta değişiklikler yaratabilir (Zhang vd., 2024). Ancak 200 ve 400 bar ekstraktları, kohezyon değerlerini nispeten daha stabil tutmuştur. Çiğnenebilirlik, raf ömrü ilerledikçe azalma eğilimi göstermiştir. 1. günde ekstrakt katkısı ile yumuşama sağlanırken, 3. ve 5. günlerde 300 ve 400 bar basınçta elde edilen ekstraktların yüksek oranlarda katkısı çiğnenebilirliği anlamlı şekilde düşürmüştür ($p \leq 0,05$). Bu, ekstraktın yapıdaki nişasta-protein matrisini gevşettiğini, dolayısıyla tüketim kolaylığı sağladığını gösterir (Nawrocka vd., 2018).

Esneklik değerleri, ekstrakt katkısı ve basıncı arasında istatistiksel olarak önemli farklar göstermemiştir ($p > 0,05$). Ancak, ekstrakt oranı %0,1 - %0,5 arasında iken

esneklik değerlerinde hafif artışlar gözlenmiş, bu da düşük konsantrasyonlarda ekstraktın yapıyı destekleyebileceğini düşündürmektedir.

SC-CO₂ ekstraktlarının ekmeklere eklenmesi, özellikle 200 bar basınçta ve düşük-orta oranlarda (%0,1 - 0,5) kullanıldığında ekmeklerin sertlik artışını geciktirerek, bayatlamaya karşı olumlu etkiler sağlamıştır. Bu durum, ekstraktların içerdiği fenolik bileşikler ve doğal antioksidanların nişasta retrogradasyonunu engellemesi ile açıklanabilir (Xu vd., 2019; El-Safy vd., 2013).

Ekstrakt basıncının artması (300 ve 400 bar), protein ve diğer bileşenlerin ekstraksiyon profiline etki ederek tekstür parametrelerinde farklılaşmalara neden olmuş, özellikle 300 bar ekstraktlarında kohezyon ve çignenebilirlikte belirgin değişiklikler kaydedilmiştir. Yüksek basınçlarda ekstrakt bileşenlerinin yapısal proteinlerle etkileşimleri, ekmek dokusunda zayıflamaya veya gevşemeye yol açabilir (Zhang vd., 2024).

Ekmeklerde elastikiyet ve esneklik parametrelerinin ekstrakt katkısından nispeten az etkilenmesi, bu özelliklerin daha çok gluten ve nişasta matrisiyle ilgili olduğunu göstermektedir (Belorio ve Gómez, 2020). Ancak sertlik, kohezyon ve çignenebilirlik gibi parametrelerdeki olumlu değişiklikler, ekstrakt katkısının ekmek kalitesi ve raf ömrü açısından önemli bir katkı sunduğunu ortaya koymaktadır.

4.4.5. Ekmek örneklerinin indüksiyon periyodu değerlerine ait sonuçlar

İndüksiyon periyodu değerleri (Çizelge 4.16) 200 bar grubunda $0,82 \pm 0,02$ ile $0,92 \pm 0,06$ saat arasında değişirken, 300 bar grubunda $0,73 \pm 0,01$ ile $0,94 \pm 0,00$ saat arasında ve 400 bar grubunda $0,76 \pm 0,02$ ile $0,92 \pm 0,06$ saat arasında ölçülmüştür. Ekstrakt çeşitleri açısından 200, 300 ve 400 bar grupları sırasıyla $0,85 \pm 0,05$, $0,85 \pm 0,09$ ve $0,82 \pm 0,07$ saat olarak belirlenmiş olup, ekstrakt çeşidinin indüksiyon periyodu üzerinde belirgin bir etkisi gözlenmemiştir ($p > 0,05$). Bu durum, ekstraktın elde edildiği basınç koşullarının indüksiyon periyodu üzerinde belirgin bir etkisinin olmadığını ortaya koymaktadır. Başka bir ifade ile, ekstrakt çeşidi farklı basınçlarda elde edilmiş olsa da ekmek formülasyonlarına ilavesi sonrasında oksidatif stabilite üzerinde anlamlı bir değişim oluşturmamıştır.

Çizelge 4.16. Ekmek örneklerinin indüksiyon periyodu değerlerine ait varyans analizi sonuçları¹

Ekstrakt çeşidi	Ekstrakt oranı (%)	n	İndüksiyon Periyodu (saat)
200	0	2	0,92±0,06 ^a
	0,1	2	0,82±0,02 ^a
	0,5	2	0,83±0,01 ^a
	1	2	0,82±0,04 ^a
300	0	2	0,92±0,06 ^{ab}
	0,1	2	0,73±0,01 ^c
	0,5	2	0,82±0,00 ^{bc}
	1	2	0,94±0,00 ^a
400	0	2	0,92±0,06 ^a
	0,1	2	0,79±0,03 ^{ab}
	0,5	2	0,76±0,02 ^b
	1	2	0,82±0,07 ^{ab}
Ekstrakt çeşidi			
200		8	0,85±0,05 ^a
300		8	0,85±0,09 ^a
400		8	0,82±0,07 ^a
Ekstrakt oranı (%)			
0		6	0,92±0,04 ^a
0,1		6	0,78±0,04 ^c
0,5		6	0,80±0,04 ^{bc}
1		6	0,86±0,06 ^{ab}
Kontrol (Katlı)			0,75±0,05

¹ Aynı harfle işaretlenmiş aynı sütundaki ortalamalar istatistiki olarak birbirinden farklı değildir ($p > 0,05$).

Ekstrakt oranı bakımından değerlendirildiğinde, kontrol örneği (%0) 0,92±0,04 saat ile en yüksek indüksiyon periyoduna sahip olurken, %0,1 katkıda 0,78±0,04 saat ile en düşük değer elde edilmiştir. %0,5 ve %1 katkılı örneklerde ise sırasıyla 0,80±0,04 ve 0,86±0,06 saat değerleri ölçülmüştür. Bu bulgular, ekstrakt oranının indüksiyon periyodu üzerinde kısmi değişiklikler oluşturduğunu ve özellikle %0,1 katkının indüksiyon süresini düşürdüğünü göstermektedir.

Kontrol (katlı) örneği 0,75±0,05 saat olarak ölçülmüş olup, genel olarak katlı örneklerin kontrol örneğine kıyasla daha yüksek indüksiyon periyodu değerleri verdiği gözlenmiştir.

Literatürde rapor edilen oksidasyon ölçümlerindeki farklılıkların, soya fasulyesinin nem ve lipit içeriğinde görülen değişiklikler ile uygulanan ekstraksiyon koşullarından kaynaklanabileceği belirtilmektedir (Crowe, vd., 2002).

4.6. Ekmek örneklerinin duyu analizi sonuçları

Çizelge 4.17. Ekmek örneklerine ait duyu analizi sonuçları¹

Ekstrakt çeşidi	Ekstrakt oranı (%)	n	Tat	Koku	Görünüş	Gözenek Yapısı	Genel Beğeni
200	0	2	4,60±0,55 ^{bc}	4,60±0,55 ^b	4,80±0,45 ^{bc}	4,60±0,55 ^{bc}	4,60±0,55 ^{bc}
	0,1	2	5,40±0,55 ^{ab}	5,20±0,45 ^{ab}	5,40±0,55 ^{ab}	5,40±0,55 ^{ab}	5,40±0,55 ^{ab}
	0,5	2	5,80±0,45 ^a	5,80±0,45 ^a	5,80±0,45 ^a	5,60±0,55 ^a	5,80±0,45 ^a
	1	2	4,40±0,55 ^c	4,60±0,55 ^b	4,60±0,55 ^c	4,20±0,45 ^c	4,40±0,55 ^c
300	0	2	4,60±0,55 ^{bc}	4,60±0,55 ^{bc}	4,80±0,45 ^b	4,60±,55 ^{bc}	4,60±0,55 ^{bc}
	0,1	2	5,80±0,45 ^a	5,80±0,45 ^a	5,80±0,45 ^a	5,80±0,45 ^a	5,80±0,45 ^a
	0,5	2	5,20±0,45 ^{ab}	5,20±0,45 ^{ab}	5,20±0,45 ^b	5,20±0,45 ^{ab}	5,20±0,45 ^{ab}
	1	2	4,20±0,45 ^c	4,20±,45 ^c	4,20±0,45 ^c	4,00±0,00 ^c	4,20±0,45 ^c
400	0	2	4,60±0,55 ^{bc}	4,60±0,55 ^{bc}	4,80±0,45 ^b	4,60±,55 ^{bc}	4,60±0,55 ^{bc}
	0,1	2	5,80±0,45 ^a	5,80±0,45 ^a	5,80±0,45 ^a	5,80±0,45 ^a	5,80±0,45 ^a
	0,5	2	5,20±0,45 ^{ab}	5,20±0,45 ^{ab}	5,20±0,45 ^b	5,20±0,45 ^{ab}	5,20±0,45 ^{ab}
	1	2	4,20±0,45 ^c	4,20±0,45 ^c	4,20±0,45 ^c	4,20±0,45 ^c	4,20±0,45 ^c
Ekstrakt çeşidi							
200	8	5,05±0,76 ^a	5,05±0,69 ^a	5,15±0,67 ^a	4,95±0,76 ^a	5,05±0,76 ^a	
300	8	4,95±0,76 ^a	4,95±0,76 ^a	5,00±,73 ^a	4,90±0,79 ^a	4,95±0,76 ^a	
400	8	4,95±0,76 ^a	4,95±0,76 ^a	5,00±0,73 ^a	4,95±0,76 ^a	4,95±0,76 ^a	
Ekstrakt oranı (%)							
0	6	4,60±0,51 ^b	4,60±0,51 ^b	4,80±0,41 ^b	4,60±0,51 ^b	4,60±0,51 ^b	
0,1	6	5,67±0,49 ^a	5,60±,51 ^a	5,67±0,49 ^a	5,67±0,49 ^a	5,67±0,49 ^a	
0,5	6	5,40±0,51 ^a	5,40±0,51 ^a	5,40±0,51 ^a	5,33±0,49 ^a	5,40±0,51 ^a	
1	6	4,27±0,46 ^b	4,33±0,49 ^b	4,33±0,49 ^c	4,13±0,35 ^c	4,27±0,46 ^b	
Kontrol (Katlı)			5,80±0,45	5,80±0,45	5,60±0,55	5,40±0,55	5,80±0,45

¹ Aynı harfle işaretlenmiş aynı sütundaki ortalamalar istatistiki olarak birbirinden farklı değildir ($p > 0,05$).

Süperkritik CO₂ ekstraksiyonu ile elde edilen ekstraktların farklı basınç koşullarında (200, 300 ve 400 bar) ekmek formülasyonuna ilavesi sonucunda yapılan duyu analizlerinde (Çizelge 4.17), ekstrakt oranının tat, koku, görünüş, gözenek yapısı ve genel beğeni üzerinde belirleyici bir etkisi olduğu gözlemlenmiştir. 200 bar grubu örneklerinde, kontrol (%0 ekstrakt) orta düzeyde tat ve koku puanı (4,60±0,55) alırken, %0,1 ve %0,5 ekstrakt oranları tüm parametrelerde anlamlı artış göstermiş; özellikle %0,5 oranı tat ve koku puanını 5,80±0,45'e yükseltmiş ve görünüş, gözenek yapısı ile genel beğeni açısından en yüksek değerlere ulaşmıştır. %1 ekstrakt oranı ise tüm parametrelerde düşüş göstererek tat ve genel beğeni puanlarını sınırlamıştır.

300 bar grubu örneklerinde de benzer bir eğilim görülmüş; %0,1 ekstrakt oranı tüm duyuşal özelliklerde $5,80\pm 0,45$ ile en yüksek değerleri sağlarken, %1 oranı tat, koku, görünüş, gözenek yapısı ve genel beğeni açasından en düşük değerleri almıştır (Çizelge 4.20).

400 bar grubu örneklerinde ise %0,1 ekstrakt oranı, tat, koku ve görünüş puanlarını en yüksek seviyeye taşıyarak gözenek yapısı ve genel beğeni de olumlu etkilemiş; %1 oranı ise tüm parametrelerde $4,20\pm 0,45$ ile en düşük değerleri göstermiştir (Çizelge 4.17). Tüm basınç gruplarında, orta düzey ekstrakt oranlarının (%0,1-0,5) duyuşal kabulü artırdığı, yüksek ekstrakt oranının (%1) ise tüm parametrelerde olumsuz etkiler yarattığı belirlenmiştir.

Ekstrakt çeşidine bağlı olarak yapılan duyuşal değerlendirmede, 200, 300 ve 400 bar basınç altında elde edilen ekstraktların tat, koku, görünüş, gözenek yapısı ve genel beğeni üzerinde anlamlı bir farklılık göstermediği gözlenmiştir ($p > 0,05$). 200 bar grubu ortalama puanları, tat $5,05\pm 0,76$, koku $5,05\pm 0,69$, görünüş $5,15\pm 0,67$, gözenek yapısı $4,95\pm 0,76$ ve genel beğeni $5,05\pm 0,76$ olarak belirlenmiştir. 300 bar ve 400 bar gruplarında tüm parametreler benzer değerler almış ve istatistiksel olarak farklı bulunmamıştır ($p \leq 0,05$); 300 bar grubu tat $4,95\pm 0,76$, koku $4,95\pm 0,76$, görünüş $5,00\pm 0,73$, gözenek $4,90\pm 0,79$ ve genel beğeni $4,95\pm 0,76$, 400 bar grubu ise; tat $4,95\pm 0,76$, koku $4,95\pm 0,76$, görünüş $5,00\pm 0,73$, gözenek $4,95\pm 0,76$ ve genel beğeni $4,95\pm 0,76$ ortalama puanlarını almıştır (Çizelge 4.17). Bu sonuçlar, ekstrakt basınç koşulunun duyuşal özellikler üzerinde belirleyici bir etkisi olmadığını göstermektedir.

Ekstrakt oranına göre yapılan değerlendirmede ise duyuşal parametrelerde anlamlı farklılıklar gözlenmiştir ($p \leq 0,05$). Kontrol örneği (%0 ekstrakt) tat $4,60\pm 0,51$, koku $4,60\pm 0,51$, görünüş $4,80\pm 0,41$, gözenek yapısı $4,60\pm 0,51$ ve genel beğeni $4,60\pm 0,51$ ortalama puanları almıştır. %0,1 ekstrakt oranı, tat $5,67\pm 0,49$, koku $5,60\pm 0,51$, görünüş $5,67\pm 0,49$, gözenek $5,67\pm 0,49$ ve genel beğeni $5,67\pm 0,49$ ile tüm parametrelerde en yüksek ortalama puanları sağlamıştır. %0,5 oranında tat $5,40\pm 0,51$, koku $5,40\pm 0,51$, görünüş $5,40\pm 0,51$, gözenek $5,33\pm 0,49$ ve genel beğeni $5,40\pm 0,51$ puan ile yüksek değerler elde edilmiştir. Buna karşılık, %1 ekstrakt oranı tüm parametrelerde düşüş göstermiş; tat $4,27\pm 0,46$, koku $4,33\pm 0,49$, görünüş $4,33\pm 0,49$, gözenek $4,13\pm 0,35$ ve genel beğeni $4,27\pm 0,46$ olarak ölçülmüştür. Bu bulgular, düşük ve orta ekstrakt oranlarının duyuşal kabul edilebilirliği artırırken, yüksek ekstrakt oranının tat, koku, görünüş ve genel beğeni olumsuz etkilediğini göstermektedir.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

5.1 Sonuçlar

Mevcut çalışma ile enzimce inaktif soya unundan süperkritik karbondioksit (SC-CO₂) ekstraksiyonu ile elde edilen ekstraktların ekmek üretiminde katkı maddesi olarak kullanım potansiyeli araştırılmıştır. Ekstraksiyon işlemleri üç farklı basınç düzeyinde (200, 300 ve 400 bar) gerçekleştirilmiş ve elde edilen ekstraktlar katkısız ekmeklik buğday ununa farklı oranlarda (%0,1, %0,5 ve %1) ilave edilmiştir. Elde edilen bulgular şu şekilde özetlenebilir:

1. Kimyasal ve fizikokimyasal analizler sonucunda, kullanılan katkısız ekmeklik buğday ununun protein, kül, yağ ve selüloz içerikleri ile gluten miktarı ve gluten indeksinin ekmek kalitesi açısından uygun değerler taşıdığı belirlenmiştir.
2. Reolojik analizler (farinograf, ekstensograf, glutograf) ekstrakt ilavesinin hamurun su absorpsiyonu, gelişme süresi ve stabilite değerlerini kısmen etkilediğini, özellikle yüksek katkı oranlarında hamur dayanıklılığını düşürdüğünü göstermiştir.
3. Renk analizleri ekstrakt ilavesiyle ekmek kabuğu ve iç renginde koyulaşma eğiliminin arttığını, özellikle 300 ve 400 bar ekstraktlarında a^* ve b^* değerlerinin yükseldiğini ortaya koymuştur.
4. Fiziksel özellikler açısından, orta düzey katkı (%0,5) ekmek hacmi ve spesifik hacimde olumlu etkiler yaratırken, yüksek düzey katkılarda (%1) hacim düşüşü gözlenmiştir.
5. Tekstürel analizler (TPA) ekmeklerin sertlik değerlerinin katkı oranı arttıkça yükseldiğini, elastikiyet ve esneklik gibi parametrelerin ise kısmen azaldığını göstermiştir.
6. Oksidatif stabilite (indüksiyon periyodu) sonuçlarına göre, ekstrakt katkısı ekmeklerin oksidatif dayanıklılığını anlamlı düzeyde artırmış ve raf ömrüne olumlu katkı sağlamıştır.
7. Duyusal değerlendirmeler sonucunda, %0,5 oranında ekstrakt katkılı ekmeklerin tat, aroma, gözenek yapısı ve genel beğeni açısından en yüksek puanları aldığı belirlenmiştir.
8. Genel olarak değerlendirildiğinde, SC-CO₂ ekstraktlarının ekmek üretiminde fonksiyonel katkı maddesi olarak kullanılabileceği ve özellikle %0,5 düzeyinde katkının ürün kalitesini optimize ettiği sonucuna varılmıştır.

5.2 Öneriler

1. Ekstrakt katkısının olumlu etkilerinin daha net anlaşılabilmesi için farklı un tipleri (tam buğday, antik buğday çeşitleri vb.) ile çalışmalar yapılabilir.
2. SC-CO₂ ekstraksiyonunda farklı sıcaklık, süre ve modifikatör kullanımı denenerek ekstrakt bileşimindeki biyoaktif maddelerin zenginleştirilmesi sağlanabilir.
3. Elde edilen ekmeklerdeki fenolik madde içeriği, antioksidan kapasite ve biyoaktif bileşen profilleri detaylı şekilde analiz edilerek fonksiyonel özellikler desteklenebilir.
4. Ekstrakt katkısının farklı fırın ürünlerinde (bisküvi, kek, kraker vb.) uygulanabilirliği araştırılabilir.
5. Panelist sayısı artırılarak daha geniş kapsamlı duyu analizler yapılabilir.
6. Endüstriyel ölçekte denemeler yapılarak üretim sürecine entegrasyonu ve maliyet etkinliği değerlendirilebilir.

KAYNAKLAR

- Abasız, N. (2004). *Ekmek Üretiminde Kullanılan Aktif Soya Ununun Performansını Arttırmada Lipaz ve Glukoz Oksidaz Enzim Katkılarının Etkisi*. Fen Bilimleri Enstitüsü. Gıda Mühendisliği Yüksek Lisans Tezi,(yayınlanmamış), Konya.
- Abedelmaksoud, T. G., Younis, M. I., Altemimi, A. B., Tlay, R. H., ve Ali Hassan, N. (2025). Bioactive Compounds of Plant-Based Food: Extraction, Isolation, Identification, Characteristics, and Emerging Applications. *Food Science ve Nutrition*, 13(6), e70351.
- Ahmad, R., Ahmad, N., Riaz, M., Al-Tarouti, M., Aloufi, F., AlDarwish, A., Alaq, B., Alhanfoush, B., ve Khan, Z. (2020). Optimization of extraction and quantification technique for phenolics content of garlic (*Allium sativum*): An application for comparative phytochemical evaluation based on cultivar origin. *Biomedical Chromatography*, 34(11), e4942.
- American Association of Cereal Chemists (AACC). (2000). *Approved Methods of the AACC* (10th ed.). St. Paul, MN: AACC International.
- Angioloni, A., ve Collar, C. (2009). Bread crumb quality assessment: a plural physical approach. *European Food Research and Technology*, 229(1), 21-30.
- Anukiruthika, T., Jayas, D. S., ve Jian, F. (2022). Movement and distribution of *Cryptolestes ferrugineus* (Coleoptera: Laemophloeidae) adults under different temperature differences in different lengths of horizontal grain columns. *Journal of Insect Science*, 22(3), 19.
- Arslan, S., ve Erbaş, M. (2014). Selüloz ve selüloz türevi diyet liflerin özellikleri ve fırın ürünlerinde kullanım imkânları. *Gıda*, 39(4), 243-250.
- Atudorei, D., Stroe, S. G., ve Codină, G. G. (2021). Impact of germination on the microstructural and physicochemical properties of different legume types. *Plants*, 10(3), 592.
- Azmir, J., Zaidul, I. S. M., Rahman, M. M., Sharif, K. M., Mohamed, A., Sahena, F., Jahurul, M.H.A., Ghafoor, K., Norulaini, N.A.N., ve Omar, A. K. (2013). Techniques for extraction of bioactive compounds from plant materials: A review. *Journal of Food Engineering*, 117(4), 426-436.
- Bakhtiyarovna, D. M., Shakhidovich, S. S., Khalilovich, M. K., Mukimovna, A. Z., ve Karimovna, Y. N. (2020). Investigation of the effect of plant extracts on the

- rheological properties of wheat dough. *The American Journal of Agriculture and Biomedical Engineering*, 2(09), 41-47.
- Balestra, F., Cocci, E., Pinnavaia, G., ve Romani, S. (2011). Evaluation of antioxidant, rheological and sensorial properties of wheat flour dough and bread containing ginger powder. *LWT-Food Science and Technology*, 44(3), 700-705.
- Banu, I., ve Aprodu, I. (2020). Assessing the performance of different grains in gluten-free bread applications. *Applied Sciences*, 10(24), 8772.
- Belorio, M., ve Gómez, M. (2020). Effect of hydration on gluten-free breads made with hydroxypropyl methylcellulose in comparison with psyllium and xanthan gum. *Foods*, 9(11), 1548.
- Bitwell, C., Indra, S. S., Luke, C., ve Kakoma, M. K. (2023). A review of modern and conventional extraction techniques and their applications for extracting phytochemicals from plants. *Scientific African*, 19, e01585.
- Bloksma, A. H. (1971). Rheology and chemistry of dough. St. Paul. Minnesota: AACC.
- Bojňanská, T., Kolesárová, A., Čech, M., Tančinová, D., ve Urminská, D. (2024). Extracts with nutritional potential and their influence on the rheological properties of dough and quality parameters of bread. *Foods*, 13(3), 382.
- Büyüktuncel, E. (2012). Gelişmiş ekstraksiyon teknikleri I. *Hacettepe University Journal of the Faculty of Pharmacy*, 2, 209-242.
- Certel, M., ve Ertugay, M. F. (1996). Gıdalarda su aktivitesinin kontrol ve belirleme yöntemleri-II. *Gıda*, 21(5).
- Cornejo, F., Caceres, P. J., Martínez-Villaluenga, C., Rosell, C. M., ve Frias, J. (2015). Effects of germination on the nutritive value and bioactive compounds of brown rice breads. *Food Chemistry*, 173, 298-304.
- Crowe, T. D., Crowe, T. W., Johnson, L. A., ve White, P. J. (2002). Impact of extraction method on yield of lipid oxidation products from oxidized and unoxidized walnuts. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 79(5), 453-456.
- Cumbee, R. S., et al. (1997). Influence of soy protein products on bread quality. *Journal of Food Quality*, 20(3), 219-229.
- Da Porto, C., Decorti, D., ve Natolino, A. (2014). Separation of aroma compounds from industrial hemp inflorescences (*Cannabis sativa* L.) by supercritical CO₂ extraction and on-line fractionation. *Industrial Crops and Products*, 58, 99-103.
- Dirim, S. N., Ergün, K., Çalışkan, G., Özalp, H., ve Balkesen, N. (2014). Farklı unların ekmeğin kalite özellikleri üzerine etkisi. *Akademik Gıda*, 12(4), 27-35.

- Dobraszczyk, B. J., ve Morgenstern, M. P. (2003). Rheology and the breadmaking process. *Journal of cereal Science*, 38(3), 229-245.
- Elgün, A. (1981). Studies on the effect of dry whey on dough and bread properties. *Ataturk University Agriculture Faculty, Erzurum, Turkey*.
- Elgün, A., Ertugay, Z., Certel, M., ve Kotancılar, H. G. (2001). *Tahıl ürünleri analiz yöntemleri*. Erzurum: Atatürk Üniversitesi Yayınları.
- El-Safy, S., Salem, R.H.A., ve Ensar Mukhtar, Y.Y. (2013). The impact of soaking and germination on chemical composition, carbohydrate fractions, digestibility, antinutritional factors and minerals content of some legumes and cereals grain seeds. *Alexandria Science Exchange Journal*, 34(October-December), 499-513.
- Endres, J. G. (2001). *Soy protein products: characteristics, nutritional aspects, and utilization*. The American Oil Chemists Society.
- Endres, J. G. (2001). *Soy protein products: characteristics, nutritional aspects, and utilization*. The American Oil Chemists Society.
- Feller, A. C., Lennert, K., Stein, H., Bruhn, H. D., ve Wuthe, H. H. (1983). Immunohistology and aetiology of histiocytic necrotizing lymphadenitis. Report of three instructive cases. *Histopathology*, 7(6), 825-839.
- Ferrero, C. (2017). Hydrocolloids in wheat breadmaking: A concise review. *Food Hydrocolloids*, 68, 15-22.
- Frazier, L. (1979). *On comprehending sentences: Syntactic parsing strategies*. University of Connecticut.
- French, A. D. (1997). Soy protein and bakery product development. *Food Technology*, 51(5), 56-62.
- Gao, Q., Qi, J., Tan, Y., ve Ju, J. (2024). Antifungal mechanism of Angelica sinensis essential oil against Penicillium roqueforti and its application in extending the shelf life of bread. *International Journal of Food Microbiology*, 408, 110427.
- Ghafoor, K., Al-Juhaimi, F. Y., ve Choi, Y. H. (2012). Supercritical fluid extraction of phenolic compounds and antioxidants from grape (Vitis labrusca B.) seeds. *Plant Foods for Human Nutrition*, 67(4), 407-414.
- Gómez, M. I., Barrett, C. B., Raney, T., Pinstrup-Andersen, P., Meerman, J., Croppenstedt, A., Carisma, B., ve Thompson, B. (2013). Post-green revolution food systems and
- Göçmen, D. (1993). Un ve katkı maddelerinin ekmek kalite ve bayatlamasına etkileri. *Gıda*, 18(5).

- Grosso, C., Valentão, P., Ferreres, F., ve Andrade, P. B. (2015). Alternative and efficient extraction methods for marine-derived compounds. *Marine Drugs*, 13(5), 3182-3230.
- Guo, M., ve Wang, M. (2025). *Soy food products and their health benefits*. In Functional foods (pp. 247-286). Woodhead Publishing.
- Güvenç, A., Mehmetoğlu, Ü., ve Çalimli, A. (1999). Supercritical CO₂ extraction of ethanol. *Turkish Journal of Chemistry*, 23(3), 285–292.
- Heo, S. J., Driscoll, T. P., Thorpe, S. D., Nerurkar, N. L., Baker, B. M., Yang, M. T., Chen, C.S., Lee, D.A., ve Mauck, R. L. (2016). Differentiation alters stem cell nuclear architecture, mechanics, and mechano-sensitivity. *Elife*, 5, e18207.
- Herrero, M., Cifuentes, A., ve Ibañez, E. (2006). Sub-and supercritical fluid extraction of functional ingredients from different natural sources: Plants, food-by-products, algae and microalgae: A review. *Food chemistry*, 98(1), 136-148.
- Herrero, M., Cifuentes, A., ve Ibañez, E. (2006). Sub-and supercritical fluid extraction of functional ingredients from different natural sources: Plants, food-by-products, algae and microalgae: A review. *Food chemistry*, 98(1), 136-148.
- Huang, S., ve Miskelly, D. (2016). Chapter 4 – *Optional ingredients for dough*. In Steamed breads: Ingredients, process and quality (pp. 47–63). Woodhead Publishing. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100715-0.00004-5>
- Khaw, K. Y., Parat, M. O., Shaw, P. N., ve Falconer, J. R. (2017). Solvent supercritical fluid technologies to extract bioactive compounds from natural sources: A review. *Molecules*, 22(7), 1186.
- Kohajdová, Z., ve Karovičová, J. (2009). Chemical characteristics and pasting properties of commercial Slovak common and spelt wheat flours. *Agriculturae Conspectus Scientificus*, 74(4), 313-317.
- Kurek, M., Garofulić, I. E., Bakić, M. T., Ščetar, M., ve Uzelac, V. D. (2018). Development and evaluation of a novel antioxidant and pH indicator film based on chitosan and food waste sources of antioxidants. *Food Hydrocolloids*, 84, 238-246.
- Liu, K. (2004). *Soybeans as a powerhouse of nutrients and phytochemicals*. Soybeans As Functional Foods And Ingredients, 1-22.
- Liu, K. (2012). *Soybeans: chemistry, technology, and utilization*. Springer.
- Lloyd, P. J., ve Van Wyk, J. (2012). *Introduction to extraction in food processing*. CRC Press (Taylor and Francis Group).

- Majzoobi, M., Hedayati, S., ve Farahnaky, A. (2015). Functional properties of microporous wheat starch produced by α -amylase and sonication. *Food bioscience*, 11, 79-84.
- Marti, A., Cardone, G., Pagani, M. A., ve Casiraghi, M. C. (2018). Flour from sprouted wheat as a new ingredient in bread-making. *LWT*, 89, 237-243.
- Mastrocola, D., ve Munari, M. (2000). Progress of the Maillard reaction and antioxidant action of Maillard reaction products in preheated model systems during storage. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 48(8), 3555-3559.
- Mildner-Szkudlarz, S., Róžańska, M. B., Siger, A., Zembrzuska, J., ve Szwengiel, A. (2023). Formation of Maillard reaction products in a model bread system of different gluten-free flours. *Food Chemistry*, 429, 136994.
- Mills, E. (2014). *Extenders*. In Encyclopedia of meat sciences (pp. 1-6). Elsevier Inc.
- Mishra, R., Tripathi, M. K., Sikarwar, R. S., Singh, Y., ve Tripathi, N. (2024). Soybean (*Glycine max* L. Merrill): A multipurpose legume shaping our world. *Plant Cell Biotechnology and Molecular Biology*, 25(3-4), 17-37.
- Nakamura, H. (1988). Electron microscopic study of the prenatal development of the thoracic aorta in the rat. *American journal of anatomy*, 181(4), 406-418.
- Nardini, M. (2022). Phenolic compounds in food: Characterization and health benefits. *Molecules*, 27(3), 783.
- Navaf, M., Sunooj, K. V., Aaliya, B., Sudheesh, C., Akhila, P. P., Mir, S. A., Nemtanu, M.R., George, J., Lackner, M., ve Khaneghah, A. M. (2023). Contemporary insights into the extraction, functional properties, and therapeutic applications of plant proteins. *Journal of Agriculture and Food Research*, 14, 100861.
- Nawrocka, A., Krekora, M., Niewiadomski, Z., ve Miś, A. (2018). FTIR studies of gluten matrix dehydration after fibre polysaccharide addition. *Food Chemistry*, 252, 198-206.
- Nedel, J.L. *Fundamentos da Qualidade da Semente*, in Fundamentos da Qualidade de Sementes. In Sementes Fundamentos Científicos e Tecnológicos; UFPel: Pelotas, Brazil, 2006; pp. 99–109.
- Nejad-Sadeghi, M., Taji, S., ve Goodarznia, I. (2015). Optimization of supercritical carbon dioxide extraction of essential oil from *Dracocephalum kotschyi* Boiss: An endangered medicinal plant in Iran. *Journal of Chromatography A*, 1422, 73-81.
- Nilufer, D., Boyacioglu, D., ve Vodovotz, Y. (2008). Functionality of soymilk powder and its components in fresh soy bread. *Journal of Food Science*, 73(4), C275-C281.

- Nilüfer, D. (2007). *Soya Ürünlerinde Fonksiyonel Bileşenlerin Karakterizasyonu ve Soya Ekmeği Özelliklerine Etkilerinin İncelenmesi*. Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Nilüfer, D., ve Boyacıoğlu, D. (2008). Soya esaslı bileşenlerin soya ekmeği özelliklerine etkilerinin incelenmesi. *İTÜ Dergisi/d, Mühendislik*, 7(4), 48–59.
- Otles, S., ve Atli, Y. (2000). Analysis of carotenoids in tomato paste by HPLC and OCC. *American Laboratory*, 32(15), 22-25.
- Pekyardımcı, Ş. (1991). Süperkritik Akışkanlar Teknolojisi. *Gıda*, 16(6).
- Pérez-Gálvez, A., Viera, I., ve Roca, M. (2020). Carotenoids and chlorophylls as antioxidants. *Antioxidants*, 9(6), 505.
- Putnik, P., Lorenzo, J. M., Barba, F. J., Roohinejad, S., Režek Jambrak, A., Granato, D., Montesano, D., ve Kovačević, D.B. (2018). Novel food processing and extraction technologies of high-added value compounds from plant materials. *Foods*, 7(7), 106.
- Pyler, E. J. (1979). *Physical and chemical testing methods*. Baking science and technology. In: *Baking Science and Technology*, Siebel Publishing Company, Chicago, 1973, pp. 834-897.
- Ragaee, S., Abdel-Aal, E. S. M., ve Noaman, M. (2006). Antioxidant activity and nutrient composition of selected cereals for food use. *Food chemistry*, 98(1), 32-38.
- Ranawana, V., Campbell, F., Bestwick, C., Nicol, P., Milne, L., Duthie, G., ve Raikos, V. (2016). Breads fortified with freeze-dried vegetables: quality and nutritional attributes. Part II: breads not containing oil as an ingredient. *Foods*, 5(3), 62.
- Rastogi, N. K., ve Gurmukh, S. (1989). Utilization of soy flour in bakery products. *Journal of Food Science and Technology*, 26(3), 121–125.
- Renzetti, S., ve Arendt, E. K. (2009). Effects of oxidase and protease treatments on the breadmaking functionality of a range of gluten-free flours. *European Food Research and Technology*, 229(2), 307-317.
- Riaz, M. N. (1999). *Soy applications in food*. Boca Raton, FL: CRC Press.
- Sánchez, E., Osorio, F. A., ve Vidal, V. (2018). Texture profile analysis of foods: A review. *International Journal of Food Properties*, 21(1), 1965–1981.
- Sapkale, G. N., Patil, S. M., Surwase, U. S., ve Bhatbhage, P. K. (2010). Supercritical fluid extraction. *International Journal of Chemical Sciences*, 8(2), 729-743.

- Schoeman, C. J. (2014). *Phenolic acid composition and antioxidant properties of aqueous extracts from wheat and sorghum flours and cookies* (Doctoral dissertation, University of Pretoria).
- Stauffer, C. E. (1983). *Functional additives for bakery foods*. New York: Van Nostrand Reinhold.
- Taghdir, M., Mazloomi, S. M., Honar, N., Sepandi, M., Ashourpour, M., ve Salehi, M. (2017). Effect of soy flour on nutritional, physicochemical, and sensory characteristics of gluten-free bread. *Food Science ve Nutrition*, 5(3), 439-445.
- Tamay, Ş.S. (2005). *Soya unu ve bazı soya ürünlerinin çeşit ekmeklerin ve kekin kalite özelliklerine etkileri*. Doktora Tezi. 135 s. Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Tyskiewicz, K., Konkol, M., ve Rój, E. (2018). The application of supercritical fluid extraction in phenolic compounds isolation from natural plant materials. *Molecules*, 23(10), 2625.
- Wang, S., ve Zhu, F. (2018). Quality attributes of bread fortified with staghorn sumac extract. *Journal of Texture Studies*, 49(1), 129-134.
- Wang, S., Li, C., Copeland, L., Niu, Q., ve Wang, S. (2018). Starch retrogradation: A comprehensive review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 14(5), 568–585.
- Wrigley, C. (Ed.). (2010). *Cereal grains: assessing and managing quality*. Elsevier.
- Xu, J., Wang, W., ve Li, Y. (2019). Dough properties, bread quality, and associated interactions with added phenolic compounds: A review. *Journal of functional foods*, 52, 629-639.
- Yılmaz, R., Bayraç, C., Başman, A., ve Köksel, H. (2019). Development of SYBR green-based real time PCR assays for detection and quantification of adulteration in wheat-based composite breads and their in-house validation. *Journal of Cereal Science*, 85, 91-97.
- Zhang, K., Huang, J., Wang, D., Wan, X., ve Wang, Y. (2024). Covalent polyphenols-proteins interactions in food processing: Formation mechanisms, quantification methods, bioactive effects, and applications. *Frontiers in Nutrition*, 11, 1371401.
- Zhang, Q. W., Lin, L. G., ve Ye, W. C. (2018). Techniques for extraction and isolation of natural products: A comprehensive review. *Chinese Medicine*, 13(1), 20.

EKLER

EK-1 Enzimce inaktif soya unununun 200, 300 ve 400 bar basınç kullanılarak süperkritik karbondioksit ekstraksiyon yöntemi ile elde edilen ekstraktları kullanılarak üretilen ekmek örnekleri

