T.C.
SÜLEYMAN DEMİREL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

RENKLİ UNLARIN GLUTENSİZ GOFRET YAPRAĞI ÜRETİMİNDE KULLANILMASI VE KALİTE DEĞERLENDİRMESİ

Tevhide ATLI

Danışman
Prof. Dr. Hülya GÜL

YÜKSEK LİSANS TEZİ
GIDA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
ISPARTA - 2025

© 2025 [Tevhide ATLI]

İÇİNDEKİLER

Sayfa

İÇİNDEKİLER i
ÖZET iv
ABSTRACT vi
TEŞEKKÜR viii
ŞEKİLLER DİZİNİ ix
ÇİZELGELER DİZİNİ x
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ xi
1. GİRİŞ 1
2. KAYNAK ÖZETLERİ 5
2.1. Gofretin Tarihçesi 5
2.2. Gofret 6
2.3. Gofret Formülasyonları 7
2.4. Gofret Bileşenleri 8
2.4.1. Su 8
2.4.2. Un 8
2.4.3. Yağlar 9
2.4.4. Emülgatör 9
2.4.5. Tuz 10
2.4.6. Kabartma ajanları 10
2.4.7. Diğer malzemeler 11
2.5. Gofret Üretimi 11
2.6. Çölyak Hastalığı 14
2.7. Siyah Pirinç 14
2.8. Siyah Nohut 16
2.9. Siyah Fasulye 18
2.10. Glutenli ve Glutensiz Gofret Üzerine Yapılan Çalışmalar 19
3. MATERYAL VE YÖNTEM 27
3.1. Materyal 27
3.2. Yöntem 27
3.2.1. Gofretlik unda ve glutensiz unlarda yapılan fiziksel ve kimyasal analizler 27
3.2.1.1. Nem tayini 28
3.2.1.2. Kül tayini 28
3.2.1.3. Toplam diyet lif analizi 28
3.2.1.4. Toplam fenolik madde ve antioksidan aktivite analizleri 29
3.2.1.5. Protein miktarı analizi 31
3.2.1.6. pH ölçümü 31
3.2.1.7. Su aktivitesi 32
3.2.1.8. Yaş gluten, kuru gluten ve gluten indeks değerlerinin belirlenmesi 33
3.2.1.9. Zeleny sedimantasyon testi 34
3.2.1.10. Gecikmeli zeleny sedimantasyon testi 34

3.2.1.11. Amilaz aktivitesi -düşme sayısı- tayini 34
3.2.1.12. Renk tayini 35
3.2.2. Gofret hamurunda yapılan analizler 35
3.2.2.1. Farinograf analizi 35
3.2.2.2. SMS/Kieffer hamur ve gluten uzayabilirlik analizi 35
3.2.2.3. Hamur yapışkanlığının belirlenmesi 36
3.2.2.4. Hamur yoğunluğu 37
3.2.3. Gofret yaprağı ön denemeleri 37
3.2.4. Gofret yaprağı üretimi 38
3.2.5. Gofret yapraklarında yapılan analizler 40
3.2.5.1. Gofret yapraklarının ağırlığının belirlenmesi 40
3.2.5.2. Gofret yapraklarında pişme kaybının belirlenmesi 40
3.2.5.3. Yükseklik (kalınlık) ve çap değerlerinin belirlenmesi 40
3.2.5.4. Gofret yapraklarında yapılan diğer analizler 40
3.2.5.5. Tekstür analizi 41
3.2.5.6. Gofret yapraklarının duyusal olarak değerlendirilmesi 41
3.2.6. İstatiksel değerlendirme 42
4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA 43
4.1. Gofretlik Buğday Ununda Yapılan Analizler 43
4.1.1. Gofretlik buğday ununun yaş gluten, kuru gluten ve gluten indeks değerleri 43
4.1.2. Gofretlik buğday ununun sedimantasyon, gecikmeli sedimantasyon ve düşme sayısı değerleri 43
4.2. Gofretlik Buğday Ununun Reolojik Özellikleri 45
4.2.1. Farinograf değerleri 45
4.2.3. SMS/Kieffer hamur ve gluten uzayabilirlik değerleri ile hamur yapışkanlık değerleri 46
4.3. Gofretlik Buğday Ununda ve Glutensiz Unlarda Yapılan Kimyasal ve Fiziksel Analizler 49
4.3.1. Gofretlik un ve glutensiz unların nem, kül, protein, pH ve su aktivitesi değerleri 49
4.3.2. Gofretlik un ve glutensiz unların toplam diyet lif, toplam fenolik madde ve antioksidan aktivite değerleri 51
4.3.3. Gofretlik un ve glutensiz unların renk değerleri 54
4.4. Gofret Hamurunda Yapılan Analizler 58
4.4.1. Gofret hamurlarının yoğunluk ve pH değerleri 58
4.4.2. Gofret hamurlarının renk değerleri 59
4.5. Gofret Yapraklarında Yapılan Kimyasal ve Fiziksel Analizler 61
4.5.1. Gofret yapraklarının nem, kül, protein, pH ve su aktivitesi değerleri 61
4.5.2. Gofret yapraklarının toplam diyet lif, toplam fenolik madde ve antioksidan aktivite değerleri 68
4.5.3. Gofret yapraklarının çap, kalınlık, ağırlık ve pişme kaybı değerleri 74
4.5.4. Gofret yapraklarının renk değerleri 79
4.5.5. Gofret yapraklarının tekstür analiz değerleri 82

4.5.6. Gofret yapraklarının duyusal değerlendirilmesi..... 88
4.5.6.1. Siyah pirinç unu ilaveli gofret yaprağı duyusal değerlendirilmesi ... 89
4.5.6.2. Siyah nohut unu ilaveli gofret yaprağı duyusal değerlendirilmesi ... 90
4.5.6.3. Siyah fasulye unu ilaveli gofret yaprağı duyusal değerlendirilmesi . 91
5. SONUÇ VE ÖNERİLER 93
KAYNAKLAR 98
ÖZGEÇMİŞ 108

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

RENKLİ UNLARIN GLUTENSİZ GOFRET YAPRAĞI ÜRETİMİNDE KULLANILMASI VE KALİTE DEĞERLENDİRMESİ

Tevhide ATLI

Süleyman Demirel Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Hülya GÜL

Bu çalışmada, çölyak hastaları ve gluten tüketmeyen bireyler için alternatif ürün geliştirme amacıyla siyah pirinç unu (SPU), siyah nohut unu (SNU) ve siyah fasulye unu (SFU) kullanılarak glutensiz gofret yaprakları üretilmiştir. SPU, SNU ve SFU farklı katkı oranlarında (%0;%7.5; %10; %20; %30) formülasyona eklenmiş; üretilen glutensiz gofretler, buğday unundan üretilen glutenli kontrol örneği ile karşılaştırılmıştır. Elde edilen ürünlerde fiziksel, kimyasal, fonksiyonel, tekstürel, besinsel ve duyusal özellikler analiz edilerek un türü ve katkı oranının ürün kalitesi ile tüketici kabulü üzerindeki etkileri belirlenmiştir.

Besinsel analizler sonucunda, en yüksek protein içeriği %25.18 ile SNU'nda, toplam diyet lif oranı %50.10 ile SFU'nda, toplam fenolik madde içeriği 140.61 mg GAE/g ile SPU'nda ve antioksidan aktivite %85.44 ile yine SPU'nda belirlenmiştir. Gofret yaprakları açısından değerlendirildiğinde ise %30 SNU katkılı örnek %19.22 toplam lif içeriğiyle öne çıkarken, %30 SFU katkılı örnek 37.20 mg GAE/g toplam fenolik madde ve %67.37 antioksidan aktivite ile dikkat çekmiştir. Tekstürel özellikler açısından değerlendirildiğinde, en yüksek sertlik değeri 1334.29±3.96 g ile glutenli kontrol örneklerinde ölçülmüş; en yüksek kırılganlık değerleri ise 33 mm'nin üzerinde olmak üzere %30 SPU, %30 SNU ve %30 SFU katkılı örneklerde elde edilmiştir. Bu durum, glutensiz formülasyonlarda belirli katkı seviyelerinde gevrek yapı korunurken, sertlik açısından da kontrollü bir yapı elde edilebildiği sonucunu vermiştir.

Analiz sonuçları, SPU ve SFU toplam fenolik madde miktarını ve antioksidan kapasiteyi önemli düzeyde artırdığını, SNU ise protein ve diyet lifi miktarını anlamlı şekilde yükselttiğini göstermiştir. Tekstürel analizler, yüksek katkı oranlarının (≥%20) kırılma sertliğini artırarak gevreklik algısını olumsuz etkileyebildiğini ortaya koyarken, duyusal değerlendirmeler %7.5 ve %10 katkı seviyelerinin hem lezzet hem de yapı bakımından en yüksek tüketici kabulünü sağladığını ortaya koymuştur.

Bu bulgular, SPU, SNU ve SFU'nun glutensiz gofret üretiminde yalnızca çölyak hastaları için değil, aynı zamanda sağlıklı, besleyici ve fonksiyonel atıştırmalık tüketmek isteyen bireyler için de değerli bir ürün alternatifi oluşturabileceğini göstermektedir. Ayrıca, düşük katkı seviyelerinin besinsel zenginleşmeyi sağlarken duyusal özellikleri korumada daha avantajlı olduğu belirlenmiştir. Elde edilen

sonuçlar, glutensiz ürün çeşitliliğini artırmaya ve fonksiyonel gıda geliştirme çalışmalarına bilimsel katkı sağlamaktadır.

Anahtar Kelimeler: Glutensiz, Çölyak, Gofret yaprağı, siyah nohut, siyah fasulye, siyah pirinç

2025, 108 sayfa

ABSTRACT

M.Sc. Thesis

USAGE OF COLORED FLOURS İN GLUTEN FREE WAFER SHEET PRODUCTİON AND QUALİTY EVALUATİON

Tevhide ATLI

Süleyman Demirel University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Food Engineering

Supervisor: Prof. Dr. Hülya GÜL

In this study, gluten-free wafer sheets were produced using black rice flour (BRF), black chickpea flour (BCF), and black bean flour (BBF) for the purpose of developing alternative products for celiac patients and individuals who do not consume gluten. BRF, BCF and BBF were added to the formulation at different contribution BRF, BCF and BBF were added to the formulation at different addition rates (0%, 7.5%, 10%, 20%, 30%); the produced gluten-free wafer sheets were compared with a gluten-containing control sample made from wheat flour.The obtained products were analyzed for physical, chemical, functional, The physical, chemical, functional, textural, nutritional, and sensory properties of the obtained products were analyzed to determine the effects of flour type and additive ratio on product quality and consumer acceptance.

Nutritional analyses revealed that the highest protein content was found in BCF (25.18%), while the highest total dietary fiber was observed in BBF (50.10%). BRF exhibited the highest total phenolic content (140.61 mg GAE/g) and antioxidant activity (85.44%). Regarding the wafers, the sample enriched with 30% BCF stood out with a total dietary fiber content of 19.22%, whereas the sample containing 30% BBF demonstrated notable levels of total phenolic content (37.20 mg GAE/g) and antioxidant activity (67.37%).

The analysis results showed that BRF and BBF significantly increased the total phenolic content and antioxidant capacity, while BCF significantly increased the protein and dietary fiber content. Textural analyses revealed that high addition rates (≥20%) can negatively affect crispness perception by increasing brittleness, while sensory evaluations showed that 7.5% and 10% addition levels provided the highest consumer acceptance in terms of both taste and texture.

These findings show that BRF, BCF and BBF can be valuable product alternatives in gluten-free wafer production not only for celiac patients but also for individuals who want to consume healthy, nutritious, and functional snacks. Additionally, it has been determined that low additive levels are more advantageous in preserving sensory properties while providing nutritional enrichment. The results obtained contribute to

scientific efforts to increase gluten-free product diversity and advance functional food development studies.

Keywords: Gluten-free, celiac, wafer sheet, black rice, black bean, black chickpea

2025, 108 pages

TEŞEKKÜR

Bu tez çalışmasının tüm aşamalarında bilgi birikimi, deneyimi ve yönlendirmeleriyle bana yol gösteren, karşılaştığım her türlü zorlukta desteğini esirgemeyen, kendisinin yapıcı eleştirileri, sabrı ve teşvik edici tutumuyla bu çalışmanın şekillenmesinde ve ilerlemesinde büyük rol oynayan değerli danışmanım Prof. Dr. Hülya GÜL'e,

Tez çalışmam ve eğitim hayatım boyunca her zaman yanımda olan, bana koşulsuz sevgi, sabır ve destekleriyle güç veren, varlıklarıyla bana ilham kaynağı olan, zorluklar karşısında yılmadan ilerlememi sağlayan annem Hesna ATLI ve babam Sadık ATLI'ya,

FYL-2024-9255 No'lu proje kapsamında tezimi maddi olarak destekleyen Süleyman Demirel Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Yönetim Birimi Başkanlığı'na tüm katkıları nedeniyle teşekkür ederim.

Tevhide ATLI
ISPARTA, 2025

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 3.1. Ekstrakte edilmiş örnekler 29
Şekil 3.2. Fenolik madde analizi okuma öncesi 30
Şekil 3.3. Antioksidan aktivite analizi okuma öncesi 31
Şekil 3.4. pH analizi için örnek hazırlığı 32
Şekil 3.5. Su aktivitesi ölçümü için örnek hazırlığı 32
Şekil 3.6. Hamurun düzenekte uzatılması 36
Şekil 3.7. Gofret yapraklarının üretimi 39
Şekil 3.8. Gofret yapraklarının tekstür analizi 41
Şekil 4.1. Un örnekleri 54
Şekil 4.2. Siyah pirinç unu ilaveli gofret yaprağı duyusal değerlendirilmesi 89
Şekil 4.3. Siyah nohut unu ilaveli gofret yaprağı duyusal değerlendirilmesi 90
Şekil 4.4. Siyah fasulye unu ilaveli gofret yaprağı duyusal değerlendirilmesi 92

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 2.1. Gofret yaprağı için farklı hamur formülasyonları 7
Çizelge 3.1. Glutenli/glutensiz gofret yaprağı üretiminde kullanılan formülasyon....38
Çizelge 4.1. Gofretlik buğday ununun yaş-kuru gluten ve gluten indeks değerleri ...43
Çizelge 4.2. Gofretlik buğday ununun sedimantasyon, gecikmeli sedimantasyon ve düşme sayısı değerleri 43
Çizelge 4.3. Gofretlik buğday ununun farinograf değerleri 45
Çizelge 4.4. Gofretlik buğday ununun SMS/Kieffer hamur ve gluten uzayabilirlik değerleri ile hamur yapışkanlık değerleri 47
Çizelge 4.5. Unların nem, kül, protein, pH ve su aktivitesi değerleri 49
Çizelge 4.6. Unların toplam diyet lif, toplam fenolik madde ve antioksidan aktivite değerleri 51
Çizelge 4.7. Unların renk değerleri 55
Çizelge 4.8. Gofret hamurlarının yoğunluk ve pH değerleri 58
Çizelge 4.9. Gofret hamurlarının renk değerleri 60
Çizelge 4.10. Gofret yapraklarının nem, kül, protein, pH ve su aktivitesi değerleri . 62
Çizelge 4.11. Gofret yapraklarının bileşimindeki toplam diyet lif, toplam fenolik madde ve antioksidan aktivite değerleri 69
Çizelge 4.12. Gofret yapraklarının çap, kalınlık, ağırlık ve pişme kaybı değerleri ... 75
Çizelge 4.13. Gofret yapraklarının renk değerleri 80
Çizelge 4.14. Gofret yapraklarında (sertlik(g) ve kırılganlık(mm)) değerleri 83

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

ARmax/Ext	Kurve Altındaki Alan
Ca	Kalsiyum
Cm	Santimetre
Cu	Bakır
°C	Santigrat derece
dH	Alman Sertlik Derecesi
dk	Dakika
Ext	Uzayabilirlik
Fe	Demir
FU	Konsistens birimi
G	Gram
GAE	Gallik Asit Eşdeğeri
K	Potasyum
Kg	Kilogram
kHz	Kilohertz
L	Litre
LPG	Sıvılaştırılmış petrol gazı
Mg	Magnezyum
mm	Milimetre
mmol	Milimol
Mn	Manganez
mL	Mililitre
N HCl	Normalite cinsinden hidroklorik asit çözeltisi
Nm	Newton metre
P	Fosfor
PGPR	Poligliseril Polirisinoleat
pH	Bir çözeltinin asidik veya bazik olma durumu
pps	Saniyedeki darbe sayısı
Rmax	Hamurun uzamaya karşı direnci
Rpm	Dakikadaki devir sayısı
S	Saniye
TPA	Doku profil analizi
TSE	Türk Standartları Enstitüsü
Zn	Çinko
µL	Mikrolitre
%	Yüzde

1. GİRİŞ

Günlük beslenmemizin değerli bir parçası olan tahıl ürünleri bazı bireylerde hastalıkların ortaya çıkmasına sebep olmaktadır. Çölyak hastalığı tahıl temelli hastalıkların başında gelmektedir. Çölyak hastalığı, immün sistemin buğday, arpa, çavdar gibi bazı tahıllarda bulunan gluten adlı proteine karşı olumsuz bir şekilde tepki vermesiyle ortaya çıkan otoimmün bir hastalıktır (Hayıt ve Gül, 2017; Yıldırım, 2020; Gençay ve Mert, 2023). Buğdayda bulunan gliadin, çavdarda bulunan sekalin, arpada bulunan hordein ve buğday ile çavdarın hibriti olan tritikalede bulunan bu prolaminler, gluteni oluşturan proteinlerdir ve çölyak hastalığına neden olabilmektedir. Çölyak hastaları, bu proteinleri tükettiklerinde bağışıklık sistemleri bu proteinlere karşı aşırı tepki verir ve ince bağırsağın hasar görmesine yol açar. Bu durum, ömür boyu süren bir hastalık olup, hastaların gluten içeren gıdalardan tamamen kaçınması gerekmektedir. (Green ve Cellier, 2007; Gençay ve Mert, 2023).

Türkiye'de çölyak hastalığının görülme oranı %0.3 ile %1 arasında belirlenmiştir. Avrupa'da ise bu oran 1/350 ile 1/2000 arasında değişiklik göstermektedir ve İrlanda ile Avusturya gibi ülkelerde görülme sıklığı daha yüksektir. Kuzey Amerika'da ise çölyak hastalığının görülme sıklığı Avrupa'ya kıyasla daha düşüktür. Bu oranlar, genetik yatkınlık ve çevresel faktörler gibi etmenlere bağlı olarak değişiklik gösterebilmektedir. (HSGM, 2024). Çölyak hastalığı, dünya genelinde ise %0.7 ile %2.9'u arasında değişen oranlarda etkileyen, ömür boyu süren en yaygın hastalıklardan biridir (Gatti vd., 2024).

Çölyak hastalarının tek tedavi yöntemi glutensiz bir beslenme düzeni oluşturmaktır (Cairano vd., 2020). Bu nedenle, son dönemde gluten içermeyen tahıl ürünleri üzerine yapılan çalışmalar artmış ve üreticiler glutensiz gıda üretimine yönelmiştir. Glutensiz ürünlerin genellikle zenginleştirilmemesi ve üretimlerinde sıklıkla rafine un veya nişasta kullanılması nedeniyle, glutenli ürünlerle karşılaştırıldığında besin değeri açısından eşit düzeyde olmadığı gözlemlenmektedir. Glutensiz diyetlerde ise B vitamini, kalsiyum, D vitamini, demir, çinko, magnezyum ve besinsel lif oranlarının düşük seviyelerdedir (Özuğur ve Hayta, 2011). Glutensiz ürün kombinasyonlarında tahıl benzeri ürünler (Mutlu vd., 2019), baklagiller (Boudouira vd., 2023) ve süt ürünlerinden (Karahan vd., 2019; Yağdı vd., 2021) yararlanılmaktadır. Mineral,

vitamin, çoklu doymamış yağ asitleri ve esansiyel amino asitler gibi besinsel olarak zengin bileşenlerin kullanılması, kaliteli üretim yapılmasını ve ürün çeşitliliğinin artmasını sağlar (Özkaya, V. ve Özkaya, Ş., 2018; Taşkın, 2019; Dogu Baykut, 2021). Bu bileşenler, gıdaların besin değerini artırarak daha sağlıklı ve dengeli ürünler elde edilmesine yardımcı olur. Aynı zamanda, çeşitli besin öğeleri içeren ürünlerin üretimi, tüketicilerin farklı beslenme ihtiyaçlarını karşılamaya yönelik önemli bir adım olur.

Çölyak hastalarının ihtiyaçlarını karşılamak için, gluten içermeyen unlu mamullerin üretimi üzerine çeşitli çalışmalar yapılmaktadır. Bu çalışmalarda, unlu mamullerin tekstürel, duyusal ve kimyasal niteliklerini iyileştirmek amacıyla farklı bileşenler eklenerek eksikliklerin giderilmesi hedeflenmektedir. Nitelikleri artırmak için yapılan uygulamalarda ise proteinler (Özuğur ve Hayta, 2011), gamlar (Özuğur ve Hayta, 2011; Gül vd., 2018), bakliyat (Mau vd.,2017; Fathonah vd., 2020; Halim, 2021), meyve (incir çekirdeği ve beyaz dut) (Ulutürk, 2018; Gül vd., 2019; Özkan, 2021), bitki (gül yaprağı) (Gül vd., 2024) ve tahıl benzeri ürünler (Nasabi vd., 2021) kullanılmıştır. Bu sayede, çölyak hastalarına uygun ve besleyici gıdaların üretimi mümkün hale gelmektedir. Literatürde SNU, SPU ve SFU glutensiz ürünlerin besin değerini artırmaya yönelik optimizasyon çalışmalarında kullanımına ilişkin sınırlı sayıda araştırma bulunmakta olup, bu çalışma ile söz konusu hammaddelerin bu amaçla kullanılabileceği gösterilmiştir.

Nohut, Leguminosae (baklagiller) familyasının *Cicer* cinsinde bulunan bir baklagil türüdür (Macar, 2017). Dünyada en çok üretilen ikinci baklagil çeşidi olan nohut, Türkiye'de ise en çok üretilen birinci baklagil çeşididir (Anonim, 2024). 2018 yılına kadar yıllık küresel üretimi yaklaşık 17.2 milyon tondur (Pasquale vd, 2021). Nohut çeşitleri iki ana grupta toplanır: kabuli (daha açık renkli, büyük tohumlu ve daha pürüzsüz kabuklu) ve desi (küçük, renkli tohumlu ve sert kabuklu). Siyah nohut, geleneksel nohut çeşitlerine kıyasla daha az yaygın olsa da son yıllarda dikkat çeken bir türdür. Güney İtalya'dan gelen bu siyah renkli nohut, desi ve kabuli türleriyle karşılaştırıldığında kendine özgü fenotipik ve genetik özelliklere sahiptir. Siyah nohut, küçük, siyah, buruşuk, düzensiz ve çengel şekilli tohumlarla tanınır (Pavan vd., 2017). Desi tipi nohutlardan daha büyük ve koyu renkte olan siyah nohut, özellikle yüksek protein içeriğiyle öne çıkar. Ayrıca, demir, lif, çoklu doymamış yağ asitleri, antosiyaninler ve karotenoidler gibi biyoaktif bileşikler açısından da zengin bir

kaynaktır. Bu özellikler, siyah nohutu beslenme açısından değerli hale getirir. Antioksidan özelliklere sahip antosiyaninler ve karotenoidler, sağlık açısından önemli faydalar sağlayabilir. Bu nedenle, siyah nohut, besleyici değeri yüksek ve sağlık için faydalı bir alternatif olarak dikkate alınmaktadır (Demirkesen-Bicak vd., 2018; Summo vd., 2019; De Pasquale vd., 2021).

Pirinç dünya nüfusunun büyük bir çoğunluğu için temel tahıl ürünlerindendir. Ekim alanı oldukça geniş olan bu tahıl çok fazla çeşide ve genetik çeşitliliğe sahiptir. Bu çeşitler Gramineae veya Poaceae olarak tanınan ot familyasının üyeleridir (Duyi vd., 2017). Pirinç çeşitleri arasında siyah pirinç, duyusal özellikleri, yüksek besleyici değeri ve sağlığa faydaları ile olumlu anlamda dikkat çekmektedir (Kushwaha, 2016; Ito vd., 2019). Protein, mineraller (Ca, P, Fe ve Zn) ve diyet lifi içeriği gibi besinler siyah pirinçte beyaz pirinçle karşılaştırıldığında daha yüksek olduğu belirlenmiştir (Kushwaha, 2016). Siyah pirinçte bulunan lif, protein, B vitaminleri, mineraller, hayati amino asitler ve diğer besin maddeleri, siyah pirinci insan sağlığı için son derece faydalı kılar. Besin çeşitliliği açısından, siyah pirince yakın hiçbir pirinç türü bulunmamaktadır. Bu pirinç, glutensiz, kolesterol içermez, şekersiz, tuzsuz ve yağsızdır. Siyah pirinç, yüksek lif, antioksidan, antosiyanin, demir, B ve E vitaminleri, tiamin, niasin, magnezyum ve fosfor içeren bir tam tahıl pirincidir (Rahim vd., 2022).

Siyah fasulye (*Phaseolus vulgaris L.*), Fabaceae (baklagiller) familyasına ait bir bitkidir (Meenu vd., 2023). Siyah fasulyeler, tatlımsı bir lezzette, siyah renkte, oval şekilli ve küçük bir beyaz lekesi bulunan fasulye çeşididir (Rawal ve Navarro, 2019). Karbonhidrat, protein, lif, vitaminler, mineraller ve biyoaktif bileşikler bakımından iyi bir kaynaktır ve bu nedenle Latin Amerikalılar ve Afrikalı tüketiciler için tarih öncesi çağlardan beri en önemli baklagillerden biri olmuştur (Ferreira vd., 2018). Siyah fasulyeler, özellikle lizin olmak üzere en temel amino asitlerin çoğunu içeren iyi bir protein kaynağıdır. Siyah fasulyenin protein içeriği, soya fasulyesi, et, yumurta ve süt ile karşılaştırılabilir düzeydedir (Jiang vd., 2014). Günümüzde, siyah fasulyeler yüksek besin değeri ve yumuşak, et benzeri dokusu nedeniyle birkaç vejetaryen yemeğinin de önemli bir maddesi olarak kullanılmaktadır (Meenu vd., 2023).

Yapılan literatür taramasında beyaz pirinç unu ile yer değiştirme prensibine göre SPU, SNU ve SFU glutensiz gofret yaprağı üretiminde kullanımına yönelik bir çalışmaya

rastlanmamıştır. Dolayısıyla bu tezde glutensiz gofret yapraklarında pirinç unu hammadde olarak korunarak besleyici değeri zengin olan bakliyat unlarının (SPU, SNU ve SFU) farklı oranlarda kullanımının glutensiz gofret yapraklarının bazı fiziksel, kimyasal, tekstürel, besinsel ve duyusal özellikleri üzerindeki etkilerinin araştırılması amaçlanmıştır. Böylece çölyak hastalarına, gluten intoleransı olan kişilere veya glutensiz beslenmeyi tercih eden tüketicilere yönelik olarak sektörde ürün çeşitliliği oluşturmak ve endüstriye yeni bir ürün kazandırmak hedeflenmiştir.

2. KAYNAK ÖZETLERİ

2.1. Gofretin Tarihçesi

Gofretin ilk olarak din adamları tarafından bulunduğu iddia edilmektedir. Buna göre kesişler tarafından dini simgelerini oluşturan iki metal plakayı kullanarak plakaların arasında pişirilen kutsal ekmeklerden esinlenildiği düşünülmektedir. Ancak modern gofret, 19. yüzyılın ortalarında Hollanda' da özel hareketli maşa kullanılarak yapılmaya başlanmıştır. Gofret fırınları ise Birinci Dünya Savaşı'ndan sonra kurulmuştur. Ancak gofretin endüstriyel üretimi 1950'den sonra başlamıştır (Mert, 2014).

İlk olarak, ince şekerli hamur demir plakalar arasında pişirilerek evlerde yapılmaya başlanmıştır. Zamanla pişmiş ince hamurun üzerine sıvı şekerli karışımın (bal, reçel vb.) sürülmesiyle gofret kültürü oluşmuştur. Dünyada patent kanunlarının yaygınlaşmasıyla birlikte gofret alanında ilk patent başvurusu 1869 yılında yapılmıştır (Tazegül vd., 2021).

Ev yapımı gofretler yaygınlaştıkça tüketim de hızla artmıştır. Bu ihtiyacı karşılayabilmek adına basit mekanizmalar tasarlanmış olmasına rağmen bu hızlı artış karşılanamamıştır. Artan gofret ve bisküvi ihtiyacını karşılayabilmek için sürekli ve çoklu pişirme yapabilen, büyük fırın ihtiyacını ortaya çıkarmıştır (Tazegül vd.,2021). Bu ihtiyacı karşılamak için ilk adım 1893 yılında İngiltere de 'Bisküvi, Gofret ve Diğer Gıdaları Pişirebilen Cihazda İyileştirmeler (Patent No: GB 1893-13333)' isimli patent ile atılmıştır. Sadece gofret üzerine ilk çalışma ise 1897 yılında İngiltere' de 'Gofret ve Benzerlerinin İmalatında Kullanılan Fırınlar ve Aparatlarda veya Bunlarla ilgili İyileştirmeler (Patent No: GB 1897-11820)'isimli patentte görülmektedir. Bu fırın, altı adet pişirme kalıbına ve gaz ocaklarıyla pişirme özelliğine sahiptir. 1910 yılında Amerika Birleşik Devletleri'nde, 'İyi Gofret Makinesi (Patent No: US 973304 A)' isimli patentte makinenin biraz daha geliştiği sonucuna ulaşılmıştır (Tazegül vd.,2021).

Türkiye'de sanayi tipi gofret üretimi 1940'lı yıllarda başlayarak yıllar içinde farklı çeşitlerle üretilerek tüketicinin bildiği bir ürün durumuna gelmiştir. Gofret üretimi ve

tüketimi 1960 yılına kadar küçük paydalarda olurken, 1960 yılından itibaren köylerden kentlere göçlerin sonucunda artışa geçen kentleşme ve sanayileşmenin beraberinde tüketicilerin gelir durumdaki artışla birlikte gofret üretimi ve tüketimi artmıştır (Meral ve Doğan, 2004). Günümüzde ise Türkiye'de gofret üretimi yüksek kapasitelere sahip olup, birçok firmada üretilmektedir. Her firma farklı tat, yapı, görünüm ve teknolojiyle kaliteli gofretler üretmeyi hedeflemektedir.

2.2. Gofret

Gofret; buğday unu, içme suyu ve ihtiyaca göre şeker, tuz ve yemeklik bitkisel yağın birleşiminden oluşan karışıma tercihe göre dolgu bileşenlerinin (kuruyemişler, reçel, jöle, meyveler, karamel, çikolata hamuru, aroma vericiler, vb.) eklenmesiyle elde edilen hamurun, ısıtılmış iki kalıp arasında pişirilerek kıtır ve gözenekli yapıda gofret yapraklarının elde edildiği, isteğe göre gofret yaprakları üzerine tatlı bir dolgu sürülmesiyle üst üste istiflendiği atıştırmalık bir gıda ürünüdür (TSE, 2016; Tazegül vd., 2021). Gofretin ana kalite parametreleri hammadde kalitesi, renk, tat ve dokudur. Gofret dokusunun en önemli özelliği ise gevrekliktir.

Gıda teknolojisinde gofretin iki tane anlamı bulunmaktadır. Bunlardan biri fırınlanmış hamurdan elde edilen ince, hafif ve çıtır olanlarıdır. Bir diğeri ise Amerika Birleşik Devletleri'nde genellikle kullanılan ince ve gevrek kurabiyelerdir (bisküviler) (Tiefenbacher, 2017).

Gofret yaprakları, gevrek ve gözenekli yapıya sahip bir ürün olarak tanımlanır (TSE, 2016). Gofret yaprakları ulaşılmak istenen ürüne göre ağırlıklı olarak su ve undan hazırlanan sıvı hamurlara şeker, tuz, bitkisel yağ ve sodyum bikarbonat gibi ek bileşenler eklenerek tekniğine göre pişirilmesi ile üretilmektedir. Kullanılan tekniğe göre fırınlanmış yassı düz şekilli gofret ürünleri veya rulo şeklinde dondurma külahı olmak üzere üretimi yaygındır (Verma, 2019). Gofretler yapılış şekline göre; sade, dolgulu ve dolgulu kaplamalı olarak üçe ayrılmaktadır. Sade gofrette, iki ya da ikiden fazla gofret yaprakları arasına, dolgu bileşeni eklenmemiştir, ara kreması bulunmaktadır. Dolgulu gofrette, iki ya da ikiden fazla gofret yaprakları arasına, dolgu bileşeni eklenmiş ayrıca ara kreması da bulunmaktadır. Dolgulu kaplamalı gofrette ise tercihe göre, çikolata, kakao, kuruyemiş, aroma vericiler vb. maddeler ile istenirse

dolgu bileşenleri ile ulaşılan karışım eklenerek dış bölgesi kaplanarak hazır hale gelmektedir (TSE, 2016).

Yüksek kaliteli gofret yaprakları elde edebilmek için unun, suyun ve diğer malzemelerin oranları ve kalitesi çok önemlidir. Ayrıca karıştırma ve pişirme süresi, üretim sırasında hamur sıcaklığı ve gofret plakalarının sıcaklığı dikkate alınmalıdır (Doğan, 2006).

2.3. Gofret Formülasyonları

Gofretler üreticinin isteğine göre çeşitli şekilde üretilse de gofret yaprağının üretimi tüm gofret çeşitleri için birbirine paralel ve gofret üretiminin temelini oluşturmaktadır. Gofret yaprağı un, su, şeker, tuz, yağ ve diğer katkı maddelerinin homojen bir şekilde karıştırılıp akışkan nitelikteki hamurun pişirilmesiyle ortaya çıkmaktadır. Formülasyonlar arzu edilen tekstür, lezzet ve tat özelliklerine göre tercih edilir ve değişkenlik gösterebilmektedir (Çizelge 2.1.) (Meral ve Doğan, 2004; Tiefenbacher, 2017)

Çizelge 2.1. Gofret yaprağı için farklı hamur formülasyonları (Tiefenbacher, 2017)

Malzeme	D1 (g)	D2 (g)	D3 (g)	D4 (g)	D5 (g)	Ş1 (g)
Su	130	150	160	155	140	138
Tuz	0.2	0.4	0.4	0.2	0.3	0.35
Sodyum bikarbonat	0.35	0.1	0.15	0.2	0.3	0.25
Amonyum bikarbonat	0	0.1	0.1	0	0	0.08
Nişasta	0	0	10	0	0	0
Buğday unu	100	100	0	100	100	100
Kepekli un	0	0	100	0	0	0
Katı/sıvı yağ	1	1	0.8	1.5	1	2.5
Sıvı lesitin	0.2	0.2	0.8	0.5	0.8	1
Şeker	0	0	0	2	0	3
Siyah kakao tozu	0	0	0	9	0	0
Yumurta sarısı tozu	0	0	0	0	0	0.5
Yağsız süt tozu	0	0	0	0	0	0.5

*D: Düz gofret hamuru bileşenleri
*Ş: Şekilli gofret hamuru bileşenleri
*Değerler 100 birim un esasına göre hazırlanmıştır.

2.4. Gofret Bileşenleri

Standartlara göre hazırlanan gofret hamuru içeriğinde, un, su, yağ, lesitin, tuz, sodyum bikarbonat kullanılmaktadır. Karışım %55–60 su, %35 un, %2 yağ, %1.2 lesitin, %1 tuz ve %2.5 sodyum bikarbonattan oluşmaktadır (Meral ve Doğan, 2004).

2.4.1. Su

Gofret üretiminde unla birlikte ana madde sudur, istenilen kıvama ulaşmak için eklenir. Su, bileşenlerin hidrasyonu, çözünürlüğü ve düzgün dağılımı için önemli bir bileşendir (Tufan,2018).

Gofret hamuru, hamurlara göre su oranı yüksek benzersiz bir formülasyona sahiptir. Formülasyonda su içeriği uygun viskozite açısından önemli bir faktördür. Hamurun pişirme plakaları üzerine yayılabilirliği ve pürüzsüz gofret dokusu, hamurun viskozitesinden etkilenir. Hamurun su içeriği çoğunlukla un bazında %1.25-1.6 arasında değişmektedir. Gluten oluşumunu önlemek için soğuk su kullanımı tavsiye edilmektedir. Su sertliği 2 mmol/L'den (110dH) düşük olmalıdır; sert su, daha sert gofret dokusuna neden olmaktadır. Buna ek olarak plakalardan gofretlerin kolay bir şekilde ayrılabilmesi için su içeriğinin optimum seviyede olması gerektiği belirtilmiştir (Tiefenbacher, 2017).

2.4.2. Un

Un, gofret üretiminin diğer ana bileşenlerinden biridir. Gofretin birçok kalite parametresi un ile ilişkilidir (Tiefenbacher, 2017). Un, genellikle gıda ürünlerinde nişasta kaynağı olarak görev yapmaktadır (Meral ve Doğan, 2004). Ancak, gofret üretiminde belirli bir un çeşidinin kullanılması önemlidir. Bu özel un çeşidinin glutenin içeriği, tane büyüklüğü ve hammadde kalitesi, istenmeyen gluten oluşumunu engellemek için kritik bir rol oynar. Unda gluten bulunması, gofret yaprağının aşırı sert veya çok kırılgan olmasına neden olarak gofret kalitesini etkilemektedir (Bakmaz, 2023).

Gofret hamuru, geleneksel hamurlarda farklı olarak sıvı bir formda bulunmaktadır. Bundan dolayı, kullanılacak unun orta protein seviyelerinde (%9.5) olması gerektiği düşünülmektedir. Protein oranının belirtilen seviyenin üstünde olması yoğun ve sert bir dokuya neden olabilirken, altında olması ise kırılgan gofret yapraklarının oluşmasına yol açmaktadır (Tufan, 2018).

Yüksek kaliteli bir gofret yaprağı elde etmek için unun partikül büyüklüğü de önemli faktörlerden biridir. Olması gerekenden daha küçük partiküllere sahip un kullanımı, daha az yoğun, yumuşak ve gevrek bir gofret elde edilmesine yol açabilir ve bu nedenle unun partikül büyüklüğünün dikkatlice ayarlanması gerekmektedir (Meral ve Doğan, 2004). Aynı zamanda, gofret üretiminde çeşitli unların tercih edilmesi, lezzet, besin içeriği ve formülasyon gereksinimleri doğrultusunda uygun koşulları sağlayabilecek şekilde gerçekleşebilir (Bakmaz, 2023).

2.4.3. Yağlar

Yağlar, gofretin önemli bileşenlerinden biridir. Genellikle, gofret hamurunun sıcak plakalara yapışmasını önlemek için kullanılır (Meral ve Doğan 2002). Hamur yapımında kullanılan katı yağ yumuşaklık sağlar, ağızda daha nemli bir his bırakır, yağlama yapar, havayı içerir, ısıyı aktarır ve yapıyı güçlendirmeye destek olur (Stauffer, 2005).

Gofret üretiminde tercih edilen yağların çoğu, doğal palm çekirdeği oleini ve doğal palm oleinidir. Bu bitkisel yağların sıvı formda olmaları, bu yağların kolayca ölçülmesini sağlar; bu durum, termal işlem sırasında iyi bir stabilite sunar (Tiefenbacher, 2017).

2.4.4. Emülgatör

Lesitin (E322), doğal bir emülgatördür ve çoğunlukla gofret üretimi için uygun bir seçenek olarak kabul edilir. Soya lesitini, gofret hamurunun sıcak plakalara yapışmasını önlemek ve aynı zamanda bitkisel yağlar gibi diğer kalite parametreleri için gerekli bir bileşendir. Emülgatörler genellikle yüzey aktif maddeler olarak

bilinmektedir. Bu maddeler, iyi bir kalite sağlar ve aynı zamanda son ürünün raf ömrünü artırır. Hamur oluşturmada kullanılan emülgatörler, fermantasyon sürecinde gaz hücrelerinin artmasına neden olur. Bu durum, hamur yapısının elastikiyetinin artmasını sağlar (Krog, 2018).

Soya lesitini, fırın ürünlerinde kullanılan bir emülgatördür. Öte yandan, lesitin, fırın ürünlerinin duyusal özelliklerini iyileştirir. Aynı zamanda fırın ürünlerinin hamur viskozitesini artırır (Riaz, 1999).

2.4.5. Tuz

Fırın ürünlerinde tuzun önemi, tatları tamamlama yeteneği ve genel lezzeti daha iyi hale getirme yeteneği ile ilgilidir (Tiefenbacher, 2017). Tuz, sadece tat artırıcı olmanın ötesinde fırın ürünlerinde birçok işleve sahiptir. Maya fermantasyonunun hızını stabilize eder, hamuru güçlendirir, son ürünün lezzetini artırır ve işlem sırasında hamurun karışma süresini uzatarak hamuru güçlendirir (Miller ve Hoseney, 2008).

2.4.6. Kabartma ajanları

Fırın ürünlerinde kabarmanın sağlanması 3 yolla gerçekleştirilebilir: kimyasal mayalanma (kimyasal mayalayıcılar), fiziksel mayalanma (hava katma veya çırpmak) ve biyolojik mayalanma (mayalanma, fermantasyon). Kimyasal mayalanma, güvenlik, kontrol edilebilirlik ve kullanım kolaylığı nedeniyle geniş bir şekilde uygulanır. Bu amaçla genellikle sodyum bikarbonat ve amonyum bikarbonat tuzları, tek başlarına veya birlikte kullanılır. Mayalanmada etkili olan karbon dioksit yayılımı, ısı tarafından harekete geçmektedir (Tiefenbacher,2017). Gofret, kuru bir jelatinize matris içinde dağılmış gaz hücreleri yapısına sahiptir. Mayalanma, hamurun fırın plakaları arasındaki boşluklarda yayılmasına yardımcı olur. Gaz hücrelerinin gofret yapraklarına işlem süresince homojen dağılımı, boyutu ve şekli, mikro yapı ve dokusal özellikler açısından önemli bir etkiye sahiptir (Sundara, 2012). Bu nedenle hem süreç kontrolü hem de ürün kalitesi için gaz oluşum sürecinin kapsamlı bir şekilde değerlendirilmesi önerilir (Tufan, 2018).

2.4.7. Diğer malzemeler

Gofret levhalarının farklı biçimleri ve çeşitli kullanımları bulunmaktadır. Araştırmacılar, bahsedilen temel bileşenlerin yanında ürün çeşitliliğini artırmak için çeşitli bileşenlerin de kullanıldığını eklemişlerdir. Bu bileşenlerin yanında, gofret üretiminde enzimler, şekerler, gıda boyaları, aromalar, lifler, kakao gibi çeşitli malzemelerden yararlanılabilir (Tufan, 2018).

2.5. Gofret Üretimi

Gofretler, çoğunlukla tek başına tüketilmekten ziyade, iç dolgu maddeleri veya kaplamalarla birlikte kullanılan taşıyıcı ürünlerdir. Yaygın olarak karamel veya krema arasına yerleştirilerek, çikolata ile kaplanarak veya kalıp çikolataya gömülerek tüketiciye sunulurlar. Bazı ülkelerde gofretler, tereyağı, peynir veya dondurma gibi malzemelerle sunulmak üzere üretilip tüketiciye sunulmaktadır (Manley, 2011).

Gofret üretimi, hamurun bileşimi ve pişirme ekipmanı bakımından diğer fırınlama işlemlerinden farklılık gösterir. Gofret yarı mamulleri, hamurun ilk karışımından başlayarak son ürünlerin paketlendiği sürece kadar dikkat edilmelidir (Tufan,2018).

Gofret hamuru, %63-66 nem içeriği olan sıvı bir hamur türüdür. Bu, hamurun pişirme plakalarına homojen bir şekilde yayılması ve gofret yaprağının homojen bir doku ve renginin istenen kalitede elde edilmesi için akışkanlığın önemli olduğu anlamına gelmektedir (Tiefenbacher, 2017). Gofret hamuru, bütün bileşenlerin su içinde birbirleriyle harmanlanmasıyla elde edilir. Karışım, diğer fırın ürünlerindeki gibi yoğurma gibi bir işlemden ziyade hızlı bir karıştırma olmalıdır. Karıştırmadaki hedef, gluten ağ yapısı oluşmadan bütün bileşenleri dağıtmaktır; tersi bir durumda hamur deposu tıkanabilir veya hamurun fırın plakasına yayılması zor olabilir. Bundan dolayı kısa süreli, soğuk su ile yüksek çırpma hızında karıştırma yapılmalıdır (Townsend, 1990).

Hamur 2.5-6 dakika süren karıştırma işleminin ardından, topakları ve hava kabarcıklarını atmak için süzülerek gofret fırınına pompalanır. Gofret fırını, alışagelmiş pişirme fırınlarından farklı bir tasarımı benimsemektedir. Genellikle bir

zincire bir taraftan sabitlenmiş bir dizi plakadan oluşur. Plakalar, doğal gaz, LPG ve elektrik sistemi ile ısıtılır. Gofret hamuru, önceden ısıtılmış yapışmaz kaplamalı yüzeyler, üst üste gelecek şekilde kapanan bir yapıya sahip plakalar arasına yayılarak iki plaka birbirleriyle kilitlenir. Bu, oluşturulan buhar sayesinde hamuru köşelere kadar homojen bir şekilde yayılmasına ve plakaların kenarlarında bulunan küçük hava delikleri aracılığıyla fazla hamurun ve buharın dışarı atılmasına olanak tanır. Her plaka çifti sırayla hamur ile doldurulur ve döngü bitiminde pişirme sırasında üst plaka otomatik olarak açılır ve üretilen gofret yaprağı çıkarılır. Çoğunlukla endüstride 60, 45 veya 30 plakalı fırınlar kullanılmakta olup pişirme süresi 1.5 ila 3 dakika arasındadır (Manley, 2011). Pişirme sıcaklıkları çoğunlukla 140-205 °C arasında değişmektedir. Hamurun alt plakayla daha fazla etkileşimde olması nedeniyle, alt plaka sıcaklığının pişirme ve son renk açısından üst plakanın sıcaklığından daha düşük olması gerekmektedir (Tiefenbacher, 2017).

Üretimdeki bir sonraki adım, krema veya karamel arasına gofret yerleştirme, çikolata kaplama veya gofretin kalıplaşmış çikolataya yerleştirilmesidir. 'Gofret blokları', krema ile kaplanmış gofret yapraklarının üst üste yerleştirilmesiyle oluşturulur. 10-12 °C'de kuru hava ile soğutulduktan sonra, gofret blokları kesilir ve tek başına veya çikolata ile birleştirildikten sonra paketlenir (Manley, 2011). Gofretin raflarda daha uzun süre çıtır ve taze kalabilmesi için krema içeriklerinin nem seviyelerinin belirli düzeylerin altında olması gerekmektedir. Ayrıca, anhidrit yağların, iyi kavrulmuş fındıkların, yağ bazlı aromaların ve düşük nemli mamullerin kullanımı önemlidir (Tiefenbacher, 2017).

Gofret kalitesi, birçok faktörden etkilenir, bunlar arasında ham madde kalitesi, formülasyonda belirtilen su miktarı, hamur karışım ölçütleri (karıştırma hızı, karıştırma süresi, hamur bekletme süresi) ve pişirme ölçütleri (sıcaklık ve süre) yer alır. Ayrıca çevresel koşullar da gofret kalitesini etkileyebilir (Doğan, 2006). Gofretin kalitesi duyusal niteliklerinde de önemli bir rol oynamaktadır. Gofrete özel tat, koku ve renk kriterlerinde olmalı, acı ve ekşi bir tat vermemelidir. Gevrek bir dokuda ve hepsinin eşit görünümde olmasına dikkat edilmeli, kirli ve kırık bir yapıda olmamalıdır. Görüntüsünde istenmeyen bir madde bulunmamalıdır (TSE, 2016).

Gofret yaprağının önemli nitelikleri bir de hafif ve ince olmasıdır. Ağırlığın istenmeyen derecede yüksek olması tüketicinin beklentisini karşılamayan sert bir dokuyu ifade eder. Kalın gofret yapraklarına ulaşılması yetersiz pişme işlemi yapılmış olduğunu gösterdiği gibi çıtırlığı da olumsuz etkilemektedir. Tüm gofret yaprakları tam ve eşit olmalıdır (Manley, 2011).

Gofretin dokusal özellikleri, tüketicinin dikkat ettiği faktörlerden biridir. Bu özellikler, gofretin ilk ısırıkta nasıl kırıldığı ve ardından ağızda nasıl çözündüğü şeklinde iki kategoriye ayrılabilir. Bunları test etmek için çeşitli analitik yöntemler uygulanabilir. Gofretin mekanik dayanıklılığı ve gofretin ikiye ayrılması için gereken kuvvet, bir tekstür analiz cihazı veya çiğneme sırasında hoparlörler aracılığıyla iletilen frekansları içeren diğer ses yöntemleri kullanılarak üç noktalı bükme testi ile tespit edilebilir (Beckett, Livings ve Schroeder, 1994).

Gofret yaprağının hafifliği, parlak bir görünüme sahip olması ve renginin tek düzeliği, tüketicinin dikkat ettiği faktörlerdendir (Meral ve Doğan, 2002). Formülasyondaki bileşenler, pişirme süresi ve sıcaklığı, kaplama modeli bu nitelikler üzerinde etkili faktörlerdir.

Hamur viskozitesi, üretim süreci ve son ürünün kalitesi açısından önemli faktörlerdendir. Hamurun plaka yüzeyine rahat bir şekilde yayılabilmesi için düşük viskozite değeri tercih edilmektedir. Buna bağlı olarak un, su, yağ veya emülgatör gibi ana bileşenlerin hamura eklenme oranı ve özellikleri formülasyonda önemlidir. Hamurun kısa süreli karıştırılması, karıştırma esnasında yüksek kesme hızları, düşük karıştırma sıcaklıkları ve kontrol edilen hamur bekletme süresi, viskoziteyi istenilen düzeyde tutmak için önemli ölçütlerdir (Manley, 2011).

Son ürünün tüketiciye uygun kriterlerde ulaşabilmesi için ambalaj, taşıma ve muhafaza aşamaları önemli bir süreçtir. Gofretler kırılmamalı, ambalajlar gofretin direkt teneke ve ambalaj malzemesi ile etkileşimde olmayacak şekilde uygun yalıtım materyalleri tercih edilmelidir. Gofret ambalajları, depolarda, araçlarda ve satış birimlerinde tatlarına ve dokusal niteliklerini olumsuz etkileyecek bileşenlerle birlikte bulunmamalı ve 20 °C ± 2 °C'ta muhafaza edilmelidir (TSE, 2016).

2.6. Çölyak Hastalığı

Beslenme alışkanlıklarının zamanla değişiklik göstermesine rağmen tahıl ve tahıl ürünlerinin dünya nüfusunun beslenmesinde değerli bir payı vardır. Tahıllar ucuz, ulaşılması kolay, iyi bir enerji maddesi olması, protein içeriği ve yormayan nötr tatta ve aromada olması nedeniyle tüketimde tercih edilmektedir. Hububat ürünleri, günlük beslenmemizin önemli bir bileşeni olmasına rağmen, bazı bireylerde hastalıkların gelişmesine yol açmaktadır. Bu hastalıklardan biri de çölyak hastalığıdır. Çölyak hastalığı, gluten hassasiyetine bağlı olarak gelişen kronik bir bağırsak hastalığıdır (Hayıt ve Gül, 2017).

Buğdayda bulunan gliadin, çavdarda bulunan sekalin, arpada bulunan hordein ve buğday ile çavdarın hibriti olan tritikale gibi proteinlerin tüketimi, çölyak hastalarında ömür boyu süren gıda alerjisine yol açmaktadır (Green ve Cellier, 2007; Gençay ve Mert, 2023). Bu hastalığın tek tedavi yöntemi ise glutensiz bir beslenme düzeni benimsemektir (Cairano vd., 2020). Bu durum nedeniyle, son dönemde gluten içermeyen tahıl ürünlerine yönelik araştırmalar artmış ve üreticiler glutensiz besin üretimine yönelmiştir.

2.7. Siyah Pirinç

Pirinç, dünya nüfusunun yarısından fazlasını besleyen önemli bir üründür. Temel besin maddelerinin yanı sıra, siyah pirinç fitokimyasallar, lif ve mineraller açısından da zengin bir kaynaktır. Asya'da, özellikle Çin'de, çeşitli siyah pirinç çeşitleri yetiştirilmektedir (Zhang vd.,2005). Beyaz pirinçle karşılaştırıldığında, siyah pirinç daha üstün besinsel ve fonksiyonel özelliklere sahiptir. Bu, embriyo ve kepek katmanlarında bulunan biyolojik olarak aktif ve besleyici bileşenlerin varlığına bağlıdır. Siyah pirinçte bulunan bu bileşenler arasında fonksiyonel lipitler, esansiyel amino asitler, vitaminler, diyet lifi, mineraller (Fe, K, Zn, Mg, Cu, P ve Mn), fenolik bileşikler, antosiyaninler, y-oryzanol, tokoferoller, fitik asit ve fitosteroller yer alır (Hiemori vd., 2009; Ziegler vd., 2017).

Siyah pirincin endospermi yaklaşık %75 oranında karbonhidrat içerir, çoğunlukla nişasta ve protein açısından zengin bir dış katman olan alöron bulunur. Siyah pirinç,

antosiyanin açısından en yüksek miktara sahip olup, bu da pirinci yüksek besin değeriyle tanımlar. Pirincin perikarpı (dış kısmı), antosiyaninler olarak bilinen flavonoid yapılı antioksidan pigmentlerce zengin olup, bu pigmentler siyah pirince koyu mor-siyah karakteristik rengini kazandırmaktadır (Callcott vd., 2018). Embriyo, pirinç tanesinin toplam kütlesinin yaklaşık %2–3'ünü oluşturur ve lipitler ile proteinler içerir. Siyah pirinçte bulunan lif, protein, B vitaminleri, mineraller, hayati amino asitler ve diğer besin maddeleri, yapışkan siyah pirinci insan sağlığı için son derece faydalı kılar. Besin çeşitliliği açısından, siyah pirince yakın hiçbir pirinç türü bulunmamaktadır. Bu pirinç, glutensiz, kolesterol içermez, şekersiz, tuzsuz ve yağsızdır. Siyah pirinç, yüksek lif, antioksidan, antosiyanin, demir, B ve E vitaminleri, tiamin, niasin, magnezyum ve fosfor içeren bir tam tahıl pirincidir (Rahim vd., 2022).

Kim vd. (2006), SPU kullanarak kurabiye üretmiş ve bu süreçte elde edilen hamur ile kurabiyelerin pH değeri, nem içeriği ve duyusal özelliklerinde artış gözlemlendiğini rapor etmişlerdir.

Park ve Chang (2007) yapmış oldukları çalışmada; pandispanya üretiminde buğday unu ile %5-%30 oranında siyah pirinci ikame etmişlerdir. Araştırma sonucunda pandispanyaların su tutma kapasitesinin ve hacminin arttığı gözlemlenmiştir.

Kushwaha (2016), siyah pirincin yüksek besin değeri, antioksidan içeriği ve sağlık üzerindeki olumlu etkileri bakımından dikkat çekici özellikler taşıdığını ortaya koymuştur. Siyah pirinç, içerdiği lif, protein, demir, çinko ve B grubu vitaminlerle besleyici bir profil sunarken, düşük glisemik indeksi sayesinde kan şekerinin dengelenmesine katkı sağlar. Özellikle yüksek düzeyde antosiyanin içermesi, onu güçlü bir antioksidan kaynağı haline getirerek kalp hastalıkları, diyabet ve bazı kanser türlerine karşı koruyucu potansiyel kazandırır. Ayrıca doğal rengi ve aroması sayesinde gıda endüstrisinde hem besleyici bileşen hem de doğal renklendirici olarak kullanımı yaygındır. Tüm bu nitelikler, siyah pirinci fonksiyonel bir gıda olarak öne çıkarmaktadır.

Fathonah vd. (2020) çalışmalarında; SPU ve maş fasulyesi ununun sırasıyla 60:20; 50:30, 40:40 oranında eklenmesiyle bir bisküvi üretilmiştir. Sonucunda da duyusal

analizde en çok tercih edilen siyah pirinç bisküvileri, 40:40 oranı ile üretilen bisküviler olmuştur.

Halim (2021) yapmış olduğu çalışmada; kahverengi ve SPU %20 oranında istiridye ve midye tozu ile kullanarak glutensiz kraker üretmiştir. Sonucunda da siyah pirinç kahverengi pirinç ile karşılaştırıldığında, antioksidan ve toplam fenolik içeriğinin daha zengin olduğu tespit edilmiştir. Ürünlere istiridye ve midye tozunun ilave edilmesi, hem kahverengi pirinç ve siyah pirinç krakerleri nişasta sindirilebilirlik oranını azaltmışlardır

Runt-Kütük ve Özgören Çapraz (2024) tarafından yapılan çalışmada SPU ile hazırlanan keklerin fenolik bileşik içeriği kontrol örneğine göre belirgin şekilde artmış, bu da antioksidan aktivitenin yaklaşık 2.2 kat yükselmesine neden olmuştur. Ayrıca SPU içeren keklerde demir, çinko ve magnezyum gibi minerallerin miktarında da artış gözlenmiş, bu da kekin genel besin kalitesini artırmıştır. Duyusal açıdan da SPU ile hazırlanan kekler tüketiciler tarafından kabul edilebilir bulunmuştur, SPU da glutensiz un seçenekleri içinde dikkat çekici bir alternatif haline getirmektedir.

2.8. Siyah Nohut

Nohut, fasulye ve bezelyeden sonra dünya genelinde en fazla üretilen üçüncü baklagil türüdür. 2018 yılı itibarıyla yıllık küresel üretimi yaklaşık 17.2 milyon ton olarak kaydedilmiştir (Pasquale vd., 2021). Nohut çeşitleri, genellikle kabuli (açık renkli, büyük tohumlu ve pürüzsüz kabuklu) ve desi (küçük, koyu renkli ve sert kabuklu) olmak üzere iki ana gruba ayrılır. Güney İtalya kökenli siyah renkli bir nohut çeşidi ise bu iki gruptan ayrılarak, özgün fenotipik ve genetik özellikleriyle tanımlanmıştır (Pavan vd., 2017). Bu çeşidin tohumları siyah renkli, buruşuk yüzeyli, çengel şekilli ve düzensiz yapıdadır. Desi çeşitlerine kıyasla daha büyük ve koyu renkte tohumlara sahiptir (Summo vd., 2019).

Siyah nohut, yüksek protein içeriğine ek olarak, demir, lif, çoklu doymamış yağ asitleri, antosiyaninler ve karotenoidler gibi biyoaktif bileşikler açısından da zengin bir besin kaynağıdır (Summo vd., 2019). Lifli yapısı sindirim sisteminin düzenlenmesine yardımcı olurken, uzun süre tokluk hissi sağlar. İçerdiği magnezyum

ve folik asit, kalp sağlığını destekler, kemik gelişimini teşvik eder ve çeşitli metabolik süreçlerde rol oynar. Ayrıca yüksek demir içeriği sayesinde, demir eksikliğine bağlı aneminin önlenmesinde etkili olabilir. Diğer baklagillerle karşılaştırıldığında daha yüksek antioksidan kapasitesi sayesinde hücreleri serbest radikallerin zararlı etkilerinden korur. Tüm bu besinsel özellikleri ve kendine özgü lezzeti ile siyah nohut, hem besleyici değeri hem de sağlık açısından sunduğu faydalarla dikkat çeken bir baklagil türüdür (Anonim, 2019; Ersoy ve Altuntaş, 2022).

Demirkesen-Bicak vd. (2018) yaptıkları çalışmada, siyah nohut nişastasına pullulanaz enzimi uygulanarak dirençli nişasta (RS) içeriği artırılmış ve bu sayede nişastanın besinsel ve fonksiyonel özellikleri geliştirilmiştir. Enzimatik işlem, özellikle otoklavlama ve retrogradasyonla birlikte RS oranını %41.3'e kadar yükseltmiştir. Ayrıca, nişastanın su tutma, yağ bağlama ve emülsifiye etme kapasitesi gibi özellikleri de iyileşmiştir. Bu sonuçlar, siyah nohut nişastasının fonksiyonel gıda ürünlerinde kullanılabilirliğini artırmakta ve bağırsak sağlığına katkı sağlayabilecek dirençli nişasta yönünden zenginleştirilmiş bir içeriğe sahip olduğunu göstermektedir.

Costantini vd. (2021) bu çalışmada, Kabuli ve Apulya siyah nohutlarının öğütme sırasında ortaya çıkan kabuk gibi yan ürünleri, glutensiz taze makarnanın besinsel içeriğini zenginleştirmek amacıyla kullanılmıştır. Bu bileşenlerin eklenmesiyle makarnanın diyet lifi oranı ve antioksidan kapasitesinde belirgin artış sağlanmıştır. Aynı zamanda pişme kalitesi ve yapısal dayanıklılık gibi teknolojik özelliklerde de olumlu etkiler gözlemlenmiştir. Elde edilen bulgular, nohut kabuklarının, glutensiz ürünlerde hem fonksiyonel hem de sürdürülebilir bir gıda bileşeni olarak değerlendirilebileceğini ortaya koymaktadır.

Pasquale vd. (2021) yaptıkları bu çalışmada, fermente SNU irmik makarnasını besin ve işlevsel açıdan zenginleştirdiği gösterilmiştir. Fermentasyon süreci, antioksidan fenolik bileşiklerin biyoyararlılığını artırmış, dirençli nişasta ve serbest amino asit miktarını yükseltmiştir. Aynı zamanda antinutrisyonel bileşikler (tanen, saponin vb.) azalmış, protein sindirilebilirliği ve antioksidan kapasite artmıştır. Sonuç olarak, fermente SNU, makarnaya hem daha yüksek besin değeri hem de fonksiyonel faydalar kazandıran etkili bir katkı maddesi olarak öne çıkmaktadır.

Runt-Kütük ve Özgören Çapraz (2024) tarafından yapılan çalışmada SNU ile yapılan keklerde toplam fenolik madde içeriği kontrol örneğine göre artmış ve antioksidan aktivitenin 1.4 kat yükseldiği belirlenmiştir. SNU, ayrıca kekin yapısal özelliklerini iyileştirici bir rol de üstlenmiş, doku açısından olumlu sonuçlar vermiştir. Duyusal değerlendirmelerde SNU içeren kekler de tüketici tarafından olumlu karşılanmıştır. Bu sonuçlar, SNU için sadece besleyici değil, aynı zamanda fonksiyonel ve duyusal olarak da glutensiz ürünlerde başarıyla kullanılabileceğini göstermektedir.

Arslanhan (2025) çalışmasında SNU glutensiz ekmek üretiminde temel bileşen olarak kullanmış ve yüksek protein, lif, demir, antosiyanin ve antioksidan içeriği sayesinde ekmeklerin besin değerini önemli ölçüde artırıldığını tespit etmiştir. Glutensiz ürünlerde sıklıkla karşılaşılan düşük besin kalitesi sorununa çözüm sunan SNU, aynı zamanda hamurun yapısını destekleyerek daha iyi bir doku ve gözenek yapısı sağlamıştır. Ekmeklerdeki protein ve lif oranlarını yükseltmesinin yanı sıra, antioksidan kapasiteyi de artırarak ürünü fonksiyonel gıda niteliğine taşımıştır. Doğal koyu rengi nedeniyle ekmeklerin renk profili değişmiş ve bu durum, bazı örneklerde tüketici tercihleri üzerinde olumlu etki yaratmıştır. Bu özellikleriyle SNU, glutensiz ve besleyici ekmek üretiminde hem teknolojik hem de besinsel açıdan değerli bir bileşen olarak öne çıkmıştır.

2.9. Siyah Fasulye

Siyah fasulyeler, protein, nişasta, vitamin, lif ve mineraller bakımından zengin bir kaynaktır (Silva-Cristobal vd., 2010; Meenu vd., 2023). Protein, insan sağlığı için hayati öneme sahip olup, hayatın yapı taşları olarak kabul edilir. Bitkisel kaynaklı gıdalardaki protein içeriği %8 ile %60 arasında değişirken, fasulyelerin protein içeriği %17.9 ile %31.1 arasında bildirilmiştir (Ferreira vd., 2018). Siyah fasulyelerin protein içeriği ise yaklaşık %20–%25'tir ve bu nedenle siyah fasulyeler mükemmel bir bitkisel protein kaynağı olarak kabul edilir (Evangelho vd., 2017). Siyah fasulyeler, dokuz temel amino asidin tamamını içerir; başlıca amino asitler arasında lösin (1218 mg/172 g) ve lizin (1046 mg/172 g) bulunur (Meenu vd., 2023). Ayrıca, siyah fasulyeler zengin bir karbonhidrat kaynağıdır (100 g'da 25–60 g), bunlar arasında nişasta, siyah fasulyelerin 100 g'ında 36.6–53.8 g arasında değişir (Silva-Cristobal vd., 2010; Meenu vd., 2023). Siyah fasulyeler, zengin bir diyet lifi kaynağı olup, 100 g'ında yaklaşık 4–

20 g toplam diyet lifi içerir (Silva-Cristobal vd., 2010; Meenu vd., 2023). Protein ve karbonhidrat içeriğinin aksine, siyah fasulyelerin lipid içeriği düşüktür; 100 g siyah fasulyede yalnızca yaklaşık 0.55–2.1 g lipit bulunur. Bu nedenle, siyah fasulyeler düşük yağlı bir gıda olarak insan sağlığı için faydalı bir seçenek olarak bilinir (Ovando-Martínez vd., 2011).

Okafor vd. (2015) bu çalışmada, siyah fasulyeden elde edilen farklı un türlerinin (tam yağlı, yağsız un, protein konsantresi ve izolatı) besin içerikleri ile işlevsel özellikleri değerlendirilmiştir. Protein konsantresi %47.5, izolat ise %78.01 gibi yüksek protein oranlarına sahipken, diğer unlar daha düşük protein içermektedir. Araştırmada pH ve sıcaklığın; su tutma, yağ bağlama kapasitesi ve çözünürlük gibi özellikler üzerinde belirleyici olduğu gösterilmiştir. Elde edilen sonuçlar, SFU'nun fonksiyonel gıdalar geliştirmek için besin değeri yüksek alternatifler sunduğunu ortaya koymaktadır.

Meenu vd. (2023) bu çalışmada, siyah fasulyenin zengin fenolik bileşikler, flavonoidler ve özellikle antosiyaninler içerdiği belirlenmiştir. Ayrıca, siyah fasulyenin işlenme süreçlerinin (örneğin pişirme, ıslatma, fermantasyon) bu faydalı bileşiklerin biyoyararlanımını ve kararlılığını etkileyebileceği vurgulanmıştır. Bu veriler, siyah fasulyenin fonksiyonel gıda ürünlerinde kullanılabilecek değerli bir içerik olduğunu ortaya koymaktadır.

Okakpu vd. (2024) bu çalışmada, SFU'nun %22.97 gibi yüksek protein ve %4.02 oranında diyet lifi içeriğiyle besleyici bir bileşen olduğu gösterilmiştir. Su tutma, yağ bağlama ve şişme kapasiteleri de oldukça iyi seviyelerde bulunmuş, bu da unun fonksiyonel gıda ürünlerinde kullanımına olanak tanımıştır. Ayrıca antinutrisyonel maddelerin kabul edilebilir düzeyde olması, insan tüketimi açısından güvenli olduğunu ortaya koymuştur.

2.10. Glutenli ve Glutensiz Gofret Üzerine Yapılan Çalışmalar

Doğan (2006), hem gofret hamurunun hem de gofret yapraklarının kalitesini etkileyen parametreleri incelemiştir. Bu çalışmada, hamur yoğunluğunun su ve gluten içeriği üzerinde bir etkisi olmadığı, ancak su içeriği ve hamurun bekleme süresinin viskoziteyi etkilediği ortaya konmuştur. Ayrıca, plakaların sıcaklığının pişirme süresini önemli

derecede etkilediği belirtilmiştir. Yüksek kaliteli gofret yaprakları için %155-165 su oranı, 170 °C pişirme sıcaklığı ve 2 dakika pişirme süresinin yeterli olduğu belirlenmiştir. Daha düşük sıcaklıklarda pişirilen gofret yapraklarının plakaya yapışıp birkaç parçaya ayrıldığı gözlemlenmiştir. Daha düşük su seviyeleri (<%145) ve 150 °C pişirme sıcaklığında sert tabakalar elde edilirken, %160'ın üzerindeki su seviyeleri ve daha yüksek sıcaklıklar (190 °C) ile kırılgan tabakalar ortaya çıkmıştır.

Hardacre vd. (2006), gevrek gofret üretimi için bezelye, mercimek, mısır ve mercimek-mısır formülasyonlarından elde edilen özel nişasta ve unları kullanmayı hedeflemişlerdir. Gofretlerin yoğunluğu, sertliği ve kabul edilebilirliği, bileşen formülasyonlarına göre değişmiş ve en kabul edilebilir ürünler mısır, mercimek ve bu karışımlarından üretilenler olmuştur. Duyusal analiz, %40-%80 arası mercimek unu içeren karışımların optimal kabul edilebilirliğe sahip olduğunu göstermiştir. Ayrıca, mercimek gofretlerinin glisemik yükü, mısır gofretlerine göre daha düşük bulunmuş ve mısır-mercimek karışımının karbonhidrat sindirim oranını ve glisemik potansiyeli düşürdüğü tespit edilmiştir. Bu sonuç, pişirilmiş nişastalı atıştırmalıkların glisemik etkisini azaltmak için tahıl unu bileşenlerinin harmanlanmasının olumlu bir yöntem olduğunu ortaya koymuştur.

Hempel vd. (2007), prebiyotik inulin eklemenin ve farklı un türlerinin gofret krakerlerinin kalite özellikleri üzerindeki etkilerini incelemiştir. Bu çalışmada, buğday, çavdar, kavuzlu buğday (spelt) unu ve bunların karışımları kullanılmıştır. Yer elmasından üretilen inulin şurubu, doğrudan dondurularak veya ultrafiltrasyon sonrası dondurularak iki formda kullanılmıştır. Un çeşidinin hamur viskozitesini etkilediği, kavuzlu buğday unu ve ultrafiltrasyon sonrası dondurulmuş inulin kullanımının gofret sertliğini artırdığı gözlemlenmiştir. Un türü gofret rengini etkilemezken, ultrafiltrasyon sonrasında dondurulan yer elması daha düşük parlaklık göstermiştir. Duyusal analizler, buğday ununun kısmen çavdar veya kavuzlu buğday unu ile değiştirilebileceğini, ancak duyusal kaliteyi olumsuz etkilemediğini göstermiştir.

Choi vd. (2013), buğday una esmer pirinç unu eklemenin waffle tipi gofretin kalite özelliklerine etkisini incelemiştir. Buğday ununa %0, %25, %50, %75 ve %100 oranlarında esmer pirinç unu eklenerek waffle tipi gofretler hazırlanmıştır. Esmer pirinç unlu gofretlerin ağırlığı 103.0-107.0 g arasında değişirken, kontrol grubunun

ağırlığı 100.0 g olmuştur. Esmer pirinç unu arttıkça gofretin ağırlığı artmış, hacim ve pişirme kaybı ise azalmıştır. Ayrıca, esmer pirinç unu eklenmesiyle sertlik, çiğnenebilirlik ($p<0.05$) ve esneklik düşerken, renk değerlerinden L* değeri azalmış, a*ve b* değerleri artmıştır. Duyusal değerlendirme, esmer pirinç unlu gofretlerin tat ve genel kabul edilebilirlik açısından en yüksek puanı aldığı sonucuna ulaşmıştır.

Tarasenko ve Krasina (2014), fonksiyonel beslenme için unlu mamul çeşitlerini geliştirmeyi amaçlamıştır. Yağ içeren dolgularla yapılan gofretler, yüksek yağ ve karbonhidrat, düşük protein içeriği, yüksek enerji kapasitesi ve düşük besin lifi, vitamin ve mikro element içeriğine sahip bulunmuştur. Bu bulgular üzerine, steviosit, pancar besin lifleri ve peyniraltı suyu kullanarak diyet fonksiyonlu gofretler üretme olasılığı araştırılmıştır. Şekerin tamamen steviosit ile değiştirilmesi ve peyniraltı suyu ile pancar besin lifleri eklenmesiyle bu mümkün olmuştur. Optimal steviosit miktarı %0.30, peyniraltı suyu ve pancar besin lifleri oranı ise 3:1 olarak belirlenmiştir.

Лозовая (2014) çalışmasında, geleneksel olmayan hammaddelerin gofret üretimindeki kullanılabilirliği ve uygunluğu incelenmiştir. Bu hammaddelerin ilavesi, gofretlerin besleyici ve biyolojik değerini artırmış, şeker ve kakao tozu miktarının azaltılmasına katkıda bulunmuştur. İrmik, ceviz yağı, doğal bal, ekstrüde edilmiş fasulye unu, kuşburnu çiçeği tozu, yaban mersini ve bergenya tozları ile yüksek oranda yağsız süt tozu içeren gofretler üretilmiştir. Bu ürünler, biyolojik değeri %7-15 oranında artırmış, alerjik reaksiyonlar ve yan etkiler gözlemlenmemiştir. Önerilen gofretler, toplu beslenme için uygun olup, ticari çalışmalar da besleyici ve organoleptik özelliklerinin iyileştiğini doğrulamıştır.

Kigozi vd. (2014), sorgum bazlı dondurma külahlarının tekstürünü optimize etmek amacıyla on beş farklı formülasyon denemiştir. Duyusal analiz ile tekstür, sertlik, gevreklik ve genel kabul edilebilirlik değerlendirilmiştir. En yüksek kabul edilebilirliğe sahip formülasyonlar F14 (%25 sorgum azalması) ve F9 (%14 su azalması) olmuştur. F14, en iyi tekstürü sağlayan formülasyon olarak kabul edilmiştir ve sorgum bazlı dondurma külahları için önerilmiştir.

Mert (2014) çalışmasında, pirinç ununun bir kısmını farklı glutensiz unlarla değiştirerek glutensiz gofret yaprağı formülasyonları oluşturmayı hedeflemiştir.

Pirinç-mısır unu, pirinç-karabuğday unu ve pirinç-kestane unu karışımları kullanılmış, kontrol olarak ise sadece pirinç ve buğday unu içeren gofretler değerlendirilmiştir. Hamurun reolojik özellikleri, gofret yapraklarının rengi ve dokusu incelenmiştir. Reolojik analizlerde, 60:40 oranında pirinç ve karabuğday unu karışımının kontrol numunesine en yakın akış davranışına sahip olduğu belirlenmiştir. Tekstür analizlerinde ise sadece pirinç-mısır unu içeren numunelerin daha sert olduğu tespit edilmiştir. Gofretlerin renk analizi, unların doğal renginin etkisini göstermiştir.

Huber ve Schoenlechner (2016) çalışmasında, farklı nişastalar ve şeker bileşenlerinin gofretlerin pişirme plakalarına yapışmaması üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Gofretlerin endüstriyel üretiminde, plakalarına yapışma sorunu, ürün kaybı, artan maliyetler ve enerji tüketimi gibi sorunlara yol açabilmektedir. Çalışmada, patates nişastası gofretlerin stabilitesini en fazla artırırken, pirinç unu en kötü performansı sergilemiştir. Şeker bileşenleri arasında gliserin, sorbitole göre daha uygun bulunmuş, kristal şeker ise pudra şekerine göre daha başarılı olmuştur. Gofret kalitesi, hamur bileşenleri ve pH, renk değerleri gibi faktörlerle ilişkili bulunmuştur. Yapışma davranışı, özellikle b* ve a* renk değerleriyle güçlü bir şekilde bağlantılıdır.

Tufan (2018) çalışmasında, buğday unu yerine keçiboynuzu, nohut, kuru fasulye ve mercimek unları ekleyerek gofret yaprağını çeşitlendirmeyi amaçlamıştır. Farklı un oranları (%10, %20, %30) ile yapılan denemelerde, baklagil unlarının hamurun özgül ağırlığı ve reolojik özellikleri üzerinde önemli bir fark yaratmadığı, ancak mercimek unu eklenen örneklerin en düşük kıvama sahip olduğu belirlenmiştir. Fırınlama sonrası baklagil unu içeren gofretlerin daha sert olduğu ve ağırlık kaybının arttığı gözlemlenmiştir. En kaliteli ürün ise %10 mercimek unu eklenen gofret yaprağı olmuştur.

Gül vd. (2019) çalışmasında, çölyak hastaları için glutensiz dondurma külahı üretmeyi ve farklı oranlarda (%0, %10, %20, %30) beyaz dut unu eklemeyi hedeflemişlerdir. Patates nişastası, pirinç unu, mısır unu ve mısır nişastasından (%45, %40, %8, %7) hazırlanan glutensiz gofret unları kullanılmıştır. Beyaz dut ununun eklenmesiyle nem, su aktivitesi ve pH değeri düşerken, mineral madde miktarı artmıştır. Çap, kalınlık ve gevreklik ölçütlerinde değişim gözlemlenmezken, renk değerleri yükselmiştir. Duyusal panelde, beyaz dut unu eklenen külahların duyusal nitelikleri ve satın

alınabilirlik puanları artmıştır. Sonuç olarak, beyaz dut unu, glutensiz dondurma külahı için uygun bir alternatif olmuştur.

Rozylo vd. (2019) çalışmasında, dondurularak kurutulmuş mürver ve aronya kullanarak glutensiz gofretler için doğal renklendiriciler geliştirmeyi amaçlamışlardır. Mürver tozu (L*=37.61), aronyadan (L*=41.01) daha koyu renkli ve düşük a* değerine sahip olmuştur. Meyve tozları %0-5 oranlarında eklenmiş ve %5 oranında eklenen mürver ve aronya tozları, sırasıyla L*, a*, b* değerleriyle karakterize edilmiştir. Bu oranlarla, mineral içeriği (demir, potasyum, kalsiyum, magnezyum ve sodyum) artmış ve mürver tozu içeren gofretlerde flavonoid içeriği yüksek bulunmuştur. Sonuç olarak, dondurulmuş mürver ve aronya gofretler için doğal renklendirici ve fonksiyonel bileşen olarak önerilmiştir.

Aksoy Toka (2020) çalışmasında, ahududu, yaban mersini, frenk üzümü, dut karışımı ve siyah havuç tozlarının farklı oranlarda (%0, %5, %10) %100 tam buğday unlu gofret yaprağına ilavesinin kalite üzerindeki etkilerini incelemiştir. Bitki ekstraktlarının pH ve viskozite değerlerinde belirgin bir değişiklik gözlemlenmemiştir. Gofretlerde yapılan kuru madde, asidiklik, su aktivitesi, ağırlık, rutubet, toplam fenolik madde, antioksidan kapasite, toplam antosiyanin, renk, tekstür ve duyusal analizler sonucunda, eklenen bitki ekstraktlarının gofret hamurunun fonksiyonel özelliklerini artırdığı ve duyusal özelliklerinde genel kabul edilebilirlik sağlandığı tespit edilmiştir.

Işık (2020) çalışmasında, çikolata kaplı gofretlerde çikolatanın reolojik özelliklerini iyileştirmek amacıyla ayçiçek lesitini (0.0-0.8g/100g) ve PGPR (0.0-0.2g/100g) kullanarak çeşitli çikolata numuneleri ile kaplanmış gofretlerin fiziksel, kimyasal ve duyusal nitelikleri incelenmiştir. Lesitin miktarındaki artış, plastik viskoziteyi düşürürken, PGPR eklenmesi akma noktasında azalmaya yol açmıştır. Endüstriyel üretimde, gofretler daldırma yöntemiyle çikolatayla kaplanmış ve soğutma tünelinde sertleşmiştir. Lesitin oranı arttıkça çikolata kaplama oranı değişmiş ve %0.5 ile %0.8 lesitinli numuneler, kaplama oranını %12.6'ya çıkarmıştır. Kaplama oranı ve reolojik parametreler arasında olumlu bir ilişki bulunmuş, çikolatanın reolojik özelliklerinin kaplama oranlarını etkileyip duyusal kaliteyi değiştirdiği gözlemlenmiştir. Formülasyonlarda emülgatör türü ve oranlarının dikkatle belirlenmesi gerektiği sonucuna varılmıştır.

Karataş (2021) yapmış olduğu çalışmada gofret yapraklarının nitel özelliklerinin geliştirilmesini, ayrıca gofret hamurlarında ultrason teknolojisinden faydalanılarak daha iyi bir yapının sağlanmasını hedeflemiştir. Ultrases uygulamasının gofret hamuruna uygulandığı bu çalışmada, farklı ultrason frekanslarının (25 kHz ve 40 kHz) pişirilmiş gofret yaprağının özellikleri üzerindeki etkileri incelenmiştir. Bu uygulama, işleme süreçlerini ve kalite özelliklerini düzenlemeyi amaçlayarak gözenekli bir dokunun artırılmasına yönelik olmuştur. Sonuçlar, özellikle 25 ve 40 kHz ultrason frekanslarının gofret özelliklerini değiştirdiğini göstermiştir. Bu uygulama, gofret ağırlığında azalmaya neden olurken, hamurun farklı sürelerde farklı viskozite değerleri göstermesini de sağlamıştır. Ayrıca, 40 kHz ultrases uygulamasının, istenmeyen gluten oluşumunu engelleme konusunda daha etkili olduğu belirlenmiş ve her iki ultrason uygulamasının da gofret tabakasının genel sertliğini azalttığı gözlenmiştir.

Nasabi vd. (2021) yaptıkları çalışmada buğdaydan farklı alternatif unların gofret hamurunun reolojik niteliklerinin yanı sıra gofret yapraklarının dokusal ve duyusal niteliklerindeki etkisini araştırmayı hedeflemişlerdir. Sonuçlar, en yüksek ağırlık ve nemi arpa ve yulaf unu içeren gofretlerde gözlendiğini göstermiştir. Mısır ununda farklı olarak buğday olmayan unların ilave edilmesi, kontrol hamuruyla karşılaştırıldığında daha yüksek bir viskoziteye yol açtığı sonucuna varılmıştır. Çavdar unu içeren gofret tüm numuneler arasında en düşük sertliğe ve en yüksek gözenekliliğe (%88.2) ulaşılmıştır. Buğday dışı unlar gofretin besin değerini iyileştirir; ancak bu unların gofrete eklenmesi gofret hamurunun reolojik özelliklerini ve son ürün kalitesini değiştirebilir. Test edilen alternatif buğday dışı unlar arasında mısır unu, gofret hamurunun en önemli niteliklerinden viskozite ile buğday ununa en yüksek paralelliği göstermiştir. Elde edilen sonuçlardan sonra besinsel özellikleri iyileştirilmiş gofrette buğday dışı alternatif unların kullanılması mümkün olabilir.

Altınok vd. (2022) çalışmasında, üzüm kabukları ve çekirdeklerinden elde edilen üzüm posasının, gofret yaprağında buğday unu yerine kısmi olarak kullanılmasının işlevselliği nasıl iyileştirdiği araştırılmıştır. Üzüm posasının %5, %10 ve %15 oranlarında eklenmesi, hamurun akışkanlığını etkilemiş, daha yumuşak ve viskoz hamurlar elde edilmiştir. Üzüm posası eklenmesi, renk değerlerinde koyulaşma (L* düşüşü, a* artışı) ile sonuçlanmıştır. Simüle sindirim koşullarında, üzüm posası

eklenmiş örneklerde fenolik bileşiklerin biyoerişilebilirliği artmıştır. Duyusal analizlerde ise pürüzsüzlük ve gevreklik değişmiş, üzüm posası miktarının artışıyla gevreklik artmıştır. Sonuç olarak, %5 üzüm posası ile buğday unu değiştirilerek daha işlevsel ve besin değeri yüksek gofretler elde edilebileceği bulunmuştur.

Naderi vd. (2023) çalışmasında, yüksek proteinli buğday unu kullanıldığında gofret hamurunda sert doku ve düzensiz şekiller oluştuğu gözlemlenmiştir. Bu nedenle, hemiselülaz, proteaz ve α-amilaz gibi enzimlerin gofret hamuruna eklenmesinin kimyasal ve reolojik özellikler ile dokusal değişimler üzerindeki etkileri incelenmiştir. Hemiselülaz enzimi, en düşük su tutma kapasitesine (%47 ± 0.20) yol açarken, en düşük kıvam katsayısı ve en yüksek akış indeksini de göstermiştir. Sonuç olarak, hemiselülaz ve α-amilaz enzimlerinin eklenmesi, güçlü undan yapılan gofretlerin, yumuşak unla yapılanlarla benzer şekilde daha hafif olmasını sağlamıştır. Bu enzimlerin kullanımı, güçlü un kullanımına bağlı teknolojik zorlukları çözmede etkili olmuştur.

Özdemir vd. (2022) çalışmasında, keçiboynuzu pekmezi posasının (CMP) kurutulup dondurma külahı formülasyonunda buğday ununun yerine kullanılarak külahların kimyasal, fiziksel ve duyusal özellikleri incelenmiştir. Sonuç olarak, CMP'nin dondurma külahlarının lif içeriğini (%29.30), toplam fenolik içeriğini (%3.05) ve antioksidan aktivitesini (%0.91) artırdığı belirlenmiştir. %15 CMP eklenmesiyle, külahların L* değeri düşerken kakao rengi ve gevreklik artmıştır. Duyusal değerlendirmelerde kahverengi rengi beğenilmiş, diğer niteliklerde değişim gözlemlenmemiştir. CMP ilaveli külahlar daha besleyici ve beğenilen ürünler olmuştur.

Bakmaz (2023) çalışmasında havuç, bezelye, selüloz, buğday ve çay diyet liflerinin farklı miktarlarda (%5, %10, %15) gofret yaprağının üretiminde eklenmesi ile gofret yaprağı kalitesine etkilerinin araştırılması hedeflenmiştir. Bu kapsamda, diyet lifi eklenmiş unlardan gofret yaprakları üretilmiş ve bu karışımların farinograf ve mixolab analizleri yapılmıştır. Ayrıca, diyet lifi içeren gofret yaprağı numunelerinin renk, doku, duyusal nitelikler ve toplam diyet lifi içeriğini belirlemek için analizler gerçekleştirilmiştir. Araştırma sonuçları, çay proses artığının zengin diyet lifi ve fenolik bileşenlere sahip bir hammadde olduğunu göstermiştir. %10 çay diyet lifi

ilavesi ile yapılan, tekstürel özellikler açısından uygun bir ürün elde etme ve tadı bakımından kabul edilebilir bir gofret yaprağı üretmenin mümkün olduğunu göstermiştir. Ayrıca suda çözünmeyen diyet liflerinin, gofret yaprağı üretiminde işe yarar bir ana madde olduğu sonucuna varılmıştır.

Gül vd. (2023) çalışmasında, Aydın ve İzmir'den alınan 16 dondurma külahının fiziksel, kimyasal, dokusal, mikrobiyolojik ve duyusal özellikleri incelenmiştir. Külahların boy, çap ve kalınlıkları sırasıyla 90.48-130.44 mm, 43.26-53.22 mm, 4.51-8.76 mm arasında değişmiştir. Ortalama nem, kül ve su aktivitesi değerleri %6.72, %1.18 ve 0.37 olarak belirlenmiştir. Renk ve sertlik-kırılganlıkta büyük bir fark gözlemlenmemiştir. *E.coli* tespit edilmezken, Aydın örneklerinde koliform ve maya-küf miktarları İzmir örneklerine göre daha yüksektir. Duyusal analizler, tüketici tercihlerini genel kabul edilebilirlik açısından benzer bulmuştur.

Gül vd. (2024) çalışmasında, çölyak hastası çocuklar için Isparta gülü yaprağı unu (GYU) ile zenginleştirilmiş kabul edilebilir kaliteli glutensiz dondurma külahı geliştirilmesi hedeflenmiştir. Araştırmada, GYU içeren glutensiz dondurma külahlarının mineral madde, diyet lif, fenolik madde ve antioksidan aktivite açısından glutenli ve glutensiz külahlarla kıyaslandığında daha yüksek değerlere sahip olduğu bulunmuştur. %10 GYU ile yapılan ikame sonucunda teknolojik ve duyusal açıdan kabul edilebilir bir ürün elde edilmiştir. Bu bulgular, GYU'nun glutensiz gıda ürünlerinin besin içeriğini zenginleştirebileceğini göstermektedir.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Materyal

Glutensiz gofret yapraklarının üretiminde kullanılan SNU Aktarloji Doğal Ürünler (Antalya)'den, SPU Aktarix Bitkisel Ürünler (Antalya)'den, SFU İngro Gıda Bilişim Pazarlama (Karaman)'dan, pirinç unu Isparta merkezdeki yerel bir tedarikçiden temin edilmiştir. Glutenli gofret yapraklarının üretiminde kullanılan gofretlik un Çağ Un (Kırşehir)'dan temin edilmiştir. Bitkisel sıvı yağ ve kabartma tozu yerel tedarikçilerden, ksantan gam Selim Esans Deposu Kimyevi Maddeler İthalat ve Toptan Dahili Ticaret Ltd. Şti (İzmir)'den, toz formundaki soya lesitini Katkı Dünyası'ndan temin edilmiştir. Tuz (TS 933, TSE, 2003) Yemeklik Tuz Standardı'na göre piyasadan temin edilmiştir. Gofret yapraklarının hazırlanmasında Süleyman Demirel Üniversitesi Tahıl İşleme Teknolojisi Laboratuvarı'nda ki çeşme suyu kullanılmıştır. Gofret yapraklarını pişirmek için 'Remta' marka kornet pişirici kullanılmıştır.

3.2. Yöntem

3.2.1. Gofretlik unda ve glutensiz unlarda yapılan fiziksel ve kimyasal analizler

Gofretlik buğday ununda ve glutensiz unlarda (SPU, SNU, SFU ve pirinç unu) fiziksel ve kimyasal özelliklerin belirlenebilmesi amacıyla, nem (AACC Metot, 44-01, 2000), kül (AACC Metot, 08,01, 2000), toplam diyet lif (AACC Metot 32- 05.01), toplam fenolik madde (Tatar, 2017), antioksidan aktivite (Aksoylu, 2012), protein (Dumas, 1831), pH **(**AACC Metot 02-52.01), su aktivitesi ve renk tayini analizleri yapılmıştır. Gofretlik buğday ununda ayrıca yaş ve kuru gluten (AACC Metot 38-10, 2000), Zeleny sedimantasyon testi (AACC Metot 56-60, 2000), gecikmeli Zeleny sedimantasyon testi (Greenaway vd., 1965), amilaz aktivitesi -düşme sayısı olarak- (AACC Metot 56-81.03, 2000) analizleri yapılmıştır. Aşağıda bu analizlere ilişkin ayrıntılı açıklamalar verilmiştir.

3.2.1.1. Nem tayini

Nem tayini AACC Metot 44-01.01 (AACC, 2000)'e göre uygulanmıştır. Daha önce sabit tartıma getirilip darası alınan kaplara 2- 3 gram örnek tartılmış ve etüvde (Wiseven, Won-105, Kore) 135 °C' de 2 saat kurutularak su kaybı belirlenip, % nem miktarı hesaplanmıştır.

3.2.1.2. Kül tayini

Kül tayini bir gıda maddesinin içerdiği inorganik madde miktarını (mineral içeriğini) belirlemek için yapılmaktadır. "Kül" burada yandığında geriye kalan, organik olmayan mineral artıkları ifade etmektedir. Kül tayini AACC Metot, 08-01.01, 2000 'e göre yapılmıştır. Örnekler 2-3 gram tartılıp porselen krozelere konulmuştur. Üzerine 2-3 mL etil alkol konularak ön yakma işlemi uygulanmıştır. Bu işlemden sonra kül fırınında (Nüve, MF10, Ankara) 900 °C siyah leke kalmayıncaya kadar ikinci yakma işlemi uygulanmıştır. Desikatörde soğutulduktan sonra krozelerde kalan kül miktarının tartılmasından sonra çıkan sonuçlar % kül olarak hesaplanmıştır.

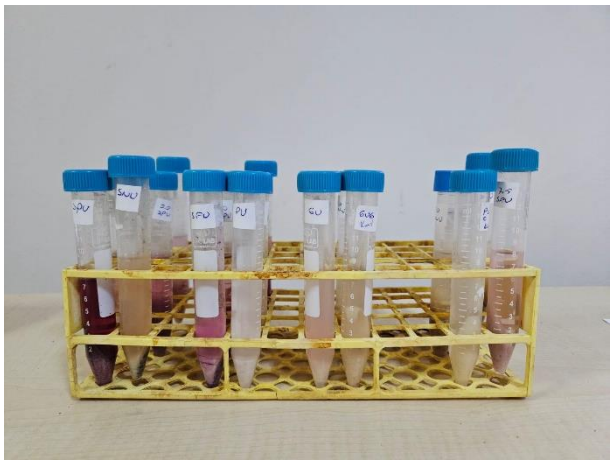
3.2.1.3. Toplam diyet lif analizi

AACC Metot 32- 05.01 (AACC, 2000)'e göre yapılmıştır. Toplam diyet lif test kiti (Megazyme International İrlanda) kullanılmıştır. 0.25 gram örnek, falkon tüpüne tartıldıktan sonra, üzerine 24 °C sıcaklıkta ve pH 8.2'de hazırlanmış MES-TRIS (Sigma) tampon çözeltisi ilave edilmiştir. Numune, DLAB (ABD) marka vorteks karıştırıcıda 1 dakika süreyle homojenize edilmiştir. Ardından, tüpe 12.5 µL α-amilaz çözeltisi eklenmiş ve karıştırma işleminin ardından 95–100 °C'deki çalkalamalı su banyosuna (Daihan, Kore) yerleştirilerek inkübasyona bırakılmıştır. İnkübasyon süresi sonunda tüpler banyodan çıkarılmış ve hızlıca 60 °C'ye soğutulmuştur. Bu aşamadan sonra tüplere 2.5 mL distile su ile birlikte 40 µL proteaz çözeltisi eklenmiş ve numuneler 60±1 °C'de 30 dakika süreyle yeniden inkübe edilmiştir. İnkübasyon sonunda, her örneğe 1.25 mL 0.561 N HCl çözeltisi ilave edilerek karıştırılmış ve ardından 60 µL amiloglukooksidaz çözeltisi eklenmiştir. Numuneler tekrar 60 °C'de 30 dakika inkübasyona alınmıştır. Bu işlemin ardından tüpler, 60 °C sıcaklıktaki %95

etanol ile yıkanarak erlene aktarılmış ve çökelmenin sağlanması amacıyla oda sıcaklığında 60 dakika bekletilmiştir. Çöken enzim kalıntıları, darası alınmış Gooch krozelerine aktarılmış ve Buchner hunisi ile birlikte vakum pompası kullanılarak filtrasyon işlemi gerçekleştirilmiştir. Falkon tüplerinde kalan partiküller, %78 etanol çözeltisi ile Gooch krozelerine yıkanmış ve ardından sırasıyla 7 mL %78'lik etanol, %95'lik etanol ve aseton ile yıkama işlemi uygulanmıştır. İçinde kalıntı bulunan Gooch krozeleri, 105 °C'de bir gece boyunca kurutulmuş ve ardından soğutularak tartılmıştır. Son olarak, 525 °C'de 2 saat süreyle yakılan krozelerde kalan kül miktarı belirlenmiş ve bu veriler kullanılarak % toplam diyet lif oranı hesaplanmıştır.

3.2.1.4. Toplam fenolik madde ve antioksidan aktivite analizleri

Örneklerden fenolik bileşenleri ekstrakte etmek amacı ile 1 g örnek üzerine 10 ml etanol: asetik asit: su (50:8:42) karışımından ilave edilmiştir. Daha sonra Ultraturrax (Cat x120, Germany)'da 10,000 rpm'de 2 dak parçalanmıştır. Daha sonra santrifüj (Hermle Z 206 A, Germany) edilerek (10,000 rpm, 30 dakika) sıvı kısım filtre edilerek alınmıştır (Şekil 3.1.) (Tatar, 2017).



Şekil 3.1. Ekstrakte edilmiş örnekler

Ekstraktların elde edilmesinden sonra toplam fenolik madde analizi amacıyla süzüntülerden 40 µl alınmış; üzerine önce 2400 µl su, ardından 200 µl Folin-Ciocalteau çözeltisi ilave edilmiştir. Bu işlemden 30 saniye sonra 600 µl doymuş sodyum karbonat çözeltisi ve 760 µl su eklenmiş, karışım hızlıca çalkalanarak homojen hale getirilmiştir (Şekil 3.2.). Hazırlanan karışım, karanlık bir ortamda 2 saat boyunca

bekletildikten sonra, 765 nm dalga boyunda spektrofotometrede absorbans ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Ölçüm sonuçları, gallik asit çözeltisi ile oluşturulan kalibrasyon eğrisine göre değerlendirilmiştir. Elde edilen veriler, g GAE/kg birimiyle ifade edilmiştir.



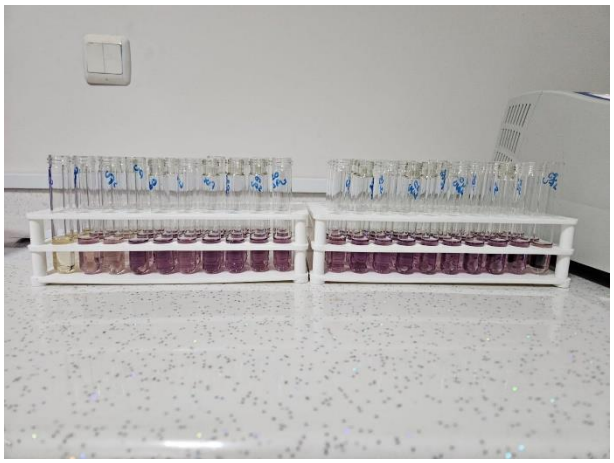
Şekil 3.2. Fenolik madde analizi okuma öncesi

Antioksidan aktivite analizi, 2,2-difenil-1-pikrilhidrazil (DPPH) radikal süpürme yöntemi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla, ekstraktlar ve süpernatantlardan her birinden 200 µl alınmış ve üzerine 3.8 ml seyreltilmiş DPPH çözeltisi eklenmiştir. Karışım, 15 saniye boyunca vortex cihazında çalkalandıktan sonra oda sıcaklığında ve karanlık ortamda 60 dakika bekletilmiştir (Şekil 3.3.). Süre sonunda örneklerin absorbans değerleri spektrofotometrede 515 nm dalga boyunda ölçülmüştür. Kontrol grubu için ise örneklerin çözücüsü kullanılarak aynı işlem uygulanmış ve kontrol absorbansı kaydedilmiştir (Aksoylu, 2012). Antioksidan aktivite, yüzde inhibisyon (%) cinsinden hesaplanarak ifade edilmiştir.

Toplam Antioksidan Aktivite (%) = (1-(örnek/kontrol)) x100 (3.1)

Örnek: Örneğin 515 nm'de okunan absorbans değeri

Kontrol: Kontrolün 515 nm'de okunan absorbans değeri



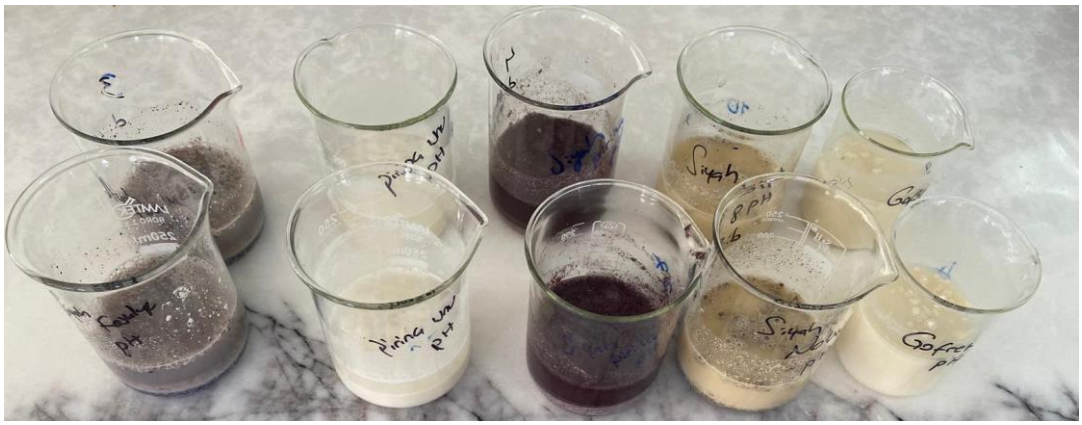
Şekil 3.3. Antioksidan aktivite analizi okuma öncesi

3.2.1.5. Protein miktarı analizi

Protein miktarının tayininde, Dumas yanma yöntemi kullanılmıştır. Analiz Gerhardt Dumatherm marka cihaz ile gerçekleştirilmiştir. Bu yöntem, organik örneklerdeki toplam azot miktarını belirleyerek dolaylı yoldan % protein miktarının hesaplanmasına dayanmaktadır.

3.2.1.6. pH ölçümü

AACC Metot 02-52.01 (AACC, 2000)'e göre örnekten 10 g alınarak 100 mL damıtılmış su ile karıştırılmış ve homojen bir karışım elde edilmiştir (Şekil 3.4.). Karışım, yarım saat bekletildikten sonra pH ölçümü OHAUS ST 300 model pH metre kullanılarak yapılmıştır. Ölçüm öncesinde cihaz, pH 4.00, 7.00 ve 10.00 tampon çözeltileri ile kalibre edilmiştir. Ölçüm sırasında elektrot karışıma daldırılmış ve sabit değer okunarak sonuç kaydedilmiştir.



Şekil 3.4. pH analizi için örnek hazırlığı

3.2.1.7. Su aktivitesi

Su aktivitesi ölçümü, Novasina LabSwift-Aw cihazı (Novasina AG, Lachen, İsviçre) kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Ölçüm öncesinde cihaz, üretici firmanın önerdiği standart tuz çözeltileri ile kalibre edilmiştir. Örnekler, cihazın numune kabına yerleştirilmiş ve yaklaşık 25 °C sabit sıcaklıkta ölçüm yapılmıştır (Şekil 3.5.). Cihaz, ürün ile çevresi arasında denge sağlandıktan sonra kapasitif sensör aracılığıyla su aktivitesi değerini otomatik olarak belirlemiştir.



Şekil 3.5. Su aktivitesi ölçümü için örnek hazırlığı

3.2.1.8. Yaş gluten, kuru gluten ve gluten indeks değerlerinin belirlenmesi

Gofretlik buğday unu örneğinden 10 gram alınarak üzerine 5 mL %2'lik tuzlu su çözeltisi eklenmiş ve porselen havanda iyice yoğurularak hamur hazırlanmıştır. Hazırlanan hamur, el yardımıyla yuvarlanarak şekillendirilmiş ve ardından yavaşça akan çeşme suyu altında, avuç içinde bastırılarak yıkanmıştır. Yıkama işlemi, hamurdaki nişasta ve çözünür proteinlerin tamamen uzaklaştırılması sağlanana kadar sürdürülmüştür. Yıkama işlemi, yalnızca elastik bir gluten kütlesi kalıncaya kadar devam etmiştir. Geriye kalan gluten kütlesi toplanarak tartılmış ve elde edilen değer 10 ile çarpılarak numunedeki yaş gluten yüzdesi hesaplanmıştır. Bu analiz, AACC Metodu 38-10.01 (2000) referans alınarak gerçekleştirilmiştir. Elde edilen yaş gluten, gluten indeks cihazında (Ekin Gıda, Ankara) yer alan elek sistemine yerleştirilerek dakikada 6000 devir hızla santrifüj işlemine tabi tutulmuştur. Cihaz, yaş glutenin merkezkaç kuvvet etkisiyle gluten bağ yapısı zayıf olan bölümlerini eleğin altına geçirecek şekilde çalışmakta ve böylece glutenin fiziksel dayanıklılığına ilişkin bir ayırım yapmaktadır. Santrifüjleme işleminin ardından, kasetin üst ve alt bölmelerinde biriken gluten fraksiyonları ayrı ayrı tartılmış ve gluten indeksi, ilgili formüle göre hesaplanmıştır (AACC Metot 38-12.02, 2000).

Yaş Gluten ağırlığı (g)= Sağlam gluten (g) + Çürük gluten (g) (3.2)

% Yaş gluten = [Yaş gluten ağırlığı (g) / Un örneğinin ağırlığı (g)] x 100 (3.3)

% indeks= Sağlam gluten/ toplam gluten x 100 (3.4)

Gofretlik buğday ununda kuru gluten oranını belirlemek amacıyla Glutork cihazı (Ekin Gıda, Ankara) kullanılmıştır. Daha önce elde edilen yaş gluten örnekleri, cihazın haznesine yerleştirilmiş ve 5 dakika boyunca ısı uygulanarak içerisindeki suyun buharlaşması sağlanmıştır. İşlem sonunda kuruyan gluten örneği tartılmış ve elde edilen kütle değeri ilgili formülde kullanılarak kuru gluten oranı yüzde (%) olarak hesaplanmıştır. Bu analiz, AACC Yöntemi 38-12.02 (2000) esas alınarak gerçekleştirilmiştir ve ilgili formüle göre hesaplanmıştır.

% Kuru gluten = [Kuru gluten ağırlığı (g) / Un örneğinin ağırlığı (g)] x 100 (3.5)

3.2.1.9. Zeleny sedimantasyon testi

Sedimentasyon tayini, Tekpa (Ankara) üretimi sedimentasyon cihazı kullanılarak ve AACC Metodu 56-60.01 (AACC, 2010) esas alınarak gerçekleştirilmiştir. Analiz için 3.2 gram un, 100 mL hacimli kapaklı bir mezüre tartılmıştır. Üzerine 50 mL bromfenol mavisi çözeltisi ilave edilmiş ve ilk 5 saniye içinde mezür 12 kez çalkalanarak un ile çözeltinin homojen bir şekilde karışması sağlanmıştır. Hazırlanan karışım, sedimentasyon cihazına yerleştirilerek 5 dakika boyunca çalkalanmıştır. Bu sürenin ardından, karışıma 25 mL laktik asit çözeltisi eklenmiş ve mezürün kapağı kapatılarak tekrar 5 dakika süreyle cihazda çalkalanmaya bırakılmıştır. İşlem tamamlandıktan sonra mezür düz bir zemine yerleştirilmiş ve 5 dakika beklenerek çöken kısmın hacmi mililitre (mL) cinsinden okunmuştur.

3.2.1.10. Gecikmeli zeleny sedimantasyon testi

Gecikmeli sedimentasyon tayini, AACC Metodu 56-60.01 (AACC, 2000) esas alınarak gerçekleştirilmiştir. Analiz için 3.2 gram un, 100 mL hacmindeki kapaklı mezüre tartılmıştır. Ardından 50 mL bromfenol mavisi çözeltisi eklenmiş ve ilk 5 saniye içerisinde mezür 12 kez çalkalanarak homojen bir karışım elde edilmiştir. Karışım, sedimentasyon cihazında 5 dakika boyunca çalkalanmış, ardından 37 °C sıcaklıktaki etüve yerleştirilerek 2 saat süreyle inkübasyona bırakılmıştır. İnkübasyon süresinin sonunda karışıma 25 mL test çözeltisi ilave edilmiş ve yeniden 5 dakika çalkalama işlemi uygulanmıştır. Son olarak, mezürler düz bir yüzeye alınarak 5 dakika bekletilmiş ve dibe çöken hacim ölçülerek gecikmeli sedimentasyon değeri mL cinsinden kaydedilmiştir.

3.2.1.11. Amilaz aktivitesi -düşme sayısı- tayini

Cihazın (FN-FFN 211, Ekin Gıda, Ankara) su banyosuna üst kenarından 2- 3 cm aşağıda olacak şekilde saf su ilave edilmiştir ve 100 derecede kaynatıldıktan sonra %15 nem esasına göre 7 gram un tüpe konulmuştur ve üzerine 20- 25 derece sıcaklıkta 25 ml saf su ilave edilerek tüpün ağzı tıpa ile kapatılarak 20- 30 kere çalkalanmıştır. Tıpa çıkartılarak viskozimetrenin karıştırıcısı yerleştirilerek tüp cihaza konulmuştur. 5

saniye sonra cihazın motoru çalışmaya başlamış ve 60 saniyede serbest kalan karıştırıcı kendi ağırlığı ile süspansiyon içine batmıştır. Karıştırıcı derinliği ulaştığında zaman otomatik olarak durmuş ve alarm zili çalmıştır. Karıştırıcının belli aralığa kadar batması için geçen süre saniye olarak düşme sayısı olarak alınmıştır (AACC Metot 56-81.03, 2000).

3.2.1.12. Renk tayini

Renk ölçüm analizlerinde renk ölçüm cihazı (Minolta CR-410, Minolta Co Ltd., Tokyo, Japonya) kullanılmıştır. Düz bir zeminde örneklerin üç farklı noktasından ölçüm yapılarak renk bileşenleri L* (parlaklık, açıklık-koyuluk), a* (kırmızılık) ve b* (sarılık) ve değerleri ölçülmüştür (Nasabi vd., 2021).

3.2.2. Gofret hamurunda yapılan analizler

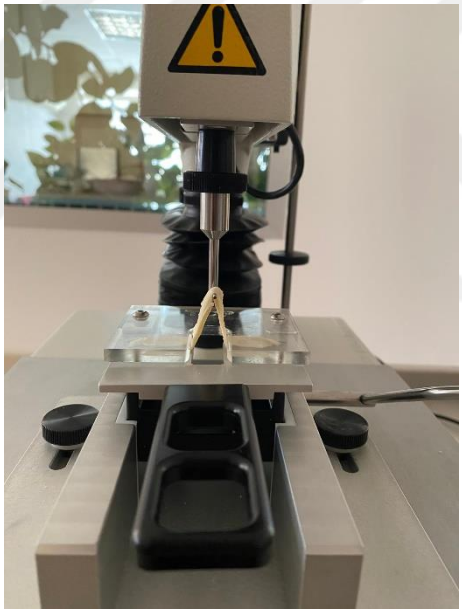
3.2.2.1. Farinograf analizi

Hamurun yoğurmaya karşı direnci, stabilitesi, gelişme süresi ve yumuşama derecesi hakkında bilgi vermektedir. Gofret unu ilave edilmiş un karışımlarının su absorbsiyonu ve hamur yoğurma sırasındaki reolojik özellikleri Farinograph- E cihazında (Ekin Gıda, Ankara) AACC Metot 54- 21 (AACC, 2000)'e uygun olarak üç tekrarlı olarak analiz edilmiştir.

3.2.2.2. SMS/Kieffer hamur ve gluten uzayabilirlik analizi

Gofretlik buğday unu ile hazırlanan hamurun tekstür özellikleri, TA.XT Plus Tekstür Analiz Cihazı (Stable Micro Systems Ltd., Godalming, Surrey, İngiltere) ile analiz edilmiştir. Ölçümler sırasında, SMS (Stable Micro Systems) /Kieffer hamur ve gluten uzayabilirlik probu (SMS/Kieffer Dough and Gluten Extensibility Rig) kullanılmıştır. Uygulanan yöntemle, hamurun uzamaya karşı direnci (Rmax), uzayabilirlik (Ext) ve eğri altındaki alan (ARmax/Ext) değerleri belirlenmiştir (Kieffer vd., 1998). Her bir analiz için 9.73 g un, 0.2 g tuz ve farinograf sonucuna göre belirlenen miktarda su porselen havanda 2 dakika karıştırılarak hamur haline getirilmiştir. Elde edilen hamur,

aspir yağıyla yağlanmış Kieffer uzayabilirlik düzeneğine ait kalıplara yerleştirilmiştir. Kalıbın üst parçası kapatıldıktan sonra alt ve üst parçalar mengeneyle bastırılmış; kalıptan taşan hamurlar plastik spatula yardımıyla temizlenmiştir. Hamurun nem kaybını önlemek ve yapısal gevşemesini sağlamak amacıyla, hazırlanan örnekler 40 dakika boyunca dinlendirilmiştir. Dinlenme süresinin ardından üst kalıp dikkatlice geriye doğru kaydırılmış, şerit şeklindeki hamur parçaları spatula yardımıyla düzenek üzerine alınarak test için hazırlanmıştır. Cihazın çengel biçimindeki ucu, hamura temas edip belli bir uzamayı sağladıktan sonra hamurun kopmasıyla ölçüm tamamlanmıştır (Şekil 3.6). Yönteme ait cihaz parametreleri ise şu şekilde ayarlanmıştır: ön test hızı 1.0 mm/s, test hızı 3.3 mm/s, son test hızı 10.0 mm/s, test mesafesi 75 mm, trigger kuvveti 5 gram ve veri toplama hızı 200 pps' dir.



Şekil 3.6. Hamurun düzenekte uzatılması

3.2.2.3. Hamur yapışkanlığının belirlenmesi

Hamur örneklerinin yapışkanlık özelliklerini belirlemek amacıyla, TA.XT Plus Tekstür Analiz cihazı (Stable Micro System Ltd., Godalming, Surrey, İngiltere) kullanılmıştır. Bu analizde, 25 mm çapındaki silindirik prob (P/25P) ve SMS/Chen-Hoseney Dough Stickiness Cell (A/DSC) yöntemi uygulanmıştır. Hazırlanan hamur numuneleri, Chen-Hoseney sistemine ait özel hamur halkasına yerleştirilmiş ve

ardından delikli bir kapakla üzeri kapatılmıştır. Kapakta yer alan açıklıktan yaklaşık 1 mm kadar hamur çıkışı gözlemlenmiştir. Bu kısmın nem kaybını önlemek amacıyla Disk ile kapatılarak nem kaybı önlenmiştir ve15 saniye dinlendirilmiştir. Dinlenme süresi sonunda plastik disk kaldırılarak hamur halkası cihazın test hücresine yerleştirilmiştir. Yapışkanlık değerleri, cihazdan elde edilen kuvvet-zaman grafiği aracılığıyla değerlendirilmiştir. Grafikte görülen pozitif maksimum kuvvet (g), hamurun prob yüzeyine uyguladığı yapışma kuvvetini göstermektedir. Eğrinin altında kalan pozitif alan (g.s), hamur ile prob arasındaki yapışma enerjisini temsil ederken; hamurun probdan ayrıldığı mesafe (mm), hamurun esneklik özelliklerini ve yapısal dayanımını ifade etmektedir. Bu mesafe, hamurun iç gücü (cohesiveness) ile probun uyguladığı kuvvet arasındaki oranı tanımlar (Chen ve Hoseney, 1995).

3.2.2.4. Hamur yoğunluğu

Hamurun veya eşit hacimdeki suyun 100 ml'lik dereceli silindire konulup tartılmasıyla elde edilen ağırlıkların oranlanması yoluyla hesaplama yapılmıştır (Doğan, 2006).

3.2.3. Gofret yaprağı ön denemeleri

Karıştırma kabına su, sodyum bikarbonat ve tuz eklenmiştir. Sonrasında sodyum bikarbonat ve tuz iyi bir şekilde çözünene kadar 30 saniye el mikseri ile karıştırılmıştır. Elde edilen karışıma glutensiz un karışımları ile ksantan gam eklenerek 90 saniye karıştırılmıştır. En son aşamada karışıma bitkisel yağ ve lesitin ilave edilerek 60 saniye daha çırpılmıştır. Hamur sıcaklığı 22±1 °C'de sabit tutulup daha sonra hamurlar 18±1 g ağırlığında tartılarak laboratuvar tipi gofret pişirme makinasında (Remta kornet pişirici, Remta Makine İthalat İhracat Sanayi ve Tic. Ltd, Şti, İstanbul, Türkiye) ön çalışmalar sonucunda belirlenen sıcaklık ve sürede (300 ˚C'de 80±5 saniye) pişirilmiştir. Ancak pişirilme sonucunda gofret yapraklarında istenilen sonuç alınamamış ve gofret yaprakları makinaya yapışmıştır.

Ön denemelerde SPU, SNU ve SFU kullanılmıştır. Bileşenlerin optimizasyonu için karışım tasarımı (simple-mixture) kullanılmıştır. Bu amaçla çalışma kapsamında bağımsız değişken olarak SNU (X1;0-1), SFU (X2;0-1) ve SPU (X3;0-1) seçilerek ve

bu bileşenler ile kısıtlı bir karışım tasarımı X1+ X2+ X3=1 olacak şekilde geliştirilmiştir. Bu kapsamda 3 faktörlü ve 3 seviyeli basit regresyon modelleri oluşturulmuş üretimde kullanılacak karışım deney tasarımını belirlenmiştir. Deney tasarımında kullanılan oranlar ve başarı durumları incelendiğinde, %33 PU - %67 SPU, %50 PU - %50 SPU ve %25 PU - %75 SPU oranlarında hazırlanan gofret yapraklarının istenilen nitelikte olmadığı görülmüştür. Benzer şekilde, %33 PU - %67 SNU, %50 PU - %50 SNU ve %25 PU - %75 SNU oranlarında elde edilen gofret yaprakları da istenilen nitelikte bulunmamıştır. Ayrıca, %33 PU - %67 SFU, %50 PU - %50 SFU ve %25 PU - %75 SFU oranlarında hazırlanan gofret yapraklarının da istenilen niteliklere sahip olmadığı tespit edilmiştir. Deneme sonuçlarına bakılarak ilave edilecek SPU, SNU ve SFU oranlarının pirinç ununa göre daha düşük olması gerektiği sonucuna varılmıştır. Gofret yaprağı niteliği taşıyabilmesi için karar verilen oranlar SNU, SPU ve SFU glutensiz un karışımında %7.5, %10, %20 ve %30 oranlarında ilave edilerek gofret yapraklarının üretilmesi olmuştur.

3.2.4. Gofret yaprağı üretimi

Gluten içeren gofret yaprakları, Gül vd. (2019) çalışmalarında belirtilen yöntem temel alınarak üretilmiştir. Glutensiz gofret yaprağı üretiminde ise, Gül vd. (2019) ile Rozylo vd. (2019) tarafından önerilen oranlar esas alınarak uygun yöntem belirlenmiştir. Glutenli ve glutensiz gofret yaprağı üretiminde kullanılan formülasyonlar Çizelge 3.1. 'de sunulmuştur. Her iki ürün türünde kullanılan su miktarları farklılık göstermektedir; bu farkın temel nedeni, SPU, SNU ve SFU'larının yüksek lif içeriğidir (Kushwaha, 2016; Demirkesen-Bıçak vd., 2018; Ferreira vd., 2018; Summo vd., 2019; De Pasquale vd., 2021).

Çizelge 3.1. Glutenli/glutensiz gofret yaprağı üretiminde kullanılan formülasyon

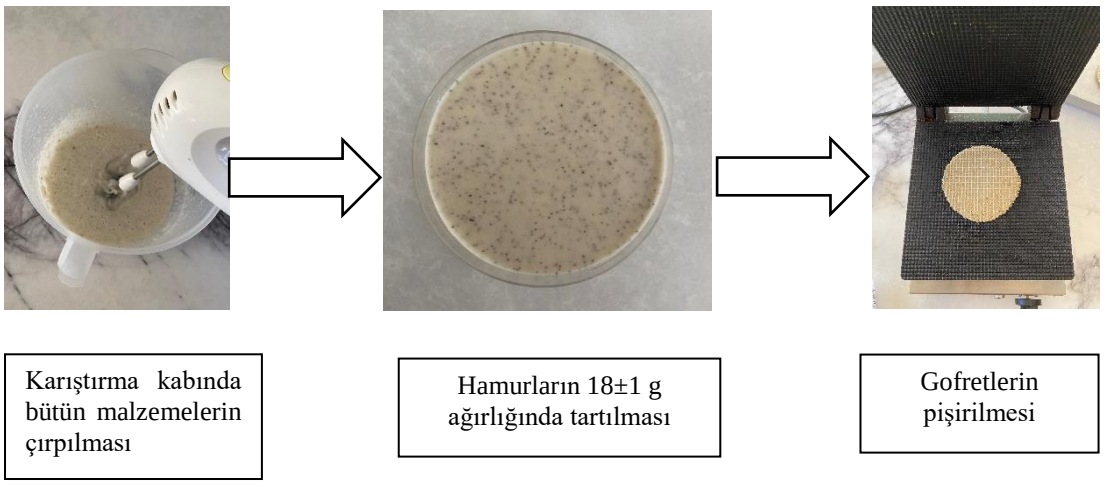
Bileşenler	Glutenli	Glutensiz	%7.5	%10	%20	%30
Gofretlik buğday unu	100 g	-	-	-	-	-
Su	155 ml	170 ml	170 ml	170 ml	170 ml	170 ml
Bitkisel yağ	1 ml	2.5 ml	2.5 ml	2.5 ml	2.5 ml	2.5 ml

Çizelge 3.1. Glutenli/glutensiz gofret yaprağı üretiminde kullanılan formülasyon(devamı)

Sodyum bikarbonat	0.4 g	0.5 g	0.5 g	0.5 g	0.5 g	0.5 g
Lesitin	0.5 g	0.5 g	0.5 g	0.5 g	0.5 g	0.5 g
Tuz	0.5 g	0.3 g	0.3 g	0.3 g	0.3 g	0.3 g
Ksantan gam	-	0.5 g	0.5 g	0.5 g	0.5 g	0.5 g
Pirinç unu	-	100 g	92,5 g	90 g	80 g	70 g
SNU/SPU/SFU	-	-	7,5 g	10 g	20 g	30 g

*%7.5-10-20-30: SPU, SNU ve SFU katkı oranları

Karıştırma kabına su, sodyum bikarbonat ve tuz eklenmiştir. Sonrasında sodyum bikarbonat ve tuz iyi bir şekilde çözünene kadar 30 saniye el mikseri ile karıştırılmıştır. Elde edilen karışıma gofretlik buğday unu ya da glutensiz un karışımları ile ksantan gam eklenerek 90 saniye karıştırılmıştır. En son aşamada karışıma bitkisel yağ ve lesitin ilave edilerek 60 saniye daha çırpılmıştır. Hamur sıcaklığı 22±1 °C'de sabit tutulup daha sonra hamurlar 18±1 g ağırlığında tartılarak laboratuvar tipi gofret pişirme makinasında (Remta kornet pişirici, Remta Makine İthalat İhracat Sanayi ve Tic. Ltd, Şti, İstanbul, Türkiye) ön ön çalışmalar sonucunda belirlenen sıcaklık ve sürede (300 ˚C'de 80±5 saniye) pişirilmiştir (Şekil 3.7.).



Şekil 3.7. Gofret yapraklarının üretimi

3.2.5. Gofret yapraklarında yapılan analizler

3.2.5.1. Gofret yapraklarının ağırlığının belirlenmesi

Gofret yapraklarının ağırlıkları, gofret pişirme makinasında pişirildikten sonra 1 saat oda sıcaklığında tel ızagaralar üzerinde bekletildikten sonra tartılması ile belirlenmiştir (Elgün vd., 2002).

3.2.5.2. Gofret yapraklarında pişme kaybının belirlenmesi

Gofret pişirme makinasında pişirildikten sonra 1 saat süreyle soğumaya bırakılan gofret yapraklarının ağırlığı ile üretimde kullanılan hamurun başlangıçtaki ağırlığı arasındaki fark, pişirme kaybı olarak değerlendirilmiştir. Pişme kaybı değerleri aşağıdaki formüle göre hesaplanmıştır (Naderi vd., 2023).

Pişme kaybı (%)= W_b-W_s/W_bx100 (3.5)

W_b: Gofret hamuru ağırlığı,

W_s= Pişirme sonrası gofret yaprağının ağırlığı

3.2.5.3. Yükseklik (kalınlık) ve çap değerlerinin belirlenmesi

Pişirme işleminin ardından gofret yaprakları oda sıcaklığında bir saat süreyle soğutulmuş ve ardından çap ile yükseklik (kalınlık) ölçümleri dijital kumpas yardımıyla gerçekleştirilmiştir.

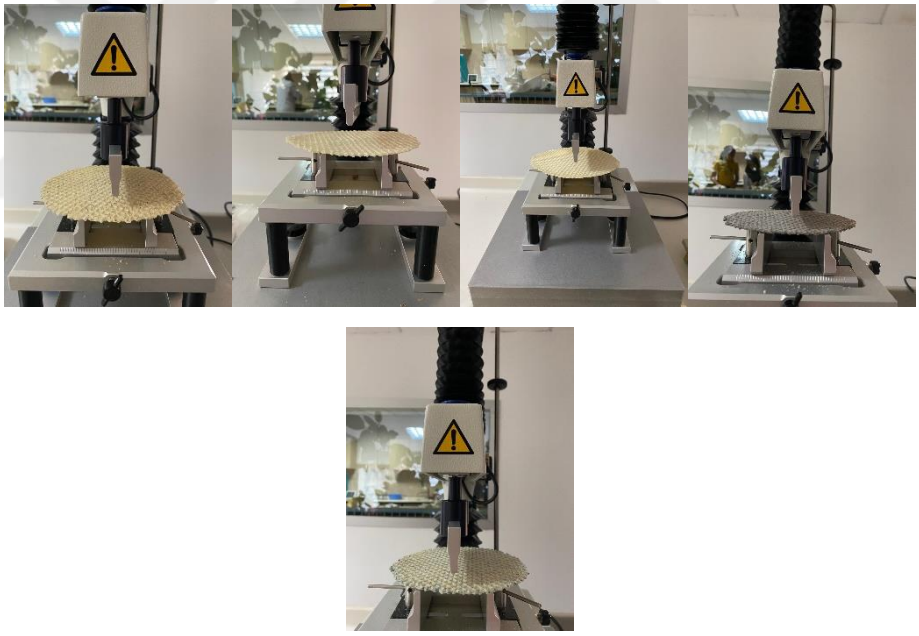
3.2.5.4. Gofret yapraklarında yapılan diğer analizler

Glutenli ve glutensiz gofret yapraklarında fiziksel ve kimyasal özelliklerin belirlenebilmesi amacıyla, nem (AACC Metot, 44-01, 2000), kül (AACC Metot, 08,01, 2000), toplam diyet lif (AACC Metot 32- 05.01), toplam fenolik madde (Tatar, 2017), antioksidan aktivite (Aksoylu, 2012), protein (Dumas, 1831), pH **(**AACC Metot

02-52.01), su aktivitesi ve renk tayini analizleri yapılmıştır. Bu analizlere ait bilgiler 3.2.1. bölümünde ayrıntılı bir şekilde anlatılmıştır.

3.2.5.5. Tekstür analizi

Gofret yapraklarının tekstürel özellikleri, Mert vd. (2015) yöntemine uygun olarak yapılmıştır. Bu analiz için TA.XT Plus Tekstür Analiz Cihazı (Stable Micro Systems, Surrey, İngiltere) kullanılmıştır. Örnekler, cihaza takılan üç noktalı bükme probu (three-point bend) yardımıyla analiz edilmiş; bu sayede sertlik ile kırılganlık/gevreklik değerleri ölçülmüştür (Şekil 3.8.). Uygulamada kullanılan test parametreleri ise; 5 kg'lık yük hücresi, 1.0 mm/sn ön test hızı, 3.0 mm/s test hızı, 10 mm/s test sonrası hızı, 5.0 mm mesafe ve 500 pps veri toplama hızı şeklinde ayarlanmıştır.



Şekil 3.8. Gofret yapraklarının tekstür analizi

3.2.5.6. Gofret yapraklarının duyusal olarak değerlendirilmesi

Gofret yapraklarının duyusal analizi, 10 panalist tarafından gerçekleştirilmiştir. Değerlendirme öncesinde panelistlere, gofret yapraklarının duyusal özelliklerini değerlendirme kriterleri hakkında bilgilendirme yapılmıştır. Rastgele

numaralandırılan örnekler panelistlere tek tek sunulmuş; her örnek arasında ağız tadının nötrlenmesi amacıyla panelistlere soğuk içme suyu verilmiştir. Panelistler, örnekleri yüzey görünümü, dış yapı, yüzey rengi, gevreklik, çiğnenebilirlik, koku, aroma, tat, lezzet, genel beğeni ve satın alma isteği gibi kriterler doğrultusunda değerlendirmiştir. Değerlendirme, 1 ile 5 arasında puanlanan bir skala üzerinden yapılmış olup; 5 puan "çok iyi", 4 puan "iyi", 3 puan "kabul edilebilir", 2 puan "yetersiz" ve 1 puan "kötü" anlamına gelecek şekilde sınıflandırılmıştır.

3.2.6. İstatiksel değerlendirme

SPU, SNU ve SFU'larının farklı oranlarda ilave edilmesiyle hazırlanmış olan glutenli ve glutensiz gofret yapraklarının ve unların tüm özelliklerine ilişkin olarak elde edilen verilere Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi ile yapılmıştır. Analizler için SPSS istatistik paket programından (Versiyon 16.0) yararlanılmıştır.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

4.1. Gofretlik Buğday Ununda Yapılan Analizler

4.1.1. Gofretlik buğday ununun yaş gluten, kuru gluten ve gluten indeks değerleri

Gofretlik buğday ununun yaş gluten, kuru gluten ve gluten indeks değerleri Çizelge 4.1'de verilmiştir.

Çizelge 4.1. Gofretlik buğday ununun yaş-kuru gluten ve gluten indeks değerleri

Örnek Adı	Yaş Gluten (%)	Kuru Gluten (%)	Gluten İndeks (%)
Gofretlik Un	22.23±0.32	8.40±0.98	89.33±0.90

Analiz sonuçlarına göre gofretlik buğday ununun güçlü bir gluten yapısına sahip olduğu söylenebilir. Özellikle gluten indeks değerinin yüksek oluşu, glutenin esneklik ve dayanıklılık özelliklerini vurgularken, bu durum üretim süreçlerinde şekil koruma ve işlenebilirlik açısından avantaj sağlayabilir. Yaş ve kuru gluten değerleri ise unun genel kalitesini destekler niteliktedir. Gofret üretiminde bu tür özelliklere sahip unlar; formülasyon, katkı veya proses parametreleri üzerinden yapılacak optimizasyonlarla istenen ürün dokusuna uyum sağlayabilir (Wieser vd., 2020).

4.1.2. Gofretlik buğday ununun sedimantasyon, gecikmeli sedimantasyon ve düşme sayısı değerleri

Gofretlik buğday ununun sedimantasyon, gecikmeli sedimantasyon ve düşme sayısı değerleri Çizelge 4.2'de verilmiştir.

Çizelge 4.2. Gofretlik buğday ununun sedimantasyon, gecikmeli sedimantasyon ve düşme sayısı değerleri

Örnek Adı	Sedimantasyon (ml)	Gecikmeli Sedimantasyon (ml)	Düşme Sayısı (s)
Gofretlik Un	29.00±0	23.67±0.57	337.00±2.64

Gofretlik buğday ununa ait sedimantasyon değerinin 29 ml, gecikmeli sedimantasyon değerlerinin ise 23–24 ml arasında ölçülmesi, unun orta düzeyde protein kalitesine ve nispeten dengeli bir gluten yapısına sahip olduğunu göstermektedir. Zeleny yöntemiyle yapılan sedimantasyon testi, buğday unundaki glutenin su alarak şişme kapasitesini ve glutenin kalitesini yansıtan önemli bir göstergedir. Gofretlik unun sedimantasyon değeri, gluten kalitesinin yeterli düzeyde olduğunu ve hem esneklik hem de dayanıklılık açısından ürünün işlenebilirliğine uygun olduğunu göstermektedir. Bu özellikler, gofretin ince ve gevrek yapısının korunmasını destekleyerek, üretim sırasında şekil ve doku kaybını önlemeye yardımcı olur. Gecikmeli sedimantasyon değerlerinin asıl değere yakın seyretmesi ise glutenin zamanla yapısını büyük ölçüde koruduğunu ve bunun da üretim sürecinde hamurun formunu muhafaza etmesine katkı sağlayacağını düşündürmektedir. Bu özellikler, üretim esnasında şekil stabilitesi ve işlenebilirlik açısından olumlu yansımalar doğurabilir. Ayrıca güncel çalışmalarda, bu tür unların kontrollü gluten gücü sayesinde sadece gofret değil, benzer düşük yayılma gerektiren fırıncılık ürünlerinde de başarıyla kullanılabildiği belirtilmektedir (AACC Method 56-61.02; Kara vd., 2020; Wieser vd., 2020). Sonuç olarak, bu değerler incelendiğinde, söz konusu unun gofret üretimi için teknik açıdan elverişli ve aynı zamanda prosese göre uyarlanabilir bir yapıya sahip olduğu söylenebilir.

Gofretlik un örneklerine ait düşme sayısı değeri alfa-amilaz enzim aktivitesinin oldukça düşük olduğunu ve buğday tanelerinin çimlenmeye maruz kalmadığını göstermektedir. Düşme sayısı testi, un içerisindeki nişastayı parçalayarak ürünün yapısını olumsuz etkileyebilecek alfa-amilaz enzim düzeyini belirlemeye yönelik standart bir analizdir. Bu analizde yüksek çıkan değerler (>300 s), nişastanın büyük ölçüde bozulmadan kaldığını ve gluten ile nişasta etkileşiminin ürün formunu koruyacak şekilde olduğunu ifade eder (Perten, 1964; AACC Method 56-81.03). Özellikle gofret gibi düşük su içeriğiyle hazırlanan ve pişirme sırasında şekil stabilitesi ile gevrek doku gerektiren ürünlerde, düşük enzimatik aktivite oldukça arzu edilir. Çünkü alfa-amilazın aşırı aktivitesi, pişirme esnasında nişastayı parçalayarak istenmeyen yayılma, form bozukluğu ve gevrekliğin azalmasına yol açabilir. Bu nedenle, elde edilen düşme sayısı verileri, incelenen unların endüstriyel gofret üretimi açısından uygun teknolojik kaliteye sahip olduğunu ortaya koymaktadır. Sonuç olarak, bu unlar yüksek nişasta stabilitesi ve düşük enzim aktivitesi sayesinde gofret

üretiminde tercih edilebilir, kaliteli ve şekil stabilitesi yüksek nihai ürünler elde etmeye olanak sağlamaktadır.

4.2. Gofretlik Buğday Ununun Reolojik Özellikleri

4.2.1. Farinograf değerleri

Farinograf cihazı, hamur yoğurma süreci boyunca hamurun reolojik özelliklerini inceleyerek gluten proteinlerinin hamur oluşturma kapasitesini değerlendirmeye yardımcı olur. Bu reolojik özellikler arasında unun su alma kapasitesi, yoğurma toleransı, hamurun gelişme süresi, stabilitesi ve yumuşama derecesi yer almaktadır. Yumuşama derecesinin düşük olması, gluten proteinlerinin yüksek kalitede olduğunu göstermektedir. Bu parametreler, unun pişirme performansına dair önemli bilgiler sunar (Aydoğan vd., 2012). Hazırlanan hamur örneğinin farinografik özelliklerinin belirlenmesi için yapılan çalışmalar sonucunda bulunan veriler Çizelge 4.3'de verilmiştir.

Çizelge 4.3. Gofretlik buğday ununun farinograf değerleri

Örnek Adı	Su Absorpsiyonu (%)	Gelişme Süresi (dk)	Stabilite (dk)	Yumuşama Derecesi (FU)
Gofretlik Un	53.30	1.80	5.60	76.00

Verilen farinograf verileri, gofretlik unun yoğurma sürecinde gösterdiği reolojik davranışı ve gluten kalitesini değerlendirme açısından önemli bilgiler sunmaktadır. %53.3'lük su absorbsiyonu, unun orta düzeyde su tutma kapasitesine sahip olduğunu gösterir ve bu değer, gofret gibi düşük nemle hazırlanan ürünlerde istenilen kıvam ve yapı için uygundur. 1,8 dakikalık gelişme süresi, gluten ağının kısa sürede oluştuğunu ve hamurun hızla işlenebilecek bir kıvama ulaştığını göstermektedir. 5,6 dakikalık stabilite süresi ise gluten ağının şekil koruma kapasitesini ifade eder; bu sürenin orta düzeyde olması, hamurun işleme dayanımı açısından olumlu bir özellik olarak değerlendirilir. Yumuşama derecesi 76 farinograf birimi (FU) olarak ölçülmüştür. Bu değer, gluten proteinlerinin orta düzeyde bir esnekliğe sahip olduğunu ve yoğurma

sırasında yapısal bütünlüğün korunmasına rağmen, belirli bir yumuşama eğilimi gösterdiğini ifade eder. Dolayısıyla, glutenin yapısı çok sert olmamakla birlikte, işlenebilirlik açısından uygun ve dengeli bir yapıya sahiptir. Farinograf parametrelerinin birlikte değerlendirilmesi, bu unun gofret üretimi gibi kısa yoğurma süresi, düşük yayılma ve gevrek yapı gerektiren ürünlerde kullanımı için uygun teknolojik özellikler taşıdığını ortaya koymaktadır (Boyacioglu ve D'appolonia, 1994; Aydoğan vd., 2013). Bu sonuçlar, farinograf cihazının unların gluten kalitesi ve pişirme performansını değerlendirmedeki işlevselliğini vurgulayan literatürle de uyumludur.

4.2.3. SMS/Kieffer hamur ve gluten uzayabilirlik değerleri ile hamur yapışkanlık değerleri

SMS/Kieffer uzayabilirlik analizi, özellikle hamur ve glutenin reolojik özelliklerini değerlendirmek amacıyla kullanılan fonksiyonel bir test yöntemidir. Bu analizde, gluten veya hamur örneği bir doku analiz cihazına entegre edilen Kieffer hamur ve gluten uzayabilirlik probu ile çekilerek uzama sırasında gösterdiği maksimum direnç, toplam uzayabilirlik ve bu süreçte harcanan toplam enerji gibi parametreler ölçülür. Yüksek direnç değeri güçlü bir gluten ağını, yüksek uzayabilirlik ise elastik ve işlemeye uygun bir hamur yapısını temsil eder. Bu test, özellikle farklı buğday türlerinden elde edilen unların teknolojik kalite değerlendirmesinde kullanılır; örneğin ekmeklik unlarda yüksek direnç ve orta düzeyde uzayabilirlik tercih edilirken, bisküvi ve gofret gibi ürünlerde daha düşük direnç ve yüksek uzayabilirlik istenir. Böylece ürünün istenilen gevreklik ya da yayılma özellikleri sağlanabilir. Bu yöntemin, glutenin fonksiyonel özellikleriyle ürün kalitesi arasındaki ilişkiyi açıklamada etkili olduğu literatürde de vurgulanmıştır (Dobraszczyk ve Morgenstern, 2003).

Bazı gıdalar, temas ettikleri yüzeylere karşı belirli bir yapışma eğilimi gösterir ve bu özellik genellikle "yapışkanlık" olarak tanımlanır. Yapışkanlık, yalnızca ağız içinde (damak, dil ve diş yüzeylerinde) değil, aynı zamanda parmaklar veya işleme ekipmanlarının yüzeyleri gibi ağız dışı alanlarda da kendini gösterebilir. Gıda ürünlerindeki bu özellik, özellikle hamur işleme sırasında problem yaratabilir; çünkü yüksek yapışkanlık, hamurun dayanıklılığını azaltır, karıştırma toleransını düşürür ve nihai ürün olan ekmeğin hacmini olumsuz etkileyebilir. Yapışma kuvveti ise bir

maddenin elastik ya da viskoz özellik göstererek yüzeyden ayrılma kabiliyetini ifade eder (Chen ve Stokes, 2012).

Gofretlik un ile hazırlanmış olan hamurların uzamaya karşı gösterdikleri maksimum direnç (Rmax, g), uzayabilirlik (Ext., mm), yapışkanlık (g), adezyon kuvveti (g.sn) ve hamur gücü (mm) değerleri Çizelge 4.4'de belirtilmiştir.

Çizelge 4.4. Gofretlik buğday ununun SMS/Kieffer hamur ve gluten uzayabilirlik değerleri ile hamur yapışkanlık değerleri

Örnek Adı	Rmax (g)	Ext (mm)	Yapışkanlık (g)	Adezyon Kuvveti (g.s)	Hamur Gücü (mm)
Gofretlik Un	81.14±3.48	18.52±1.72	27.67±0.54	1.81±0.66	1.65±0.07

Gofretlik un örneklerinden elde edilen hamurların SMS/Kieffer uzayabilirlik analizine ait veriler, gluten ağ yapısının mekanik özelliklerini değerlendirmek açısından önemlidir. Rmax (g) değeri glutenin uzamaya karşı gösterdiği en yüksek direnci, Ext (mm) değeri ise glutenin ne kadar esneyebildiğini, yani elastikiyet seviyesini belirtir. Elde edilen verilere göre, Rmax değerleri 79.13 g ile 85.16 g arasında değişmektedir. Bu aralık, glutenin orta düzeyde bir direnç sunduğunu ve gofret üretiminde istenen gevrek yapı için yeterli olduğunu ortaya koyar. Gofret üretiminde yüksek direnç yerine, daha dengeli ve şekil verebilir bir hamur tercih edilmektedir.

Ext (mm) değerleri 16.64 mm ile 20.03 mm arasında olup, glutenin elastik yapısının belirli bir esneme kapasitesine sahip olduğunu göstermektedir. Bu özellik, hamurun kolay şekil almasını sağlarken gofret gibi yayılabilir ürünlerde arzu edilen özelliklerin elde edilmesine katkıda bulunur. Rmax ve Ext parametrelerinin birlikte değerlendirilmesi, bu unun gofret üretiminde işlenebilirliği yüksek ve ürün kalitesini destekleyici nitelikte bir gluten yapısına sahip olduğunu göstermektedir. Bu değerlendirme, Dobraszczyk ve Morgenstern (2003) tarafından glutenin fonksiyonel özellikleri ile ürün kalitesi arasındaki ilişkiye dair yapılan çalışmalarda da vurgulanmıştır. Ayrıca, hamurun uzama davranışı üzerine yapılan reolojik analizler, glutenin uygulama alanına göre seçilmesinde önemli bir kriter olarak kabul

edilmektedir. Bu veriler ışığında, gofretlik un örneklerinin yapısal uygunluğu bilimsel olarak da desteklenmektedir.

Gofretlik un örnekleriyle hazırlanan hamurlara ait yapışkanlık verileri, ürünün işlenebilirliği ve yüzey etkileşimleri açısından önemli ipuçları sunmaktadır. Ölçülen yapışkanlık değerleri hamurun yüzeylere tutunma eğiliminin orta seviyede olduğunu göstermektedir. Adezyon kuvveti ise hamurun yüzeyle ne kadar süre ve kuvvetle temas ettiğini yansıtan bir parametredir; burada elde edilen 1.05–2.26 g.s aralığındaki değerler, hamurun viskoelastik özelliklerinin ve yüzeyden ayrılma sürecindeki direnç davranışının göstergesidir. Hamur gücü değerleri ise, hamurun dış etkilere karşı koyma kapasitesinin sınırlı olduğunu, ancak bu özelliğin gofret gibi ince ve gevrek ürünlerde beklenen performansa uygun olduğunu işaret etmektedir. Elde edilen tüm bu ölçümler, yapışkanlıkla ilişkili reolojik davranışların ürün kalitesi üzerindeki etkilerini değerlendirmek adına önem taşımakta olup, literatürde Chen ve Stokes (2012) tarafından bildirilen bulgularla da örtüşmektedir.

Kara vd. (2020) tarafından yapılan çalışmada ekmeklik buğday örneklerinde Ext 14.12–60.25 mm, yapışkanlık 9.41–40.06 g, adezyon kuvveti 0.55–7.29 g·s ve hamur gücü 0.73–4.55 mm arasında rapor edilmiştir. Bu çalışmada analiz edilen gofretlik un örneğinin Rmax değeri 81.14 g ile literatürde bildirilen aralığın oldukça üzerinde bulunmuştur. Bu durum, gofretlik un hamurunun ekmeklik buğdaylara kıyasla çok daha yüksek direnç gösterdiğini ortaya koymaktadır. Ext (uzayabilirlik) değeri 18.52 mm olup, literatürde bildirilen alt sınır değerine yakın bulunmuştur. Yapışkanlık değeri 27.67 g ile literatürdeki orta-yüksek aralığa karşılık gelirken, adezyon kuvveti 1.81 g·s ve hamur gücü 1.65 mm değerleri literatür aralıklarının orta düzeyinde yer almıştır.

4.3. Gofretlik Buğday Ununda ve Glutensiz Unlarda Yapılan Kimyasal ve Fiziksel Analizler

4.3.1. Gofretlik un ve glutensiz unların nem, kül, protein, pH ve su aktivitesi değerleri

Glutensiz ve glutenli un örneklerinin nem, kül, protein, pH ve su aktivitesi değerlerine ait elde edilen veriler Çizelge 4.5'de verilmiştir.

Çizelge 4.5. Unların nem, kül, protein, pH ve su aktivitesi değerleri

Örnek Adı	Nem (%)	Kül (%)	Protein (%)	Su aktivitesi	pH
Gofretlik un	8.72±0.04^{e}	0.91±0.64^{e}	9.61±0.01^{c}	0.54±0.00^{a}	6.65±0.01^{a}
Pirinç unu	8.93±0.02^{c}	1.23±0.14^{d}	7.55±0.01^{e}	0.42±0.00^{c}	6.53±0.01^{b}
SPU	8.87±0.06^{d}	1.76±0.02^{c}	8.15±0.01^{d}	0.39±0.00^{d}	6.31±0.02^{d}
SNU	9.05±0.03^{b}	3.36±0.01^{b}	25.18±0.01^{a}	0.43±0.00^{b}	6.18±0.01^{e}
SFU	9.24±0.01^{a}	5.54±0.15^{a}	23.93±0.01^{b}	0.30±0.00^{e}	6.50±0.01^{c}

*SPU: Siyah pirinç unu, SNU:Siyah nohut unu, SFU: Siyah fasulye unu
*Çizelgede aynı sütunda farklı harfle gösterilen örnekler arasında fark vardır ($p<0.05$)

SPU, SNU ve SFU besin içerikleri açısından önemli farklılıklar göstermektedir. Bu unların nem, kül ve protein içerikleri, fonksiyonel gıda ürünlerinin geliştirilmesinde dikkate alınması gereken önemli parametrelerdir.

Un örnekleri arasında nem içerikleri bakımından anlamlı farklılıklar bulunmuştur ($p <0.05$). En yüksek nem oranı SFU'nda (%9.24±0.01) tespit edilmiştir, bu değer gofretlik un (%8.72±0.04) ve pirinç unu (%8.93±0.02) ile kıyaslandığında istatistiksel olarak anlamlı derecede daha yüksektir.

Kül, ürünün toplam mineral içeriğini ifade eder. SFU (%5.54±0.15) ile en yüksek kül içeriğine sahipken, bu değer SNU (%3.36±0.01) ve SPU (%1.76±0.02) için daha

düşüktür ($p < 0.05$). Gofretlik un örneği, %0.91±0.64 kül içeriği ile diğer örnekler arasında en düşük kül içeriğine sahip olup, mineral açısından daha sınırlı bir profil sergilemektedir. Bu durum, kullanılan buğday ununun mineral içeriğinin diğer örneklerden daha düşük olduğunu göstermektedir.

Protein oranı açısından gruplar arasında çok yüksek derecede anlamlı fark bulunmuştur ($p <0.05$). SNU 25.18±0.01 ile en yüksek proteini içerirken, bunu sırasıyla SFU (%23.93±0.01) ve SPU (%8.15±0.01) izlemektedir. Gofretlik un %9.61±0.01 ile SPU'dan daha yüksek, ancak baklagil unlarından belirgin biçimde düşüktür.

SPU, SNU ve SFU, kimyasal bileşimleri bakımından incelendiğinde, fonksiyonel gıda ürünlerinin geliştirilmesinde önemli bir potansiyele sahip oldukları görülmektedir. Özellikle SNU ve SFU'nun protein içerikleri sırasıyla %25.18±0.01 ve %23.93±0.01 düzeyindedir; bu oranlar, bitkisel kaynaklı protein açısından oldukça yüksektir ve ürünlerin protein kalitesini artırmak amacıyla kullanılabileceklerini göstermektedir (Okafor vd., 2015; Okakpu vd., 2024). Ayrıca, kül içeriği bakımından da SFU (%5.54±0.15) ve SNU (%3.36±0.01) değerleri, yüksek mineral içeriğine işaret etmektedir. Bu durum, bu unların demir, çinko, magnezyum gibi mikro besin ögeleri bakımından zenginleştirilmiş ürünlerin formülasyonuna katkı sağlayabileceğini göstermektedir (Pasqualone vd., 2019; Okakpu vd., 2024).

SPU ise daha düşük protein (%8.15±0.01) ve kül (%1.76±0.02) içeriğine sahip olmakla birlikte, diğer fonksiyonel bileşenler (örneğin antosiyaninler ve fenolik bileşikler) açısından zengin olması nedeniyle özellikle antioksidan özelliklerin artırılmasında değerli bir bileşen olarak değerlendirilebilir (Ma vd., 2025; Sushmitha ve Reddy, 2020).

Yapılan istatistiksel analizler ($p<0.05$), bu üç alternatif unun geleneksel buğday ve pirinç unlarına kıyasla besin öğeleri yönünden anlamlı farklılıklar gösterdiğini ortaya koymuştur. Sonuç olarak, bu unlar yalnızca besin değerini artırmakla kalmayıp, aynı zamanda fonksiyonel özellikler açısından da ürün çeşitliliğini zenginleştirme potansiyeline sahiptir.

Farklı un örneklerinin su aktivitesi ve pH değerleri incelendiğinde, varyans analizine göre bu parametrelerde gruplar arasında anlamlı farklılıklar belirlenmiştir ($p < 0.05$). En yüksek su aktivitesi değeri gofretlik un örneğinde gözlemlenmiştir (0.54±0.00), bu değeri sırasıyla SNU (0.43±0.00), pirinç unu (0.42±0.00), SPU (0.39±0.00) ve SFU (0.30±0.00) takip etmiştir. Bu bulgular, SFU daha düşük su aktivitesi nedeniyle mikrobiyal büyümeye karşı daha stabil bir yapı sunabileceğini göstermektedir.

pH değerleri açısından değerlendirildiğinde, gofretlik un 6.65±0.01 ile en yüksek pH'ya sahipken, SNU 6.18±0.01 ile en düşük değeri göstermiştir. Diğer örneklerde pH sırasıyla pirinç unu (6.53±0.01), SFU (6.50±0.01) ve SPU (6.31±0.02) olarak ölçülmüştür. Bu veriler, özellikle SNU ve SPU'nun daha düşük pH seviyeleriyle ortamın asiditesini artırma eğiliminde olduğunu ortaya koymaktadır.

Sonuç olarak, un çeşitlerinin hem su aktivitesi hem de pH değerlerindeki bu anlamlı farklılıklar, ürünlerin mikrobiyal stabilitesi, raf ömrü ve fonksiyonel özellikleri üzerinde etkili olabilecek önemli teknolojik parametreler olarak değerlendirilebilir (Okafor vd., 2015; Pasqualone vd., 2019; Ma vd., 2025).

4.3.2. Gofretlik un ve glutensiz unların toplam diyet lif, toplam fenolik madde ve antioksidan aktivite değerleri

Glutensiz ve glutenli un örneklerinin nem, kül ve protein değerlerine ait elde edilen veriler Çizelge 4.6'da belirtilmiştir.

Çizelge 4.6. Unların toplam diyet lif, toplam fenolik madde ve antioksidan aktivite değerleri

Örnek Adı	TDL (%)	TFM (mg GAE/g örnek)	AA (%)
Gofretlik un	8.01 ± 0.02^{c}	1.04 ± 0.01^{d}	1.62 ± 0.01^{d}
Pirinç unu	7.26 ± 0.03^{c}	4.90 ± 0.01^{c}	1.92 ± 0.01^{d}
SPU	10.80 ± 0.87^{c}	140.61 ± 1.27^{a}	85.44 ± 0.55^{a}
SNU	33.85 ± 3.18^{b}	71.85 ± 1.15^{b}	57.18 ± 0.59^{c}
SFU	50.10 ± 1.12^{a}	42.41 ± 1.20^{c}	74.02 ± 1.73^{b}

*SPU: Siyah pirinç unu, SNU: Siyah nohut unu, SFU: Siyah fasulye unu
*TDL: Toplam diyet lif, TFM: Toplam fenolik madde, AA: Antioksidan aktivite
*Çizelgede aynı sütunda farklı harfle gösterilen örnekler arasında fark vardır ($p<0.05$)

Bu parametrelerin varyans analizine dayalı karşılaştırmaları, fonksiyonel özellikler açısından örnekler arasında önemli derecede farklılık olduğunu ortaya koymaktadır.

Toplam diyet lifi içeriği bakımından, SFU %50.10±7.59 ile en yüksek değeri göstermiş ve tüm diğer örneklerden anlamlı düzeyde farklılık göstermiştir ($p < 0.05$). Bunu sırasıyla SNU %33.85±3.18 ve SPU %10.80±0.87 izlemiştir. Gofretlik un (%8.01±0.02) ve pirinç unu (%7.26±0.03) grupları ise lif bakımından anlamlı şekilde daha düşük seviyede kalmıştır ($p < 0.05$).

Toplam fenolik madde içeriği açısından en zengin kaynak SPU olmuştur (140.61±1.27 mg GAE/g örnek), bu örnek istatistiksel olarak tüm diğer gruplardan anlamlı şekilde farklılık göstermiştir. SNU (71.85±6.57) ve SFU (42.41±18.86), geleneksel unlardan daha yüksek toplam fenolik madde içeriğine sahip olmakla birlikte, SPU'dan anlamlı derecede düşük bulunmuştur ($p < 0.05$). Pirinç unu ve gofretlik unun toplam fenolik madde değerleri sırasıyla 18.37±1.11 ve 50.22±1.85 mg GAE/g olarak belirlenmiştir.

Antioksidan aktivite sonuçları, fenolik madde içeriği ile paralel bir dağılım göstermektedir. En yüksek antioksidan kapasite SPU'da tespit edilmiştir (%85.44±0.55) ve bu değer, diğer tüm örneklerden anlamlı düzeyde farklıdır ($p < 0.05$). SFU %74.02±1.73 ve SNU %57.18±0.59 ile orta düzeyde, gofretlik un (%54.04±0.48) ve pirinç unu (%54.95±0.25) ise en düşük seviyede antioksidan aktivite göstermiştir.

Mau ve arkadaşları (2017) çalışmasında, buğday unu yerine SPU kullanılarak hazırlanan chiffon kekin fizikokimyasal, antioksidan ve duyusal özellikleri incelenmiştir. SPU'nun keke eklenmesiyle diyet lif içeriğinde belirgin artış gözlenmiş, bu da ürünün besin değerini olumlu yönde etkilemiştir. Ayrıca, SPU'ndaki yüksek fenolik bileşikler, kekin antioksidan aktivitesini anlamlı ölçüde artırarak, ürüne sağlık açısından faydalı özellikler kazandırmıştır. Sonuç olarak, SPU'nun kek formülasyonlarında kullanımı hem fonksiyonel hem de besleyici açıdan avantajlı bulunmuştur.

Abdulrahman vd. (2020) çalışmalarında, siyah fasulyenin gıda bileşenleri açısından değerlendirilmiştir. Siyah fasulye, yüksek diyet lifi içeriği sayesinde gıda ürünlerinde

lif zenginleştirici olarak kullanılabilir. Ayrıca, içerdiği fenolik bileşikler sayesinde gıdalara doğal antioksidan özellik kazandırmakta, bu da ürünlerin raf ömrünü uzatırken sağlık açısından da fayda sağlamaktadır. Bu özellikler, siyah fasulyenin fonksiyonel gıda geliştirme ve besin değeri artırma amaçlı kullanımı için uygun olduğunu göstermektedir.

Costantini vd. (2021) çalışmasında, Kabuli ve Apulian siyah nohut çeşitlerinden elde edilen öğütme yan ürünlerinin, glutensiz taze makarnalarda fonksiyonel bileşen olarak kullanım potansiyeli değerlendirilmiştir. Bu yan ürünlerin formülasyona dahil edilmesiyle ürünlerin toplam diyet lif içeriği anlamlı şekilde artmış ve lif açısından zengin fonksiyonel ürünler elde edilmiştir. Ayrıca bu katkı, toplam fenolik madde miktarında da belirgin bir artış sağlamış; bu durum, özellikle siyah nohut yan ürünlerinin yüksek fenolik bileşik içeriğiyle ilişkilendirilmiştir. Bu fenolik bileşikler sayesinde ürünlerin antioksidan aktivitesi de önemli ölçüde artış göstermiştir. Böylece, çalışmada ele alınan siyah nohut kaynaklı bileşenlerin, yalnızca besin değeri açısından değil, aynı zamanda fonksiyonel ve sağlık destekleyici özellikleriyle de glutensiz ürün geliştirmede güçlü adaylar olduğu ortaya konmuştur.

Pasquale vd. (2021) çalışmalarında, fermente edilmiş SNU'nun makarna üretiminde takviye edilmesinin besinsel ve fonksiyonel avantajlarını incelemiştir. Çalışma sonucunda, fermente SNU'nun diyet lifi içeriğini artırdığı ve böylece makarnanın besin değerini zenginleştirdiği belirlenmiştir. Ayrıca, fermantasyon işlemi, fenolik bileşiklerin biyoyararlılığını artırarak toplam fenolik madde içeriğini yükseltmiş ve bu da makarnanın antioksidan aktivitesinde önemli bir artışa yol açmıştır. Bu bulgular, fermente SNU'nun, fonksiyonel gıda ürünlerinde besin kalitesini artırmak için kullanılacak bir katkı maddesi olduğunu göstermektedir.

Okakpu vd. (2024) yaptıkları çalışmada, hindistan cevizi, darı, siyah fasulye ve olgunlaşmamış muz kabuklarından elde edilen unların kalite özelliklerini incelemiştir. SFU, yüksek diyet lif içeriğiyle fonksiyonel gıdalarda lif artırıcı katkı sağlayabileceği belirtilmiştir. Ayrıca, bu unun içerdiği zengin fenolik bileşikler, güçlü antioksidan aktivite göstererek gıdalarda doğal koruyucu olarak kullanılma potansiyeline sahip olduğu vurgulanmıştır. Bu bulgular, SFU'nun besin değeri ve sağlık fonksiyonları açısından gıda endüstrisinde önemli bir hammadde olduğunu desteklemektedir.

Bu sonuçlar, özellikle SPU'nun yüksek fenolik madde içeriği ve antioksidan aktivitesi, ayrıca SNU ve SFU'nun yüksek diyet lifi düzeyleri ile öne çıktığını göstermektedir. Bu bağlamda, söz konusu unlar besin değeri yüksek, fonksiyonel gıda formülasyonları için uygun adaylar olarak değerlendirilebilir. Benzer bulgular daha önceki çalışmalarda da bildirilmiştir (Sushmitha ve Reddy, 2020; Pasquale vd., 2021; Okakpu vd., 2024; Ma vd., 2025).

4.3.3. Gofretlik un ve glutensiz unların renk değerleri

Glutensiz ve glutenli un örneklerine ait görseller Şekil 4.1'de verilmiştir.



Şekil 4.1. Un örnekleri

*Görseller sıra ile gofretlik un, pirinç unu, siyah pirinç unu, siyah nohut unu ve siyah fasulye unudur.

Glutensiz ve glutenli un örneklerinin renk değerlerine ait elde edilen veriler Çizelge 4.7'de belirtilmiştir.

Çizelge 4.7. Unların renk değerleri

Örnek Adı	L*	a*	b*
Gofretlik un	91.44±0.77[a]	-0.58±0.03[d]	11.28±0.19[b]
Pirinç unu	84.99±1.80[b]	-0.36±0.1[c]	8.11±0.27[c]
SPU	56.41±1.01[d]	2.67±0.06[a]	2.90±0.09[e]
SNU	77.65±0.92[c]	-0.44±0.02[c]	12.94±0.27[a]
SFU	77.68±0.84[c]	1.06±0.04[b]	5.15±0.03[d]

*SPU: Siyah pirinç unu, SNU: Siyah nohut unu, SFU: Siyah fasulye unu
*Çizelgede aynı sütunda farklı harfle gösterilen örnekler arasında fark vardır ($p<0.05$)

Un örneklerinin renk analizine ilişkin veriler, gruplar arasında anlamlı farklar olduğunu göstermektedir ($p <0.05$). L* (açıklık) değerleri dikkate alındığında, gofretlik un en yüksek L* değeri (91.44±0.77) ile en açık renge sahip örnek olarak öne çıkmıştır. Pirinç unu, SNU ve SFU daha düşük L* değerleri göstermiştir. SPU (56.41±1.01) ise en düşük açıklık değerine sahip olup, örnekler arasında en koyu renge sahip un olarak belirlenmiştir. a* değerleri, kırmızı-yeşil tonlamasını yansıtmaktadır. SPU (2.67±0.06) ve SFU (1.06±0.04) pozitif a* değerleriyle daha kırmızımsı bir renk karakteri gösterirken, diğer unlar negatif a* değerleriyle daha yeşilimsi tonlara sahiptir. Özellikle gofretlik un ve SNU, bu açıdan en düşük a* değerlerine sahiptir. b* (sarı-mavi ekseni) değerleri açısından ise SNU 12.94±0.27 ile en yüksek sarı tonuna sahip örnek olarak öne çıkmaktadır. Gofretlik un ve pirinç unu da nispeten yüksek b* değerlerine sahipken, SPU (2.90±0.09) ve SFU (5.15±0.03) bu değerin oldukça altında kalarak daha az sarı renge sahip olarak değerlendirilmiştir.

Mau vd. (2017) çalışmasında, SPU ile hazırlanan chiffon keklerin renk özelliklerinde belirgin değişiklikler gözlemlemişlerdir. SPU ikamesi, keklerde L* (açıklık) değerlerinin düşmesine ve a* (kırmızılık) ile b* (sarılılık) değerlerinin artmasına neden olmuştur. Bu değişiklikler, siyah pirincin yüksek antosiyanin içeriğine bağlanmakta ve ürünün daha koyu, morumsu bir renk profiline sahip olmasını sağlamaktadır. Renk farklılıkları, tüketici algısını ve ürün kabulünü etkileyebilecek önemli bir faktör olarak vurgulanmıştır.

Abdulrahman vd. (2020) tarafından yapılan derlemede, siyah fasulye (*Phaseolus vulgaris L.*) içerisindeki biyoaktif bileşiklerin özellikle antosiyaninler, flavonoidler ve fenolik asitler açısından zengin olduğu vurgulanmıştır. Bu pigmentlerin özellikle tohum kabuğunda yoğunlaştığı ve siyah fasulyeye karakteristik koyu mor-siyah renk tonlarını kazandırdığı belirtilmiştir. Çalışmada doğrudan renk ölçüm değerlerine (L*, a*, b*) yer verilmesede, bu fenolik bileşiklerin varlığı nedeniyle SFU'nun düşük L* (açıklık), yüksek a* (kırmızılık) ve değişken b* (sarılık) değerleri göstermesi beklenmektedir. Bu durum, SFU'nun fonksiyonel gıdalarda doğal renk kaynağı olarak kullanılabilirliğini desteklemektedir.

Fathonah vd. (2020) çalışmasında, SPU'nun maş fasulyesi unu ile kısmen ikame edilerek kullanıldığı yüksek enerji ve protein içeren bisküvilerin renk özellikleri değerlendirilmiştir. Çalışmada SPU katkısı, ürünlerin daha koyu ve morumsu tonlara sahip olmasına neden olmuştur. Bu durum, SPU'nda bulunan antosiyanin gibi doğal pigmentlerin etkisiyle açıklanmıştır. Renk parametreleri incelendiğinde, SPU oranı arttıkça L* (açıklık) değerinde azalma, a* (kırmızılık) ve b* (sarılık) değerlerinde ise değişiklikler gözlenmiştir; bu da tüketici algısını ve ürünün görsel kalitesini etkileyebilecek önemli bir faktör olarak belirtilmiştir.

Costantini vd. (2021) çalışmasında, Kabuli ve Apulian siyah nohut çeşitlerinden elde edilen öğütme yan ürünlerinin glutensiz taze makarnada kullanımı değerlendirilmiştir. Çalışmada, bu yan ürünlerin makarna formülasyonuna eklenmesinin renk özellikleri üzerinde anlamlı etkileri olduğu rapor edilmiştir. Siyah nohut kaynaklı bileşenlerin eklenmesiyle L* (açıklık) değerinde azalma gözlenmiş, bu da ürünün daha koyu renkli olmasına neden olmuştur. Aynı zamanda a* (kırmızılık) ve b* (sarılık) değerlerinde de değişiklikler saptanmıştır; bu değişim, siyah nohut yan ürünlerinin içerdiği fenolik bileşikler ve pigmentler ile ilişkilendirilmiştir. Sonuç olarak, bu bileşenler taze makarnanın rengini belirgin biçimde etkileyerek ürünün fonksiyonel ve görsel özelliklerini değiştirmiştir.

Pasquale vd. (2021) tarafından yapılan çalışmada, fermente SNU'nun irmik bazlı makarnalarda kullanımının hem besin değeri hem de fonksiyonel özellikler açısından önemli avantajlar sağladığı belirtilmiştir. Renk analizleri kapsamında, fermente SNU

ilavesiyle elde edilen makarna örneklerinde L* değerinin (açıklık) azaldığı, a* (kırmızılık) ve b* (sarılık) değerlerinde ise artış gözlemlendiği rapor edilmiştir. Bu değişim, fermente edilen unun içerdiği fenolik bileşiklerin ve Maillard reaksiyonu ürünlerinin katkısıyla açıklanmıştır. Renk değişiklikleri hem ürünün görsel kalitesini hem de potansiyel tüketici algısını etkileyebilecek önemli bir faktör olarak değerlendirilmiştir.

Das vd. (2023) çalışmasına göre siyah pirincin koyu mor-siyah rengi, yüksek oranda içerdiği antosiyanin bileşiklerinden, özellikle siyanidin-3-glikozitten kaynaklanmaktadır. Bu pigmentler, SPU'nda düşük L* (açıklık) ve yüksek a* (kırmızılık) değerlerine neden olarak karakteristik renk özelliklerini belirler. Antosiyaninler hem güçlü antioksidan etkileri hem de doğal renklendirici potansiyelleri nedeniyle siyah pirinci fonksiyonel gıda formülasyonları için değerli bir bileşen hâline getirmektedir.

Meenu vd. (2023) çalışmasında siyah fasulyenin (Phaseolus vulgaris L.) kimyasal bileşimi ve sağlık yararları ayrıntılı olarak ele alınmıştır. Renk açısından, siyah fasulyenin kabuk kısmında yüksek oranda bulunan antosiyaninler ve flavonoidler gibi fenolik bileşiklerin, koyu mor-siyah renk oluşumunda temel rol oynadığı belirtilmiştir. Bu pigmentler, sadece görsel özellikleri belirlemekle kalmayıp aynı zamanda yüksek antioksidan aktivite sağlamalarıyla da dikkat çekmektedir. Çalışma, siyah fasulyenin koyu renkli dış görünümünün hem fonksiyonel özellikleri hem de tüketiciye sunulan doğal gıda bileşenleri açısından önemli bir kalite göstergesi olduğunu ortaya koymuştur.

Okakpu vd. (2024) çalışmasında, hindistan cevizi, darı, siyah fasulye ve olgunlaşmamış muz kabuklarından elde edilen unların kalite özellikleri değerlendirilmiştir. Renk parametreleri açısından bakıldığında, SFU'nun daha düşük L* (açıklık) değerlerine sahip olduğu, bu durumun koyu pigmentli bileşiklerin (özellikle antosiyaninler ve diğer fenolikler) yüksek içeriğinden kaynaklandığı belirtilmiştir. Ayrıca a* (kırmızılık) ve b* (sarılık) değerleri de diğer unlara göre farklılık göstermiştir. Bu pigment profili, SFU'na karakteristik koyu tonlar kazandırmakta ve renk yönünden belirgin bir farklılık oluşturmaktadır. Bu bulgular,

SFU'nun işlenmiş ürünlerin görsel özelliklerini önemli ölçüde etkileyebileceğini göstermektedir.

4.4. Gofret Hamurunda Yapılan Analizler

4.4.1. Gofret hamurlarının yoğunluk ve pH değerleri

Gofret hamurlarının yoğunluk ve pH değerlerine ait elde edilen veriler Çizelge 4.8' de belirtilmiştir.

Çizelge 4.8. Gofret hamurlarının yoğunluk ve pH değerleri

Örnek Adı	Yoğunluk (g/cm^3)	pH
GU-Kontrol	$0.97\pm0,01^{b}$	$8.02\pm0,05^{a}$
PU-Kontrol	$0.97\pm0,01^{b}$	$7.76\pm0,07^{cd}$
%7.5 SPU	$0.98\pm0,01^{b}$	$7.68\pm0,05^{def}$
%10 SPU	$0.98\pm0,01^{b}$	$7.74\pm0,02^{cde}$
%20 SPU	0.97 ± 0.01^{b}	7.81 ± 0.09^{bc}
%30 SPU	0.98 ± 0.01^{b}	7.64 ± 0.04^{f}
%7.5 SNU	0.98 ± 0.01^{b}	7.71 ± 0.01^{def}
%10 SNU	0.97 ± 0.00^{b}	7.43 ± 0.01^{h}
%20 SNU	0.98 ± 0.01^{b}	7.69 ± 0.02^{def}
%30 SNU	0.97 ± 0.01^{b}	7.45 ± 0.01^{h}
%7.5 SFU	0.97 ± 0.01^{b}	7.74 ± 0.01^{cde}
%10 SFU	1.00 ± 0.02^{a}	7.67 ± 0.04^{ef}
%20 SFU	0.97 ± 0.01^{b}	7.87 ± 0.01^{b}
%30 SFU	0.98 ± 0.01^{b}	7.55 ± 0.01^{g}

*GU-Kontrol: %100 Gofretlik un, PU-Kontrol: %100 Pirinç unu, SPU: Siyah pirinç unu, SNU: Siyah nohut unu, SFU: Siyah fasulye unu

*Çizelgede aynı sütunda farklı harfle gösterilen örnekler arasında fark vardır($p<0.05$)

SPU katkılı hamurların yoğunluk değerleri istatistiksel olarak anlamlı bir değişim göstermemiştir. Buna karşın, pH değerlerinde örnekler arasında anlamlı farklılıklar belirlenmiş olup, glutenli kontrol örneği en yüksek pH değerine (8.02±0.05) ulaşırken, %30 SPU ilavesi içeren örnek en düşük pH değeri (7.64±0.04) göstermiştir. SPU katkısının artmasıyla gözlenen pH düşüşü, unun bileşimindeki organik asit ve fenolik bileşiklerin etkisiyle hamurun asiditesinde artışa işaret etmektedir (Ma vd., 2025). Bu veriler, SPU ilavesinin hamurun kimyasal ortamını modifiye ederek pH seviyesini düşürdüğünü ancak yoğunluk üzerinde kayda değer bir etkisinin olmadığını göstermektedir.

SNU ilavesi hamurun yoğunluğunu önemli ölçüde değiştirmemiştir; tüm örneklerde yoğunluk yaklaşık 0.97-0.98 g/cm³ aralığında sabit kalmıştır. Ancak pH değerleri açısından farklılıklar gözlenmiştir. Kontrol örneklerine kıyasla SNU içeren hamurlarda pH düşüşü yaşanmış olup, özellikle %10 ve %30 SNU katkılı örneklerde pH en düşük seviyelere (7.43 ve 7.45) gerilemiştir. Bu durum, SNU'nun içerdiği organik asitler ve fenolik bileşiklerin etkisiyle hamur ortamının asiditesinin arttığını göstermektedir (Pasquale, 2021).

SFU ilavesi hamurun yoğunluğunu genel olarak değiştirmemiştir, ancak %10 SFU içeren örnekte yoğunlukta hafif bir artış (1.00 g/cm³) tespit edilmiştir. pH değerleri açısından bakıldığında, SFU katkılı hamurlar kontrol örneklerine kıyasla farklılık göstermiştir. En yüksek pH değeri %20 SFU örneğinde belirlenmişken, %30 SFU katkılı örnekte en düşük pH değeri elde edilmiştir. Bu durum, SFU içerisindeki bileşenlerin hamurun asiditesini değiştirerek pH üzerinde çeşitli etkiler oluşturduğunu işaret etmektedir (Okafor, 2015).

4.4.2. Gofret hamurlarının renk değerleri

Gofret hamurlarının renk değerlerine ait elde edilen veriler Çizelge 4.9'da belirtilmiştir.

Çizelge 4.9. Gofret hamurlarının renk değerleri

Örnek Adı	L*	a*	b*
GU-Kontrol	82.15±1.54^{a}	0.27±0.07^{i}	15.55±0.61^{b}
PU-Kontrol	83.87±1.10^{a}	-0.27±0.04^{k}	11.90±0.18^{a}
%7.5 SPU	64.95±1.58^{ef}	1.45±0.05^{d}	2.11±0.09^{h}
%10 SPU	67.30±0.52^{d}	2.03±0.01^{c}	2.20±0.02^{h}
%20 SPU	58.98±0.29^{g}	2.86±0.01^{b}	-0.34±0.06^{j}
%30 SPU	55.25±1.43^{h}	3.24±0.06^{a}	-0.57±0.09^{j}
%7.5 SNU	72.65±2.50^{bc}	0.79±0.05^{g}	9.58±0.50^{d}
%10 SNU	74.86±0.91^{b}	1.16±0.02^{f}	10.09±0.12^{c}
%20 SNU	70.93±0.21^{c}	1.23±0.02^{f}	9.31±0.07^{d}
%30 SNU	65.30±1.92^{de}	1.33±0.05^{e}	8.66±0.33^{e}
%7.5 SFU	71.67±1.79^{c}	0.04±0.02^{j}	6.67±0.06^{f}
%10 SFU	73.98±1.01^{b}	0.45±0.03^{h}	6.66±0.20^{f}
%20 SFU	63.10±0.01^{ef}	-0.34±0.04^{k}	2.71±0.06^{g}
%30 SFU	62.73±0.74^{f}	0.04±0.05^{j}	1.65±0.03^{i}

*GU-Kontrol: %100 Gofretlik un, PU-Kontrol: %100 Pirinç unu, SPU: Siyah pirinç unu, SNU: Siyah nohut unu, SFU: Siyah fasulye unu

*Çizelgede aynı sütunda farklı harfle gösterilen örnekler arasında fark vardır($p<0.05$)

Hamur örneklerinde, glutenli kontrol ve glutensiz kontrol örnekleri yüksek L* değerleri ile daha açık ve parlak renklere sahipken, SPU ilavesi arttıkça hamurun rengi belirgin şekilde koyulaşmıştır; %20 ve %30 SPU gruplarında L* değerleri önemli ölçüde düşmüştür. a* değerleri SPU oranıyla birlikte artarak hamurun kırmızımsı tonlarının güçlendiğini göstermektedir. Buna karşın, b* değerleri kontrol gruplarında sarımsı bir tona işaret ederken, yüksek SPU içeren hamurlarda negatif değerlere kayarak daha mavimsi-yeşilimsi tonlar ortaya çıkmıştır. Bu veriler, SPU katkısının hamurun renk profilini koyulaştırdığı ve renk tonlarında belirgin değişikliklere neden olduğu sonucunu desteklemektedir.

Hamur örneklerinin renk ölçümleri incelendiğinde, glutenli kontrol ve glutensiz kontrol örneklerinin en yüksek L* değerlerine sahip olduğu ve dolayısıyla daha açık renkli oldukları görülmektedir. SNU eklenmesiyle birlikte L* değerlerinde azalma meydana gelmiştir. Bu da hamurun renginin koyulaştığını göstermektedir. En düşük

L* değeri %30 SNU grubunda kaydedilmiştir. a* değerleri, SNU oranının artmasıyla birlikte artış göstermiş ve hamurun kırmızı tonlarının güçlendiğini ortaya koymuştur. b* değerlerinde ise hafif bir azalma gözlemlenmiş, ancak tüm numunelerde sarı tonlar hâlâ belirginliğini korumuştur. Bu bulgular, SNU ilavesinin hamurun rengini koyulaştırırken, kırmızımsı tonlarını artırdığı anlamına gelmektedir.

Hamur örneklerinin renk değerleri incelendiğinde, glutenli ve glutensiz kontrol örneklerinde en yüksek L* değerlerine sahip olduğu ve en açık renk değerine sahip olmaları dikkat çekmektedir. SFU oranı arttıkça, L* değerlerinde belirgin bir düşüş gözlenmiş; özellikle %20 ve %30 SFU içeren hamurlardan daha koyu bir renk elde edilmiştir. a* değerleri kontrol örneklerine göre daha düşük ve dalgalı seyretmiş, bu da kırmızı-yeşil ekseninde hafif değişikliklere işaret etmektedir. b* değerlerindeki azalma ise SFU ilavesinin sarı tonları önemli ölçüde azalttığını göstermektedir. Sonuç olarak, SFU kullanımı hamurun rengini koyulaştırmakta ve sarı tonlarını azaltmaktadır.

SPU, SNU ve SFU hamur renk özellikleri üzerine etkileri incelendiğinde, unların ilavesiyle L* değerlerinde anlamlı azalma gözlenmiş ve hamurlar daha koyu renk tonlarına sahip olmuştur. SPU, en düşük L* değerleri ile en belirgin koyu renk değişimini sağlamıştır. a* değerleri, SPU ve SNU ilaveli hamurlarda pozitif yönde artış göstererek kırmızımsı tonların yükseldiğini, SFU ilaveli örneklerde ise daha nötr kaldığını göstermektedir. b* değerleri ise tüm örneklerde azalmış, özellikle SPU ve SFU ilavesi sarı tonunun belirgin biçimde düşmesine neden olmuştur. Bu bulgular, alternatif unların hamurun görsel kalitesini önemli ölçüde etkilediğini ve özellikle SPU renk profilini daha koyu ve kırmızımsı olacak şekilde değiştirdiğini ortaya koymaktadır.

4.5. Gofret Yapraklarında Yapılan Kimyasal ve Fiziksel Analizler

4.5.1. Gofret yapraklarının nem, kül, protein, pH ve su aktivitesi değerleri

Gofret yapraklarının nem, kül, protein, pH ve su aktivitesi değerlerine ait elde edilen veriler Çizelge 4.10‘da verilmiştir.

Çizelge 4.10. Gofret yapraklarının nem, kül, protein, pH ve su aktivitesi değerleri

Örnek Adı	Nem (%)	Kül (%)	Protein (%)	Su Aktivitesi	pH
GU-Kontrol	9.24±0.07^{cd}	1.31±0.10^{f}	11.41±0.01^{e}	0.27±0.01^{bc}	8.17±0.01^{b}
PU-Kontrol	9.32±0.01^{abc}	1.15±0.03^{fg}	8.73±0.01^{j}	0.22±0.03^{ef}	8.22±0.03^{a}
%7.5 SPU	9.16±0.02^{de}	1.16±0.12^{fg}	7.78±0.01^{n}	0.28±0.01^{bc}	8.15±0.01^{b}
%10 SPU	9.28±0.07^{bcd}	1.15±0.13^{fg}	7.83±0.01^{m}	0.29±0.03^{bc}	8.10±0.03^{c}
%20 SPU	9.22±0.18^{cd}	1.04±0.07^{g}	8.07±0.01^{l}	0.30±0.01^{b}	7.86±0.02^{f}
%30 SPU	9.15±0.01^{de}	1.10±0.09^{g}	8.15±0.01^{k}	0.33±0.01^{a}	7.75±0.01^{g}
%7.5 SNU	9.15±0.01^{de}	1.60±0.10^{e}	10.04±0.01^{h}	0.24±0.01^{de}	8.24±0.01^{a}
%10 SNU	9.39±0.06^{ab}	1.90±0.10^{bcd}	10.37±0.01^{f}	0.22±0.01^{ef}	8.06±0.01^{d}
%20 SNU	9.36±0.13^{abc}	2.17±0.05^{a}	12.39±0.01^{c}	0.22±0.01^{ef}	7.74±0.01^{g}
%30 SNU	9.45±0.02^{a}	2.13±0.30^{a}	14.31±0.01^{a}	0.19±0.01^{f}	7.51±0.02^{h}
%7.5 SFU	9.26±0.03^{bcd}	1.70±0.10^{de}	9.31±0.01^{i}	0.26±0.01^{cd}	8.25±0.03^{a}
%10 SFU	9.14±0.05^{de}	1.80±0.07^{cde}	10.17±0.01^{g}	0.28±0.01^{bc}	8.10±0.01^{c}
%20 SFU	9.23±0.03^{cd}	2.00±0.01^{abc}	11.85±0.01^{d}	0.26±0.01^{cd}	7.95±0.01^{e}
%30 SFU	9.03±0.01^{e}	2.10±0.11^{ab}	13.90±0.01^{b}	0.26±0.01^{cd}	7.74±0.01^{g}

*GU-Kontrol: %100 Gofretlik un, PU-Kontrol: %100 Pirinç unu, SPU: Siyah pirinç unu, SNU: Siyah nohut unu, SFU: Siyah fasulye unu
*Çizelgede aynı sütunda farklı harfle gösterilen örnekler arasında fark vardır($p<0.05$)

SPU ilavesiyle hazırlanan gofret yapraklarında artan SPU oranına bağlı olarak nem ve kül içeriklerinde istatistiksel olarak anlamlı farklılıklar gözlenmemiştir. En yüksek nem oranı glutensiz kontrol örneklerinde ölçülmüş olup, bu oran %30 SPU ilavesiyle gerilemiştir; bu durum, SPU'nun buğday ununa kıyasla daha düşük su tutma kapasitesine sahip olabileceğini ya da formülasyondaki bileşen oranlarının su bağlama özelliklerinin değişiminden kaynaklanmaktadır (Sushmitha ve Reddy, 2020; Shevchenko, 2022).

Kül içeriği açısından en yüksek değer glutenli kontrol örneklerinde belirlenmiş olup SPU oranı arttıkça kül miktarı azalarak %20 SPU ve %30 SPU ilaveli örneklerde düşüş olmuştur. Bu düşüş, SPU'nun mineral içeriğinin daha düşük olmasından kaynaklanmaktadır (Sushmitha ve Reddy, 2020). Protein içeriği bakımından en yüksek değere glutenli kontrol örneklerinde ulaşılmışken, %7.5 SPU ilaveli örneklerde en düşük çıkmıştır. SPU ilavesi arttıkça protein oranlarında yükselme olmuştur. SPU oranı arttıkça, SPU'nun kendi protein katkısı daha belirgin hale gelmekte ve toplam protein içeriğinde artışa neden olmaktadır. Özellikle, SPU, buğday ununa kıyasla daha yüksek protein, fosfor, demir ve toplam diyet lifi içeriğine sahiptir. Bu özellikleriyle, SPU'nun artan oranlarda kullanılması, ürünün besin değerini artırmaktadır. Ayrıca, SPU'nun tam tahıl yapısı ve yüksek amino asit profili, protein içeriğinin yükselmesine katkı sağlamaktadır (Ma vd., 2019). Bu bulgular, SPU'nun fonksiyonel gıda ürünlerinde protein içeriğini artırma potansiyelini göstermektedir.

Gofret yaprakları örneklerinde en düşük nem içeriği %7.5 SNU ilaveli örnekte, en yüksek değer ise %30 SNU içeren örnekte gözlenmiştir. Nem içeriğinde gözlenen bu artış, SNU'nun lif açısından zengin yapısına bağlı olarak su tutma kapasitesinin artmasıyla açıklanabilir. SNU oranı arttıkça, karışımdaki toplam lif miktarı yükselmiş, bu da daha fazla su bağlanmasına ve üründe daha yüksek nem oranına yol açmıştır (Ma vd., 2025). Ancak bu değişim, genel anlamda anlamlı farklılıklar göstermemiş, nem oranı örnekler arasında nispeten belirli bir aralıkta kalmıştır. Bu durum, formülasyonda kullanılan diğer bileşenlerin ve pişirme koşullarının dengeleyici etkisini de göstermektedir. SNU ilavesiyle hazırlanan gofret yaprağı örneklerinde kül ve protein içeriklerinde belirgin artışlar gözlemlenmiştir. Kül içeriği, özellikle %20 ve %30 SNU ilavelerinde en yüksek seviyelere ulaşmış, bu durum SNU'nun zengin mineral bileşimi (özellikle kalsiyum, magnezyum ve fosfor) ile ilişkilendirilmiştir

(Pasqualone, 2019). Protein içeriği ise SNU oranı arttıkça anlamlı şekilde yükselmiş, %30 SNU grubunda en yüksek değere ulaşılmıştır. Bu artış, nohut ununun yüksek kaliteli bitkisel protein ve temel amino asitler bakımından zengin yapısından kaynaklanmaktadır (Pasqualone, 2019). SNU'nun bu özellikleri, gofret ürünlerinde besin değerini artırıcı fonksiyonel bir bileşen olarak kullanılabileceğini göstermektedir.

Gofret yaprağı örneklerinde SFU ilavesiyle nem oranlarında anlamlı bir değişiklik gözlemlenmemiştir. Glutensiz kontrol örneğinde en yüksek değeri gösterirken, %30 SFU ilavesiyle bu oran düşmüştür. SFU'nun diyet lifi içeriği yüksek olmasına rağmen, bu durum su tutma kapasitesinde belirgin bir artışa neden olmamıştır. Bu sonuç, SFU'nun lif yapısının suyu absorbe etme kapasitesinin sınırlı olmasından kaynaklanmaktadır (Okakpu vd., 2024). SFU ilavesi, gofret yaprağı örneklerinde hem kül hem de protein oranlarında belirgin bir artışa yol açmaktadır. Kül içeriği, ürünlerdeki mineral bileşenlerin toplamını ifade ettiğinden, SFU'nun mineral bakımından zengin olduğunu göstermektedir. En düşük kül değeri glutensiz kontrol örneklerinde iken en yüksek değer %30 SFU ilaveli örneklerde ulaşılmıştır. Benzer şekilde, protein miktarı da SFU oranının artmasıyla yükselmişken en düşük değer yine glutensiz kontrol gofret yaprağı örneklerindedir. Bu sonuçlar, SFU'nun yüksek protein ve mineral içeriği sayesinde ürünün besin değerini geliştirdiğini ortaya koymaktadır (Okakpu vd., 2024). Ayrıca, SFU kullanımı gofretlerin besin profili ve fonksiyonel niteliklerinin iyileşmesini desteklemektedir.

SPU, SNU ve SFU ilavesiyle üretilen gofretler, kontrol örneklerine kıyasla besin bileşimi açısından çeşitli farklılıklar sergilemiştir. Nem oranları genellikle benzer düzeyde seyretmiş olsa da özellikle SNU içeren örneklerde lifçe zengin yapının etkisiyle su tutma kapasitesinde kısmi bir artış gözlenmiştir (Ma vd., 2025). Kül içeriği bakımından en yüksek değer SFU katkılı örneklerde tespit edilmiş olup, bu sonuç siyah fasulyenin mineral bakımından zenginliğini yansıtmaktadır (Okakpu vd., 2024). Protein düzeyi ise SPU ilavesiyle bir miktar azalırken, siyah fasulye oranı arttıkça belirgin bir şekilde yükselmiş ve %30 SFU içeren örnek en yüksek proteini içermiştir. Bu veriler, farklı siyah baklagil unlarının katkısının gofretlerin besleyici değerini çeşitlendirdiğini ve fonksiyonel özelliklerini olumlu yönde etkilediğini göstermektedir.

Okakpu vd. (2024) çalışmasında, yerel kaynaklardan elde edilen besin ve fonksiyonel özellikleri değerlendirilmiştir. SFU, %22.97 ile en yüksek protein içeriğine sahip olup, bu yönüyle önemli bir bitkisel protein kaynağı olarak öne çıkmıştır. Su tutma kapasitesi bakımından unlar arasında farklılıklar gözlenmiş ve bu değerler 0.84–2.78 g/g arasında değişmiştir; bu durum, unların fonksiyonel kullanım potansiyelini göstermektedir. Ayrıca, mineral içeriğini yansıtan kül oranı %4.02'ye kadar ulaşan SFU, yüksek mineral zenginliği ile dikkat çekmiştir. Bu sonuçlar, SFU'nun protein ve mineral açısından zengin yapısı ve fonksiyonel özellikleriyle gıda ürünlerinde değerli bir bileşen olabileceğini ortaya koymaktadır.

Ma vd. (2025) tarafından yürütülen çalışmada, siyah pirinç kepeği lifinin çeşitli işleme yöntemleri (örneğin enzimatik hidroliz ve yüksek basınçlı homojenizasyon) sonrası protein, su tutma kapasitesi ve mineral içeriği açısından gösterdiği değişimler incelenmiştir. Araştırma, işleme yöntemlerinin protein içeriğinde kısmi azalmaya yol açabileceğini, buna karşın lif yapısındaki değişimlerin su tutma kapasitesini anlamlı şekilde artırdığını ortaya koymuştur. Ayrıca, siyah pirinç kepeği doğal olarak demir, çinko, fosfor ve magnezyum gibi mineraller yönünden zengin bir kaynak olup, bu mineral içeriği işleme koşullarına bağlı olarak kül miktarında ve biyoyararlanımda değişiklikler göstermektedir. Bu sonuçlar, siyah pirinç kepeğinin fonksiyonel gıda bileşeni olarak değerlendirilebileceğini desteklemektedir.

Pasqualone vd. (2019) çalışmasında, Apulian SNU ilavesinin, makarnalık buğday bazlı fırın ürünlerinin besin ve kalite özelliklerine etkisi incelenmiştir. Çalışmada, SNU'nun protein içeriği %21.4 olarak belirlenmiş ve bu, buğday ununa kıyasla daha yüksek bir protein oranına işaret etmektedir. Ayrıca, SNU'nun su tutma kapasitesi, yüksek lif içeriği sayesinde artış göstermiştir. Mineral içeriği açısından, SNU demir, çinko ve magnezyum gibi mineraller bakımından zengin bulunmuştur. Bu bulgular, SNU'nun fırın ürünlerinin besin değerini ve fonksiyonel özelliklerini artırmada etkili bir bileşen olduğunu göstermektedir.

SPU, SNU ve SFU, buğday ununa kıyasla daha yüksek protein, diyet lifi ve mineral içeriği sunmaktadır. Bu unların gıda formülasyonlarına eklenmesi, özellikle protein ve kül oranlarını artırmakta; lifçe zengin yapılarıyla su tutma kapasitesini iyileştirerek ürünlerin fonksiyonel ve besinsel özelliklerini geliştirmektedir. Bu nedenle, söz

konusu alternatif unlar fonksiyonel gıdalar için değerli bileşenler olarak öne çıkmaktadır.

SPU ilavesinin gofret yaprağı örneklerinde pH ve su aktivitesi değerlerini etkilediğini göstermektedir. Artan SPU oranı ile birlikte pH seviyelerinde düşüş gözlenmiştir; Glutensiz kontrol örneklerinde pH en yüksekken, en düşük değer ise %30 SPU içeren örneklerde elde edilmiştir. Bu düşüş, SPU'nun daha düşük pH'a sahip bileşenler içermesiyle veya formülasyondaki bileşiklerin ürün ortamını daha asidik hale getirmesiyle ilişkili olabilir. Su aktivitesi açısından bakıldığında ise SPU ilave oranı arttıkça değerlerin yükseldiği görülmektedir; en yüksek su aktivitesi %30 SPU içeren grupta ölçülmüştür. Bu durum, SPU'nun lif ve kompleks karbonhidrat yapısının su bağlama özelliği ile ilişkilendirilebilir (Sushmitha ve Reddy, 2020; Shevchenko, 2022). Sonuç olarak, SPU ilavesi, ürünün mikrobiyal stabilitesi ve raf ömrü üzerinde etkili olabilecek fizikokimyasal değişimlere neden olmaktadır.

SNU ilavesi gofret yaprakları örneklerinde hem pH hem de su aktivitesi üzerinde etkili olmuştur. Düşen pH değerleri, özellikle SNU oranı arttıkça daha belirgin hale gelmiş; %7.5 SNU grubunda pH en yüksek seviyedeyken, %30 SNU ilavesinde en düşük değer olarak sonuç vermiştir. Kontrol örnekleri ile kıyaslanınca ise en yüksek değeri glutensiz kontrol örneklerinde elde edilmiştir. Bu azalma, SNU'nun yapısında bulunan bileşenlerin ürün ortamını daha asidik hale getirmesiyle ilişkilidir (Pasquale, 2021). Su aktivitesine bakıldığında ise, artan SNU miktarının bu parametreyi düşürdüğü görülmektedir. Özellikle %30 SNU içeren örnekte en düşük su aktivitesi değeri ölçülmüştür. Bu durum, yüksek lif içeriğine sahip SNU'nun serbest suyu bağlayarak ürünün su aktivitesini sınırladığına işaret etmektedir (Pasquale, 2021). Genel olarak, SNU ilavesi gofretlerin raf ömrü ve mikrobiyal dayanıklılığı açısından olumlu etkilere sahip olabilir.

SFU ilavesiyle formüle edilen gofret yaprağı örneklerinde pH ve su aktivitesi değerlerinde anlamlı değişiklikler elde edilmiştir. Glutensiz kontrol örneklerinde pH değeri en yüksek seviyedeyken, SFU oranının artmasıyla birlikte pH değerlerinde kademeli bir azalma meydana gelmiş; en düşük pH %30 SFU ilaveli örneklerde tespit edilmiştir. Bu durum, SFU'nun içerdiği organik asitler ve fenolik bileşiklerin ortamın asitliğini artırıcı etkisiyle ilişkilendirilebilir (Okafor, 2015). Su aktivitesi bakımından

SFU oranındaki artış bu parametre üzerinde belirgin bir farklılık yaratmamıştır. Bu bulgular, SFU'nun gofretlerde mikrobiyolojik stabilite ve raf ömrü açısından sınırlı bir etkisi olduğunu, ancak pH düzeyini düşürerek asidik dengeyi etkileyebileceğini göstermektedir.

Okafor vd. (2015) tarafından yapılan çalışmada, siyah fasulye (*Phaseolus vulgaris*) ununun fonksiyonel özellikleri pH ve sıcaklık değişimlerine göre değerlendirilmiştir. Bulgular, SFU'nun su tutma kapasitesinin pH 4 seviyesinde maksimuma ulaştığını, alkali koşullarda ise bu kapasitenin azaldığını ortaya koymuştur. Artan pH değerlerinin, protein çözünürlüğünü ve emülsifiye edici özellikleri artırarak köpürme kapasitesi ve ıslanabilirlik gibi fonksiyonel parametreleri olumlu yönde etkilediği belirlenmiştir. Bu sonuçlar, SFU'nun pH duyarlılığının, ürünün nem içeriği ve raf ömrü üzerinde belirleyici olabileceğini göstermektedir.

Sushmitha ve Reddy (2020) çalışmasında SPU'nun pH değeri yaklaşık 6.2 olarak belirlenmiş, bu da hafif asidik bir ortamı göstermektedir. Su aktivitesi doğrudan ölçülmemekle birlikte, %10.86 nem içeriği unun düşük su aktivitesine işaret etmekte olup, bu da mikrobiyal stabilite açısından avantaj sağlamaktadır.

Shevchenko (2022) araştırmasında pirinç ununun fonksiyonel özellikleri ele alınmış ve bu unun buğday hamurundaki yapısal değişimlere etkisi incelenmiştir. Pirinç ununun pH değeri genellikle nötrden hafif asidik (yaklaşık 6-7) seviyelerde ölçülmüş olup, bu durum hamurun asitlik seviyesini hafifçe değiştirebilmektedir. Su aktivitesi bakımından ise, pirinç ununun düşük nem oranı ve yüksek nişasta içeriği, su tutma kapasitesini sınırlayarak su aktivitesinin dengede kalmasını sağlamaktadır. Bu nitelikler, hamurun yapısal dayanıklılığı ve ekmek kalitesinin iyileştirilmesine katkıda bulunmaktadır.

Ma vd. (2025), siyah pirinç kepeği liflerinin farklı işleme yöntemlerine göre su tutma kapasitesinin pH'a bağlı olarak değiştiğini göstermiştir. Nötr ve hafif alkali pH'larda su tutma kapasitesi artarken, düşük pH seviyelerinde azalma gözlenmiştir. Su aktivitesi doğrudan ölçülmemiştir, ancak liflerin suyla etkileşim yeteneği değerlendirilmiştir.

SPU, SNU ve SFU kullanımıyla üretilen gofret yaprağı örneklerinde pH değerlerinde genel bir düşüş eğilimi gözlenmiş, bu durum söz konusu unların içerdiği organik asitler ve fenolik bileşiklerin ürünü daha asidik hale getirmesiyle ilişkilendirilmiştir. Su aktivitesi açısından ise örnekler arasında küçük farklılıklar bulunmakla birlikte, genel olarak güvenli seviyelerde kalmıştır. Özellikle bazı un ilaveleriyle su aktivitesinde hafif artışlar veya azalmalar meydana gelmiş; bu durum lif içeriği, formülasyondaki diğer bileşenlerin su bağlama kapasitesi ve unların fizikokimyasal özelliklerine bağlı olarak değişmiştir. Bu bulgular, alternatif unların pH ve su aktivitesi üzerinde sınırlı ama dikkate değer etkiler oluşturabileceğini göstermektedir.

4.5.2. Gofret yapraklarının toplam diyet lif, toplam fenolik madde ve antioksidan aktivite değerleri

Gofret yapraklarının toplam diyet lif, toplam fenolik madde ve antioksidan aktivite değerleri Çizelge 4.11’ de belirtilmiştir.

Çizelge 4.11. Gofret yapraklarının bileşimindeki toplam diyet lif, toplam fenolik madde ve antioksidan aktivite değerleri

Örnek Adı	TDL (%)	TFM (mg GAE/g örnek)	AA (%)
GU-Kontrol	5.02±0.06^{i}	35.57±3.35^{a}	62.31±1.79^{b}
PU-Kontrol	1.25±0.17^{j}	16.95±3.67^{fg}	51.49±0.13^{i}
%7.5 SPU	7.56±0.23^{h}	23.48±1.04^{cd}	55.83±0.31^{fg}
%10 SPU	8.36±0.012^{g}	25.22±0.46^{c}	57.73±0.71^{d}
%20 SPU	8.34±0.43^{g}	30.36±0.96^{b}	60.24±0.54^{c}
%30 SPU	8.99±0.13^{g}	31.60±0.46^{b}	61.28±0.41^{bc}
%7.5 SNU	12.70±0.52^{d}	11.85±0.06^{fg}	53.56±0.43^{h}
%10 SNU	12.62±0.11^{d}	18.47±0.75^{h}	53.99±0.48^{h}
%20 SNU	15.85±0.60^{b}	19.57±0.28^{ef}	55.07±0.55^{gh}
%30 SNU	18.74±0.36^{a}	21.81±1.48^{de}	56.34±0.53^{def}
%7.5 SFU	9.78±0.13^{f}	11.60±0.90^{h}	53.60±0.30^{h}
%10 SFU	10.65±0.24^{e}	15.81±0.52^{g}	55.15±0.34^{gh}
%20 SFU	14.53±0.40^{c}	19.51±1.12^{ef}	57.50±0.35^{de}
%30 SFU	19.22±1.01^{a}	37.20±3.63^{a}	67.37±2.93^{a}

*GU-Kontrol: %100 Gofretlik un, PU-Kontrol: %100 Pirinç unu, SPU: Siyah pirinç unu, SNU: Siyah nohut unu, SFU: Siyah fasulye unu
*TDL: Toplam diyet lif, TFM: Toplam fenolik madde, AA: Antioksidan aktivite
*Çizelgede aynı sütunda farklı harfle gösterilen örnekler arasında fark vardır($p<0.05$)

SPU ilaveli gofret yapraklarında toplam diyet lif değerleri glutenli ve glutensiz kontrol örnekleri ile kıyaslandığında daha yüksek değer vermiştir, en düşük toplam diyet lif değerini glutensiz kontrol örneklerinde ulaşılmıştır. SPU ilave oranları kıyaslandığında toplam diyet lif değerlerinde anlamlı bir değişkenliğe ulaşılmamıştır. En düşük toplam diyet lif değerinin glutensiz kontrol örneklerinde olmasının nedeni siyah pirincin öğütülmeden önce dış katmanları olan kepek ve tohum kısımlarının korunmasıdır. Bu dış katmanlar hem çözünür hem de çözünmez diyet lifin büyük kısmını içermektedir. Beyaz pirinç ve buğday unlarında bu katmanlar ayrılmaktadır. Bundan dolayı da diyet lif içeriği önemli derecede düşmektedir (Kushwaha, 2016; Das vd., 2023; Thilavech vd., 2025). En yüksek fenolik madde ve antioksidan aktivite değerleri ise glutenli kontrol örneklerinde sonuç vermişken en düşük değere ise glutensiz kontrol örneklerinde ulaşılmıştır. SPU oranlarının artış göstermesiyle fenolik madde ve antioksidan aktivite değerlerinde düzenli bir artış olmuştur. Bu durumun nedeni siyah pirincin yapısında bulunan antosiyaninler, flavonoidler ve diğer fenolik bileşiklerin yüksek oranlarda bulunmasıdır. Siyah pirincin kepek ve aleuron kısımları bu bileşikleri yüksek miktarlarda içermektedir ve bu kısımlar öğütme sürecinde korunmaktadır. Bu durumda fenolik madde düzeylerinin ve antioksidan aktivite değerlerinin yüksek olmasında önemli bir rol almaktadır. Glutenli unlar ise doğal olarak fenolik madde içermektedir hem de bu bileşikleri yapı içinde tutma kapasitesinin yüksek olması fenolik madde içeriğinin ve antioksidan aktivite değerinin yüksek çıkmasını sağlamaktadır (Das vd., 2023; Thilavech vd., 2025).

SNU ilaveli gofret yapraklarında toplam diyet lif değerleri glutenli ve glutensiz kontrol örnekleri ile karşılaştırıldığında daha yüksek değerlere ulaşılmıştır, en düşük toplam diyet lif değerini glutensiz kontrol örneklerinde ulaşılmıştır. SNU ilave oranları kıyaslandığında toplam diyet lif değerlerinde en yüksek %30 SNU ilaveli örneklerde ulaşılmış ve bunu %20 SNU ilaveli örnekler takip etmiştir. SNU oranı arttıkça diyet lif değeri yükselmiştir. Bunun nedeni siyah nohutun kabuk yapısının lif bakımından zengin olması ve un üretiminde bu kabuğundan ayrılmadan öğütülmesidir. Bu durum da SNU'nun toplam diyet lif miktarının yüksek olmasına neden olmuştur (Costantini vd., 2021). En yüksek fenolik madde ve antioksidan aktivite değerlerine glutenli kontrol örneklerinde ulaşılmışken en düşük fenolik madde değerine %10 SNU ilaveli örneklerde ulaşılmıştır. En düşük antioksidan aktivite değerine ise glutenli kontrol örneklerinde ulaşılmıştır. Fenolik madde ve antioksidan aktivite değerleri SNU

oranları arttıkça değerler yükselmiştir. Bunun sebebi siyah nohutun kabuğunda bulunan fenolik ve etki gösteren antioksidan maddelerin una geçmesidir. Flavonoidler ve antosiyaninler açısından güçlü bir yapıya sahiptir ve un üretiminde kabuğu ayrıştırılmadan öğütüldüğünden dolayı bu bileşenler son ürüne geçmektedir. Glutenli kontrol örneklerinde buğday unu kullanıldığı için fenolik madde ve antioksidan içerikleri daha düşüktür. SNU'nun oranı arttıkça iki parametrede de değerler yükselmiştir. Bu sonuçlar SNU'nun gıda ürünlerinde fonksiyonel bir madde olarak kullanılması sonucu besin değerinin artış göstereceği sonucuna ulaşılmıştır (Pasqualone vd., 2019).

SFU ilaveli gofret yapraklarında toplam diyet lif değerleri glutenli ve glutensiz kontrol örnekleri ile karşılaştırıldığında daha yüksek değerlere ulaşılmış ve en düşük değer glutensiz kontrol örneklerinde sonuç vermiştir. SFU ilave oranları kıyaslanınca toplam diyet lif değeri düzenli olarak artış göstermiştir. En yüksek değere %30 SFU ilaveli örneklerde ulaşılmıştır. SFU ilavesiyle hazırlanan gofret yapraklarında toplam diyet lif değerlerinin hem glutenli hem de glutensiz kontrol örneklerine kıyasla daha yüksek bulunmasının temel nedeni, SFU'nun yüksek lif, protein ve fenolik bileşik içeriğidir. Örneğin, 100 gram SFU'nda yaklaşık 4.02 gram diyet lifi bulunurken, glutensiz unlar genellikle daha düşük lif içerir. Bu nedenle, SFU ilave oranı arttıkça (%7.5'dan %30'a), formülasyondaki toplam lif miktarı düzenli olarak artar ve besin değeri yükselir (Okakpu vd., 2024). En yüksek fenolik madde değerine glutenli kontrol ve %30 SFU ilaveli örneklerde ulaşılmışken en düşük değere ise %7.5 SFU ilaveli örneklerde ulaşılmıştır. En yüksek antioksidan aktivite değeri %30 SFU ilave oranında ulaşılmışken en düşük değere ise %7.5 SFU ilaveli örneklerde ulaşılmıştır. SFU ilave oranlarının artması toplam fenolik madde ve antioksidan aktivite değerlerinde artış göstermiştir. SFU ilavesiyle hazırlanan gofret yapraklarında toplam fenolik madde ve antioksidan aktivite düzeylerinin, SFU oranının artmasıyla birlikte yükselmesinin başlıca nedeni, siyah fasulyenin fenolik bileşikler ve antioksidanlar bakımından doğal olarak zengin bir içeriğe sahip olmasıdır. Siyah fasulye; başta antosiyaninler, flavonoidler ve fenolik asitler olmak üzere birçok güçlü antioksidan bileşiği yüksek miktarda içerir. Bu bileşenler, özellikle tohumun dış kabuğunda ve iç dokularında yoğunlaşmıştır. SFU ilave oranı %7.5'ten %30'a çıkarıldığında, bu bileşiklerin ürüne katkısı da arttığı için toplam fenolik madde ve antioksidan aktivite değerlerinde

belirgin bir yükseliş gözlenir. Bu da SFU'nu fonksiyonel gıdalarda kullanılabilecek değerli bir bileşen haline getirir (Abdulrahman vd., 2020; Nicolás-García vd., 2022).

Gofret yapraklarının toplam diyet lif değeri %30 SNU ilaveli ve %30 SFU ilaveli örneklerde en yüksek sonuç vermiştir. Glutenli kontrol ve glutensiz gofret yaprakları kıyaslandığında ise glutensiz ürünlerin daha yüksek toplam diyet lif içeriğine sahip olduğu gözlemlenmiştir. Toplam fenolik madde ve antioksidan aktivite değeri ise en yüksek %30 SFU ilaveli ve glutenli kontrol örneklerinde ulaşılmıştır. En düşük toplam fenolik madde değeri ise %10 SNU ve %7.5 SFU ilaveli örneklerde ulaşılmıştır. En düşük antioksidan aktivite değeri ise %7.5 SNU, %10 SNU ve %7.5 SFU ilaveli örneklerde ulaşılmıştır. Gofret yapraklarında %30 SNU ve %30 SFU ilaveli örneklerde toplam diyet lif değerinin en yüksek seviyede olmasının nedeni, bu baklagil unlarının yüksek lif içeriğine sahip olmalarıdır (Okakpu vd., 2024). Glutensiz ürünlerde lifin daha yüksek olması, genellikle glutensiz formülasyonlarda tam tahıl veya lifçe zengin unların kullanılmasından kaynaklanmaktadır. Toplam fenolik madde ve antioksidan aktivite değerlerinin en yüksek olduğu %30 SFU ilaveli ve glutenli kontrol örnekleri, siyah fasulyenin zengin fenolik bileşikler (özellikle antosiyaninler, flavonoidler ve fenolik asitler) içermesiyle açıklanabilir (Fonseca-Hernández vd., 2021). Düşük katkı oranlarında (%10 SNU ve %7.5 SFU) ise bu bileşiklerin yetersizliği nedeniyle fenolik madde ve antioksidan aktivite değerleri düşük kalmıştır.

Kushwaha (2016), siyah pirincin besin öğeleri açısından zengin yapısını ve gıdalarda kullanım potansiyelini ele almıştır. Antosiyaninler, fenolik bileşikler, lif, vitamin ve mineraller yönünden yüksek değerlere sahip olan siyah pirinç, güçlü antioksidan kapasitesi ile dikkat çeker. Bu özellikleri sayesinde, fonksiyonel gıdalarda hem besin içeriğini artıran hem de doğal renk sağlayan bir bileşen olarak kullanılabilir.

Pasqualone vd. (2019), Apulian SNU ilavesinin durum buğdayı bazlı fırın ürünlerinde protein, lif ve fenolik içerik ile antioksidan kapasiteyi artırdığını göstermiştir. Ayrıca, bu katkı ürünlerin tat ve dokusunu olumlu yönde etkilemiştir. Böylece SNU, fonksiyonel ve besleyici gıdalarda değerli bir katkı maddesi olarak öne çıkmaktadır.

Abdulrahman vd. (2020) siyah fasulyenin *(Phaseolus vulgaris L.)* biyolojik olarak aktif bileşenlerini kapsamlı şekilde değerlendirmiştir. Siyah fasulye, zengin fenolik

bileşikler, flavonoidler, antosiyaninler ve çeşitli antioksidan maddeler barındırmaktadır. Bu bileşenler, gıdalarda doğal antioksidan görevi görerek ürünlerin oksidatif hasarını azaltabilir ve besin kalitesini yükseltebilir. Ayrıca, siyah fasulyenin içerdiği diyet lifleri, proteinler ve diğer fitokimyasallar, fonksiyonel gıdalar aracılığıyla sağlık üzerinde olumlu etkiler sunma potansiyeline sahiptir. Böylece siyah fasulye, yüksek besin değeri ve raf ömrünü uzatma özelliğiyle gıda sektöründe değerli bir bileşen olarak yer almaktadır.

Fonseca-Hernández vd. (2021) çalışmasında, siyah fasulyeden elde edilen polifenolce zengin içeriklerin yüksek antioksidan kapasiteye sahip olduğu ve serbest radikalleri etkili şekilde baskıladığı belirlenmiştir. Bu bileşikler, gıdalarda doğal antioksidan olarak kullanılabilir; fenolik yapıları sayesinde ürünün besleyici değerini artırma ve raf ömrünü uzatma potansiyeli taşır. Bu nedenle siyah fasulye, fonksiyonel gıda formülasyonlarında değerlendirilebilecek önemli bir bileşen olarak öne çıkmaktadır.

Costantini vd. (2021) çalışmasında, Kabuli ve Apulian SNU üretiminden elde edilen yan ürünlerin glutensiz taze makarnalarda diyet lifi ve biyolojik açıdan aktif bileşik kaynakları olarak kullanımı incelenmiştir. Bu yan ürünlerin makarnaya dahil edilmesi, lif ve fenolik içeriklerinin kayda değer şekilde artmasını sağlayarak ürünün antioksidan kapasitesini artırmıştır. Ayrıca, bu atıkların glutensiz ürünlerin besin kalitesini yükseltmek amacıyla yenilikçi ve çevre dostu bir hammadde alternatifi olduğu belirtilmiştir. Sonuç olarak, nohut yan ürünleri glutensiz gıda üretiminde fonksiyonel ve besleyici katkı maddesi olarak önemli bir potansiyel taşımaktadır.

Nicolás-García vd. (2022) araştırmasına göre, siyah fasulyede bulunan fenolik bileşikler özellikle tohumun kabuk kısmında yoğunlaşmıştır. Bu bileşikler arasında antosiyaninler ve fenolik asitler başta gelir. Depolama süresi arttıkça fenolik içeriklerde azalma gözlenmiştir. Bu durum, siyah fasulyenin özellikle kabuğu ile birlikte kullanıldığında, gıdalarda doğal antioksidan kaynağı ve besin değerini artıran fonksiyonel bir bileşen olarak değerlendirilebileceğini göstermektedir.

Das vd. (2023) siyah pirincin zengin antosiyanin, fenolik bileşik ve lif içeriği sayesinde güçlü antioksidan ve sağlık destekleyici özelliklere sahip olduğunu göstermiştir. Bu

özellikler, siyah pirinci fonksiyonel gıdalarda besin değeri artırıcı ve doğal renk verici olarak değerli kılmaktadır.

Okakpu vd. (2024), hindistan cevizi, darı, siyah fasulye ve olgunlaşmamış muz kabuklarından elde edilen unların kalite özelliklerini incelemiştir. Çalışmada bu unların besin içerikleri, özellikle protein, lif ve fenolik bileşik miktarları değerlendirilmiş, SFU yüksek lif ve fenolik içerik açısından öne çıkmıştır. Ayrıca bu unların gıda ürünlerinde lif ve antioksidan kapasiteyi artırmak amacıyla katkı maddesi olarak kullanılabileceği vurgulanmıştır. Sonuçlar, baklagil ve bitkisel kabuk unlarının fonksiyonel gıdalarda doğal besin zenginleştirici ve koruyucu olarak değerli potansiyel taşıdığını göstermektedir.

Thilavech vd. (2025), siyah pirinçte bulunan antosiyaninlerin postprandiyal glikoz ve lipid düzeylerini dengeleyerek diyabet ve kardiyovasküler hastalıklara karşı koruyucu etkiler sağladığını belirtmiştir. Bu nedenle siyah pirinç, fonksiyonel ve besleyici gıdalarda kullanılabilecek önemli bir bileşen olarak öne çıkmaktadır.

Siyah fasulye, siyah nohut ve siyah pirinç gibi koyu renkli baklagiller ve tahıllar, içeriklerindeki yüksek lif, fenolik bileşik ve antosiyanin düzeyleri sayesinde dikkat çekmektedir. Bu bileşenler, gıdalara hem besinsel katkı sağlamakta hem de doğal antioksidan görevi üstlenmektedir. Yapılan araştırmalar, bu hammaddelerin gofret formülasyonlarına eklenmesinin, ürünlerin toplam diyet lif oranını, toplam fenolik madde içeriğini ve antioksidan kapasitesini anlamlı düzeyde yükselttiğini ortaya koymuştur. Dolayısıyla bu bileşenler, fonksiyonel ve sağlığı destekleyen ürünler geliştirmek için değerli bir seçenek sunmaktadır.

4.5.3. Gofret yapraklarının çap, kalınlık, ağırlık ve pişme kaybı değerleri

Üretilmiş olan gofret yapraklarının pişme ve oda sıcaklığında 30 dakika soğutma sonrası ölçülen, çap, kalınlık, ağırlık ve pişme kaybı değerleri Çizelge 4.12'de belirtilmiştir.

Çizelge 4.12. Gofret yapraklarının çap, kalınlık, ağırlık ve pişme kaybı değerleri

Örnek Adı	Çap (mm)	Kalınlık (mm)	Ağırlık (g)	Pişme Kaybı (%)
GU-Kontrol	132.06±1.37^{a}	2.83±0.05^{ab}	7.10±0.07^{ab}	38.70±0.29^{cde}
PU-Kontrol	123.00±0.45^{fg}	2.23±0.15^{d}	6.66±0.08^{cd}	30.60±0.37^{ab}
%7.5 SPU	121.80±0.85^{gh}	2.60±0.01^{bc}	7.15±0.04^{ab}	28.54±0.18^{cde}
%10 SPU	131.70±0.81^{a}	2.83±0.11^{ab}	7.28±0.25^{a}	28.03±0.98^{e}
%20 SPU	121.50±0.55^{gh}	2.50±0.10^{c}	7.23±0.06^{a}	28.21±0.25^{de}
%30 SPU	130.53±1.36^{ab}	2.80±0.10^{ab}	7.23±0.11^{a}	28.21±0.45^{de}
%7.5 SNU	127.00±1.60^{h}	2.80±0.10^{ab}	6.52±0.60^{d}	31.47±3.03^{a}
%10 SNU	129.18±2.01^{cd}	2.78±0.15^{ab}	6.84±0.14^{bcd}	29.84±0.63^{abcde}
%20 SNU	120.30±0.30^{bc}	2.87±0.15^{a}	6.79±0.13^{bcd}	30.07±0.58^{abcd}
%30 SNU	126.63±1.33^{de}	2.83±0.05^{ab}	6.89±0.03^{abcd}	29.58±0.10^{bcde}
%7.5 SFU	124.80±1.70^{def}	2.70±0.10^{abc}	6.91±0.10^{abcd}	29.54±0.45^{bcde}
%10 SFU	124.73±1.70^{def}	2.93±0.57^{a}	6.81±0.03^{bcd}	29.97±0.16^{abcd}
%20 SFU	119.90±1.90^{h}	2.70±0.20^{abc}	6.76±0.17^{bcd}	30.17±0.79^{abc}
%30 SFU	124.30±1.73^{ef}	2.50±0.26^{c}	6.91±0.15^{abc}	29.51±0.68^{bcde}

*GU-Kontrol: %100 Gofretlik un, PU-Kontrol: %100 Pirinç unu, SPU: Siyah pirinç unu, SNU: Siyah nohut unu, SFU: Siyah fasulye unu
*Çizelgede aynı sütunda farklı harfle gösterilen örnekler arasında fark vardır($p<0.05$)

SPU ilaveli gofret yapraklarında en yüksek çap değerleri glutenli kontrol ve %10 SPU ilaveli örneklerde elde edilmiştir. En düşük çap değeri ise %7.5 ve %20 SPU ilaveli örneklerde elde edilmiştir. En yüksek kalınlık değerlerine de glutenli kontrol, %10 SPU ilaveli ve %30 SPU ilaveli örneklerde ulaşılmıştır. Çap ve kalınlık değerlerinde SPU ilavesinin sonuçları çok değiştirmediği kontroller ile yakın değerler elde edildiği gözlemlenmiştir. Ağırlık en yüksek %10 SPU ilaveli örneklerde sonuç vermiştir. Pişme kaybı ise en çok yine %10 SPU ilaveli örneklerde olmuştur. Gluten içermeyen hamurlar, gluten proteininin sağladığı güçlü ağ yapısını oluşturamadıkları için, SPU'nun oranı arttıkça hamurun pişme sürecinde su tutma kapasitesi azalmakta ve buna bağlı olarak su kaybı belirgin bir şekilde artmaktadır.

SNU ilaveli gofret yapraklarında ise en yüksek çap değeri glutenli kontrol örneklerinde elde edilmiştir. En düşük çap değeri ise %7.5 SNU ilaveli örneklerde elde edilmiştir. SNU ilave oranları arttıkça gofret yapraklarının çap değerlerinin daha yüksek sonuç verdiği gözlemlenmiştir. Bunun nedeni SNU oranı arttıkça, SNU'nun su tutma kapasitesi ve lifli yapısı, hamurun daha esnek ve yayılabilir olmasına neden olmuş, bu da çap değerlerinin yükselmesine yol açmıştır (Tufan, 2018). Glutensiz örneklerde elastik yapının düşük olmasından dolayı çap değerleri genel olarak düşük kalırken, glutenli kontrol örneği en yüksek çap değerini göstermiştir (Gallagher vd., 2004; Gül vd. 2024). Kalınlık değerleri incelendiğinde en yüksek sonuç %20 SNU ilavesinde ve en düşük sonuç ise glutensiz kontrol örneklerinde elde edilmiştir. SNU ilave edilen örnekler ile glutenli kontrol kıyaslanınca sonuçlarda belirgin bir farklılık bulunmamaktadır. Bu durum, SNU'nun yüksek su tutma kapasitesi ve yapısal bütünlüğü sağlamasından kaynaklanmaktadır. Örneklerin ağırlıklarında en yüksek sonucu glutenli kontrol verirken SNU ilaveli gruplarda ve glutensiz kontrol örnekleri arasında önemli bir değişiklik tespit edilmemiştir. Pişme kaybı en yüksek glutenli kontrol ve %7.5 SNU ilaveli örneklerde sonuç vermiştir. Ama yine de sonuçlar arasında istatiksel olarak anlamlı bir fark bulunamamıştır.

SFU ilaveli gofret yapraklarında da en yüksek çap değeri glutenli kontrol örneklerinde en düşük değer ise %20 SFU ilaveli örnekte elde edilmiştir. Genel olarak kıyaslanınca glutenli kontrol örneği dışında çap değerlerinde anlamlı bir fark bulunamamıştır ($p<0,05$). Bu da glutensiz hamurların yeterli yapı oluşturamamasının bir sonucudur (Gallagher vd., 2004; Aaliya vd., 2021). Kalınlık değerlerinde en yüksek sonuç %10

SFU ilaveli örnekte bulunmuşken en düşük sonuç glutensiz kontrolde bulunmuştur. Genel olarak kalınlık değerleri arasında SFU grubunda ve glutenli kontrol örneklerinde anlamlı bir farklılığa ulaşılmamıştır. Ağırlıkları arasında en yüksek değeri glutenli kontrol vermişken diğer örneklerde belirli bir farklılık olmamıştır. Pişme kaybında da yine aynı şekilde örnekler arasında anlamlı bir fark yokken glutensiz kontrol en yüksek değeri vermiştir. Bunun nedeni de glutensiz hamurlar, yapısal bütünlüklerinin düşük olmasından kaynaklı pişirme sırasında daha fazla su kaybeder. Gluten, hamurun su tutma kapasitesini artırarak suyun kaybını durdururken, glutensiz hamurlar yeterli ağ yapısını sağlayamadığı için daha fazla suyun buharlaşmasına neden olur. Bu durum da pişirme kaybını artırır (Ronda vd., 2017; Yazar ve Demirkesen, 2023).

Gofret yapraklarının çap değeri glutenli kontrol ve %10 SPU katkılı glutensiz örneklerde en yüksek sonuç vermiştir. Glutenli kontrol ve glutensiz gofret yaprakları kıyaslandığında ise glutensiz ürünlerin daha düşük çap değerleri olduğu gözlenmiştir. En düşük çap değerini %7.5 SNU ve %20 SFU katkılı örnekler vermiştir. Bunun nedeni gluten içeren gofret hamurları, glutenin sağladığı esneklik ve dayanıklılık sayesinde pişirme sırasında daha fazla yayılır ve bu da yaprakların çapının daha büyük olmasına neden olur. Buna karşılık, glutensiz hamurlar bu yapıyı oluşturamadıkları için daha az yayılır ve daha küçük çapa sahip olurlar (Gallagher vd., 2004). En düşük kalınlık değerini ise glutensiz kontrol örnekleri vermiştir. En yüksek kalınlığa %20 SNU ve %10 SFU örneklerinde ulaşılmıştır. İlave edilen glutensiz unlar (spu-sfu) kalınlığın yükselmesine neden olmuştur. Glutensiz gofretlerin kalınlığının yüksek olmasının nedeni glutensiz hamurda gluten ağı bulunmadığı için elastikiyet ve yayılma kapasitesi sınırlıdır. Glutenli hamurlar pişme sırasında daha fazla yayılma eğilimindeyken, glutensiz hamurların yayılma yeteneği daha düşüktür, bu da daha kalın yaprakların oluşmasına neden olur.

Bozdoğan (2015) çalışmasında, glutensiz kek formülasyonlarında kinoa unu, armut posası tozu ve ksantan gam kullanımının hamur reolojisi ve kek kalitesi üzerindeki etkileri incelenmiştir. Bu çalışmada, kinoa unu kullanımının hamurun viskozitesini artırdığı ve keklerin fiziksel özelliklerini olumlu yönde etkilediği bulunmuştur.

Gül vd. (2024) çalışmalarında, çölyak hastaları için Isparta gülü (*Rosa damascena Mill.*) yaprağı unu kullanılarak glutensiz dondurma külahları geliştirilmiştir. Bu çalışmada glutenli gofret yapraklarının çap ve kalınlıklarının glutensiz gofret yapraklarına göre daha yüksek olduğu sonucuna ulaşıldığı bildirilmiştir.

Pişme sonrası ağırlıkları en yüksek olan glutensiz örneklerin pişme kaybı değerleri de daha az ölçülmüştür. En yüksek ağırlıkları %10, %20 ve %30 oranlarındaki siyah pirinç ilaveli gofret yaprakları vermiştir. Pişme kaybı da en düşük değere %10 oranında SPU ilaveli gofret yapraklarında ulaşılmıştır. Glutenli hamurlar, güçlü bir ağ yapısına sahip olduğu için pişme sırasında su kaybını daha iyi bir şekilde kontrol edebilirken, gluten içermeyen hamurlar bu yapıyı oluşturamadığından pişerken daha fazla su kaybeder.

Mert (2014) çalışmasında, pirinç ununun farklı glutensiz unlarla kısmi ikamesinin gofret yapraklarının ağırlık kaybı üzerindeki etkilerini incelemiştir. Sonuçlar, pirinç unu ve pirinç-mısır unu karışımlarının ağırlık kaybı açısından anlamlı fark göstermediğini, ancak diğer un karışımlarının farklı ağırlık kaybı değerleri gösterdiğini ortaya koymuştur. Özellikle, pirinç-karabuğday unu karışımının %40:60 oranı, buğday unu örneğine en yakın ağırlık kaybı değerini vermiştir.

Tufan (2018) çalışmasında buğday ununun buğday ununun %10, %20 ve %30 oranlarında baklagil unları (mercimek, nohut, fasulye ve keçiboynuzu) ile ikame edilmesinin gofret yapraklarının ağırlık kaybı üzerine etkileri araştırılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre, baklagil unu miktarının artması, pişirme sırasında gofret yapraklarının ağırlık kaybını azaltmıştır. Özellikle mercimek unu eklenen örnekler, kontrol grubuyla benzer ağırlık kaybı değerleri göstermiştir. Bu durum, mercimek ununun yüksek lif içeriği ve su tutma kapasitesinden kaynaklanmaktadır.

Altınok vd. (2022) çalışmalarında, gofret hamurunda buğday unu yerine %5, %10 ve %15 oranlarında üzüm posası ikame edilmiştir. Üzüm posası ilave edilen gofret yapraklarının pişirme sırasında daha düşük ağırlık kaybı gösterdiği sonucuna ulaşılmıştır.

Gül vd. (2024) çalışmalarında, Isparta gülü yaprağı unu ile zenginleştirilmiş glutensiz dondurma külahlarının pişirme sırasında ağırlık kaybı değerleri incelenmiştir. Çalışmada, glutenli ve glutensiz dondurma külahları karşılaştırıldığında, Isparta gülü yaprağı ile zenginleştirilmiş külahların pişirme sırasında daha düşük ağırlık kaybı gösterdiği sonucuna ulaşılmıştır.

Gofret makinasına tek bir örnek için konulan hamur miktarı bütün örnek için de aynı ölçüde tutulmuştur. Pişirme sırasında, glutensiz un katkılı örneklerin bileşimindeki su miktarının oransal olarak daha fazla olması, bu suyun buharlaşarak, glutensiz katkılı gofret yapraklarında hem ağırlık kaybına hem de pişme kaybının diğer örneklere göre daha yüksek olmasına neden olmuştur.

4.5.4. Gofret yapraklarının renk değerleri

Gofret yapraklarına ait olan renk değerleri Çizelge 4.13'de belirtilmiştir.

Çizelge 4.13. Gofret yapraklarının renk değerleri

Örnek Adı	L*	a*	b*
GU-Kontrol	79.30±0.21^{a}	0.64±0.03^{g}	24.02±0.53^{a}
PU-Kontrol	70.88±1.21^{b}	-0.78±0.06^{h}	18.72±0.82^{b}
%7.5 SPU	58.01±1.04^{fg}	1.07±0.07^{ef}	7.70±0.42^{de}
%10 SPU	53.98±2.90^{h}	1.57±0.08^{d}	7.63±0.46^{de}
%20 SPU	46.11±1.86^{j}	3.03±0.01^{b}	4.27±0.16^{f}
%30 SPU	41.92±1.98^{i}	3.53±0.15^{a}	3.46±0.34^{f}
%7.5 SNU	67.80±0.72^{c}	0.79±0.23^{fg}	19.75±0.38^{b}
%10 SNU	61.40±2.48^{de}	1.16±0.35^{e}	19.28±0.64^{b}
%20 SNU	63.11±1.02^{d}	1.59±0.13^{d}	18.49±0.28^{b}
%30 SNU	57.72±1.44^{fg}	2.17±0.28^{c}	18.96±0.93^{b}
%7.5 SFU	58.76±1.63^{ef}	-1.66±0.19^{j}	10.24±1.32^{c}
%10 SFU	54.14±2.14^{h}	-1.75±0.11^{j}	11.09±0.88^{c}
%20 SFU	55.74±1.18^{gh}	-1.77±0.12^{j}	8.10±1.78^{d}
%30 SFU	55.31±0.70^{gh}	-1.11±0.27^{i}	6.41±0.63^{e}

*GU-Kontrol: %100 Gofretlik un, PU-Kontrol: %100 Pirinç unu, SPU: Siyah pirinç unu, SNU: Siyah nohut unu, SFU: Siyah fasulye unu
*Çizelgede aynı sütunda farklı harfle gösterilen örnekler arasında fark vardır($p<0.05$)

SPU ilavesi, gofret yapraklarının renk özelliklerinde belirgin değişiklikler oluşturmuştur. L* (açıklık) değeri, SPU oranı arttıkça düşmüş ve ürünler daha koyu renkli hale gelmiştir. En düşük açıklık değeri %30 SPU ilavesinde (41.92), en yüksek ise glutenli kontrol örneğinde (79.30) gözlenmiştir. a* değeri, SPU ilavesiyle birlikte artış göstererek ürünün daha kırmızımsı bir ton aldığını göstermiştir; en yüksek a* değeri %30 SPU ilaveli örnekte (3.53) elde edilmiştir. b* değerleri ise SPU oranı yükseldikçe belirgin şekilde azalmış, yani ürünlerdeki sarılık azalmış ve renk daha nötr ya da mavimsi bir tona kaymıştır. Bu değişimler, siyah pirincin doğal pigment yapısından kaynaklanmakta ve ürünün görsel özelliklerini önemli ölçüde etkilemektedir (Kushwaha, 2016; Das vd., 2023; Thilavech vd., 2025).

SNU ilavesi de gofret yapraklarının renk özelliklerini anlamlı şekilde değiştirmiştir. L* değeri (açıklık-parlaklık) SNU ilavesi arttıkça düşmektedir. Bu, ürünlerin daha koyu bir renge sahip olduğunu gösterir. En açık renk glutenli kontrol örneğinde (79.30), en koyu renk ise %30 SNU ilaveli örnekte (57.72) gözlenmiştir. a* değeri (yeşil-kırmızı ekseni) SNU ilavesi arttıkça artmıştır, bu da ürünlerde kırmızı tonunun belirginleştiğini gösterir. En yüksek a* değeri %30 SNU ilaveli örneklerde bulunurken en düşük ise glutenli kontrol örneklerinde bulunmuştur. b* değeri (mavi-sarı ekseni) bütün örneklerde yüksek kalmış ve sarı tonun hâkim olduğunu göstermektedir. Bu durumlar, SNU'nun içerdiği fenolik bileşiklerin ve renk pigmentlerinin etkisinden kaynaklanmaktadır (Pasqualone vd., 2019; Costantini vd., 2021).

SFU ilavesiyle hazırlanan gofret yapraklarının renk değerleri incelendiğinde, L* (açıklık) değerlerinin kontrol örneklerine göre belirgin şekilde düştüğü ve SFU oranı arttıkça ürünlerin daha koyu renkli hale geldiği görülmektedir. En yüksek L* değeri glutenli kontrol örneklerinde ulaşılmışken en düşük değer ise %10 SFU ilaveli örnekte belirlenmiştir. Bu koyulaşma, siyah fasulyenin zengin doğal pigment içeriğinden, özellikle de antosiyanin gibi fenolik bileşiklerden kaynaklanmaktadır (Hernández vd., 2023). a* değerleri negatif yönde ilerlemiş, bu da ürünlerde kırmızıdan yeşile kayma olduğunu ve yeşilimsi tonların öne çıktığını göstermektedir. b* değerleri ise SFU oranı arttıkça düşüş göstermiş, yani sarılık tonları azalmıştır. Tüm bu veriler, SFU'nun hem fenolik içeriği hem de renk veren bileşenleriyle ürünün görsel özelliklerinde önemli değişimlere neden olduğunu ortaya koymaktadır. Bu durum literatürde de desteklenmektedir; siyah fasulye gibi koyu renkli baklagillerin renk parametrelerini

değiştirme potansiyeli daha önceki çalışmalarda da vurgulanmıştır (Abdulrahman vd., 2020; Fonseca-Hernández vd., 2021).

SPU, SNU ve SFU ile zenginleştirilmiş gofret yapraklarında renk parametreleri incelendiğinde, bu bileşenlerin ürünlerin görsel niteliklerini belirgin şekilde etkilediği görülmektedir. L* değerlerinde (açıklık) yaşanan düşüş, un ilave oranı arttıkça ürünlerin daha koyu renk tonlarına büründüğünü ortaya koymaktadır. Bu değişim; siyah nohut, siyah fasulye ve siyah pirinç gibi hammaddelerin içerdiği doğal fenolik pigmentler ve özellikle antosiyaninlerden kaynaklanmaktadır (Kushwaha, 2016; Pasqualone vd., 2019; Abdulrahman vd., 2020; Fonseca-Hernández vd., 2021; Costantini vd., 2021; Das vd., 2023; Hernández vd., 2023; Thilavech vd., 2025).

a* değerleri incelendiğinde, özellikle SFU ilavelerinde değerlerin negatif yönde ilerlediği, yani ürünlerde yeşilimsi tonların baskın hale geldiği tespit edilmiştir. Diğer örneklerde de kırmızımsı tonlarda azalma gözlenmiştir. b* değerlerindeki düşüş ise, sarı tonların giderek azaldığını ve ürünlerin daha mat ya da nötr renklere yaklaştığını göstermektedir.

Sonuç olarak, bu üç fonksiyonel unun kullanımı, gofret yapraklarının sadece besinsel içeriğini değil, aynı zamanda renk görünümünü de değiştirmektedir. Bu durum, doğal içeriklerle renk kazandırılmış fonksiyonel gıdalar üretimi açısından önemli bir avantaj sağlamaktadır.

4.5.5. Gofret yapraklarının tekstür analiz değerleri

Gofret yapraklarında tekstür (sertlik(g) ve kırılganlık(mm)) nitelikleri Çizelge 4.14'de belirtilmiştir.

Çizelge 4.14. Gofret yapraklarında (sertlik(g) ve kırılganlık(mm)) değerleri

Örnek Adı	Sertlik (g)	Kırılganlık (mm)
GU-Kontrol	1334.29±3.96^{a}	32.17±0.19^{bc}
PU-Kontrol	540.00±20.00^{e}	31.98±0.16^{c}
%7.5 SPU	683.65±11.83^{c}	31.34±0.91^{d}
%10 SPU	468.00±18.00^{f}	32.57±0.13^{abc}
%20 SPU	475.00±15.01^{f}	33.37±0.21^{a}
%30 SPU	369.75±16.03^{g}	33.05±0.42^{a}
%7.5 SNU	490.15±9.07^{f}	33.06±1.34^{a}
%10 SNU	480.00±10.22^{f}	33.23±0.12^{a}
%20 SNU	645.03±12.37^{d}	32.85±0.20^{ab}
%30 SNU	475.15±9.07^{f}	33.37±0.21^{a}
%7.5 SFU	530.15±11.07^{e}	32.86±0.47^{ab}
%10 SFU	525.45±10.09^{e}	32.73±0.35^{abc}
%20 SFU	665.08±13.72^{cd}	32.57±0.27^{abc}
%30 SFU	800.01±15.02^{b}	33.41±0.15^{a}

*GU-Kontrol: %100 Gofretlik un, PU-Kontrol: %100 Pirinç unu, SPU: Siyah pirinç unu, SNU: Siyah nohut unu, SFU: Siyah fasulye unu
*Çizelgede aynı sütunda farklı harfle gösterilen örnekler arasında fark vardır($p<0.05$)

SPU ilavesiyle hazırlanan gofret yapraklarının sertlik ve kırılganlık değerlerinde dikkat çekici değişimler gözlenmiştir. Sertlik bakımından değerlendirildiğinde, en yüksek değer glutenli kontrol örneğinde (1334.29±3.96 g) kaydedilmiş olup, bu durum glutenin yapısal katkısı ile açıklanabilir. SPU ilave edilen örneklerde, artan oranla birlikte sertlik değerlerinin kademeli şekilde azaldığı belirlenmiştir. %7.5 oranında SPU içeren ürün 683.65 g gibi bir değere sahipken, bu oran %30'a çıkarıldığında sertlik değeri 369.75 g'a kadar düşmüştür. Bu düşüş, SPU'nun gluten içermemesi ve lif içeriği nedeniyle yapıda daha gözenekli ve yumuşak bir doku oluşturmasından kaynaklanmaktadır (Kushwaha, 2016).

Kırılganlık açısından bakıldığında ise SPU miktarındaki artışa paralel olarak örneklerin daha kolay kırılabilir hale geldiği görülmektedir. En yüksek kırılganlık değerleri %20 SPU (33.37 ± 0.21 mm) ve %30 SPU (33.05 ± 0.42 mm) oranlarında elde edilmiştir. Bu artış, gluten eksikliğinin neden olduğu elastikiyet kaybı ile

ilişkilendirilebilir. Öte yandan, %7.5 SPU içeren örnek 31.34 ± 0.91 mm ile daha düşük bir kırılganlık sergileyerek, düşük oranda SPU kullanımının ürün dokusunu fazla zayıflatmadığını göstermektedir.

Kushwaha (2016), SPU'nun teknolojik özelliklerini ele almış, özellikle hamur sistemlerinde gluten eksikliğinin, lif ve fenolik bileşenlerin katkısıyla telafi edilebildiği ve bu durumun sertlik ve elastikiyet gibi özelliklerde değişime yol açtığını açıklamıştır.

Das vd. (2023) çalışmalarında, siyah pirincin içerdiği yüksek düzeyde diyet lifi, fenolik bileşikler ve özellikle antosiyaninler sayesinde gıdalarda önemli işlevsel etkilere sahip olduğu vurgulanmıştır. Bu bileşenlerin, ürün yapısında daha gevrek ve daha az kompakt bir doku oluşumuna katkı sağladığı belirtilmiştir. Bu durum, özellikle fırınlanmış ve gevrek yapı istenen ürünlerde SPU'nun sertliği azaltarak kırılganlığı artıran bir etki gösterdiğini ortaya koymaktadır.

Thilavech vd. (2025), siyah pirinç ve içeriğindeki antosiyaninlerin gıdalarda yapısal düzenleyici olarak işlev gördüğünü belirlemiştir. Çalışmalarında, siyah pirinç ilavesiyle hazırlanan ürünlerde sertliğin düştüğü ve kırılgan yapının ön plana çıktığı gösterilmiştir. Bu durum, özellikle glutensiz ürünlerde antosiyaninlerin fiziksel yapı üzerinde doğrudan etkili olduğunu ortaya koymuştur.

Genel olarak değerlendirildiğinde, SPU miktarı arttıkça gofret yapraklarının daha yumuşak ancak daha kırılgan bir yapıya kavuştuğu anlaşılmaktadır. Bu durum, SPU'nun fonksiyonel özelliklerinin ürünün mekanik dayanımını düşürdüğü ancak gevrekliğini artırdığına işaret etmektedir.

SNU ilavesinin gofret yapraklarının mekanik özelliklerine etkisini değerlendirmek üzere yapılan analizlerde, sertlik ve kırılganlık değerleri önemli varyasyonlar göstermiştir. Özellikle %20 SNU ilavesi, 705.03±12.37 g sertlik değeriyle en yüksek sertliğe ulaşmıştır. Bu artış, orta düzeydeki SNU miktarının gofret yapısında daha sıkı ve dayanıklı bir yapı oluşturarak mekanik dayanımı artırdığını göstermektedir. Öte yandan, %30 SNU içeren örneğin sertlik değeri 475.20±130.16 g'a düşmüş olup, bu durum yüksek düzeyde nohut unu kullanımının protein ve lif oranındaki artış

nedeniyle hamurun iç yapısında zayıflamaya neden olabileceğini göstermektedir. Lif ve proteinlerin, hamur bileşiminde nişasta ile suyu paylaşma eğilimi, yapısal bütünlüğü sağlayan ağ oluşumunu olumsuz etkileyebilir ve bu durum, daha gevşek ve yeterince sıkı olmayan bir yapı ile sonuçlanabilir (Pasqualone vd., 2019; Costantini vd., 2021).

Kırılganlık değerleri SNU ilaveli tüm gruplarda kontrol örneklerine göre daha yüksek seviyelerde gerçekleşmiştir. Özellikle %30 SNU ile hazırlanan gofret örneğinde 33.37±0.21 g ile en yüksek kırılganlık değeri gözlenmiştir. Bu durum, nohut ununun içerdiği çözünür ve çözünmez liflerin, gofret matrisinde gevreklik sağlayıcı bir yapı oluşturduğuna işaret etmektedir. Literatürde nohut yan ürünlerinin özellikle gluten içermeyen gıdalarda lif zenginliği sayesinde gevrek doku oluşturmada etkili olduğu belirtilmektedir (Costantini vd., 2021).

Costantini vd. (2021) tarafından yürütülen çalışmada, Kabuli ve Apulian siyah nohut *(Cicer arietinum L.)* öğütme yan ürünlerinin glutensiz taze makarnada alternatif hammadde olarak kullanım potansiyeli değerlendirilmiştir. Araştırma sonuçları, bu yan ürünlerin yüksek diyet lifi ve biyoaktif bileşik içeriği sayesinde ürünün besinsel değerini anlamlı ölçüde artırdığını ortaya koymuştur. Ancak, bu lifli bileşenlerin makarna hamuruna ilavesi, tekstürel özelliklerde yapısal farklılıklar oluşturabileceği yönünde bulgular sunmaktadır. Özellikle diyet liflerinin nişasta ve su ile olan etkileşimi, hamur yapısında gluten benzeri bağ oluşumunu engelleyerek daha gevşek ve gözenekli bir dokuya neden olabilmektedir. Bu durum, ürünün mekanik dayanıklılığını etkileyerek sertlik değerlerinde azalma ve kırılganlık değerlerinde artış ile sonuçlanabilir. Bu bağlamda, nohut yan ürünlerinin gıdalara fonksiyonel katkı sağlamasının yanı sıra, ürünün tekstürel özellikleri üzerinde de dikkatle değerlendirilmesi gereken etkiler oluşturduğu vurgulanmaktadır.

Sonuç olarak, SNU'nun belirli seviyelerde kullanımı, glutensiz fırıncılık ürünlerinin fonksiyonel ve teknolojik özelliklerini geliştirme potansiyeli taşımaktadır. Bununla birlikte, yüksek oranlarda kullanım, ürün dokusu, yapı stabilitesi ve duyusal kalite üzerinde istenmeyen değişimlere yol açabileceği görülmüştür.

SFU ilavesinin gofret yapraklarının tekstürel özelliklerine etkisi incelendiğinde, sertlik ve kırılganlık değerlerinde belirgin değişiklikler gözlemlenmiştir. Sertlik açısından bakıldığında, glutenli kontrol örneği en yüksek değere (1334.29±3.96 g) sahipken, SFU ilaveli örneklerde bu değerler %30 düzeyinde artış göstermiştir. Özellikle %30 SFU içeren örnek, 800.01±15.02 g sertlik değeriyle dikkat çekmiş, bu da SFU'nun içerdiği yüksek orandaki diyet lifi ve protein sayesinde ürün matrisinin daha yoğun ve yapısal olarak daha dayanıklı hale geldiğini göstermektedir (Abdulrahman vd., 2020; Hernández vd., 2023).

SFU ilaveli örneklerde kırılganlık değerleri 32.57 mm ile 33.41 mm arasında değişmiş ve bu değerler kontrol gruplarına kıyasla belirgin bir artış göstermiştir. Özellikle %30 SFU ilavesiyle hazırlanan örnek, 33.41 ± 0.15 mm değeriyle en yüksek kırılganlık seviyesine ulaşmıştır. Bu artış, ürünün yapısal dayanıklılığının azaldığını ve kırılganlığının arttığını göstermektedir. Bu durumun temel nedeni, SFU'nun yüksek miktarda içerdiği diyet lifi ve proteinlerin, hamur matrisinde nişasta ile su arasındaki etkileşimi bozmasıdır. Liflerin suyu absorbe ederek şişmesi, nişastanın yeterli jel oluşturmasını engellemekte ve böylece ürünün mekanik dayanıklılığı düşmektedir (Rosell vd., 2009; Gularte ve Rosell, 2011).

Sonuç olarak, SFU'nun belirli düzeylerde kullanımı, glutensiz gofret yaprağı benzeri ürünlerin tekstürel özelliklerini geliştirme potansiyeline sahiptir. Ancak, yüksek düzeydeki ilaveler ürün matrisinde yapıyı daha gevşek hale getirerek istenmeyen kırılganlığa yol açabileceği için formülasyon büyük bir öneme sahiptir (Costantini vd., 2021; Hernández vd., 2023).

Gofret yapraklarında kullanılan farklı un bileşenleriyle hazırlanan örnekler incelendiğinde, ürünlerin sertlik ve kırılganlık özelliklerinde anlamlı değişiklikler gözlemlenmiştir. En yüksek sertlik değeri glutenli kontrol örneğinde (1334.29±3.96 g) ölçülmüş, bu durum glutenin yapısal ağ oluşturarak mekanik dayanımı artırma yeteneğini ortaya koymuştur. Buna karşın, alternatif un bileşenleriyle hazırlanan örneklerde genel olarak daha düşük sertlik değerleri elde edilmiştir (Vidal, 2023). Özellikle %30 SPU ilaveli örnekte 369.75 ± 16.03 g gibi düşük değerlere ulaşmıştır, bu durumda glutenin yokluğunda yapının daha gevşek hale geldiğini göstermektedir.

Sertlikte gözlenen bu azalma, çoğunlukla glutensiz unların içerdiği yüksek düzeydeki diyet lifi ve proteinlerin, hamur matrisinde nişasta-su-gluten etkileşimini sınırlandırmasıyla açıklanabilir. Bu bileşenler suyu absorbe ederek nişastanın jel oluşturma kapasitesini düşürmekte, böylece ürün daha gözenekli, yumuşak ve düşük dirençli bir yapı kazanmaktadır (Rosell vd., 2009; Gularte ve Rosell, 2011).

Kırılganlık verileri değerlendirildiğinde, neredeyse tüm örneklerde 31.34–33.41 mm arasında değişen kırılma değerleri ile, kontrol gruplarına göre belirgin bir artış eğilimi gözlemlenmiştir. Bu durum, glutensiz unlarla hazırlanan hamurların esnek olmayan, gevrek ve daha kolay kırılabilir bir yapıya sahip olduğunu göstermektedir. Kırılganlığın artışı, liflerin ve proteinlerin su ile rekabet etmesi nedeniyle hamur matrisinde yeterli elastik yapının oluşmaması ile doğrudan ilişkilidir (Rosell vd., 2009; Gularte ve Rosell, 2011)

En yüksek kırılganlık değerlerine ulaşan örnekler genellikle daha düşük sertlik gösteren örneklerle örtüşmektedir. Bu durum, düşük sertlik ile yüksek kırılganlık arasında ters bir ilişki olabileceğini düşündürmektedir. Yapısal direnç azaldıkça ürün daha kolay kırılabilir hale gelmektedir.

Mert (2014) çalışmasında, farklı un türlerinin glutensiz gofret yapraklarının sertlik ve kırılganlık özellikleri incelenmiştir. Buğday unu içeren kontrol örneği en yüksek sertlik değerine sahipken, pirinç unu kullanılan örneklerde sertlik değerleri daha düşük bulunmuştur. Kırılganlık açısından ise pirinç unu içeren gofretler daha yüksek kırılganlık sergilemiş, bu durum glutenin yapısal bağlayıcılığının olmamasından kaynaklanmıştır. Buckwheat (karabuğday) unu içeren örnekler ise sertlik ve kırılganlık değerleri bakımından pirinç ununa göre daha dayanıklı ve buğday ununa daha yakın bir doku oluşturmuş, böylece glutensiz ürünlerde yapısal kaliteyi artırma potansiyeli göstermiştir.

Tufan (2018) çalışmasında, baklagil unu ilavesinin gofret yapraklarının tekstürel özellikleri üzerinde anlamlı etkiler oluşturduğu belirlenmiştir. Sertlik açısından değerlendirildiğinde, özellikle kuru fasulye ve mercimek unu gibi baklagil kaynaklarının yüksek protein ve diyet lifi içeriği sayesinde, ürün yapısında daha sıkı ve dirençli bir doku oluştuğu gözlemlenmiştir. Proteinlerin ağ yapıcı etkisi ve liflerin

suyu absorbe ederek nişastanın jel oluşumunu etkilemesi, ürünün mekanik dayanımını artırarak sertliğin yükselmesine neden olmuştur. Bununla birlikte, bu etki kullanılan baklagil türüne ve ilave oranına bağlı olarak farklılık gösterebilmekte, bazı durumlarda daha gevşek yapıların oluşmasına bağlı olarak sertliğin azalabildiği ifade edilmiştir.

Gül vd. (2019), beyaz dut unu ile zenginleştirilen glutensiz dondurma külahlarında dut unu miktarının artmasıyla sertliğin azaldığını, kırılganlığın ise arttığını bildirmiştir. Bu durum, dut unundaki yüksek lif ve şeker içeriğinin hamur yapısını gevşek bir hale getirerek daha kırılgan bir yapı oluşturmasıyla açıklanmıştır.

Nasabi vd. (2021), farklı tahıl unlarının gofret yapraklarının sertlik ve kırılganlık değerleri üzerindeki etkilerini araştırmıştır. Çalışmada, buğday, çavdar, mısır ve yulaf unlarının kullanımı sonucunda gofret yapraklarında sertlik değerlerinde genel bir azalma gözlemlenirken, kırılganlık değerlerinde belirgin bir artış kaydedilmiştir. Özellikle çavdar unu ilavesi, yaprağın mekanik dayanıklılığını düşürerek kırılganlığını artırmıştır. Bu bulgular, kullanılan tahıl unlarının gofret yaprağının dokusal ve mekanik özelliklerini önemli derecede değiştirdiğini göstermektedir.

Altınok vd. (2022) çalışmasında, üzüm posası buğday unu yerine kullanılmıştır. Sertlik değerlerinde hafif düşüş gözlenmiş, ancak anlamlı bulunmamıştır. Kırılganlık ise artarak gofretlerin daha gevrek olmasını sağlamıştır. Üzüm posasındaki lif ve fenolik bileşikler, yapının mekanik dayanımını azaltıp kırılganlığı artırmıştır. Bu nedenle, üzüm posası gofret üretiminde fonksiyonel katkı sağlayabilir, ancak tekstürel özelliklerin dikkatle ayarlanması gerekmektedir.

Gül vd. (2024) çalışmasında, Isparta gülü ile zenginleştirilen glutensiz dondurma külahlarında gül ilavesiyle sertliğin azaldığı, kırılganlığın arttığı belirlenmiştir. Bu durum, gül bileşenlerinin hamur yapısını daha gevrek hale getirmesiyle açıklanmıştır.

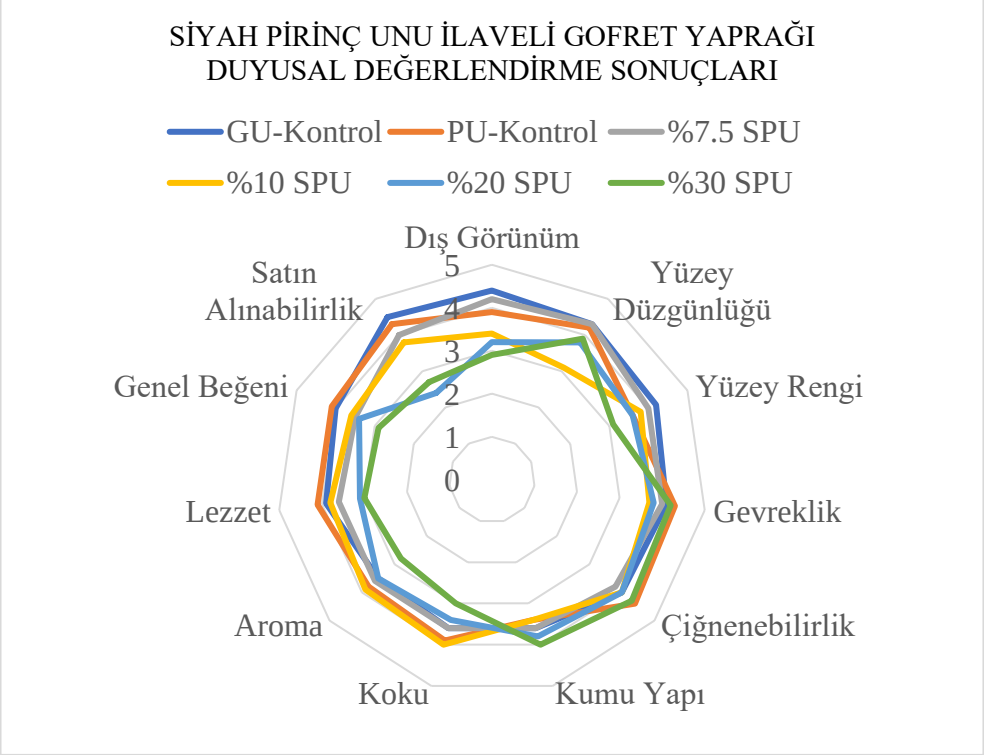
4.5.6. Gofret yapraklarının duyusal değerlendirilmesi

Üretilen gofret yaprağı örnekleri panelistlere sunulmuş ve gofret yapraklarını yüzey görünümü, dış yapı, yüzey rengi, gevreklik, çiğnenebilirlik, koku, aroma, tat, lezzet, genel beğeni ve satın alma isteği gibi kriterler doğrultusunda değerlendirmiştir.

Değerlendirme, 1 ile 5 arasında puanlanan bir skala üzerinden yapılmış olup; 5 puan "çok iyi", 4 puan "iyi", 3 puan "kabul edilebilir", 2 puan "yetersiz" ve 1 puan "kötü" anlamına gelecek şekilde sınıflandırılmıştır.

4.5.6.1. Siyah pirinç unu ilaveli gofret yaprağı duyusal değerlendirilmesi

SPU ilave edilerek üretilen gofret yapraklarının panalistler tarafından duyusal olarak değerlendirme Şekil 4.2'de belirtilmiştir.



Şekil 4.2. Siyah pirinç unu ilaveli gofret yaprağı duyusal değerlendirilmesi

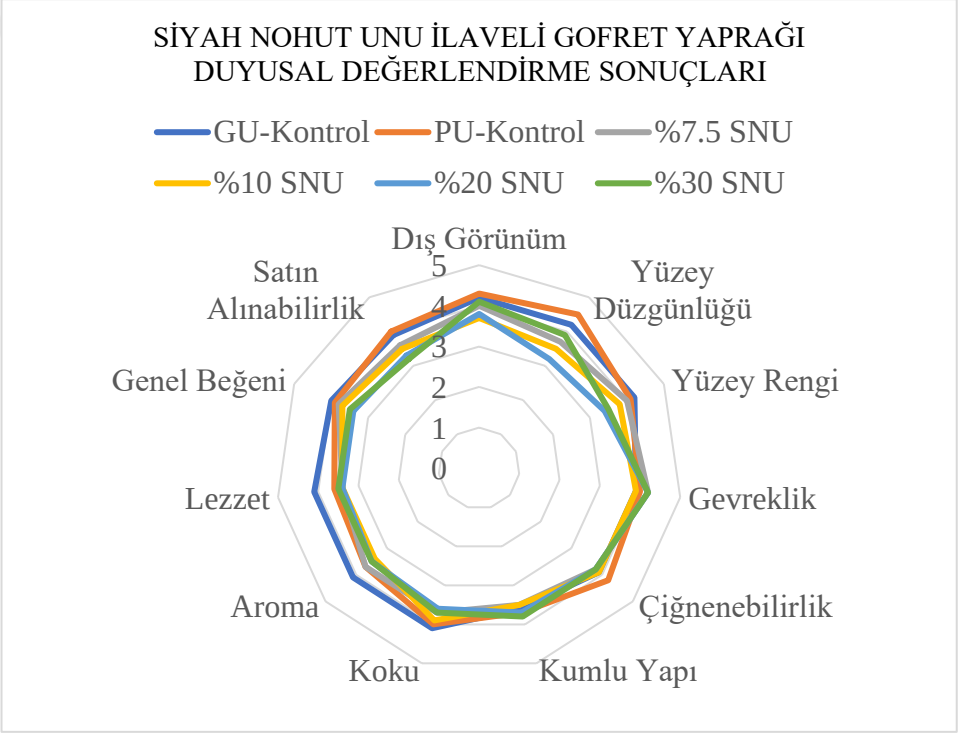
*GU-Kontrol: %100 Gofretlik un, PU-Kontrol: %100 Pirinç unu, SPU: Siyah pirinç unu, SNU: Siyah nohut unu, SFU: Siyah fasulye unu

Duyusal değerlendirme sonuçlarına göre, SPU ilavesinin artmasıyla birlikte örneklerdeki birçok duyusal özelliğin olumsuz yönde etkilendiği gözlemlenmiştir. Kontrol (glutenli) örneği tüm parametreler açısından en yüksek skorları almış olup, panelistler tarafından en çok beğenilen örnek olmuştur. Gluten içermeyen kontrol örneği ise genel olarak daha düşük skorlar almıştır.

%7.5 SPU ilaveli örneklerde duyusal özellikler kontrol örneklerine göre benzer düzeyde kalmıştır. Ancak SPU oranının %10'a çıkarılması ile birlikte bazı parametrelerde düşüş gözlenmiştir. %20 SPU ilaveli örneklerde ise düşüş daha belirgin hâle gelmiş, özellikle dış görünüm, yüzey düzgünlüğü, yüzey rengi, aroma ve genel beğeni değerleri dikkat çekmiştir. Aynı zamanda satın alınabilirlik puanının da düşük olduğu görülmüştür. %30 SPU içeren örnekler duyusal değerlendirme açısından en düşük skorlara sahip olmuştur. Bu veriler, SPU ilavesinin artmasıyla birlikte özellikle renk, aroma, lezzet, genel beğeni ve satın alınabilirlik gibi tüketici kabulü açısından önemli duyusal parametrelerde anlamlı düşüşlere neden olduğunu, buna karşılık gevreklik ve çiğnenebilirlik gibi tekstürel özelliklerin korunduğunu veya iyileştiğini göstermektedir.

4.5.6.2. Siyah nohut unu ilaveli gofret yaprağı duyusal değerlendirilmesi

SNU ilave edilerek üretilen gofret yapraklarının panalistler tarafından duyusal olarak değerlendirme Şekil 4.3'de belirtilmiştir.



Şekil 4.3. Siyah nohut unu ilaveli gofret yaprağı duyusal değerlendirilmesi

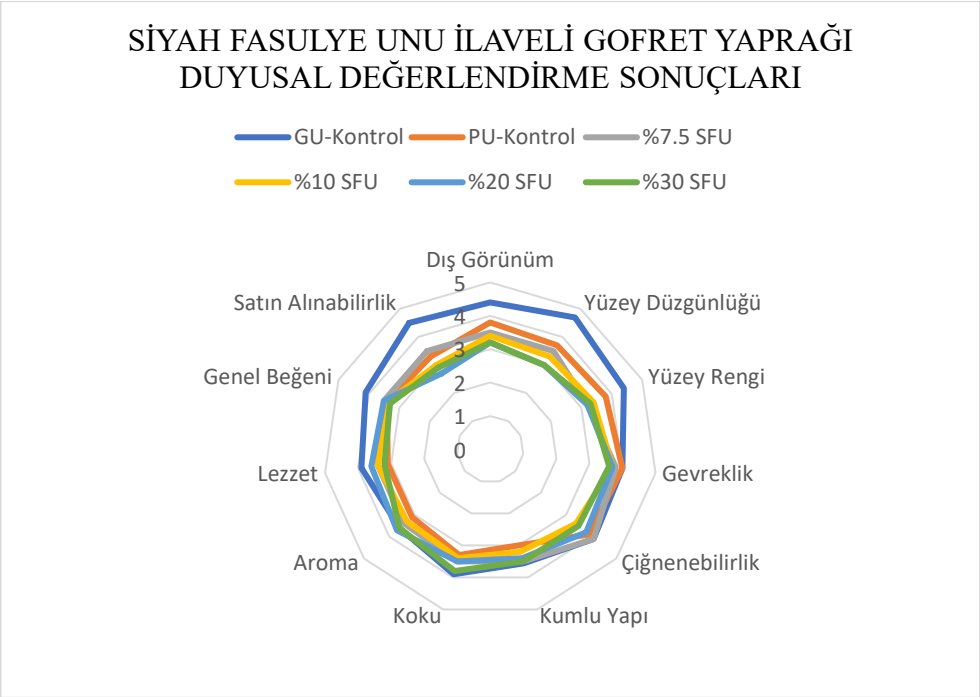
*GU-Kontrol: %100 Gofretlik un, PU-Kontrol: %100 Pirinç unu, SPU: Siyah pirinç unu, SNU: Siyah nohut unu, SFU: Siyah fasulye unu

SNU ilavesiyle üretilen ürünlerin duyusal değerlendirme sonuçlarına göre, %7.5 SNU katkılı örnekler dış görünüm, yüzey rengi, gevreklik, aroma, lezzet ve genel beğeni gibi birçok parametrede kontrol örneklerine yakın puanlar almış, bu nedenle duyusal kabul açısından olumlu bulunmuştur. %10 SNU katkısı ile dış görünüm, yüzey düzgünlüğü ve lezzet gibi özelliklerde küçük düşüşler gözlenmiş, ancak gevreklik, aroma ve genel beğeni değerleri kabul edilebilir düzeyde kalmıştır. %20 SNU içeren örneklerde dış görünüm, yüzey düzgünlüğü ve genel beğeni değerlerinde belirgin düşüşler gözlenmiştir. %30 SNU ilavesiyle hazırlanan örnekler ise dış görünüm ve çiğnenebilirlik açısından yüksek değerlere sahip olsa da aroma, genel beğeni ve satın alınabilirlik gibi kriterlerde daha düşük skorlar almıştır.

Sonuç olarak, SNU katkı oranı arttıkça özellikle yüzey özellikleri, aroma ve satın alınabilirlik gibi bazı duyusal kriterlerde düşüşler gözlenmiştir. %7.5 ve %10 SNU içeren ürünler hem yapı hem de duyusal kabul açısından daha dengeli değerlere sahiptir.

4.5.6.3. Siyah fasulye unu ilaveli gofret yaprağı duyusal değerlendirilmesi

SFU ilave edilerek üretilen gofret yapraklarının panalistler tarafından duyusal olarak değerlendirme Şekil 4.4'de belirtilmiştir.



Şekil 4.4. Siyah fasulye unu ilaveli gofret yaprağı duyusal değerlendirilmesi

*GU-Kontrol: %100 Gofretlik un, PU-Kontrol: %100 Pirinç unu, SPU: Siyah pirinç unu, SNU: Siyah nohut unu, SFU: Siyah fasulye unu

SFU ilavesiyle üretilen ürünlerin duyusal değerlendirme sonuçları incelendiğinde, glutenli kontrol örneği tüm parametrelerde en yüksek puanları almış; özellikle dış görünüm, yüzey düzgünlüğü ve satın alınabilirlik açısından öne çıkmıştır. Glutensiz kontrol örneği ise genel olarak daha düşük değerlere sahip olup, özellikle aroma ve lezzet kriterlerinde belirgin düşüş göstermiştir.

%7.5 SFU ilavesiyle hazırlanan örnekler çiğnenebilirlik ve koku gibi bazı özelliklerde iyi performans gösterirken, dış görünüm ve yüzey rengi gibi görsel parametrelerde daha düşük puanlar almıştır. %10 SFU katkılı ürünlerde ise tüm duyusal kriterler dengeli olup, özellikle gevreklik ve lezzet değerleri kabul edilebilir düzeydedir. %20 SFU katkısıyla çiğnenebilirlik ve aroma öne çıkarken, dış görünüm, yüzey düzgünlüğü ve satın alınabilirlik gibi özelliklerde düşüş dikkat çekmiştir. %30 SFU içeren örnekler ise genel beğeni ve satın alınabilirlik bakımından en düşük değerlere sahip olmuştur.

Genel olarak, SFU ilavesi arttıkça özellikle görsel ve satın alma eğilimi ile ilgili duyusal kriterlerde düşüş gözlenmiştir. %7.5 ve %10 SFU içeren ürünler hem yapı hem de duyusal kabul açısından daha dengeli ve tercih edilebilir bulunmuştur.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, SPU, SNU ve SFU farklı oranlarda gofret formülasyonlarına ilave edilmesiyle, çölyak hastaları için alternatif bir ürün olarak glutensiz gofret üretimi amaçlanmıştır. Bu kapsamda, kullanılan siyah un çeşitlerinin kimyasal ve besinsel özellikleri analiz edilmiş, elde edilen veriler doğrultusunda glutensiz gofret üretimi gerçekleştirilmiştir. Üretilen glutensiz gofret yapraklarının fiziksel, kimyasal, tekstürel, besinsel ve duyusal özellikleri değerlendirilmiş; elde edilen sonuçlar, geleneksel gluten içeren gofret yaprağı örnekleri ile de karşılaştırılmıştır. Siyah un çeşitlerinin ilavesiyle geliştirilen ürünlerde çeşitli kalite parametrelerinde meydana gelen değişimler ortaya konmuş ve bu üç siyah un türünün glutensiz gofret üretiminde fonksiyonel bir bileşen olarak kullanılabilirliği incelenmiştir.

Gofret yaprağı üretiminde kullanılan unlarda yapılan kimyasal ve fiziksel analiz sonuçları değerlendirildiğinde;

- Çalışmada incelenen gofretlik buğday ununun gluten indeks, kuru gluten ve yaş gluten değerleri incelenmiştir. Yaş gluten değeri %22.23, kuru gluten değeri %8.40 ve gluten indeks değeri %89.33 bulunmuştur. Bu sonuçlar, gofretlik buğday ununun yüksek protein içeriği ve güçlü gluten yapısıyla şekil koruma ve işlenebilirlik açısından avantaj sağladığını ortaya koymuştur.
- Gofretlik buğday ununun sedimantasyon, gecikmeli sedimantasyon ve düşme sayısı değerleri incelenmiştir. Sedimantasyon değeri %29.00, gecikmeli sedimantasyon değeri %23.67 ve düşme sayısı ise 337.00 bulunmuştur. Bu değerler unun orta düzeyde gluten kalitesine ve yüksek enzim aktivitesine sahip olduğu sonucunu vermektedir. Bu özellikler, gofret üretiminde hamurun işlenebilirliğini ve ürün kalitesini olumlu yönde etkileyebilecek özelliktedir.
- Gofretlik buğday ununun reolojik niteliklerini belirleyebilmek için farinograf, Kieffer hamur ve gluten uzayabilirlik ile hamur yapışkanlık testleri yapılmıştır. Unun su absorpsiyon değeri %53.30, gelişme süresi 1.80 dk, stabilite değeri 5.60 dk ve yumuşama derecesi 76.00 FU olarak bulunmuştur. Kieffer hamur ve gluten uzayabilirlik değerleri gözlemlendiğinde; maksimum direnç değeri 81.14 g ve uzayabilirlik değeri 18.52 mm olarak belirlenmiştir. Hamurun yapışkanlık değeri 27.67 g, adezyon kuvvet değeri 1.81 g.s ve hamur gücü

değeri ise 1.65 mm olarak bulunmuştur. Bu veriler değerlendirildiğinde, gofretlik buğday ununun üretim esnasında dengeli bir kıvam, yeterli elastikiyet ve şekil koruma sağlayarak ürün kalitesine olumlu katkı sunduğu sonucuna varılmaktadır.

- Unların nem, kül ve protein içerikleri incelendiğinde, nem değeri %9.24 ile SFU; kül değeri %9.13 ile gofretlik buğday unu ve protein değeri %25.18 ile SNU'nun en yüksek değerleri verdiği tespit edilmiştir. Bu sonuçlar, her unun kendine özgü su tutma, mineral ve protein profiliyle ürün kalitesini farklı yönlerden iyileştirdiğini göstermektedir; bu çeşitlilik, glutensiz gofretlerde hem ürün işlenebilirliğini hem de besin değerini artırma potansiyeli olduğunu göstermektir.
- Unların su aktivitesi ve pH değerleri gözlemlendiğinde, su aktivitesi değeri 0.54 ile ve pH değeri 6.65 ile en yüksek sonucu verdiği tespit edilmiştir. Bu sonuçlar, gofretlik buğday ununun nem içeriği ve asidite düzeyi özellikleri ile diğer unlardan ayrıştığını ve ürünün raf ömrü ile kalite stabilitesi üzerinde etkili olabileceğini göstermektedir.
- Unların toplam diyet lif, toplam fenolik madde ve antioksidan aktivite değerleri incelenmiştir. En yüksek diyet lif değeri %50.10 ile SFU; en yüksek toplam fenolik madde değeri 140.61 mg GAE/g ile SPU ve en yüksek antioksidan aktivite değeri %85.44 ile tekrardan SPU olarak belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlar ile siyah fasulye ve siyah pirinç unlarının fonksiyonel bileşenler bakımından yüksek niteliğe sahip olduğunu ve glutensiz ürünlerin besin kalitesini artırmada önemli bir katkısı olduğunu ortaya koymaktadır.
- Unların renk değerleri incelendiğinde, en yüksek L* değeri 91.44 ile gofretlik buğday unu, en yüksek a* değeri 2.67 ile SPU ve en yüksek b* değeri 12.94 ile SNU olduğu tespit edilmiştir. Bu sonuçlar, her unun kendine özgü renk özelliklerine sahip olduğunu ve bu farklılıkların son ürünün görünümü üzerinde etkili olabileceğini göstermektedir.

Gofret hamurlarında yapılan analiz sonuçları değerlendirildiğinde;

- Gofret hamurlarının yoğunluk ve pH değerleri incelenmiştir. En yüksek yoğunluk değeri 1.00 g/cm^3 ile %10 SFU ilaveli hamurlarda, en yüksek pH değeri ise 8.02 ile glutenli kontrol hamurlarında ulaşılmıştır. Bu sonuçlar, un

ilavesinin hamurun fiziksel ve kimyasal özellikleri üzerinde belirgin etkiler oluşturduğunu ortaya koymaktadır.

- Gofret hamurlarının renk değerleri incelendiğinde, en yüksek L* değeri 83.87 ile glutenli kontrol; en yüksek a* değeri 3.24 ile %30 SPU; en yüksek b* değeri glutensiz kontrol hamur örneklerinde belirlenmiştir. Bu bulgular, kullanılan un türü ve oranının hamurun renk özellikleri üzerinde doğrudan etkili olduğunu göstermektedir.

Gofret yapraklarında yapılan kimyasal ve fiziksel analiz sonuçları değerlendirildiğinde;

- Gofret yapraklarının nem, kül ve protein değerleri incelenmiştir. En yüksek nem değeri %9.45 ile %30 SNU ilaveli gofret yapraklarında, en yüksek kül değeri %2.13- 2.17 ile %20-%30 SNU ilaveli gofret yapraklarında ve en yüksek protein değeri de %14.31 ile %30 SNU ilaveli gofret yapraklarında ulaşılmıştır. Bu sonuçlar, SNU'nun gofret yapraklarının besin içeriği ve bileşen yapısını önemli ölçüde artırdığını göstermektedir.
- Gofret yapraklarının pH ve su aktivitesi değerleri incelendiğinde, en yüksek pH değeri 8.22-8.25 aralığında glutensiz kontrol, %7.5 SNU ve %7.5 SFU ilaveli gofret yapraklarında, en yüksek su aktivitesi değeri ise 0.33 ile %30 SPU ilaveli gofret yapraklarında ulaşılmıştır. Yüksek su aktivitesi, ürünlerin mikrobiyal gelişim ve bozulma riskine karşı daha hassas olabileceğini göstermekte olup, un ilave oranının ürünün su tutma kapasitesi ve raf ömrü üzerinde belirleyici etkileri olduğu ortaya konmuştur. Bu sonuçlar, un türü ve ilave oranının gofret yapraklarının kimyasal özellikleri ve dayanıklılığı üzerinde önemli rol oynadığını göstermektedir.
- Gofret yapraklarının toplam diyet lif, toplam fenolik madde ve antioksidan aktivite değerleri incelenmiştir. En yüksek toplam diyet lif değeri %18.74 ve %19.22 ile %30 SNU ve %30 SFU ilaveli gofret yapraklarında, en yüksek toplam fenolik madde değeri ise 35.75 mg GAE/g ile 37.20 mg GAE/g ile glutenli kontrol ve %30 SFU ilaveli gofret yapraklarında, antioksidan aktivite değeri %67.37 ile %30 SFU ilaveli gofret yapraklarında ulaşılmıştır. Elde edilen bu bulgular siyah nohut ve siyah fasulye unlarının gofret yapraklarının besin kalitesini ve fonksiyonel özelliklerini önemli ölçüde geliştirdiğini ve glutensiz ürünlerde değerli katkılar sunduğunu ortaya koymaktadır.

- Gofret yapraklarında çap, kalınlık, ağırlık ve pişme kaybı değerleri belirlenmiştir. En yüksek çap değeri 132.06 mm ile glutenli kontrol örneklerinde, kalınlık değeri 2.87 mm- 8.93 mm ile en yüksek %20 SNU ve %10 SFU ilaveli örneklerde, en yüksek ağırlık 7.23 g-7.28 g aralığında %10-%20-%30 SPU ilaveli örneklerde ve pişme kaybı değeri de %31.47 ile en yüksek %7.5 SNU ilaveli örneklerde elde edilmiştir. Ancak, tüm örnekler arasında bu parametrelerin değerlerinin birbirine oldukça yakın olduğu gözlemlenmiştir. Bu sonuçlar, un türü ve ilave oranlarının gofret yapraklarının fiziksel özellikleri üzerinde sınırlı farklılıklara yol açtığını göstermektedir.
- Gofret yapraklarının renk değerleri incelenmiştir. En yüksek L* değeri 79.30 ile glutenli kontrol örneklerinde, en yüksek a* değeri 3.53 ile %30 SPU ilaveli örneklerde ve en yüksek b* değeri 24.02 ile glutenli kontrol örneklerinde elde edilmiştir. Bu bulgular, un türü ve ilave oranının gofret yapraklarının renk özellikleri üzerinde belirgin etkiler yarattığını göstermektedir.
- Gofret yapraklarının tekstür analizi ile sertlik ve kırılganlık özellikleri gözlemlenmiştir. En yüksek sertlik değeri 1334.2 g ile glutenli kontrol örneklerinde, en yüksek kırılganlık değeri ise 33.37 mm- 33.41 mm aralığında %20-%30 SPU, %30 SNU, %30 SFU ilaveli örneklerde elde edilmiştir. Bu sonuçlar, gluten içeren kontrol örneklerinin daha sert yapıya sahip olduğunu, un katkılarının ise gofret yapraklarının dokusal özelliklerini etkileyerek daha gevrek bir yapı kazandırdığını göstermektedir. Böylece, un türü ve ilave oranının gofret yapraklarının yapısal özellikleri üzerinde önemli etkileri olduğu söylenebilir.
- Gofret yaprakları duyusal olarak değerlendirilmiştir. Her un grubu kendi içinde duyusal analize tabi tutulmuştur. SPU ilavesi arttıkça duyusal özelliklerde olumsuz etkiler gözlenmiştir. Glutenli kontrol örneği en yüksek puanları alırken, glutensiz kontrol ve yüksek SPU oranları düşük skorlar elde etmiştir. %7.5 SPU ilaveli örnekler kontrolle benzerken, %10 ve üzeri oranlarda özellikle renk, aroma, lezzet ve genel beğenide belirgin düşüşler olmuştur. %30 SPU içeren örnekler en düşük puanlara sahiptir. Tekstürel özellikler ise genel olarak korunmuş veya iyileşmiştir. SNU ilavesi arttıkça özellikle yüzey özellikleri, aroma ve satın alınabilirlik gibi duyusal kriterlerde düşüşler görülmüştür. Ancak %7.5 ve %10 SNU katkılı örnekler, kontrolle benzer duyusal ve yapısal özellikler sergileyerek daha dengeli bir kabul sağlamıştır.

SFU ilavesi arttıkça özellikle görsel özellikler ve satın alınabilirlikte düşüşler gözlenmiştir. Ancak %7.5 ve %10 SFU katkılı ürünler hem yapısal hem de duyusal açıdan daha dengeli ve tercih edilebilir bulunmuştur.

Bu çalışma sonucunda, SPU, SNU ve SFU farklı oranlarda gofret formülasyonlarına eklenmesinin glutensiz gofret üretiminde besinsel, fonksiyonel ve duyusal özellikler üzerinde önemli etkiler yarattığı belirlenmiştir. Gofretlik buğday ununun güçlü gluten yapısı ile hamurun işlenebilirliğini ve ürün kalitesini desteklerken; glutensiz unların yüksek diyet lif, fenolik madde ve antioksidan içerikleriyle ürünlerin besin değerini artırmıştır. Ancak unların reolojik, renk ve yapısal özelliklerinde farklılıklar gözlenmiş, özellikle katkı oranlarının %10'u aşması durumunda duyusal kabulde düşüşler meydana gelmiştir. Duyusal analizler, %7.5–%10 oranlarındaki un katkılarının ürünlerin genel beğeni ve tekstürel özelliklerini olumlu etkilediğini; yüksek oranlarda ise renk, aroma, lezzet ve satın alınabilirlik gibi kritik parametrelerde belirgin azalmalar olduğunu göstermiştir. Bununla birlikte, gevreklik ve çiğnenebilirlik gibi tekstürel özellikler büyük ölçüde korunmuştur. Bu bulgular, SPU, SNU ve SFU'larının kontrollü oranlarda kullanılarak glutensiz gofretlerin besin değeri ve fonksiyonelliğinin artırılabileceğini, ancak tüketici kabulü için katkı oranlarının dikkatle optimize edilmesi gerektiğini ortaya koymaktadır.

KAYNAKLAR

AACC, 2000. American Association of Cereal Chemists Approved Methods of The AACC. 11th Edition The Association. St. Paul, MO, USA.

Aaliya, B., Navaf, M., & Sunooj, K. V., 2021. Dough handling properties of gluten-free breads. *Gluten-free bread technology*, 49-70.

Abdulrahman, B. O., Bala, M., & Bello, O. M., 2020. Bioactive compounds of black bean (Phaseolus vulgaris L.). *Bioactive Compounds in underutilized vegetables and legumes*, 1-20.

Aksoy Toka, E., 2020. Fonksiyonel Özellikli Bazı Bitki Ekstraktlarının Kullanımının Gofret Yaprağı Kalitesi Üzerine Etkileri, Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 93s, Samsun.

Aksoylu, Z. 2012. Bisküvinin Fonksiyonel Özellik Taşıyan Bazı Bitkisel Ürünlerce Zenginleştirilmesi. Celal Bayar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 144s, Manisa.

Altinok, E., Kurultay, S., Boluk, E., Atik, D. S., Kopuk, B., Gunes, R., & Toker, O. S., 2022. Investigation of using possibility of grape pomace in wafer sheet for wheat flour substitution. *International Journal of Food Science and Technology*, *57*(6), 3634-3642.

Anonim, 2019. Türkiye Cumhuriyeti Tarım ve Orman Bakanlığı, Yozgat Tarım ve Orman İl Müdürlüğü, Yozgat'ta ilk kez siyah nohut hasadı yapıldı (Yozgat'ta İlk: Siyah nohut hasadı yapıldı), 15 Ocak 2024, https://yozgat.tarimorman.gov.tr/Haber/413/Yozgatta-Ilk-Siyah-Nohut-Hasadi-Yapildi adresinden alındı.

Anonim, 2024. Türkiye Cumhuriyeti Tarım ve Orman Bakanlığı. "Tarım Ürünleri Piyasası". Erişim tarihi 10 Aralık 2024. https://arastirma.tarimorman.gov.tr/tepge/Menu/27/Tarim-Urunleri-Piyasalari

Arslanhan, T., 2025. Siyah nohut unu ile glutensiz ekmek üretiminde bitki tozu ilavesinin ekmeklerin teknolojik ve besinsel özellikleri üzerine etkisi. Sivas Cumhuriyet Üniversitesi / Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 88 s, Sivas.

Aydoğan, S., Akçacık, A.G., Şahin, M., Kaya, Y., Koç, H., Görgülü, M.N., Ekici, M., 2012. Ekmeklik Buğday Unlarında Alveograf, Farinograf ve Miksografta Ölçülen Reolojik Özellikler Arasındaki İlişkinin Belirlenmesi. Süleyman Demirel Üniversitesi, Ziraat Fakültesi Dergisi, 7 (1): 74-82.

Bakmaz, E., 2023. Çeşitli Gıda Proses Artıklarının Fonksiyonel Gofret Yaprağı Üretiminde Diyet Lifi Kaynağı Olarak Kullanılması. Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 89s, Tekirdağ.

Beckett, S., Livings, S., Schroeder, P.,1994. Edible wafers need physics. Physics World, 9, 49–53. DOI: 10.1088/2058-7058/7/9/31

Boudouira, N., Yüksel, A. N., Bayram, M., Benatallah, L., Zidoune, M. N., 2023. Characterisation of Gluten- free Couscous Produced with Different Legume Flours by Traditional Method. International Journal of Food Science & Technology, 58(3), 1186-1194.

Boyacioglu, M. H., & D'appolonia, B. L., 1994. Characterization and utilization of durum wheat for breadmaking. I. Comparison of chemical, rheological, and baking properties between bread wheat flours and durum wheat flours. *Cereal chemistry*, *71*(1), 21-27.

Bozdoğan, N., 2015. Glutensiz Kek Formülasyonlarında Hidrokolloid Ve Diyet Lifi Kullanımının Hamur Reolojisi Ve Kek Kalitesi Üzerine Olan Etkilerinin İncelenmesi. Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 146 s, İzmir.

Cairano, M. D., Condelli, N., Caruso, M.C., Marti, A., Cela, N. ve Galgano, F., 2020. Functional properties and predicted glycemic index of gluten free cereal, pseudocereal and legume flours. LWT, 133, 109860. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.109860

Callcott, E. T., Santhakumar, A. B., Luo, J., & Blanchard, C. L.,2018. Therapeutic Potential of Rice-Derived Polyphenols on Obesity-Related Oxidative Stress and İnflammation. *Journal of Applied Biomedicine*, *16*(4), 255-262.

Chen, J., & Stokes, J. R. (2012). Rheology and tribology: Two Distinctive Regimes of Food Texture Sensation. *Trends in Food Science & Technology*, *25*(1), 4-12.

Chen WZ, Hoseney RC. 1995. Wheat flour compound that produces sticky dough: Isolation and identification. J Food Sci, 60(3): 434-437.

Choi, S.-N., Chung, N.-Y., Kim, H.-J., 2013. Quality Characteristics of Waffle by adding Brown Rice Flour. Korean journal of food and cookery science. Korean Society of Food and Cookery Science. DOI: 10.9724/kfcs.2013.29.1.47

Costantini, M., Summo, C., Faccia, M., Caponio, F., & Pasqualone, A. (2021). *Kabuli* and *Apulian black* Chickpea Milling By-Products as Innovative Ingredients to Provide High Levels of Dietary Fibre and Bioactive Compounds in Gluten-Free Fresh Pasta. *Molecules*, *26*(15), 4442. https://doi.org/10.3390/molecules26154442

Das, M., Dash, U., Mahanand, S., S., Nayak, P., K., Kesavan, P., K., 2023. Black rice: A Comprehensive Review on Its Bioactive Compounds, Potential Health Benefits and Food Applications. Food Chemistry Advances, 3; 100462.

De Pasquale, I., Verni, M., Verardo, V., Gómez-Caravaca, A. M., & Rizzello, C. G., 2021. Nutritional and functional advantages of the use of fermented black chickpea flour for semolina-pasta fortification. Foods, 10(1), 182.

Demirkesen-Bicak, H., Tacer-Caba, Z., & Nilufer-Erdil, D., 2018. Pullulanase treatments to increase resistant starch content of black chickpea (Cicer arietinum L.) starch and the effects on starch properties. International journal of biological macromolecules, 111, 505-513.

Dobraszczyk, B.J., Morgenstern, M.P., 2003. Rheology and the Bread Making Process. Journal of Cereal Science, 38 (3): 229-245.

Dogu Baykut, E., 2021. Bazı Tahıl Benzeri Ürünlerin Besin İçeriği ve Gıda Endüstrisinde Kullanımı. Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi (23), 89-98. https://doi.org/10.31590/ejosat.789955

Doğan, I. S.,2006. Factors Affecting Wafer Sheet Quality. International Journal of Food Science and Technology, 41(5), 569-576. DOI: 10.1111/j.1365 2621.2005.01117.x

Dumas, J.B.A. (1831) Procedes de l'analyse Organic. Annales de Chimie et de Physique (Annals of Chemistry and of Physics), 247, 198-213.

Duyi, S., Baran, A., Chandra, D.S., 2017. Pigmented Rice a Potential Source of Bioactive Compounds: A Review. International Journal of Food Science & Technology, 52(5), 1073–1081.

Elgün, A., Ertugay, Z., 2002. Tahıl İşleme Teknolojisi. Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Ofset Tesisleri, Yay. No:718, 411. Erzurum.

Ersoy, H., & Altuntaş, E., 2022. Determination ff The Physicomechanical Characteristics of Black Chickpea Grains. *Journal of New Results in Science*, *11*(3), 247-255.

Evangelho, J. A. d., Vanier, N. L., Pinto, V. Z., Berrios, J. J. D., Dias, A. R. G., & da Zavareze, E. R., 2017. Black bean (Phaseolus vulgaris L.) protein hydrolysates: Physicochemical and functional properties. Food Chemistry, 214, 460–467.

Fathonah, S., Rachmawati, R., Rosidah, R., Kristanti, B. S., Iswari, R. S., 2020. An Innovation of High-Energy and Protein Biscuits Made of Black Rice Flour Substituted With Mung Bean Flour. International Journal of Research Innovation and Entrepreneurship, 1(2), 69-77.

Ferreira, C. D., Ziegler, V., da Silva Lindemann, I., Hoffmann, J. F., Vanier, N. L., & de Oliveira, M., 2018. Quality of black beans as a function of long-term storage and moldy development: Chemical and functional properties of flour and isolated protein. Food Chemistry, 246, 473– 480.

Fonseca-Hernández, D., Lugo-Cervantes, E. D. C., Escobedo-Reyes, A., & Mojica, L., 2021. Black bean (Phaseolus vulgaris L.) polyphenolic extract exerts antioxidant and antiaging potential. *Molecules*, *26*(21), 6716.

Gatti, S., Rubio-Tapia, A., Makharia, G., & Catassi, C., 2024. Patient and community health global burden in a world with more celiac disease. *Gastroenterology*, *167*(1), 23-33.

Gallagher, E., Gormley, T.R. and Arendt, E.K., 2004. Review Recent Advances in the Formulation of Gluten-Free CerealBased Products. Trends in Food Science and Technology, 15, 143-152. http://dx.doi.org/10.1016/j.tifs.2003.09.012

Gençay, F., & Mert, İ. D., 2023. Çölyak Hastalığı ve Glutensiz Ürün Etiketlemesi. Erişim tarihi 2 Aralık 2024. https://api.gidamo.org.tr/

Green, P. H., & Cellier, C., 2007. Celiac disease. New england journal of medicine, 357(17), 1731-1743.

Greenaway W., Neustadt MH., Zeleny L., 1965. Communication to the Editor: A Test for Stink Bug Damage in Wheat. Cereal Chemistry, 42(6), 577- 579.

Gularte, M. A., & Rosell, C. M., 2011. Physicochemical properties and enzymatic hydrolysis of different starches in the presence of hydrocolloids. *Carbohydrate Polymers*, *85*(1), 237-244.

Gül, H., Hayit, F., Acun, S., & Tekeli, S. G. (2018, July). Improvement of quality characteristics of gluten-free cookies with the addition of xanthan gum. In *Agriculture for Life, Life for Agriculture" Conference Proceedings* (Vol. 1, No. 1, pp. 529-535).

Gül, H., Sonay-Saygılı, N., Korkmaz, A., N., Polat, E. Türker, T., Kanat, N., 2019. Beyaz Dut Unu ile Zenginleştirilmiş Glutensiz Dondurma Külahı Üretimi ve Ürün Kalitesinin Değerlendirilmesi. 1st International Young Researchers Student Congress (Tam metin bildiri).

Gül, E. E., Uğurel Biçici, A., Gül, H., Acun, S. (2024). Çölyak Hastaları İçin Isparta Gülü (Rosa Damascena Mıll.) İle Zenginleştirilmiş Glutensiz Dondurma Külahı Geliştirilmesi. Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 12(2), 345-356. https://doi.org/10.21923/jesd.1455496

Halim, A., 2021. Fortification of Rice Crackers Made From Brown Rice Flour and Black Rice Flour with Protein From Oyster and Mussel Powder. A Dissertation Submitted in Partial Fulfilment of the Requirements for the Degree of Master of Science in Food Innovation at Lincoln University (Doctoral dissertation, Lincoln University).

Hardacre, A. K., Clark, S. M., Riviere, S., Monro, J. A., Hawkins, A. J. 2006. Some Textural, Sensory and Nutritional Properties of Expanded Snack Food Wafers Made From Corn, Lentil And Other Ingredients. Journal of Texture Studies, 37(1), 94-111. DOI: 10.1111/j.1745-4603.2006.00041.x

Hayıt, F., Gül, H., 2017. Çölyak ve Çölyak Hastaları İçin Üretilen Ekmeklerin Kalite Özellikleri. *Journal of the Institute of Science and Technology*, 7 (1), 163-169. Retrieved from https://dergipark.org.tr/tr/pub/jist/issue/34624/389685

Hempel, S., Jacob, A. & Rohm, H., 2007. Influence of Inulin Modification and Flour Type on the Sensory Quality of Prebiotic Wafer Crackers. Eur Food Res Technol 224, 335–341. DOI: 10.1007/s00217-006-0326-9

Hernández, D. F., Mojica, L., Berhow, M. A., Brownstein, K., Cervantes, E. L., & de Mejia, E. G.,2023. Black and pinto beans *(Phaseolus vulgaris L.)* unique mexican varieties exhibit antioxidant and anti-inflammatory potential. *Food Research International, 169*, 112816.

Hiemori, M., Koh, E., & Mitchell, A. E., 2009. Influence of cooking on anthocyanins in black rice (Oryza sativa L. japonica var. SBR). *Journal of agricultural and food chemistry*, *57*(5), 1908-1914.

HSGM, Halk Sağlığı Genel Müdürlüğü. "Sağlıklı Beslenme ve Hareketli Hayat Dairesi Başkanlığı". Erişim 1 Aralık 2024. https://hsgm.saglik.gov.tr/tr/metabolizma-ve-colyak/colyak-gorulme-sikligi.html

Huber, R., Schoenlechner, R., Waffle Production: Influence of Batter Ingredients on Sticking of Fresh Egg Waffles at Baking Plates – Part I: Effect of Starch and Sugar Components. Food Science & Nutrition 2016; 1–9. DOI:10.1002/fsn3.424

Işık, G., 2020. Çikolata Kaplı Gofret Üretiminde Kullanılan Farklı Reolojik Özelliklerdeki Çikolatanın Son Ürün Kalitesine Etkisi. Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 80s, İstanbul.

Ito, V. C., Zielinski, A. A. F., Demiate, I. M., Spoto, M. H. F., Nogueira, A., Lacerda, L. G., 2019. Effects of Gamma Radiation on the Stability and Degradation Kinetics of Phenolic Compounds and Antioxidant Activity During Storage of (Oryza sativa L.) Black Rice Flour. Brazilian Archives of Biology and Technology, 62, 01–14.

Jiang, L., Wang, J., Li, Y., Wang, Z., Liang, J., Wang, R., Chen, Y., Ma, W., Qi, B., & Zhang, M., 2014. Effects of ultrasound on the structure and physical properties of black bean protein isolates. Food Research International, 62, 595–601.

Kara, B., Acun, S., & Gül, H., 2020. Ekmeklik Buğdayda (Triticum Aestivum L.) Tane İriliğinin Unda Bazı Kalite Özelliklere Etkisi. Black Sea Journal of Agriculture, 3(4), 246-252.

Karahan, A. M., Köten, M., Eren Karahan, l., Yazman, M. M., 2019. Tarhananın Besinsel Önemi ve Fonksiyonel Bileşenlerce Zenginleştirilmesi. Harran Üniversitesi Mühendislik Dergisi, 4(3), 120-129.

Karataş, D., 2021. The Effect of Ultrasound on Wafer. Gaziantep University, Graduate School of Natural and Applied Sciences, Master's Thesis, 123pp, Gaziantep.

Kigozi, J., Banadda, N., Byaruhanga, Y., Kaaya, A., Musoke, L., 2014. Optimization of Texture in Sorghum Ice Cream Cone Production Using Sensory Analysis. The Open Food Science Journal, 8; 18-21. DOI: 10.2174/1874256401408010018

Kieffer, R., Wiesser, H., Henderson, M.H., Graveland, A., 1998. Correlations of the Bread-Making Performance of Wheat Flour with Rheological Measurements on a Micro-Scale, Journal Cereal Science, 27, 53-60.

Kim, Y. S., Kim, G. H. and Lee, J. H., 2006. Quality Characteristics of Black Rice Cookies as Influenced by Content of Black Rice Flour and Baking Time. Journal of the Korean Society of Food Science and Nutrition, 35(4), 499-506.

Krog, N., 2018. Food Emulsifiers. In Lipid Technologies and Applications (pp. 521-534). Routledge.

Kushwaha, UKS.,2016. *Siyah pirinç* (s. 21-47). Springer Uluslararası Yayıncılık.

Kütük, Ö. R., & Çapraz, E. Ö., 2024. Glutensiz Kek Üretiminde Siyah Pirinç Unu ve Siyah Nohut Ununun Kullanım Potansiyelinin Araştırılması. *Food and Health*, *11*(1), 27-40.

Macar, T.K, Macar, O, Mart, D.İ, 2017. Variability in Some Biochemical and Nutritional Characteristics in Desi and Turkish Kabuli Chickpea (Cicer arietinum L.) Types, Celal Bayar University Journal of Science, 13: 677-680.

Ma, J., Kaori, F., Ma, L., Gao, M., Dong, C., Wang, J., & Luan, G., 2019. The effects of extruded black rice flour on rheological and structural properties of wheat-based dough and bread quality. *International Journal of Food Science and Technology*, *54*(5), 1729-1740.

Ma, Q., Wang, X., Zhang, R., Huang, F., Jia, X., Dong, L. & Zhang, M., 2025. Structural, physicochemical and functional properties of dietary fiber from black rice bran treated by different processing methods. *Food Bioscience*, 106025.

Manley, D.,2011. Wafer biscuits. In D. Manley (Ed.), Manley's technology of biscuits, crackers and cookies.

Mau, J. L., Lee, C. C., Chen, Y. P., Lin, S. D., 2017. Physicochemical, Antioxidant and Sensory Characteristics of Chiffon Cake Prepared with Black Rice as Replacement for Wheat Flour. LWT, 75, 434-439.

Meenu, M., Chen, P., Mradula, M., Chang, S. K., & Xu, B., 2023. New insights into chemical compositions and health-promoting effects of black beans (Phaseolus vulgaris L.). *Food Frontiers*, *4*(3), 1019-1038.

Meral, R., Doğan, İ. S., 2002, 3-4 Ekim. Gofret Üretiminde Bileşenlerin ve Proses Aşamalarının Rolü. Hububat Ü rünleri Teknolojisi Kongre ve Sergisi, Gaziantep.

Meral, R., Doğan, İ.S., 2004. Piyasaya Sunulan Gofretlerin Kalite ve Bileşenler Yönünden Değerlendirilmesi. Yüzüncü Yıl Üniversitesi Tarım Bilimleri Dergisi, 14(2), 65-71.

Mert, S.,2014. Effect of Different Flours on Quality of Gluten-Free Wafer Sheet. Middle East Technical University, Graduate School of Natural and Applied Sciences, Master's Thesis, 105 pp., Ankara.

Mert, S., Sahin, S., & Sumnu, G., 2015. Development of gluten-free wafer sheet formulations. *LWT-Food Science and Technology*, *63*(2), 1121-1127.

Miller, R. A., Hoseney, R. C., 2008. Role of salt in baking. Cereal Foods World, 53(1), 4. DOI: 10.1094/CFW-53-1-0004

Mutlu, C., Arslan Tontul, S., Candal, C., Erbaş, M., 2019. Bazı Tahıl Benzeri Ürünlerin Glutensiz Kek Üretiminde Kullanımı. Gıda, 44(5), 770-780.

Naderi, B., Nasabi, M., Akbari, M., Zargaraan, A., Amini, M., 2023. Effect of Enzymatic Treatment on Rheological Properties Of Wafer Batter And Textural Properties of Wafer Sheet. Journal of Food Measurement and Characterization, 17(3), 2213- 2223.

Nasabi, M., Naderi, B., Akbari, M., Aktar, T., Kieliszek, M., Amini, M., 2021. Physical, Structural and Sensory Properties of Wafer Batter and Wafer Sheets Influenced by Various Sources of Grains. LWT- Food Science and Technology, 149, 111826.

Nicolás-García, M., Perucini-Avendaño, M., Arrieta-Báez, D., de Jesús Perea-Flores, M., Jiménez-Martínez, C., Gómez-Patiño, M. B., & Dávila-Ortiz, G., 2022. Phenolic compounds profile by UPLC-ESI-MS in black beans and its distribution in the seed coat during storage. *Food Chemistry*, *395*, 133638.

Okafor, D. C., Enwereuzoh, R. O., Ibeabuchi, J. C., Uzoukwu, A. E., Alagbaoso, S. O., & Udenkwo, C., 2015. Production of flour types from black bean (Phaseolus vulgaris) and effect of pH and temperature on functional physico-chemical properties of the flours. *European Journal of Food Science and Technology*, *3*(2), 64-84.

Okakpu, C.J., Okakpu, K.G., Anyahara, J.C., Ekemekwe D.O., and Uba P.I., 2024. Quality Evaluation of Flours from Cocoyam, Millet, Black Bean, and Unripe Plantain Peels. J Food Technol Pres 6(3): 165.

Ovando-Martínez, M., Osorio-Díaz, P., Whitney, K., Bello-Pérez, L. A., & Simsek, S. (2011). Effect of the cooking on physicochemical and starch digestibility properties of two varieties of common bean (Phaseolus vul garis L.) grown under different water regimes. Food Chemistry, 129(2), 358–365.

Özdemir, Y., Özbek, Ç., İlhan, S., 2022. Ice cream cone enriched with carob molasses pulp. Journal of Food Measurement and Characterization, 16:3782–3791. DOI: 10.1007/s11694-022-01489-w

Özkaya, V., & Özkaya, Ş. Ö., 2018. Çölyak Hastalığına Diyetetik Yaklaşım. Selcuk University Medical Journal, 34(4).

Özkan, H., 2021. İncir Çekirdeği Unu Kullanılarak Glutenli ve Glutensiz Sanayi Tipi Mufin Üretimi. Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 82s, Isparta.

Özuğur, G., & Hayta, M., 2011. Tahıl Esaslı Glutensiz Ürünlerin Besinsel ve Teknolojik Özelliklerinin İyileştirilmesi. Gıda, 36(5), 287-294.

Park, Y. S., and Chang, H. G., 2007. Quality Characteristics of Sponge Cakes Containing Various Levels of Black Rice Flour. Korean Journal of Food Science and Technology, 39(4), 406-411.

Pasquale, I., D., Verni, M., Verardo, V., Gomez-Caravaca, A., M., Rizzelo, C., G., 2021. Nutritional and Functional Advantages of the Use of Fermented Black Chickpea Flour for Semolina-Pasta Fortification. Foods, 10(1), 182.

Pavan, S., Lotti, C., Marcotrigiano, A.R., Mazzeo, R., Bardaro, N., Bracuto, V., Ricciardi, F., Taranto, F., D'Agostino, N., Schiavulli, A., 2017. A Distinct Genetic Cluster in Cultivated Chickpea as Revealed by Genome-wide Marker Discovery and Genotyping. Plant Genome, 10, 1–9.

Perten, H., 1964. Application of the falling number method for evaluating alpha-amylase activity. *Cereal Chemistry*, 41(2), 127–140.

Rahim, M. A., Umar, M., Habib, A., Imran, M., Khalid, W., Lima, C. M. G. & Emran, T. B., 2022. Photochemistry, functional properties, food applications, and health prospective of black rice. *Journal of Chemistry*, *2022*(1), 2755084.

Rawal, V., & Navarro, D. K., 2019. The Global Economy of Pulses (Vol. 190). FAO.

Riaz, M. N., 1999. Healthy baking with soy ingredients. Cereal Foods World, 44: 136-139.

Ronda, F., Pérez-Quirce, S., & Villanueva, M., 2017. Rheological properties of gluten-free bread doughs: relationship with bread quality. In *Advances in food rheology and its applications* (pp. 297-334). Woodhead Publishing.

Rosell, C. M., Santos, E., & Collar, C., 2010. Physical characterization of fiber-enriched bread doughs by dual mixing and temperature constraint using the Mixolab®. *European Food Research and Technology*, *231*, 535-544.

Rozylo, R., Wojcik, M., Dziki, D., Biernacka, B., Cacak-Pietrzak, G., Gawlowski, S., Zdybel, A., 2019. Freeze-dried elderberry and chokeberry as natural colorants

for gluten-free wafer sheets. International Agrophysics, 33, 217 225. DOI: 10.31545/intagr/109422

Shevchenko, A., 2022. Functional properties of rice flour and its effect on conformational changes in the structure of wheat dough and bread.

Silva-Cristobal, L., Osorio-Díaz, P., Tovar, J., & Bello-Pérez, L. A., 2010. Chemicalcomposition, Carbohydratedigestibility, Andantioxidantcapac Ity of Cooked Black Bean, Chickpea, and Lentil Mexican Varieties. CyTA— Journal of Food, 8(1), 7–14.

Summo, C., De Angelis, D., Ricciardi, L., Caponio, F., Lotti, C., Pavan, S., Pasqualone, A., 2019. Nutritional, Physicochemical and Functional Characterization of a Global Chickpea Collection. J. Food Compos. Anal., 84, 103306.

Sundara, V. R., 2012. The Science Behind The Flat Wafer Baking Process. New Food Magazine. 15(4): 56-61.

Sushmitha, B. R., & Reddy, V. P., 2020. Black rice flour: proximate composition, physicochemical properties and phytochemical screening in sequential extracts. *Int J Food Sci Nutr*, *5*, 82-86.

Taşkın, B., 2019. Maş Fasulyesi (Vigna radiata L.) ve Glutensiz Gıdalarda Kullanım Potansiyeli. Akademik Gıda, 17(4), 546-552. https://doi.org/10.24323/akademik-gida.667273

Tatar, F. 2017. Ultrasonik Nozulun Maviyemiş (Vaccinium corymbosum L.) Tozu ve Mikrokapsülü Üretiminde Kullanımı. Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 105s, Samsun.

Tazegül, A.S., Duman. N., Bal, A., Bitkin, M., 2021. Hububat Bilimi ve Teknolojisi. Sidas Medya Ltd. Şti,461-477s, İzmir.

Thilavech, T., Suantawee, T., Chusak, C., Suklaew, P. O., & Adisakwattana, S., 2025. Black rice (Oryza sativa L.) and its anthocyanins: mechanisms, food applications, and clinical insights for postprandial glycemic and lipid regulation. *Food Production, Processing and Nutrition*, *7*(1), 15.

Tiefenbacher, K. F., 2017. The Technology of Wafers and Waffles I: Operational Aspects. Academic Press.

Townsend, G. M.,1990. Cookies, crackers and other flour confectionary. In R. G. Booth (Ed.), Snack food (pp. 63–65). New York: Van Nostrand Reinhold.

TSE, Türk Standartları Enstitüsü. Gofret. Türkiye: Türk Standartları Enstitüsü, Kabul 18 Şubat 2016, TS 7474.

Tufan, B., 2018. Evaluation of The Effects of Legume Flour Incorporation Into Wafer Sheets. Middle East Technical University, Graduate School of Natural and Applied Sciences, Master's Thesis, 132 pp., Ankara.

Ulutürk, Ş., 2018. İncir Çekirdeği Unu Kullanılarak Glutenli ve Glutensiz Bisküvi Üretimi. Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 100s, Isparta.

Verma, A., 2019. Process Engineering Analysis of Confectionery Wafer Manufacture. The University of Manchester (United Kingdom).

Vidal, L. M., Alpers, T., & Becker, T., 2023. Structure Strengthening Phenomena of Gluten Matrices under Different Stress Types. *Polymers*, *15*(23), 4491.

Wieser, H., Koehler, P., & Scherf, K. A., 2020. *Wheat-An exceptional crop: Botanical features, chemistry, utilization, nutritional and health aspects*. Elsevier.

Yağdı, S. D., Gülsünoğlu Konuşkan, Z., 2021. Glutensiz Ürünlerde Kullanılan Alternatif Protein Kaynakları. Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi (32), 32-39.

Yazar, G., & Demirkesen, I., 2023. Linear and non-linear rheological properties of gluten-free dough systems probed by fundamental methods. *Food Engineering Reviews*, *15*(1), 56-85.

Yıldırım, E., 2020. Çölyak Hastalığı ve Glutensiz Besleme. Genel Sağlık Bilimleri Dergisi, 2(3), 175-187.

Zhang, M. W., Guo, B. J., & Peng, Z. M., 2005. Genetic Effects on Grain Characteristics of Indica Black Rice and Their Useson İndirect Selections for Some Mineral Element Contents ın Grains. *Genetic Resources and Crop Evolution*, *52*, 1121-1128.

Ziegler, V., Ferreira, C. D., Goebel, J. T. S., El Halal, S. L. M., Santetti, G. S., Gutkoski, L. C. & Elias, M. C. (2017). Changes in properties of starch isolated from whole rice grains with brown, black, and red pericarp after storage at different temperatures. *Food Chemistry, 216*, 194-200.

Лозовая, Т. М., 2014. Improved consumer properties of wafers using non traditional raw materials. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 2(12(68), 108–113. 4061.2014.23356