



**T.C.
AKSARAY ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

GIDA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

***Spirulina platensis* PROTEİN EKSTRAKTLARI İLE
ZENGİNLEŞTİRİLMİŞ BUĞDAY UNUNDAN ÜRETİLEN HAMUR VE
EKMEĞİN REOLOJİK VE BAZI BİYOAKTİF ÖZELLİKLERİNİN
ARAŞTIRILMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Meltem YILMAZ

DANIŞMAN

Dr. Öğr. Üyesi Aysun YÜCETEPE

AKSARAY, 2021



**T.C.
AKSARAY ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

GIDA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

***Spirulina platensis* PROTEİN EKSTRAKTLARI İLE
ZENGİNLEŞTİRİLMİŞ BUĞDAY UNUNDAN ÜRETİLEN HAMUR VE
EKMEĞİN REOLOJİK VE BAZI BİYOAKTİF ÖZELLİKLERİNİN
ARAŞTIRILMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Meltem YILMAZ

DANIŞMAN

Dr. Öğr. Üyesi Aysun YÜCETEPE

AKSARAY, 2021

Aksaray Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 192324009 numaralı Yüksek Lisans öğrencisi Meltem YILMAZ tarafından hazırlanan “(*Spirulina platensis* **PROTEİN EKSTRAKTLARI İLE ZENGİNLEŞTİRİLMİŞ BUĞDAY UNUNDAN ÜRETİLEN HAMUR VE EKMEĞİN REOLOJİK VE BAZI BİYOAKTİF ÖZELLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI**)” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından OY BİRLİĞİ/OY ÇOKLUĞU ile Gıda Mühendisliği Anabilim Dalında **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Aysun YÜCETEPE

Aksaray Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum

Üye: Prof. Dr. Beraat ÖZÇELİK

İstanbul Teknik Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum

Üye: Doç. Dr. Sibel ULUATA

İnönü Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum

Tez Savunma Tarihi:/...../.....

Jüri tarafından kabul edilen bu tezin Yüksek Lisans Tezi olması için gerekli şartları yerine getirdiğini onaylıyorum.

Doç. Dr. Mehmet Ali HINIS

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

DOĞRULUK BEYANI

Yüksek lisans tezi olarak sunduğum bu çalışmayı, akademik kurallara ve bilimsel etik, ahlak ve geleneklere aykırı düşecek bir yol ve yardıma başvurmaksızın yazdığımı, yararlandığım eserlerin kaynakçada gösterilenlerden olduğunu, çalışmamda kullandığım verilerin orijinalliğini ve her türlü intihalden uzak olduğunu beyan ederim.

Enstitü tarafından belli bir zamana bağlı olmaksızın, tezimle ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun saptanması durumunda, ortaya çıkacak tüm ahlaki ve hukuki sonuçlara katlanacağımı bildiririm.

İmza

Meltem YILMAZ

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimim boyunca, çalışmanın düzenlenmesi, gerçekleştirilmesi ve değerlendirilmesinde değerli görüş ve katkılarıyla beni yönlendiren, bana yol gösteren, beni destekleyen, beni motive eden ve bilgi ve deneyimlerinden faydalandığım danışman hocam Sayın Dr. Öğr. Üyesi Aysun YÜCETEPE hocama,

Beni bu yaşa kadar ellerinden gelen en iyi şekilde yetiştiren, bana sevgilerini ilgilerini her fırsatta hissettiren, eğitim hayatım boyunca her türlü desteklerini esirgemeyen canım ailem; annem Ferah YILMAZ, babam Gültekin YILMAZ ve kardeşim Muhammet Ali YILMAZ'a,

Laboratuvar analizleri aşamasında teknik yardımını ve desteğini esirgemeyen arkadaşım Sayın Hatice DİNÇ'e,

Üniversiteye ilk başladığım sene Sayın Prof. Dr. Özen ÖZBOY ÖZBAŞ hocamı görüp ben de bu yolda ilerleyip bir bilim kadını olacağım diye kendime verdiğim bu sözü yerine getirmek aşamasında attığım bu ilk adımı gerçekleştiriyor olduğum için kendime,

Tezimin analiz aşamalarında bana tüm imkanları sağlayan ERKE ADK GIDA'ya, analizlerin yapım aşamasında bana teknik bilgi yardımında bulunan Sayın Serhap VARAN, Ümit VARAN, Mine ÖNER KIRBAÇ ve Ozan GÜLDALI'na,

Sonsuz teşekkürlerimi, minnetimi ve saygılarımı sunmayı bir borç bilirim.

Meltem YILMAZ

AKSARAY, 2021

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR.....	i
İÇİNDEKİLER.....	ii
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	v
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vi
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	viii
1. GİRİŞ.....	1
2. KAYNAK ÖZETLERİ.....	5
2.1 <i>Spirulina platensis</i> 'in Kimyasal Kompozisyonu.....	5
2.2 <i>Spirulina platensis</i> 'in Antioksidan Aktivitesi.....	6
2.3 Antioksidan Aktivite Etki Mekanizması.....	7
2.4 Antioksidan Aktivite Tayin Yöntemleri.....	7
2.5 Fenolik Bileşikler.....	8
2.6 <i>In vitro</i> Mide-Bağırsak Sindirimi.....	9
2.7 <i>Spirulina platensis</i> ile Ekmeklerin Zenginleştirilmesi Üzerine Yapılan Bazı Çalışmalar.....	9
2.8 Buğday Ununun Ekmeklik Kalitesini Belirleyen Bazı Fizikokimyasal ve Reolojik Özellikleri.....	10
2.8.1 Buğday ununun bazı fizikokimyasal özellikleri.....	11
2.8.2 Buğday ununun bazı reolojik özellikleri.....	12
2.8.2.1 Farinogram özellikleri.....	12
2.8.2.2 Ekstensogram özellikleri.....	12
3. MATERYAL ve YÖNTEM.....	14
3.1 Materyal.....	14
3.2 Metot.....	14
3.2.1 Buğday unu, SP, SPE ve SP ve SPE ilaveli unların kimyasal kompozisyonunun belirlenmesi.....	14
3.2.2 <i>Spirulina platensis</i> 'ten proteinlerin ultrases destekli ekstraksiyonu.....	14
3.2.3 Kontrol ve SP ve SPE ilaveli unların bazı fizikokimyasal ve reolojik özelliklerinin belirlenmesi.....	15
3.2.4 Kontrol ve SP ve SPE ilaveli unların fonksiyonel özelliklerinin belirlenmesi.....	15
3.2.4.1 Yığın yoğunluğunun belirlenmesi.....	15
3.2.4.2 Su tutma kapasitesinin belirlenmesi.....	16
3.2.4.3 Yağ tutma kapasitesinin belirlenmesi.....	16
3.2.4.4 Şişme indeksinin belirlenmesi.....	17
3.2.5 Kontrol ve SP ve SPE ilaveli ekmeklerin üretimi.....	17
3.2.6 Kontrol ve SP ve SPE ilaveli ekmeklerin tekstür, hacim ve renk özelliklerinin belirlenmesi.....	18
3.2.6.1 Kontrol ve SP ve SPE ilaveli ekmeklerin tekstürel analizi.....	18
3.2.6.2 Kontrol ve SP ve SPE ilaveli ekmeklerin hacim analizi.....	19
3.2.6.3 Kontrol ve SP ve SPE ilaveli ekmeklerin renk analizi.....	19
3.2.7 Kontrol ve SP ve SPE ilaveli ekmeklerin <i>in vitro</i> mide-bağırsak sindirimi.....	19
3.2.7.1 Toplam fenolik madde miktarının belirlenmesi.....	19
3.2.7.2 Antioksidan aktivitenin belirlenmesi.....	20
3.2.7.3 % Protein sindirilebilirliğinin belirlenmesi.....	20

3.2.8 Duyusal analiz	20
3.2.9 İstatistiksel Analiz	21
4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA	22
4.1 Kontrol, SP ve SPE ile SP ve SPE İlaveli Unların Özellikleri	22
4.1.1 Kontrol, SP ve SPE ile SP ve SPE ilaveli unların kimyasal kompozisyonu	22
4.1.2 Kontrol ile SP ve SPE ilaveli unların fizikokimyasal özellikleri	23
4.1.3 Kontrol ve SP ve SPE ilaveli unların reolojik özellikleri	24
4.1.4 Kontrol ve SP ve SPE ilaveli unların fonksiyonel özellikleri.....	28
4.2 Kontrol ve SP ve SPE İlaveli Ekmeklerin Tekstürel, Hacim ve Renk Özellikleri	30
4.2.1 Kontrol ve SP ve SPE ilaveli ekmeklerin tekstürel özellikleri	30
4.2.2 Kontrol ve SP ve SPE ilaveli ekmeklerin hacim özellikleri	31
4.2.3 Kontrol ve SP ve SPE ilaveli ekmeklerin renk özellikleri.....	31
4.3 Kontrol ile SP ve SPE ilaveli ekmeklerin <i>in vitro</i> mide-bağırsak sindirimi.....	32
4.3.1 <i>In vitro</i> mide-bağırsak sindirimi sırasında toplam fenolik maddedeki değişim.....	32
4.3.2 <i>In vitro</i> mide-bağırsak sindirimi sırasında antioksidan aktivitedeki değişim	33
4.3.3 <i>In vitro</i> mide-bağırsak sindirimi sırasında % protein sindirilebilirliğindeki değişim.....	34
4.4 Duyusal Analiz.....	35
5. SONUÇ VE ÖNERİLER	39
KAYNAKLAR	40
EKLER.....	48
ÖZGEÇMİŞ	49

YÜKSEK LİSANS TEZİ

***Spirulina platensis* PROTEİN EKSTRAKTLARI İLE ZENGİNLEŞTİRİLMİŞ BUĞDAY UNUNDAN ÜRETİLEN HAMUR VE EKMEĞİN REOLOJİK VE BAZI BİYOAKTİF ÖZELLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI**

Meltem YILMAZ

**Aksaray Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı**

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Aysun YÜCETEPE

ÖZET

Spirulina platensis, simbiyotik, çok hücreli ve iplikli yapıda mavi-yeşil bir mikroalgdır. Bu tez çalışması kapsamında, *Spirulina platensis* tozu (SP) ve *Spirulina platensis*'den ultrases destekli ekstraksiyon ile ekstrakte edilen protein ekstraktları (SPE) ile zenginleştirilen buğday unlarının reolojik ve teknofonksiyonel özellikleri araştırılmıştır. Daha sonra, bu unlar ile üretilen ekmek örneklerinin tekstürel, duyu ve renk özellikleri ile *in vitro* mide-bağırsak sindirim sırasında toplam fenolik madde içeriği, antioksidan aktivite ve % protein sindirilebilirliğindeki değişim belirlenmiştir. Çalışmanın sonuçlarına göre, farklı oranlarda SP ve SPE ile zenginleştirilen buğday ununun ekstensograf ve farinograf analizleri sonucunda en uygun SP ve SPE oranları %0,125, 0,25 ve 0,5 olarak belirlenmiştir. Örneklerin *in vitro* sindirim öncesi toplam fenolik madde içeriği 26,06±1,29 ile 31,69±0,09 mg GAE/100 g arasındadır. Örneklerin *in vitro* sindirim öncesi antioksidan aktivitesi (CUPRAC) 36,17±2,19 ile 51,78±7,95 mg TE/100 g arasında değişmiştir ($p \geq 0,05$). SP-%0,125, SP-%0,5 ve SPE-%0,25'in antioksidan aktivitesi, *in vitro* mide sindirimden sonra artış göstermiştir ($p < 0,05$). Çalışmamızda örneklerin % protein sindirilebilirliği ise %81,86±2,07- %85,02±2,58 arasında değişmiştir ($p \geq 0,05$). Ekmek örneklerinin sıklık değeri en yüksek olan örnek kontrol örneği (919,4±34,7 g, $p < 0,05$)'dir. Benzer şekilde, SP ve SPE ilaveli ekmeklerin kontrol örneklerine göre daha yüksek hacim değerlerine sahip olduğu tespit edilmiştir ($p < 0,05$). Renk analizi sonuçları incelendiğinde, örneklerin L*, a* ve b* değerlerinin SP ve SPE ilavesi ile farklılaştığı görülmüştür ($p < 0,05$). Duyusal analiz sonuçlarına göre, en tercih edilebilir ekmek örneği SPE-%0,50'dir.

Anahtar Kelimeler: Antioksidan Aktivite, Buğday Unu, Ekmek, *In vitro* Sindirim, Reolojik Özellik, *Spirulina platensis*, Toplam Fenolik Madde, Zenginleştirme.

Ağustos, 2021; 49 sayfa

M.Sc. THESIS

INVESTIGATION OF RHEOLOGICAL AND BIOACTIVE PROPERTIES OF DOUGH AND BREAD ENRICHED WITH PROTEIN EXTRACTS FROM *Spirulina platensis*

Meltem YILMAZ

Aksaray University
Faculty of Engineering
Department of Food Engineering

Supervisor: Assist. Prof. Aysun YÜCETEPE

ABSTRACT

Spirulina platensis is a simbiotic, multicellular and filamentous blue-green microalgae. In context of this thesis, enrichment of wheat flour with *Spirulina platensis* powder (SP) and protein extracts from *Spirulina platensis* by ultrasound-assisted extraction (SPE) and investigation of rheological and technofunctional properties of the flours were carried out. Moreover, textural, sensory and colour properties of the enriched bread samples and changes in the total phenolic content, antioxidant activity and *in vitro* protein digestibility (%) during *in vitro* gastro-intestinal digestion were investigated. According to the results of exensograph and farinograph analysis of the enriched flours with SP and SPE, the best ratios for SP and SPE were determined as 0.125%, 0.25% and 0.5%. Total phenolic content and antioxidant activity by CUPRAC method of the samples were 26.06 ± 1.29 - 31.69 ± 0.09 mg GAE/100 g and 36.17 ± 2.19 - 51.78 ± 7.95 mg TE/100 g dry weight, before *in vitro* digestion, respectively ($p \geq 0.05$). Antioxidant activity of the samples (SP-%0.125, SP-%0.5 ve SPE-%0.25) increased after *in vitro* gastric digestion ($p < 0.05$). The protein digestibility (%) of the breads ranged from $81.86 \pm 2.07\%$ to $85.02 \pm 2.58\%$ ($p \geq 0.05$). The firmness value of the control sample was the highest (919.4 ± 34.7 g, $p < 0.05$). The breads with SP and SPE were different from the others in terms of L*, a* and b* values ($p < 0.05$). The L* values ranged from 52.2 to 60.8 ($p < 0.05$) and it decreased with addition of SP and SPE. According to the results of sensory analysis, the most preferable bread sample was SPE-0.50%.

Keywords: Antioxidant Activity, Bread, Enrichment, *In vitro* Digestion, Rheological Property, *Spirulina platensis*, Total Phenolic Content, Wheat Flour.

August, 2021; 49 page

ŞEKİLLER DİZİNİ

- Şekil 4.1.** Kontrol ve *Spirulina platensis* ve *Spirulina platensis* protein ekstraktlarının %0,125, 0,25 ve 0,5 oranlarında ilave edildiği ekmeklerin *in vitro* sindirim sırasında protein miktarı ve %protein sindirilebilirliğindeki değişim.....35
- Şekil 4.2.** Kontrol ve *Spirulina platensis* ve *Spirulina platensis* protein ekstraktlarının %0,125, 0,25 ve 0,5 oranlarında ilave edildiği ekmeklerin görsel görünüşleri.36
- Şekil 4.3.** Kontrol ve *Spirulina platensis* ve *Spirulina platensis* protein ekstraktlarının %0,125, 0,25 ve 0,5 oranlarında ilave edildiği ekmeklerin görsel görünüşleri.37



ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1. <i>Spirulina platensis</i> 'in kimyasal kompozisyonu	5
Çizelge 3.1. Kontrol ve <i>Spirulina platensis</i> tozu ve <i>Spirulina platensis</i> protein ekstraktları ile zenginleştirilmiş ekmeklerin formülasyonu	18
Çizelge 4.1. <i>Spirulina plantensis</i> tozu ve <i>Spirulina platensis</i> 'den ekstrakte edilen protein ekstraktları ile zenginleştirilmiş un örneklerinin kimyasal kompozisyonu.....	23
Çizelge 4.2. <i>Spirulina platensis</i> ve <i>Spirulina platensis</i> protein ekstraktlarının %0,125, 0,25 ve 0,5 oranlarında ilave edildiği buğday unlarının normal sedimantasyon, gecikmeli sedimantasyon, yaş gluten, gluten indeksi ve kuru gluten değerleri.	24
Çizelge 4.3. <i>Spirulina platensis</i> tozunun %5, 10 ve 15 oranlarında ilave edildiği buğday unlarının 45, 90 ve 135. dakikalarda ekstensogram değerleri...25	
Çizelge 4.4. <i>Spirulina platensis</i> tozunun %0,25, 0,5, 0,75 ve 1 oranlarında ilave edildiği buğday unlarının 45, 90 ve 135. dakikalarda ekstensogram değerleri.....	26
Çizelge 4.5. <i>Spirulina platensis</i> tozunun %0,125, 0,25 ve 0,5 oranlarında ilave edildiği buğday unlarının 45, 90 ve 135. dakikalarda ekstensogram değerleri.....	26
Çizelge 4.6. <i>Spirulina platensis</i> ve <i>Spirulina platensis</i> protein ekstraktlarının %0,125, 0,25 ve 0,5 oranlarında ilave edildiği buğday unlarının 45, 90 ve 135. dakikalarda ekstensogram değerleri.	27
Çizelge 4.7. <i>Spirulina platensis</i> ve <i>Spirulina platensis</i> protein ekstraktlarının %0,125, 0,25 ve 0,5 oranlarında ilave edildiği buğday unlarının farinogram değerleri.....	28
Çizelge 4.8. <i>Spirulina platensis</i> ve <i>Spirulina platensis</i> protein ekstraktlarının %0,125, 0,25 ve 0,5 oranlarında ilave edildiği buğday unlarının su tutma kapasitesi, yağ tutma kapasitesi, yığın yoğunluğu ve şişme indeksi değerleri.....	30
Çizelge 4.9. <i>Spirulina platensis</i> ve <i>Spirulina platensis</i> protein ekstraktlarının %0,125, 0,25 ve 0,5 oranlarında ilave edildiği ekmeklerin sıklık, elastikiyet, hacim ve renk özellikleri.	32
Çizelge 4.10. <i>Spirulina platensis</i> ve <i>Spirulina platensis</i> protein ekstraktlarının %0,125, 0,25 ve 0,5 oranlarında ilave edildiği ekmeklerin <i>in vitro</i> mide-bağırsak sindirim sırasında toplam fenolik madde ve antioksidan aktivitedeki değişim.	34
Çizelge 4.11. Kontrol ve zenginleştirilmiş ekmek örneklerinin koku, kabuk ve iç rengi, ekmek içi gözenek büyüklüğü ve homojenliği, şekil, hacim, kabul edilebilirlik ve tercih edilebilirlik özellikleri açısından duyu analizi.	38

SİMGELER VE KISALTMALAR

ACE	Anjiyotensin-I Dönüştürücü Enzim
AOAC	Association of Official Analytical Chemists
BHA	Butillendirilmiş Hidroksi Anasınol
BHT	Butillendirilmiş Hidroksi Toluen
B.U	Brabender Birimi
DPPH	1-1-diphenyl-2pierrylyhidrazyl
ET	Elektron Transfer
GAE	Gallik Asit Eşdeğeri
GLA	γ -linoleik Asit
GPx	Glutasyon Peroksidaz
HAT	Hidrojen Atomu Transferi
PG	Propil Gallat
R₅	Hamurun sabit deformasyondaki direnci
R_{maks}	Hamurun uzamaya karşı gösterdiği maksimum direnç
SOD	Süperoksit Dismutaz
SP	<i>Spirulina platensis</i> Tozu
SP-%0,125	%0,125 Oranında SP İlaveli Un ve Ekmek
SP-%0,25	%0,25 Oranında SP İlaveli Un ve Ekmek
SP-%0,5	%0,5 Oranında SP Tozu İlaveli Un ve Ekmek
SP-%0,75	%0,75 Oranında SP İlaveli Un
SP-%1,0	%1,0 Oranında SP İlaveli Un
SP-%5,0	%5,0 Oranında SP İlaveli Un
SP-%10,0	%10,0 Oranında SP İlaveli Un
SP-%15,0	%15,0 Oranında SP İlaveli Un
SPE	<i>Spirulina platensis</i> Tozundan Elde Edilen Protein Ekstraktı
SPE-%0,125	%0,125 Oranında SPE ile Zenginleştirilmiş Un ve Ekmek
SPE-%0,25	%0,125 Oranında SPE ile Zenginleştirilmiş Un ve Ekmek
SPE-%0,5	%0,125 Oranında SPE ile Zenginleştirilmiş Un ve Ekmek
TBHQ	Tersiyerbutil Hidrokinon

1. GİRİŞ

Spirulina platensis, Oscillatoriaceae ailesine mensup, çok hücreli, simbiyotik ve iplikli yapıda mavi-yeşil bir mikroalgdır (Estrada vd., 2001). Yüksek pH değerlerine (8,5-11,0) sahip tuzlu sularda (>30 g/l) ve yüksek solar radyasyon seviyelerindeki alanlarda daha fazla gelişim göstermektedir. *Spirulina platensis* kuru ağırlıkta %60-70 arasında protein içeriği ile önemli bir doğal protein kaynağı olmasının yanı sıra, omega-3 ve omega-6 çoklu doymamış yağ asitleri, esansiyel amino asitler, mineraller, vitaminler, antioksidatif aktiviteye sahip pigmentler ve polisakkaritler de içermektedir (Bermejo vd., 2008; Chamorro-Cevallos vd., 2008; El-Tantawy, 2015; Gad vd., 2011; Pelizer vd., 2015; Vo vd., 2016; Wang vd., 2007). Ayrıca, B1 (tiyamin), B2 (riboflavin), B3 (nikotinamid), B6 (piridoksin), B9 (folik asit), B12 (siyanokobalamin), C, D ve E vitaminlerinin yanı sıra potasyum, kalsiyum, krom, bakır, demir, magnezyum, manganez, fosfor, selenyum, sodyum ve çinko gibi mineralleri de içermektedir. Yapısında bulunan pigmentler ise klorofil-a, ksantofil, β -karoten, miksoksantofil, zeaksantin, kantaksantin, diatoksantin, β -kriptoksantin, osilosantin, C-fikosiyenin ve allofikosiyenindir (Arslan, 2018).

Spirulina platensis mikroalgi yukarıda ifade edilen besinsel özelliklerinden dolayı, antik zamanlardan beri tüketilen önemli bir gıda maddesidir. Tarihte ilk olarak Mayalar tarafından M.S. 300-900'lü yıllarda gıda olarak tüketildiği görülmektedir. 9. yüzyılda ise Çad gölü çevresinde yetiştirildiği ve burada yaşayan Afrikalı bir kabile tarafından protein ve vitamin kaynağı olarak tüketildiği bildirilmiştir (Seyidoğlu, 2015). Meksika'da 16. yüzyılda yaşayan insanların "Texcoco" gölünden hasat ettikleri *Spirulina platensis* mikroalgini güneşte kurutup, kuru kek şeklinde elde ettikleri ve "tekuitlatl" adını verdikleri bir gıda olarak tükettikleri bilinmektedir (Arslan, 2018). Çad Cumhuriyeti'nde besin maddesi olarak kullanılmakta ve "dihe" adıyla kurutulmuş ekme olarak satılmaktadır (Kendirli, 2010). *Spirulina platensis*'in dünyadaki üretimi 1980'li yıllarda başlamış olup, o günden günümüze üretimi büyük bir artış göstermiştir. Günümüzde tablet, kapsül veya toz formlarda tüketimi söz konusudur (Al Hamadi, 2017). Dünyada kuru ağırlık olarak yıllık 3000 tonun üzerinde üretilen *Spirulina platensis*, fonksiyonel gıda üretiminde ve hayvan yemi katkısı olarak kullanılmaktadır (Kılıç, 2018). Son 10 yıl içinde yapılan araştırmalar *Spirulina platensis*'in potansiyel terapötik etkileri üzerine yoğunlaşmıştır. Bu araştırmalara in

vitro deneyler, hayvanlar üzerindeki *in vivo* araştırmalar, insanlar üzerinde plasebo kontrollü klinik deneyler de dahildir. Yapılan *in vitro* ve *in vivo* deneyler sonucunda, *Spirulina platensis*'in antikanser, antiviral, bağışıklık sistemini güçlendirici, antioksidan, ve kolesterol düşürücü etkilerinin olduğu gösterilmiştir (Kepekçi, 2011).

Gıdaların zenginleştirilmesi, gıda ürünlerine besinsel özelliklerini iyileştirmek amacıyla protein ya da mikro besin öğeleri gibi zengin gıda kaynaklarının ilave edilmesi ile gerçekleştirilmektedir. Bu noktada yüksek protein içeriği nedeni ile *Spirulina platensis*'in çeşitli gıda ürünlerinin zenginleştirilmesi amacıyla kullanıldığı bilinmektedir (Ak vd., 2016, Lee vd., 2011). Lee vd. (2011) tarafından yapılan bir çalışmada fonksiyonel ekmek üretmek amacıyla *Spirulina platensis* mikroalgi kullanılmıştır. Bu çalışmada duyuusal analiz sonuçlarına göre % 0,8 oranında *Spirulina platensis* ile zenginleştirilen ekmek örneklerinin kontrol grubu ve diğer örneklere göre daha iyi olarak değerlendirildiği gösterilmiştir. Konu ile ilgili yapılmış diğer çalışmalar incelendiğinde, süt ürünleri, bisküvi, makarna ve çeşitli ekmeklerin protein içeriklerinin arttırılması amacıyla, *Spirulina platensis* ve *Spirulina platensis*'den elde edilen proteinler ile zenginleştirildiği görülmektedir (Stanic-Vucinic vd., 2018). Abd El Baky vd. (2015)'nin yaptığı çalışmada ise *Spirulina platensis*'den elde edilen saflaştırılmış fikosiyanın ile bisküvi ürünleri zenginleştirilmiştir (Abd El Baky vd., 2015).

Spirulina platensis gibi yüksek besinsel özelliklere sahip doğal besin maddelerinin kullanılması ile gerçekleştirilen gıda zenginleştirme çalışmalarının yapıldığı ürünlerin başında, tüm dünyada yaygınlıkla tüketilen gıda ürünlerinden olan ekmek ve diğer unlu ürünler gelmektedir. Unlu ürünlerin üretiminde temel ham madde olarak kullanılan buğday ise insan beslenmesinde tarihin ilk çağlarından beri önemli bir yere sahiptir. Dünyada ve ülkemizde, tahıllardan üretilen ürünler insan beslenmesinde tüketilen gıdalar arasında ilk sırada yerini almaktadır. Tahıl grubunun içerisinde yer alan buğdayın, veriminin yüksek olması, depolama uygunluğu ve yüksek besinsel özelliklerinden dolayı, dünya üzerinde geniş bir alanda tarımı yapılmaktadır (Karataş, 2019). Bu nedenle, günümüzde birçok ülkede halkın temel besin maddesini oluşturmaktadır (Aydoğan vd., 2013).

Buğday tanesinin kimyasal kompozisyonu, karbonhidratlar (%65-75), proteinler (%7-18), su (%8-14), lipitler (%1-3), mineral maddeler (%1-2) ve eser miktarda vitaminler

ve enzimlerden oluşmaktadır (Kurt, 2019). Buğday kalitesini etkileyen en önemli faktör protein miktarı ve kalıtsal bir yapı gösteren protein kalitesidir. Gluten buğdayda bulunan buğday proteinine verilen isimdir. Buğdaydan elde edilen unun su ile yoğurulması sonucu, gluten proteinlerinden “gliadin” ve “glutenin” in suyu emerek şişmesi sonucu viskoelastik özelliğe sahip hamur oluşmaktadır (Karataş, 2019). Hamur oluşumundan sorumlu protein olan gluten’in, fermantasyon ve karıştırma işlemlerinde hamurun reolojik özellikleri üzerine önemli etkileri sahiptir. Un gluten’inin yeterli miktar ve kalitede olması, güçlü, elastiki yapıda bir hamur elde edilmesini ve mükemmel gaz tutma yeteneği ile ekmek hacminin artmasını, gözeneklerin küçük ve homojen dağılmasını ve yapının iyileşmesini sağlamaktadır (Göçmen, 1993).

Buğday ununun besinsel özelliklerinin yanı sıra reolojik özellikleri de son ürün özelliklerine etkileri bakımından önem taşımaktadır. Unun reolojik özelliklerinin belirlenmesi için kullanılan cihazlardan olan ekstensograf cihazı, hamurun fırınlanma ve ekmeğe dönüşüm davranışı hakkında fikir veren ve hamurun esneme özelliğinin ölçülmesine imkan veren bir cihazdır (Abbasi vd., 2012). Bu cihazlar, hamurun uzamaya karşı gösterdiği direnç ve esneyen hamurun kopmadan önce uzadığı mesafeyi kaydetmektedir. Unun reolojik özelliklerinin belirlenmesi için kullanılan diğer bir cihaz olan farinograf cihazı ise hamurun mekaniksel davranışlarını değerlendirmek için kullanılmaktadır (Sarker vd., 2008). Farinograf ölçüm ile unun su tutma kapasitesinin belirlenmesinin yanı sıra, hamurun kıvamı ve gluten’in dayanımı da tahminlenmektedir (Ram vd., 2005).

Sunulan yüksek lisans tez çalışması kapsamında, (i) *Spirulina platensis* mikroalginden ultrases destekli ekstraksiyon ile protein ekstraksiyonunun gerçekleştirilmesi, (ii) *Spirulina platensis* tozu (SP) ve *Spirulina platensis*’den elde edilen protein ekstraktı (SPE)’nin farklı oranlarda katılması ile hazırlanan un örneklerinin farinograf ve ekstenseograf analizlerinin gerçekleştirilmesi, (iii) farinograf ve ekstensograf analizleri temel alınarak belirlenen en uygun SP ve SPE oranları ile hazırlanan un örneklerinin bazı fizikokimyasal, reolojik ve teknofonksiyonel özelliklerinin belirlenmesi, (iv) SP ve SPE ilaveli unlar ile üretilen buğday ekmeğinin tekstürel, renk ve duyuşal özelliklerinin ve *in vitro* mide-bağırsak sindirim sırasında toplam fenolik

madde içeriği, CUPRAC ve DPPH yöntemleri ile antioksidan aktivite ve % protein sindirilebilirliğindeki değişimin araştırılması çalışmaları gerçekleştirilmiştir.



2. KAYNAK ÖZETLERİ

2.1 *Spirulina platensis*'in Kimyasal Kompozisyonu

Spirulina platensis mikroalgi protein, karbonhidrat, çoklu doymamış yağ asitleri, esansiyel mineraller ve vitaminler ile karoten ve ksantofil fitopigmentlerinin iyi bir kaynağıdır (Yücepe ve Özçelik, 2016). Ayrıca, γ -linoleik asit (GLA)'in bulunduğu nadir kaynaklardan biridir. *Spirulina platensis*, kuru ağırlığının yaklaşık %60-70'ini oluşturan yüksek protein içeriği ile dikkat çekmektedir (Kendirli, 2010). Özellikle lösin, izölösün ve valin gibi esansiyel amino asitleri içermesi nedeni ile tam bir protein kaynağı olarak düşünülmektedir (Benelhadj vd., 2016). Çizelge 2.1'de *Spirulina platensis*'in farklı kaynaklardan derlenerek hazırlanan kimyasal kompozisyonu bilgisi sunulmuştur.

Çizelge 2.1. *Spirulina platensis*'in kimyasal kompozisyonu (Benelhadj vd., 2016; Campanella vd., 1999; De Oliveira vd., 1999; Kendirli, 2010; Soni vd., 2017; Yücepe ve Özçelik, 2016).

Bileşen	Miktar, %	Detaylar
Protein	60-65	Esansiyel amino asitler: Lisin, lösin, izölösün, valin, treonin, histidin, triptofan, fenilalanin, trozin, metionin, sistein. Esansiyel olmayan amino asitler: Aspartik asit, glutamik asit, serin, prolin, glisin, alanin, arjinin.
Karbonhidrat	13,5-15	Glikoz, mannoz, ramnoz, galaktoz, ksiloz.
Yağ	5-6	Palmitik asit (C16:0), palmitoleik asit (C16:1), stearik asit (C18:0), oleik asit (C18:1), linoleik asit (C18:2), γ -linolenic acid (C18:3).
Mineraller	~7	Kalsiyum, fosfor, magnezyum, demir, çinko, bakır, manganez, krom, potasyum.
Vitaminler	<1	B1, B2, B3, B6, B9, B12, C, D ve E vitaminleri.
Nem	6-13,5	

Spirulina platensis mikroalginin olumlu sağlık etkilerine sahip bazı biyoaktif bileşikler bakımından da zengin bir kaynak olduğu rapor edilmiştir (Arslan, 2018). Özellikle *Spirulina platensis*'den elde edilen biyoaktif peptitler ve polifenolik bileşiklerin antioksidan, antihipertansif ve antimikrobiyal aktivite gibi çeşitli biyoaktif özellikler sergilediği bildirilmiştir. *Spirulina platensis*'in sahip olduğu bu biyoaktif özellikler

nedeni ile yüksek kolesterol, diyabet, bazı kanser türleri ve damar tıkanıklığı gibi bazı hastalıkların tedavisi ve önlenmesinde terapötik özellik sergilediği ifade edilmiştir (Dalkavriyan, 2011; De Marco Castro vd., 2019).

2.2 *Spirulina platensis*'in Antioksidan Aktivitesi

Antioksidan maddeler, serbest oksijen radikallerinin hedef dokularda neden oldukları hasarı engelleyen, geciktiren ya da ortaya çıkaran hasarın onarımında görev alan maddelerdir. Bu bağlamda antioksidanlar en bilinen tanımıyla oksijen veya peroksitlerle ilerleyen reaksiyonları engelleyerek oksidasyonun önüne geçen maddelerdir (Berköz vd., 2008; Öztan, 2006).

Antioksidan maddeler, enzimatik olan ve olmayan şeklinde iki büyük gruba ayrılmaktadırlar. Enzimatik antioksidan maddeler; süperoksit dismutaz (SOD), katalaz ve glutatyon peroksidaz (GPx). Yaygın enzimatik olmayan antioksidanların ise gıdalarda en yaygın olarak bulunanları polifenolik bileşiklerdir. Gıdalardan alınan diğer antioksidan maddeler proteinler, karotenoidler, vitaminler, organosülfür bileşenleri ve mineraller şeklinde sıralanabilirler (Berköz vd., 2008; Okan vd., 2013).

Antioksidan maddeler doğal ve yapay (sentetik) olmak üzere iki farklı gruba da ayrılabilir. Birçok yapay antioksidan fenolik yapıdadırlar. Ticari yönden mevcut bulunan ve günümüzde genellikle kullanılmakta olan yapay antioksidanlar butillendirilmiş hidroksianisol (BHA), butillendirilmiş hidroksitoluen (BHT), tersiyerbutil hidrokinon (TBHQ) ve propil gallat (PG)'dir. Doğal antioksidan maddeler ise hayvan ve bitki dokularında barındırılan ve ekstrakte edilebilen ya da gıdaların işlenmesi aşamasında ortaya çıkan bileşenlerdir. Önemi yüksek olan doğal antioksidanlar; tokoferoller, flavonoidler, fenolik asitler, vitamin C, karotenoidler, polifenoller ve selenyumdur. Son yıllarda gıda kimyası ve koruyucu tıbbın bitki kaynaklı doğal antioksidanlara karşı merakları artmaktadır. Bunun nedeni sentetik antioksidanların (BHA, BHT gibi) kanserojen olduklarının düşünülmesidir (Öztan, 2006).

Yapılmış pek çok bilimsel çalışmada, *Spirulina platensis* mikroalgi ve ondan izole edilen proteinlerin doğal bir antioksidan madde olarak iyi düzeyde antioksidan aktiviteye sahip olduğu gösterilmiştir (Bermejo vd., 2008; El-Tantawy vd., 2015; Estrada vd., 2015; Gad vd., 2011).

2.3 Antioksidan Aktivite Etki Mekanizması

Antioksidan aktivite fiziksel faktörler, substrat konsantrasyonu ve gıda maddelerinin fizikokimyasal yapısı gibi çeşitli değişkenlere bağlı olarak farklılık göstermektedir. Fiziksel faktörler; oksijen, sıcaklık ve konsantrasyondur. Oksijen basıncının yüksekliği, oksijenle etkileşen temas yüzeyinin alanı, ısıtma ve ışınlama gibi durumlar zincir reaksiyonunun başlaması ve yayılması basamaklarını hızlandırdığından antioksidan aktivite azalmaktadır. Antioksidan aktivite sıcaklık değerlerine bağlı olarak farklılık göstermektedir. Ayrıca, antioksidan aktivite konsantrasyonun artmasıyla artmaktadır. Oksidasyonun yeterli bir düzeyde önlenmesi için konsantrasyonun belirli bir kritik değerin üzerinde olması gereklidir (Öztaş, 2006).

Zincirleme reaksiyon teorisine göre enerji emilimi ile aktif olan madde (lipit molekülü), oksijenle reaksiyona girerek okside olmakta ve bu şekilde meydana gelen aktifleşmiş peroksit molekülleri, enerjilerini maddenin okside olabilen diğer moleküllerine aktararak otooksidasyonu devam ettirmektedirler. Antioksidanların kullanımı ile aktivasyon enerjisi antioksidan molekülü tarafından kullanılmaktadır. Antioksidan molekülünün araya girmesiyle otookside olabilen maddenin birden fazla molekülü okside olmaktan kurtulmakta, yani oksidasyon yavaşlamakta ve kısmen durdurulmaktadır (Öztaş, 2011).

Antioksidanlar hidrojen atomu verme yetisine sahip kimyasal yapıdaki bileşenlerdir. Bu şekilde, birincil radikalleri radikal olmayan kimyasal formlara çevirerek, okside olmuş antioksidan radikallere dönüşürler. Antioksidanların molekül yapısı özellikle hidrojen atomu verme yönünden değil, aynı zamanda radikalleri düşük reaktiviteli forma getirip lipitler ile reaksiyona girmesini engellemesi bakımında da oldukça önemlidir (Öztaş, 2006).

2.4 Antioksidan Aktivite Tayin Yöntemleri

Antioksidan maddelerle alakalı yayımlanan bilimsel makaleler incelendiğinde, antioksidan kapasitesini tanımlamak için farklı araştırmacılar tarafından birçok farklı terim kullanıldığı görülmektedir. Toplam antioksidan kapasitesini içeren bu kelimeler, etkinlik, güç, potansiyel ve aktivite gibi kelimelerdir. Kimyasal aktivite spesifik reaksiyon ortamındaki basınç, sıcaklık, reaksiyon ortamı gibi faktörlere bağlıdır. Bundan dolayı antioksidan aktivite o reaksiyon ortamındaki ölçümü yansıtmaktadır.

Antioksidan aktivite ise bir bileşenin oksidatif degradasyonu (örneğin lipit peroksidasyonunu) önleme kabiliyeti olarak tanımlanmaktadır (Öztan, 2006).

Antioksidan aktivite (AOA), reaksiyon kinetiği oranı ile özleştirilerek hesaplanırken, antioksidan kapasite (AOK), reaksiyon termodinamiği ile hesaplanmaktadır. Bu yöntemler farklı kaynaklarda canlı dışı (*in vitro*) ve canlı içi (*in vivo*), enzimatik olan ve enzimatik olmayan ya da direkt ve indirekt olarak sınıflandırılmış olup en geniş kabul edilen sınıflandırma şekli hidrojen atomu transfer (HAT) temelli ve elektron transfer (ET) temelli analiz yöntemleri olarak yapılan sınıflandırmadır. HAT kökenli metotların birçoğu, azot bileşiklerin bozulması ile oluşan peroksil radikalleri için antioksidan ve substratın rekabetine karşı yarışmacı reaksiyonlardır. ET temelli yöntemler antioksidanın oksidantı indirgenme yeteneğini renk değişimi ile ölçen yöntemlerdendir. Genel olarak HAT reaksiyonları, çözücü ve pH etkisinden kısmi olarak bağımsız ve çok kısa bir sürede gerçekleşirken; ET reaksiyonları, çözücü ve pH'ya bağlı olarak ve daha yavaş şekilde gerçekleşmektedir (Okan vd., 2013).

2.5 Fenolik Bileşikler

Fenolik bileşikler, bitkilerde doğal antioksidan gibi davranan, sekonder metabolitlerdir ve toplam fenolik madde içeriği ile antioksidan aktivite arasında yakın bir ilişki bulunmaktadır (Başyigit, 2017). Fenolik bileşikler bir veya birden çok hidroksil gruba bağlanmış benzen halkasına ve fonksiyonel gruba sahip bileşiklerdir. Doğadaki tüm bitkiler korunmak amaçlı birden fazla fenolik bileşiği farklı yapı ve konsantrasyonda üretirler. Bitkiler fenolik bileşikleri yoğun stres altında korunmak amacıyla üretmektedirler. Bununla beraber fenolik bileşikler, meyve ve sebzelere tat ve renk verme özelliklerine de sahiptirler (Atak, 2018).

Günümüzde binlerce fenolik bileşiğin yapısı belirlenmiştir. Şu ana kadar saptanan fenolik bileşik sayısı 8.000'den fazladır. Bitkilerin 20-60.000 civarında gen içerdiği ve bu genlerin %15-20'sinin sekonder metabolitlerin sentezinde yer aldıkları düşünülmektedir. Sekonder metabolitlerin %20'sinin fenolik bileşiklerden meydana geldiği dikkate alındığında bitkilerde toplam 20-40.000 civarında fenolik bileşik olduğu ön görülmektedir (Atlı, 2020).

Fenolik bileşiklerin insan sağlığına olan etkileri vücuda alınma oranları ve biyoyararlılıkları ile ilişkilendirilir. İnsanların günlük diyetlerinin yaklaşık olarak 50-500 mg arasında fenolik bileşik içerdiği düşünülmektedir. Fenolik bileşiklerin yüksek

dozlarda alınmaması gerektiği, alınması durumunda ise insan vücudunda prooksidasyon aktiviteye, mitokondriyal toksisiteye ve ilaç metabolize eden enzimlerle etkileşime neden olabileceği bildirilmektedir (Atlı, 2020).

Fenolik bileşiklerin etki mekanizması gıdaya uygulanan işleme bağlıdır. Bununla birlikte midede kalma süresi, bağırsaklardan geçme süresi, midenin pH'sı, bağırsak membranlarının geçirgenliği gibi faktörlerden de etkilenmektedir. Ayrıca safra salgıları, ince-kalın bağırsaklardaki mikroflora enzimlerinden kaynaklanan yıkıcı etkileşimler, içeriğin onikiparmak bağırsağı ve ince bağırsağın son bölümü olan ileuma boşalma hızı, ileumda emilim için geçen süre gibi biyolojik faktörler tarafından da emilimin değişebileceği belirtilmektedir (Yılmaz, 2010).

2.6 *In vitro* Mide-Bağırsak Sindirimi

Yapılandırılmış gıdaların besin öğelerinin mide-bağırsak sisteminde kontrollü salınım planının gelişmesi, gıda parçalanma kinetiğini, sindirimi ve sindirimden sonraki metabolizmasını anlamayı gerektirir. Bu nedenle tüm bu prosesleri etkileyen biyokimyasal, fizyolojik ve fizikokimyasal parametrelerin anlaşılması önemlidir. Gıda bileşenlerinin mide-bağırsak sindirimi sırasındaki değişimlerinin *in vivo* ya da *in vitro* yöntemler ile anlaşılması mümkündür. *In vivo* kelimesi canlı içinde yapılan çalışmalar için kullanılmaktadır. İnsanlar ve hayvanlar üzerinde yapılan *in vivo* çalışmalar, biyoerişebilirlikle ilgili direkt veri sağlamasına karşın, kompleks ve pahalı olmalarının yanı sıra, uzun süre gerektirmektedir. Ayrıca canlılar üzerinde yapılan çalışmalar belirli etik gerekliliklere ve sınırlamalara sahiptirler (Arslan, 2015; Öncü, 2014). Latince "canlı dışında" anlamına gelen *in vitro* kelimesi, insan vücudu dışında yapılan deneysel çalışmaları ifade etmektedir. Simüle edilmiş mide-bağırsak sindirim modelleri fenolik bileşikler ve proteinler gibi gıda bileşenlerinin gıda matriksinden salınımını önceden tahmin etmek amacıyla kullanılmaktadır.

2.7 *Spirulina platensis* ile Ekmeklerin Zenginleştirilmesi Üzerine Yapılan Bazı Çalışmalar

Yüksek protein içeriğine sahip *Spirulina platensis* mikroalgi, yukarıda özetlenen besinsel özellikleri ve olumlu sağlık etkileri nedeni ile gıda ürünlerinin protein düzeylerinin artırılması ve biyoaktif özelliklerinin iyileştirilmesi çalışmalarında yaygınlıkla kullanılan ucuz, sürdürülebilir ve doğal bir gıda maddesidir. Bu ürünlerin başında tüm dünya genelinde yüksek tüketim oranlarına sahip bir gıda ürünü olan

ekmek gelmektedir. Ekmek ucuz, doyurucu, lezzetli ve kolay temin edilebilmesi gibi nedenler ile ülkemizde yıllık kişi başı 121 kg tüketime sahip karbonhidratça zengin bir gıda ürünüdür (İlhan vd., 2020). Literatürde ekmek ürünlerinin *Spirulina platensis* mikroalgi ile zenginleştirilmesi hakkında pek çok çalışma bulunmaktadır. Örneğin, Ak vd. (2016)'nin çalışmasında, %10 oranında *Spirulina platensis* eklenmiş ekmeklerin besinsel kompozisyonu, protein ve lipit içeriği değerlendirilerek, mikrobiyolojik ve duyuşal özellikleri araştırılmıştır. Çalışmanın sonuçlarına göre, *Spirulina plantensis* ilavesi ile örneklerin protein içeriği %7,40'dan %11,63'e yükselmiştir. Sırasıyla kontrol örneklerinde 261,7 ppm, 196 ppm ve 8,72 ppm olan kalsiyum, magnezyum ve demir içerikleri, *Spirulina platensis* eklenmiş ekmeklerde aynı sıralamayla, 721,2 ppm, 336,6 ppm ve 41,12 ppm olarak belirlenmiştir. Başka bir çalışmada, %1 ve %3 oranlarında *Spirulina platensis* eklenmiş ekmekler protein, yağ, kül, nem, karbonhidrat, ham lif, hacim ve duyuşal analiz testlerine tabi tutulmuştur. Çalışmanın sonuçlarına göre, SP ile zenginleştirilmiş ekmek örneklerinin yağ ve protein miktarlarında belirgin bir artış olduğu rapor edilmiştir. Ayrıca renk ve tat anlamında en tatmin edici sonucu veren örneğin %1 SP ilaveli ekmek örnekleri olduğu ifade edilmiştir (Achour vd., 2014). Zlateva ve Chochkov (2020) ise çinko ve demir bakımından fakir olan buğday ekmeğini %2 ve %4 oranlarında *Spirulina platensis* ile zenginleştirerek ekmek örneklerindeki çinko ve demir içeriklerini belirlemişlerdir. Yapılan analizler neticesinde, kontrol örneğindeki çinko ve demir değeri 5,00±0,49 mg/kg ve 7,22±0,58 mg/kg iken, %2 ve %4 *Spirulina platensis* ilaveli örneklerdeki çinko değerleri sırasıyla 6,38±0,64 mg/kg ve 6,77±0,68 mg/kg ve demir içerikleri sırasıyla 15,9±1,59 mg/kg ve 24,7±2,48 mg/kg olarak belirlenmiştir. Sonuç olarak, buğday ekmeğine *Spirulina platensis*'in eklenmesinin ekmeğin besinsel değerini arttırdığı ve günlük tavsiye edilen demir ve çinko içerik miktarına yakın takviyeye ulaşmasına yardımcı olduğu ifade edilmiştir (Zlateva ve Chochkov, 2020).

2.8 Buğday Ununun Ekmeklik Kalitesini Belirleyen Bazı Fizikokimyasal ve Reolojik Özellikleri

Ekmeklik kalitedeki buğday; sert yapıda, temiz, süne tahribatı olmayan, irilikleri eşit ve hektolitresi, bin tane ağırlığı, tanedeki un verimi ve saflığı yüksek özellikte olmalıdır. Buğdayın ekmeklik kalitesi ile protein miktarı ve kalitesi arasında doğrusal bir ilişki mevcuttur. Protein oranları genellikle %10-13 arasında olan buğdaylar ekmek için uygun nitelikte buğday olarak değerlendirilmektedir. Unda bulunan protein,

buğday tanesinde bulunan orana göre %0,8-1,8 daha azdır. Buğday ve un proteinlerinin en önemlileri çözünmeyen formda bulunan proteinler olarak bilinen gliadin ve glutenindir.

2.8.1 Buğday ununun bazı fizikokimyasal özellikleri

Buğday unun fizikokimyasal özelliklerinden olan yaş gluten, kuru gluten ve Zeleny sedimantasyon değerleri ile reolojik özelliklerinden olan farinogram ve ekstensogram özellikleri, buğday ununun ekmeklik kalitesini oluşturan önemli parametrelerdendir. Aydoğan vd. (2012)'nin yaptığı çalışmada, 21 farklı ekmeklik buğday genotipi ile hamurdaki bazı fizikokimyasal ve reolojik özellikler arasındaki ilişkilerin saptanması amacıyla yapılan çalışmada, hamurun ekstensogram ve farinogram özelliklerinin ürün kalitesini doğrudan etkilediği, hamurun yapısı ile ilgili bilgi vermesi nedeniyle oldukça önemli olduğunu ve sonuçlar arasında istatistiki olarak önemli korelasyonlar bulunduğu tespit edilmiştir (Aydoğan vd., 2012). Buğday ununun önemli fizikokimyasal özelliklerinden biri olan yaş gluten'in, yapışkanlık özelliği taşıyan glutenin proteini ve elastikiyet özelliği taşıyan gliadin proteininden oluştuğu ifade edilmiştir. Yaş öz (gluten), buğday ununun ekmek yapımına uygun olup olmadığını gösteren elastik yapıdaki proteindir. Hamurun yoğurulması esnasında ağ gibi bir form oluşturarak fermantasyon aşamasında maya tarafından üretilen CO₂'nin yapıda hapsolmesini ve hacimli bir ekmek oluşumunu sağlamaktadır. Yaş gluten miktarının fazla olması buğday ununun ekmeklik performansının iyi olduğunu bir kanıttır (Bilgiçli ve Soylu, 2016; Bulut, 2012; Çelik, 2008). Bir diğer kalite parametresi olan kuru gluten, yaş glutenin belli bir ısıda kurutulmasıyla elde edilen kuru madde miktarı olup, yaklaşık olarak yaş gluten değerinin 1/3'üne denk gelmektedir (Bayram, 2016). Zeleny sedimantasyon değerinin yüksek olması, özün (gluten) su tutma kapasitesinin yüksek ve bu kalitede üretilen unlardan yapılan ekmeklerin hacimlerinin iyi olduğunu ifade etmektedir. Zeleny sedimantasyon değeri, un, brom fenol ve laktik asit çözeltisi ile hazırlanan süspansiyon içinde, sedimantasyon cihazı ile yapılan belirli periyotlardaki çalkalama sonucunda 5 dakika bekletildikten sonra çöken un zerrelere hacmini (mezür üzerinde okunan değer) ifade etmektedir (Zelleny, 1947).

2.8.2 Buğday ununun bazı reolojik özellikleri

Farinograf ve ekstensograf gibi cihazlar kullanılarak belirlenen hamura ait reolojik özellikler ile unun ekmekçilik değeri açıklanmaktadır.

2.8.2.1 Farinogram özellikleri

Farinograf, hamurun yoğrulma esnasındaki yapısal özelliklerinin belirlenmesinde faydalanılan ve una ait ekmeklik özellikleri ortaya çıkaran bir cihazdır. Bu test hamurun yoğurma sırasındaki reolojik özellikleri (su absorpsiyonu, gelişme süresi, stabilite, yumuşama derecesi 10 ve 12 dakika) ve gluten proteinlerinin hamur oluşturma özellikleri hakkında bilgi vermektedir (Aydoğan vd., 2013). Hamurun gelişme süresi buğdayın çeşidi, çevresel faktörler, protein içeriği, protein kalitesi ve unun genel özellikleri ile ilgilidir. Gelişme süresindeki uzama, yoğurma süresinde de uzama olacağını gösterdiği gibi gluten miktarının çok ve kalitenin iyi olduğunu anlamında da gelmektedir. Stabilite, farinogram eğrisinin Brabender birimi çizgisi ve üzerinde kaldığı zaman olarak tanımlanırken, stabilite değerinin yüksek olması istenilmektedir. Hamurun gelişme süresini etki eden değişkenler stabiliteyi de etkilemektedir. Stabilitenin uzun olması hamurun elastikiyetinin ve işlenebilirliğinin iyi olduğunu, bu unlardan yapılan ekmeklerin hacimlerinin de iyi olacağını göstermektedir. Yumuşama derecesi, kurvenin tepe hizasından itibaren 12'inci dakika sonunda kurvenin ortası ile Brabender birimi çizgisi arasındaki mesafedir. Yumuşama derecesinin yüksekliği hamurun işleme toleransının az olduğunu ve fermantasyon süresinin kısa olması gerektiğini göstermektedir (Çeliker, 2019).

2.8.2.2 Ekstensogram özellikleri

Ekstensograf makinası ile hamurun uzamaya karşı olan direnci, uzama kabiliyeti ve enerji değeri belirlenebilmektedir. Bunlara ilave olarak, oksidan maddelerinin etkileri ile hamurun fermantasyon kabiliyeti ile ilgili bilgi verdiği bildirilmiştir (Aydoğan vd., 2013). Hamur test makinası olarak bilinen ekstensograf analizi; buğdaydan elde edilen unun son ürün kalite özelliklerinin belirlenmesinde kullanılmakta ve hamurun reolojik özelliklerini karakterize etmektedir. Ekstensograf analizinde hamurun uzayabilme yeteneği (uzayabilirlik), uzamaya karşı gösterdiği direnç ve enerjisi ortaya çıkarılmaktadır. Uzayabilme yeteneği hamurun 45. 90. 135. dakikalar sonundaki dinlenme peryotlarında ekstensograf eğrisinin taban uzunluğudur. Uzamaya karşı

direnci, hamurun 45. 90. 135. dakika fermantasyon süreleri sonunda ekstensograf eğrisinin Brabender birimi cinsinden maksimum yüksekliğidir. Alan (enerji) planimetre ile ölçülen ve cm^2 cinsinden ifade edilen ekstensograf eğrisinin altında kalan kısımdır (Çeliker, 2019). Ekstensografda elde edilen enerji değerinin, gluten'in uzama kabiliyeti ve uzamaya karşı gösterdiği direnç ile ilgili olduğu, uzama yeteneğinin hamurun açılabilirliği ve şekil verilmesini kolaylaştırdığı, uzamaya karşı direncin ise hamurun gaz tutma kapasitesini belirlediği ifade edilmiştir (Pomeranz, 1988).

Buğday ununun hamur reolojik özelliklerine ait verilerin saptanmasında, günümüzde yaygın olarak kullanılmakta olan farinograf ve ekstensograf makinalarından elde edilen farinogram ve ekstensogram test sonuçlarına göre; kurve genişliği, stabilite, yoğurma tolerans ve gelişme (yoğurma) süresi fazla, yumuşama derecesi az olan unların teknolojik değeri ve ekmekçilik kalitesinin oldukça iyi düzeyde olduğu belirtilmiştir. Bunun yanı sıra hamurun enerji ve uzama direncinin iyi olması ve uzama kabiliyeti ile hamurun uzamaya karşı gösterdiği direnç arasında ise anlamlı bir oranın olması gerekmektedir (Bilgiçli ve Soylu, 2016).

3. MATERYAL ve YÖNTEM

3.1 Materyal

Spirulina platensis tozu Akuatik Su Ürünleri, Gıda, Tohum, Kozmetik, Danışmanlık, Mühendislik San. ve Tic. Ltd. Şti. (Adana, Türkiye) isimli firmadan temin edilmiştir. Folin Ciocalteu's reaktifi, hidrokrolik asit, sodyum hidroksit, etanol, asetik asit, kloroform, hekzan, sodyum karbonat (Na_2CO_3), 6-Hidroksi-2,5,7,8-tetrametilzihroman-2-karboksilik asit (Trolox), bakır (II) klorit solüsyonu, $7,5 \times 10^{-3}$ M neokuprin solüsyonu, 2,2-Difenil-1-pikrilhidrazil radikali, α -amilaz, pepsin ve pankreatin Sigma-Aldrich Chemie GmbH'den (Steinheim, Almanya) temin edilmiştir.

Bu çalışmada ekmek yapımında kullanılmak üzere, Türk Gıda Kodeksi Buğday Unu Tebliği'ne uygun olarak üretilen Tip 2 ekmeçlik buğday unu Çandaroğulları Derya Un ve Yem San. Tic. Ltd. Şti. (Manisa, Türkiye) firmasından temin edilmiştir. İyotlu sofratuzu Rafine Billur Tuz Sanayi Anonim Şirketi'nden (İzmir, Türkiye) ve yaş maya Pak Gıda Üretim ve Pazarlama Anonim Şirketi'nden (Kocaeli, Türkiye) satın alınmıştır.

3.2 Metot

3.2.1 Buğday unu, SP, SPE ve SP ve SPE ilaveli unların kimyasal kompozisyonunun belirlenmesi

Buğday unu (kontrol), *Spirulina platensis* tozu, *Spirulina platensis* protein ekstraktları ve *Spirulina platensis* ve *Spirulina platensis* protein ekstraktları ilaveli buğday ununun nem, kül, protein ve yağ miktarı ilgili AOAC (Association of Official Analytical Chemists) metotları kullanılarak belirlenmiştir (AOAC, 1990). Örneklerin yüzde karbonhidrat miktarı protein, yağ, kül ve nem değerlerinin toplamından 100'ün çıkarılması ile hesaplanmıştır. Bütün ölçümler 3 tekrarlı olarak gerçekleştirilmiştir.

3.2.2 *Spirulina platensis*'ten proteinlerin ultrases destekli ekstraksiyonu

Spirulina platensis'ten proteinlerin ekstraksiyonu için Benelhadj vd. (2016) ve Yüçetepe vd. (2018)'nin metotları kullanılmıştır. Öncelikle örneklerdeki yağ fraksiyonları Stone vd. (2015)'nin yöntemi kullanılarak uzaklaştırılmıştır. Yağ fraksiyonları uzaklaştırıldıktan sonra 1 gram *Spirulina platensis* tozuna 15 ml distile su eklenmiş ve 60 dakika boyunca oda sıcaklığında manyetik karıştırıcıda

karıştırılmıştır. Karışımın pH'sı 0,1 N NaOH kullanılarak 8,0'e ayarlandıktan sonra, karışım ultrases su banyosuna konularak 4 °C'de 60 dakika boyunca tutulmuştur. Ultrases uygulamasından sonra, 45 °C sıcaklıktaki su banyosunda 65 rpm çalkalama hızında 2 saat boyunca ekstraksiyon işlemi gerçekleştirilmiştir. Daha sonra 4000 rpm'de 4 °C'de 30 dakika süren santrifüj işleminden sonra süzöntü alınmış ve pH değeri *Spirulina platensis* proteinlerinin izoelektrik noktası olan 3,0'e ayarlanmıştır. Örnekler tekrar 4000 rpm'de 4 °C'de 30 dakika santrifüj işlemine tabi tutulmuş ve çöken kısım alınarak liyofilize edilmiştir. Liyofilize edilen *Spirulina platensis* protein ekstraktları oksijen ve ışık almayacak şekilde ambalajlanarak, analizlere kadar +4 °C'de muhafaza edilmiştir.

3.2.3 Kontrol ve SP ve SPE ilaveli unların bazı fizikokimyasal ve reolojik özelliklerinin belirlenmesi

Kontrol ve *Spirulina platensis* tozu ve *Spirulina platensis*'ten elde edilen protein ekstraktları ilave edilmiş un örneklerinde Zeleny sedimantasyon değeri belirlenmiştir (Zelleny,1947). Yaş gluten miktarı ve gluten indeksi AACC metot no: 38-21A (AACC, 2000)'a göre, kuru gluten miktarı ise Özkaya ve Özkaya (2005)'ya göre gerçekleştirilmiştir. Brabender farinograf analizleri AACC 54-21'e göre, ekstensograf analizleri AACC 54-10'a göre yapılmıştır (AACC, 2000).

Çalışmamızda, *Spirulina platensis* tozu ve *Spirulina platensis*'den elde edilen protein ekstraktları ile zenginleştirilmiş un üretmek için en uygun SP ve SPE oranlarını belirlemek amacıyla öncelikle una %5, 10 ve 15 oranlarında SP katılarak ekstensograf ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Daha sonra %0,25, %0,5, %0,75 ve %1 oranlarında SP ve son olarak % 0,125, 0,25 ve 0,5 oranlarında SP ve SPE katılarak hazırlanan un örneklerinin ekstensograf ve farinograf analizleri gerçekleştirilmiştir.

3.2.4 Kontrol ve SP ve SPE ilaveli unların fonksiyonel özelliklerinin belirlenmesi

Kontrol ve SP ve SPE ilaveli unların yığın yoğunluğu, su tutma kapasitesi, yağ tutma kapasitesi ve şişme indeksi analizleri gerçekleştirilmiştir.

3.2.4.1 Yığın yoğunluğunun belirlenmesi

Un örneklerinin yığın yoğunluğu Giami ve Bekebain (1992)'nin metoduna göre belirlenmiştir. Kalibre edilmiş santrifüj tüplerinin darası alındıktan sonra 5 ml hacim

seviyesine kadar örnek konulmuş ve tartım yapıldıktan sonra, aşağıdaki eşitlik kullanılarak un örneklerinin yığın yoğunluğu hesaplanmıştır:

$$\text{Yığın yoğunluğu, } \frac{\text{g}}{\text{ml}} = \frac{\text{Örnek ağırlığı, g}}{\text{Örnek hacmi, ml}} \quad (3.1)$$

3.2.4.2 Su tutma kapasitesinin belirlenmesi

Örneklerin su tutma kapasitesi De Marco vd. (2014) ve Giami ve Bekebain (1992)'nin metoduna göre belirlenmiştir. Bir gram un örneği ile 10 ml distile su, 20 ml'lik santrifüj tüplerinde vorteks cihazı kullanılarak 2 dakika boyunca karıştırılmış ve karışım oda sıcaklığında 30 dakika boyunca bekletilmiştir. Daha sonra, 4.100 rpm'de 20 dakika boyunca uygulanan santrifüj işleminden sonra süzüntü uzaklaştırılmış ve çökeltiyi içeren santrifüj tüpleri tartılmıştır. Örneklerin su tutma kapasitesini hesaplamak için aşağıdaki eşitlik kullanılmıştır:

$$\text{Su tutma kapasitesi, \%} = \frac{A - B}{C} \times 100 \quad (3.2)$$

A: Tüp ve çökeltinin ağırlıkları toplamı, B: Tüp ve kuru örneğin ağırlıkları toplamı, C: Kuru örneğin ağırlığı.

3.2.4.3 Yağ tutma kapasitesinin belirlenmesi

Örneklerin yağ tutma kapasitesi De Marco vd. (2014) ve Giami ve Bekebain (1992)'nin metoduna göre belirlenmiştir. Bir gram un örneği ile 10 ml ay çiçek yağı 20 ml'lik santrifüj tüplerinde vorteks cihazı kullanılarak 2 dakika boyunca karıştırılmış ve karışım oda sıcaklığında 30 dakika boyunca bekletilmiştir. Daha sonra 4100 rpm'de 20 dakika boyunca uygulanan santrifüj işleminden sonra süzüntü uzaklaştırılmış ve çökeltiyi içeren santrifüj tüpleri tartılmıştır. Örneklerin yağ tutma kapasitesini hesaplamak için aşağıdaki eşitlik kullanılmıştır:

$$\text{Yağ tutma kapasitesi, \%} = \frac{A - B}{C} \times 100 \quad (3.3)$$

A: Tüp ve çökeltinin ağırlıkları toplamı, B: Tüp ve kuru örneğin ağırlıkları toplamı, C: Kuru örneğin ağırlığı.

3.2.4.4 Şişme indeksinin belirlenmesi

Örneklerin şişme indeksi değeri Onuegbu vd. (2013)'nin metoduna göre belirlenmiştir. Her bir un numunesinin şişme indeksi, her numunenin bir birim ağırlığının şişmiş hacminin, dereceli bir ölçüm silindirindeki başlangıç hacmine oranı olarak belirlenmiştir. Her bir un örneğinden 1'er gram alınarak 20 ml'lik silindire konulmuş ve üzerine 10 ml distile su eklenmiştir. Örnek hacmi kaydedildikten sonra, karışım 1 saat boyunca bekletilmiş ve hacim tekrar kaydedilmiştir. Un örneklerinin şişme indeksi aşağıdaki formül kullanılarak hesaplanmıştır:

$$\text{Şişme indeksi} = \frac{\text{Örneklerin başlangıç hacmi}}{\text{Örneklerin şişme sonrası hacmi}} \quad (3.4)$$

3.2.5 Kontrol ve SP ve SPE ilaveli ekmeklerin üretimi

Çizelge 3.1'de verilen ekmek formülasyonları temel alınarak buğday ununa un esasına göre üç farklı seviyede (% 0,125, 0,25 ve 0,50) *Spirulina platensis* tozu ve *Spirulina platensis*'ten elde edilen protein ekstraktları katılarak SP ve SPE ile zenginleştirilmiş un örnekleri hazırlanmıştır. Çizelge 3.1'de verilen SP ve SPE oranları hamur esaslı olarak hesaplandığında %0,08 (~%0,1, un esaslı %0,125), %0,15 (~%0,2, un esaslı %0,25) ve %0,3 (un esaslı %0,5)'dir. Ekmek formülasyonu, un esasına göre %59,9 su (hacim/ağırlık), %1,3 tuz ve %2,96 maya oranlarında olacak şekilde oluşturulmuştur (Çizelge 3.1). Farinograf analizi sonuçlarına göre (Çizelge 4.6) unun ideal su absorpsiyonu %56,5-57,1 arasında değişmiştir ve ekmek formülasyonunda kullanılan %59,9 olan su miktarı değerine yakındır. Unun su absorpsiyon miktarı, %56,5-57,1 arasında değişen farinograf analizi ile elde edilen unun su absorpsiyon değerinden, ekmek formülasyonlarında bulunan tuz ve mayanın etkisi ile %59,9'a çıkmıştır. Bu değer İlhan vd. (2020)'nin *Spirulina platensis*'in buğday ekmeğinde kimyasal, duyuusal ve antifungal etkisi araştırdıkları çalışmada kullandıkları ekmek formülasyonundaki un esaslı %60 (hacim/ağırlık) olan su oranına oldukça yakındır. Ayrıca sunulan çalışmada kullanılan ekmek formülasyonu, ekmeklerin hazırlandığı Erke Adk Gıda San. Tic. Ltd. Şti.'de uygulanan ekmek formülasyonudur.

Ekmek üretimi İlhan vd. (2020)'nin yönteminde bazı değişiklikler yapılarak gerçekleştirilmiştir. Tüm bileşenler Çizelge 3.1'de verilen oranlar doğrultusunda karıştırılarak hamur oluşumu sağlanmıştır. Karışım pürüzsüz bir yüzeye sahip

oluncaya kadar yoğurulmuştur. Yoğurma işleminden sonra 15 dakika dinlendirme (kitle fermantasyon) işlemi uygulanmış, süre bitiminde hamur 270 g'lık parçalar şeklinde kesilip elle yuvarlatılarak küçük hamur parçaları elde edilmiştir. Yuvarlatılmış hamur parçaları tekrar 15 dakika boyunca, üzeri nemli bir bez ile kapatılarak dinlendirildikten sonra şekil verme makinasında şekil verilmiş ve 30 °C sıcaklık ve %80 bağıl nemde 70 dakika boyunca fermantasyona tabi tutulmuştur. Fermente olan hamurlar 230 °C sıcaklıktaki 14 dakika boyunca pişirme işlemi tabi tutulmuştur. Pişirme işleminden sonra oda sıcaklığına soğutulan ekmek örnekleri alüminyum folyo ile sarılarak analizlere kadar -20 °C sıcaklıkta muhafaza edilmiştir.

Çizelge 3.1. Kontrol ve *Spirulina platensis* tozu ve *Spirulina platensis* protein ekstraktları ile zenginleştirilmiş ekmeklerin formülasyonu

Bileşenler	Ekmekler						
	Kontrol (%)	Zenginleştirilmiş Ekmekler					
		SP-%0,125 (%)	SP-%0,25 (%)	SP-%0,5 (%)	SPE-%0,125 (%)	SPE-%0,25 (%)	SPE-%0,5 (%)
Buğday unu	60,9	60,8	60,7	60,6	60,8	60,7	60,6
SP	-	~0,1	~0,2	0,3	-	-	-
SPE	-	-	-	-	~0,1	~0,2	0,3
Su	36,5	36,5	36,5	36,5	36,5	36,5	36,5
Tuz	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
Maya	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8

SP: *Spirulina platensis* tozu, SPE: *Spirulina platensis* protein ekstraktı. SP-%0,125, SP-%0,25 ve SP-%0,50: Sırasıyla %0,125, %0,25 ve %0,5 oranında SP ilaveli ekmek. SPE-%0,125, SPE-%0,25 ve SPE-%0,50: Sırasıyla %0,125, %0,25 ve %0,5 oranında SPE ilaveli ekmek.

3.2.6 Kontrol ve SP ve SPE ilaveli ekmeklerin tekstür, hacim ve renk özelliklerinin belirlenmesi

Kontrol ve SP ve SPE ilaveli unlar ile hazırlanan ekmeklerin sıklık ve elastikiyet açısından tekstürel özellikleri ile hacim ve renk analizleri gerçekleştirilmiştir.

3.2.6.1 Kontrol ve SP ve SPE ilaveli ekmeklerin tekstürel analizi

Kontrol ve SP ve SPE ilaveli unlar ile hazırlanan ekmeklerin tekstür analizi, 25 mm alüminyum silindirik problu TA.XTplusC Tekstür Analiz cihazı (Stable Micro Systems Ltd., Londra, Birleşik Krallık) kullanılarak AACC metot 74-09'a göre gerçekleştirilmiştir (AACC, 1986). Ekmek örneklerinden alınan 2 cm kalınlığındaki dilimler orijinal yüksekliklerinin %50'isine kadar sıkıştırılmıştır. Elde edilen en

yüksek sıkıştırma kuvveti ekmek sıklığı olarak gram birimi ile ifade edilmiştir. Ölçümler 3 tekrarlı olarak gerçekleştirilmiştir.

3.2.6.2 Kontrol ve SP ve SPE ilaveli ekmeklerin hacim analizi

Kontrol ve SP ve SPE ilaveli unlar ile hazırlanan ekmeklerin hacmi Stable Micro Systems (Stable Micro Systems Ltd., Londra, Birleşik Krallık) ekmek hacmi ölçme cihazı ile kolza tohumu yer değiştirme prensibine AACC metot no:10-05'e göre tespit edilmiştir (AACC, 2008). Ekmek örneklerinin spesifik hacimleri ml/g olarak ifade edilmiştir.

3.2.6.3 Kontrol ve SP ve SPE ilaveli ekmeklerin renk analizi

Kontrol ve SP ve SPE ilaveli unlar ile hazırlanan ekmeklerin renk analizi bir kolorimetre kullanılarak gerçekleştirilmiştir (CR 400, Minolta, Japan). Renk parametreleri L* (parlaklık), a* (kırmızılık-yeşillik), b* (sarılık-mavilik) olarak açıklanmıştır.

3.2.7 Kontrol ve SP ve SPE ilaveli ekmeklerin *in vitro* mide-bağırsak sindirimi

Kontrol ve SP ve SPE ilaveli unlar ile hazırlanan ekmeklerin *in vitro* mide-bağırsak sindirimi Infogest metoduna göre gerçekleştirilmiştir (Minekus vd., 2014). Mide ve bağırsak sindirimi sonrasında elde edilen sindirim örnekleri analizlere kadar -80 °C'de muhafaza edilmiştir. Sindirim sonrası örneklerin toplam fenolik madde miktarı, antioksidan aktivite ve *in vitro* protein sindirilebilirliği belirlenmiştir.

3.2.7.1 Toplam fenolik madde miktarının belirlenmesi

Kontrol ve SP ve SPE ilaveli unlar ile hazırlanan ekmeklerin *in vitro* sindirim öncesi ve sonrası toplam fenolik madde miktarı Folin-Ciocalteu metodu ile belirlenmiştir (Toor ve Savage, 2006). Özetle, 200 µl örnek, 1,5 ml 10 kat seyreltilmiş Folin-Ciocalteu reaktifi ve 1,2 ml %7,5'lik Na₂CO₃ çözeltisi ile karıştırılarak 90 dakikalık inkübasyon süresi sonunda 765 nm'de absorbansı okunmuştur. Sonuçlar kuru ağırlıkta mg GAE (gallik asit eşdeğeri)/100 g olarak ifade edilmiştir (Toor ve Savage, 2006).

3.2.7.2 Antioksidan aktivitenin belirlenmesi

Kontrol ve SP ve SPE ilaveli unlar ile hazırlanan ekmeklerin *in vitro* sindirim öncesi ve sonrası antioksidan aktivitesi 2,2-Difenil-1-pikrilhidrazil radikali (DPPH) radikal yakalama ve CUPRAC bakır (II) iyonu indirgenme antioksidan kapasitesi metotları ile belirlenmiştir. DPPH metodunda, 100 µl örnek üzerine 2 ml 0,1 mM DPPH (metanol içinde) ilave edilmiştir (Kumaran vd., 2006). CUPRAC metodunda ise 100 µl örnek üzerine sırasıyla 1 ml 10⁻² M bakır (II) klorür çözeltisi, 1 ml 7,5×10⁻³ M neokuprin çözeltisi (etanol içinde), 1 ml amonyum asetat tampon çözeltisi (pH 7,0) ve 1 ml saf su eklenmiştir. DPPH ve CUPRAC metotları ile elde edilen sonuçlar, kuru ağırlıkta mg Trolox eşdeğeri (TE)/100 g olarak ifade edilmiştir (Apak vd., 2004).

3.2.7.3 % Protein sindirilebilirliğinin belirlenmesi

Kontrol ve SP ve SPE ilaveli unlar ile hazırlanan ekmeklerin *in vitro* sindirim sonrası protein içerikleri Lowry yöntemi ile spektrofotometrik olarak belirlenmiştir (Lowry vd., 1951). Standart olarak sığır serum albümini kullanılmıştır. Sindirim örneklerinin *in vitro* protein sindirilebilirliği (%) aşağıdaki eşitlik kullanılarak hesaplanmıştır:

$$\% \text{ PS} = 100 \times \left(\frac{\text{Pr}}{\text{Pt}} \times 100 \right) \quad (3.1)$$

PS: Protein sindirilebilirliği, Pt: Toplam protein içeriği, Pr: *In vitro* sindirim sonrası protein içeriği.

3.2.8 Duyusal analiz

Kontrol ve SP ve SPE ilaveli unlar ile hazırlanan ekmeklerin duyusal analiz Erke Adk Gıda San. Tic. Ltd. Şti.'de çalışan eğitimli, yaşları 11 panelist tarafından objektif metotla gerçekleştirilmiştir. Örnekler panelistler tarafından koku, kabuk rengi, iç rengi, ekmek içi gözenek büyüklüğü, ekmek içi gözenek homojenliği, şekil, hacim, kabul edilebilirlik ve tercih edilebilirlik özellikleri açısından, hazırlanan duyusal analiz formları üzerindeki 1-5 arasında belirlenen hedonik skalayı (5: Çok iyi, 4: İyi, 3: Kabul edilebilir, 2: Zorlukla kabul edilebilir ve 1: Kabul edilemez) kullanarak değerlendirmişlerdir. Analizler üç tekrarlı olarak gerçekleştirilmiştir.

3.2.9 İstatistiksel Analiz

Deney sonuçları Minitab İstatistik Programı (Minitab, Version 17, Minitab Inc., State College, Pensilvanya, ABD) kullanılarak analizlenmiştir. Değerler arasındaki farklılık ($p \leq 0,05$) Tukey testi ile belirlenmiştir.



4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

4.1 Kontrol, SP ve SPE ile SP ve SPE İlaveli Unların Özellikleri

Sunulan tez çalışmasının bu kısmında, kontrol, SP ve SPE ile SP ve SPE ilaveli unların kimyasal kompozisyonu ile fizikokimyasal ve reolojik özellikleri araştırılmıştır.

4.1.1 Kontrol, SP ve SPE ile SP ve SPE ilaveli unların kimyasal kompozisyonu

Kontrol, SP, SPE ve SP ve SPE ilaveli unların kimyasal kompozisyonu Çizelge 4.1’de verilmiştir. Çalışmada kullanılan buğday ununun nem, protein, yağ, kül ve karbonhidrat içeriği sırasıyla, %11,6±0,0, %11,8±0,1, %1,29±0,0, %0,71±0,0 ve %74,49 olarak bulunmuştur. Benzer olarak, Karataş (2019)’ın yaptığı çalışmada 11 farklı ekmeklik buğday ununun nem, kül ve protein içeriği sırasıyla %14,16-11,96, %0,59-0,48, %14,80-10,03 arasında değişmiştir. Aynı şekilde, Cansız vd. (2020) yaptıkları çalışmada ekmek üretiminde kullanılan unların nem, kül ve protein miktarlarını sırasıyla %13,0, %0,92 ve %11,30 olarak belirlemişlerdir. Keskin ve Evlice (2015) buğday ununun protein, kül, yağ ve karbonhidrat içeriğini sırasıyla %10,5, %1,8, %2,6 ve %78,6 olarak belirlemişlerdir.

Sunulan çalışmada SP’nin protein, karbonhidrat, yağ ve kül içerikleri sırasıyla %53,10±0,20, %34,40±1,34, %2,73±0,0 ve %0,82±0,0 olarak bulunmuştur. Arslan (2018) *Spirulina platensis*’nin protein, karbonhidrat, yağ ve kül içeriklerini sırasıyla kuru maddede %63,35, %20,87, %2,10 ve %13,68 olarak belirlemiştir. Kargın-Yılmaz ve Duru (2011) tarafından yapılan çalışmada ise SP’nin protein, karbonhidrat, yağ, kül ve nem içerikleri sırasıyla %55-70, %15-25, %6-8, %7-13, %3-7 olarak saptanmıştır. *Spirulina platensis*’in kimyasal kompozisyonundaki bu farklılıklar mikroalglerin biyokimyasal içeriklerinin çevresel faktörlere bağlı olarak değişiklik gösterebilmesinden kaynaklanabilmektedir (Arslan, 2018). Sunulan çalışmada, SP ve SPE’nin protein içeriği diğer örneklerin protein içeriğinden istatistiksel olarak daha yüksek olarak bulunmuştur ($p<0,05$). SPE’nin nem içeriği uygulanan ekstraksiyon işleminde çözücü olarak kullanılan su nedeniyle diğer örneklerin nem içeriğinden daha yüksektir (%17,3, $p<0,05$). En yüksek yağ içeriğine sahip örnek %2,73 ile SP’dir ($p<0,05$). Örneklerin kül içeriği %0,42 ile %0,82 arasında değişmiştir ve SP diğer örneklerden daha yüksek kül içeriğine sahiptir ($p<0,05$).

Çizelge 4.1. *Spirulina plantensis* tozu ve *Spirulina platensis*'den ekstrakte edilen protein ekstraktları ile zenginleştirilmiş un örneklerin kimyasal kompozisyonu.

Örnek	Nem, %	Protein, %	Yağ, %	Kül, %	Karbonhidrat, %
Kontrol	11,60±0,0 ^b	11,80±0,10 ^b	1,29±0,0 ^b	0,71±0,0 ^b	74,60±0,10 ^a
SP	8,95±1,15 ^c	53,10±0,20 ^a	2,73±0,0 ^a	0,82±0,0 ^a	34,40±1,34 ^b
SPE	17,30±0,20 ^a	53,40±0,40 ^a	0,89±0,0 ^c	0,42±0,0 ^c	27,99±0,60 ^c
SP-%0,125	12,30±0,20 ^b	12,10±0,50 ^b	1,30±0,0 ^b	0,71±0,0 ^b	73,59±0,70 ^a
SP-%0,25	11,80±0,40 ^b	12,20±0,40 ^b	1,33±0,0 ^b	0,70±0,0 ^b	73,97±0,80 ^a
SP-%0,5	12,00±0,0 ^b	12,00±0,0 ^b	1,34±0,0 ^b	0,71±0,0 ^b	74,75±0,00 ^a
SPE-%0,125	11,20±0,0 ^{bc}	11,90±0,0 ^b	1,30±0,0 ^b	0,71±0,0 ^b	74,89±0,00 ^a
SPE-%0,25	11,70±0,2 ^b	12,20±0,0 ^b	1,31±0,0 ^b	0,71±0,0 ^b	74,28±0,00 ^a
SPE-%0,5	11,10±0,4 ^{bc}	12,00±0,20 ^b	1,30±0,0 ^b	0,71±0,0 ^b	74,89±0,60 ^a

Herbir değer ortalama±standart sapma olarak verilmiştir (n=3). SP: *Spirulina platensis* tozu, SPE: *Spirulina platensis* protein ekstraktı. SP: *Spirulina platensis* tozu, SPE: *Spirulina platensis* protein ekstraktı. SP-%0,125, SP-%0,25 ve SP-%0,50: Sırasıyla %0,125, %0,25 ve %0,5 oranında SP ilaveli un. SPE-%0,125, SPE-%0,25 ve SPE-%0,50: Sırasıyla %0,125, %0,25 ve %0,5 oranında SPE ilaveli un. *: Kolondaki farklı harfler, Tukey testi tarafından istatistiksel olarak (p<0,05) farklılığı ifade etmektedir.

4.1.2 Kontrol ile SP ve SPE ilaveli unların fizikokimyasal özellikleri

Un kalitesinin belirlenmesinde kullanılan en önemli özelliklerden biri de undaki gluten (öz) miktarıdır. Unda bulunan gluten proteini, maya tarafından oluşturulan CO₂ gazının ağ yapısı içinde tutulmasını ve böylece hamurun kabarmasını sağlamaktadır (Servet ve Akman, 2014). Unun gluten miktarı ve kalitesi hamurun gaz tutma kapasitesinin yanı sıra yoğrulma ve işlenme özellikleri ile son ürün kalitesi üzerinde de doğrudan etkilidir (Kent, 1984). Kontrol örneği ve SP ve SPE ilaveli unların yaş gluten, gluten indeksi, kuru gluten, normal sedimantasyon ve gecikmeli sedimantasyon değerleri Çizelge 4.2'de verilmiştir. Örneklerin yaş gluten, gluten indeksi ve kuru gluten değerleri ile normal ve gecikmeli sedimantasyon değerleri arasındaki farklılık istatistiksel olarak önemli düzeyde değildir (p≥0,05).

Sunulan çalışmada, un örneklerinin normal sedimantasyon değeri 27,5 ile 28,5 ml olarak bulunmuşken, gecikmeli sedimantasyon değeri 35,5-37,0 ml arasında değişmiştir (Çizelge 4.2). Słowik (2006)'e göre >40 ml sedimantasyon değerine sahip un, çok iyi kalitede un olarak tanımlanmıştır. Ayrıca, 30-40 ml sedimantasyon değerindeki unlar iyi, 20-29 ml sedimantasyon değerindeki unlar yeterli kalitede ve <20 ml sedimantasyon değerindeki unlar düşük kalitede unlar olarak sınıflandırılmıştır (Słowik, 2006). Çalışmamızda kullandığımız tüm un örneklerinin normal sedimantasyon değerinin 25-30 ml arasında olması unların iyi kalitede olduğunu

göstermektedir. Karataş (2019), 11 farklı ekmeklik buğday unlarına ait kalite özelliklerinin belirlenmesi çalışmasında, en düşük ve en yüksek % gluten miktarını ve % gluten indeks değerini sırasıyla %27,6-%30,8 ve %92,9-%97,2 olarak belirlemiştir. Saka (2019), 2 farklı ekmeklik unun kalite özelliklerini araştırdıkları çalışmada % yaş ve kuru gluten miktarlarını %35,8-42,4 ve %14,1-15,8 olarak bulmuştur. Benzer şekilde, Türk (2013) tarafından yapılan bir çalışmada, ekmeklik buğday unlarının en düşük ve en yüksek % yaş gluten miktarı, % gluten indeksi, % kuru gluten miktarı, ilk sedimantasyon ve gecikmeli sedimantasyon değerleri sırasıyla %23,02-40,08, %90,94-99,60, %7,33-14,53, 21,33-41,0 ml ve 27,67-50,0 ml olarak belirlenmiştir.

Çizelge 4.2. *Spirulina platensis* ve *Spirulina platensis* protein ekstraktlarının %0,125, 0,25 ve 0,5 oranlarında ilave edildiği buğday unlarının normal sedimantasyon, gecikmeli sedimantasyon, yaş gluten, gluten indeksi ve kuru gluten değerleri.

Örnek	Normal sedimantasyon (ml)	Gecikmeli sedimantasyon (ml)	Yaş gluten (%)	Gluten indeksi (%)	Kuru gluten (ml)
Kontrol	28,5±0,5*	35,5±0,5	27,5±0,2	93,5±0,9	9,3±0,1
SP-%0,125	28,0±0,0	36,5±0,5	27,5±0,1	93,1±0,7	9,3±0,1
SP-%0,25	28,5±0,5	36,5±0,5	27,6±0,1	93,6±0,3	9,4±0,2
SP-%0,5	28,0±0,0	37,0±0,0	27,6±0,1	94,6±0,4	9,4±0,1
SPE-%0,125	27,5±0,5	36,5±0,5	27,4±0,1	94,0±0,5	9,3±0,1
SPE-%0,25	28,0±0,0	36,0±0,0	27,3±0,1	93,1±0,4	9,3±0,0
SPE-%0,5	28,5±0,5	35,5±0,5	27,6±0,2	94,4±0,3	9,4±0,0

Herbir değer ortalama±standart sapma olarak verilmiştir (n=3). SP: *Spirulina platensis* tozu, SPE: *Spirulina platensis* protein ekstraktı. SP-%0,125, SP-%0,25 ve SP-%0,50: Sırasıyla %0,125, %0,25 ve %0,5 oranında SP ilaveli un. SPE-%0,125, SPE-%0,25 ve SPE-%0,50: Sırasıyla %0,125, %0,25 ve %0,5 oranında SPE ilaveli un. *: İstatistiksel olarak fark olmadığı için harf belirtilmemiştir.

4.1.3 Kontrol ve SP ve SPE ilaveli unların reolojik özellikleri

Çalışmanın bu kısmında kontrol ve SP ve SPE ilaveli unlardan hazırlanan hamurların ekstensograf ve farinograf analizleri ile reolojik özellikleri araştırılmıştır. Ekstensograf analiz ile dinlenme süreleri olarak adlandırılan 45., 90. ve 135. dakikalarda hamurun reolojik davranışlarındaki değişimler ölçülmektedir. Hamurda zamanla meydana gelen bu değişimler ya unun biyokimyasal aktivitesi gibi iç faktörler ya da una katılan çeşitli katkı maddelerinden kaynaklanan dış faktörler nedeni ile oluşmaktadır (Miš vd., 2012). Un örneklerinin ekstensograf analizinde, hamurun uzamaya karşı gösterdiği maksimum direnç (R_{maks}), hamurun sabit deformasyondaki direnci (R_5), esneklik, işlenebilirlik oranı, maksimum işlenebilirlik oranı ve enerji değerleri elde edilmektedir (Burešová vd., 2014). Çalışmamızda, *Spirulina platensis* tozu ve *Spirulina*

platensis'den elde edilen protein ekstraktları ile zenginleştirilmiş un üretmek için en uygun SP ve SPE oranlarını belirlemek amacıyla ön denemeler kapsamında, öncelikle una %5, 10 ve 15 oranlarında SP katılarak ekstensograf ölçümleri gerçekleştirilmiştir (Çizelge 4.3). Çizelge 4.3'de verilen 135. dakikadaki ekstensograf verilerine göre, kontrol örneklerine ait esneklik değeri hariç tüm değerler SP ilaveli unlara ait değerlerden istatistiksel olarak önemli düzeyde daha yüksektir ($p<0,05$).

Çizelge 4.3. *Spirulina platensis* tozunun %5, 10 ve 15 oranlarında ilave edildiği buğday unlarının 45, 90 ve 135. dakikalarda ekstensogram değerleri.

Örnek	Enerji, (cm ²)	R _s (B.U.)*	Esneklik (mm)	R _{maks} (B.U.)	İşlenebilirlik Oranı (B.U./mm)	Maksimum İşlenebilirlik Oranı (B.U./mm)
45. dakika						
Kontrol	66,0±1,0 ^{a*}	252,5±4,5 ^a	152,0±0,0 ^a	306,0±6,0 ^a	1,7±0,1 ^{ab}	2,1±0,1 ^{ab}
SP-%5	50,0±2,0 ^b	220,0±13,0 ^a	139,0±0,0 ^b	236,5±11,5 ^b	1,6±0,1 ^b	1,7±0,1 ^b
SP-%10	42,5±0,5 ^{bc}	218,5±0,5 ^a	125,5±1,5 ^c	218,5±0,5 ^b	1,8±0,1 ^{ab}	1,8±0,1 ^b
SP-%15	40,0±2,0 ^c	266,0±19,0 ^a	102,5±2,5 ^d	271,5±19,5 ^{ab}	2,6±0,2 ^a	2,7±0,3 ^a
90. dakika						
Kontrol	65,5±2,5 ^a	256,5±1,5 ^a	145,0±3,0 ^a	323,5±9,5 ^a	1,8±0,1 ^a	2,3±0,1 ^a
SP-%5	39,0±2,0 ^b	187,0±11,0 ^b	133,5±0,5 ^a	189,5±10,5 ^b	1,4±0,1 ^a	1,4±0,1 ^b
SP-%10	27,5±1,5 ^b	160,0±6,0 ^b	114,5±3,5 ^b	170,5±5,5 ^b	1,4±0,0 ^a	1,5±0,0 ^b
SP-%15	28,5±0,5 ^b	188,0±8,0 ^b	101,5±2,5 ^b	212,5±8,5 ^b	1,9±0,2 ^a	2,1±0,1 ^a
135. dakika						
Kontrol	71,5±2,5 ^a	298,0±1,0 ^a	140,5±3,5 ^a	372,5±3,5 ^a	2,2±0,1 ^a	2,7±0,1 ^a
SP-%5	27,0±3,0 ^b	136,5±14,5 ^b	132,0±6,0 ^a	139,5±13,5 ^b	1,1±0,1 ^b	1,1±0,1 ^b
SP-%10	16,5±0,5 ^b	99,5±4,5 ^b	105,5±0,5 ^b	129,0±7,0 ^c	1,0±0,1 ^b	1,2±0,1 ^b
SP-%15	13,0±1,0 ^b	83,0±5,0 ^b	87,5±4,5 ^b	119,0±8,0 ^d	1,0±0,1 ^b	1,4±0,1 ^b

SP: *Spirulina platensis*; B.U.: Brabender birimi; mm: milimetre. SP-%5, SP-%10 ve SP-%15: Sırasıyla %5, %10 ve %15 oranında SP ilaveli un. Değerlerin istatistiksel analizler 45, 90 ve 135. dakikalar için ayrı olarak gerçekleştirilmiştir. *a, b, c harfleri 45, 90 ve 135. dakikalardaki aynı sütun için istatistiksel olarak farklılığı ifade etmektedir ($p<0,05$, Tukey).

Bu nedenle, %5, 10 ve 15 oranlarında (Çizelge 4.3) SP ilaveli unların ekstensograf ile elde edilen değerleri kontrole göre daha düşük kaldığından, daha düşük SP oranlarında (%0,25, %0,5, %0,75 ve %1) SP ilaveli un örnekleri hazırlanarak, ekstensograf ölçümleri gerçekleştirilmiştir (Çizelge 4.4). Çizelge 4.4'de görüldüğü gibi, %0,75 ve %1,0 oranlarında *Spirulina platensis* ilaveli unların 135. dakika ekstensograf verilerinde enerji ve esneklik değerleri hariç diğer değerlerin kontrol örneğinden önemli düzeyde düşük olduğu görülmektedir ($p<0,05$). Ayrıca, SP-%0,25 enerji ve esneklik değerleri ve SP-%0,5'in esneklik değeri kontrolden daha yüksektir. Bu nedenle asıl çalışmadaki un formülasyonunda SP ve SPE oranları % 0,125, 0,25 ve 0,5 olarak belirlenerek ekstensograf ve farinograf ölçümleri gerçekleştirilmiştir (Çizelge 4.5, 4.6 ve 4.7).

Çizelge 4.4. *Spirulina platensis* tozunun %0,25, 0,5, 0,75 ve 1 oranlarında ilave edildiği buğday unlarının 45, 90 ve 135. dakikalarda ekstensogram değerleri.

Örnek	Enerji, (cm ²)	R _s (B.U.)*	Esneklik, (mm)	R _{maks} (B.U.)	İşlenebilirlik Oranı (B.U./mm)	Mak. İşlenebilirlik Oranı (B.U./mm)
45 Dakika						
Kontrol	93,5±0,5 ^{a*}	333,5±2,5 ^a	151,5±2,5 ^a	455,0±16,0 ^a	2,2±0,1 ^a	3,0±0,2 ^a
SP-%0,25	94,0±4,0 ^a	277,5±6,5 ^c	170,5±4,5 ^a	408,0±5,0 ^{ab}	1,6±0,0 ^b	2,4±0,0 ^a
SP-%0,5	83,0±5,0 ^a	292,0±1,0 ^{bc}	153,5±6,5 ^a	393,5±5,5 ^b	1,9±0,1 ^{ab}	2,5±0,0 ^a
SP-%0,75	94,0±3,0 ^a	311,5±7,5 ^{ab}	160,5±0,5 ^a	429,0±14,0 ^{ab}	1,9±0,0 ^{ab}	2,7±0,1 ^a
SP-%1,0	81,5±5,5 ^a	300,5±1,5 ^{bc}	151,0±8,0 ^a	388,±/6,5 ^b	2,0±0,1 ^{ab}	2,6±0,1 ^a
90 Dakika						
Kontrol	106,0±7,0 ^a	394,5±6,5 ^a	147,5±5,5 ^a	537,0±23,0 ^a	2,6±0,1 ^a	3,6±0,0 ^a
SP-%0,25	95,5±4,5 ^a	315,0±24,0 ^b	159,0±12,0 ^a	454,5±22,5 ^{ab}	2,0±0,3 ^a	2,9±0,4 ^a
SP-%0,5	97,5±8,5 ^a	355,0±9,0 ^{ab}	151,0±8,0 ^a	483,0±15,0 ^{ab}	2,3±0,0 ^a	3,2±0,1 ^a
SP-%0,75	88,5±1,5 ^a	344,0±11,0 ^{ab}	146,0±6,0 ^a	450,5±12,5 ^{ab}	2,3±0,1 ^a	3,1±0,2 ^a
SP-%1,0	84,5±5,5 ^a	328,0±11,0 ^{ab}	152,0±7,0 ^a	410,5±17,5 ^b	2,1±0,0 ^a	2,7±0,0 ^a
135 Dakika						
Kontrol	96,0±9,0 ^a	378,5±42,5 ^a	141,0±2,0 ^a	515,0±40,0 ^a	2,6±0,2 ^a	3,6±0,2 ^a
SP-%0,25	105,0±1,0 ^a	300,5±2,5 ^b	174,5±9,5 ^a	451,5±10,5 ^{ab}	1,7±0,0 ^b	2,6±0,0 ^b
SP-%0,5	92,0±1,0 ^a	335,5±6,5 ^{ab}	152,5±3,5 ^a	448,0±4,0 ^{ab}	2,2±0,1 ^{ab}	2,9±0,1 ^{ab}
SP-%0,75	86,0±0,0 ^a	315,5±17,5 ^b	153,0±4,0 ^a	416,5±8,5 ^{ab}	2,0±0,1 ^{ab}	2,7±0,1 ^b
SP-%1,0	78,5±5,5 ^a	326,0±5,0 ^{ab}	141,5±7,5 ^a	402,0±11,0 ^b	2,3±0,1 ^{ab}	2,8±0,0 ^{ab}

SP: *Spirulina platensis*; B.U.: Brabender birimi; mm: milimetre. SP-%0,25, SP-%0,5 ve SP-%0,75 ve SP-%1,0: Sırasıyla %0,25, %0,5, %0,75 ve %1 oranında SP ilaveli un. Değerlerin istatistiksel analizler 45, 90 ve 135. dakikalar için ayrı olarak gerçekleştirilmiştir. *a, b, c harfleri 45, 90 ve 135. dakikalardaki aynı sütun için istatistiksel olarak farklılığı ifade etmektedir (p<0,05, Tukey).

Çizelge 4.5. *Spirulina platensis* tozunun %0,125, 0,25 ve 0,5 oranlarında ilave edildiği buğday unlarının 45, 90 ve 135. dakikalarda ekstensogram değerleri.

Örnek	Enerji, (cm ²)	R _s (B.U.)*	R _{maks} (B.U.)	Esneklik, (mm)	İşlenebilirlik Oranı (B.U./mm)	Mak. İşlenebilirlik Oranı (B.U./mm)
45. dakika						
Kontrol	103,0±5,0 ^{a*}	364,5±29,5 ^a	154,5±2,5 ^{ab}	493,0±31,0 ^a	2,3±0,2 ^a	3,2±0,2 ^a
SP-%0,125	102,0±3,0 ^a	349,5±0,5 ^a	156,5±2,5 ^a	480,0±6,0 ^a	2,2±0,0 ^a	3,1±0,0 ^a
SP-%0,25	98,5±4,5 ^a	350,5±1,5 ^a	147,0±1,0 ^{ab}	478,5±6,5 ^a	2,4±0,0 ^a	3,2±0,0 ^a
SP-%0,5	101,0±1,0 ^a	392,0±1,0 ^a	143,5±1,5 ^b	507,5±8,5 ^a	2,7±0,0 ^a	3,5±0,0 ^a
90. dakika						
Kontrol	110,0±6,0 ^a	491,0±26,0 ^a	132,0±2,0 ^b	640,0±21,0 ^a	3,7±0,1 ^a	4,8±0,0 ^a
SP-%0,125	123,5±2,5 ^a	496,0±21,0 ^a	140,0±1,0 ^a	679,5±17,5 ^a	3,5±0,1 ^{ab}	4,8±0,1 ^a
SP-%0,25	118,5±0,5 ^a	429,5±4,5 ^a	145,0±0,0 ^a	623,5±2,5 ^a	2,9±0,0 ^b	4,3±0,0 ^b
SP-%0,5	128,0±1,0 ^a	485,0±5,0 ^a	146,5±0,5 ^a	677,5±5,5 ^a	3,3±0,0 ^{ab}	4,6±0,1 ^{ab}
135. dakika						
Kontrol	118,5±3,5 ^a	521,0±14,0 ^a	132,0±0,0 ^a	702,0±19,0 ^a	3,9±0,0 ^a	5,3±0,1 ^a
SP-%0,125	121,0±1,0 ^a	536,0±19,0 ^a	133,5±2,5 ^a	696,5±2,5 ^a	4,0±0,2 ^a	5,2±0,1 ^a
SP-%0,25	124,5±2,5 ^a	530,5±17,5 ^a	132,5±4,5 ^a	710,5±3,5 ^a	4,1±0,1 ^a	5,3±0,5 ^a
SP-%0,5	131,5±2,5 ^a	550,5±61,5 ^a	139,5±4,5 ^a	746,0±58,0 ^a	3,9±0,5 ^a	5,4±0,6 ^a

SP: *Spirulina platensis*; B.U.: Brabender birimi; mm: milimetre. SP-%0,125, SP-%0,25 ve SP-%0,5: Sırasıyla %0,125, %0,25 ve %0,5 oranında SP ilaveli un. Değerlerin istatistiksel analizler 45, 90 ve 135. dakikalar için ayrı olarak gerçekleştirilmiştir. *a, b, c harfleri 45, 90 ve 135. dakikalardaki aynı sütun için istatistiksel olarak farklılığı ifade etmektedir (p<0,05, Tukey).

Ektensograf hamurun uzama kabiliyetini, uzamaya karşı direncini ve enerji değerlerini göstermektedir (Aydoğan, vd. 2013). Un üreticileri, fırın işletmecileri ve sanayicileri unun enerji değerlerinin yüksek olmasını istemektedir (Şahin vd., 2019). Çalışmamızda, kontrol örneği ve %0,125, 0,25 ve 0,5 oranlarında *Spirulina platensis* tozu ve *Spirulina platensis*'den protein ekstraktları ilave edilerek hazırlanan un örneklerinin ekstensogram değerleri Çizelge 4.6'da gösterilmiştir. Yaptığımız çalışmada en düşük enerji değeri 45. dakikada SP-%0,125 örneğinde 119,0 olarak bulunurken en yüksek enerji değeri 90. dakikada kontrol örneğinde 135,0 olarak bulunmuştur.

Çizelge 4.6. *Spirulina platensis* ve *Spirulina platensis* protein ekstraktlarının %0,125, 0,25 ve 0,5 oranlarında ilave edildiği buğday unlarının 45, 90 ve 135. dakikalarda ekstensogram değerleri.

Örnek	Enerji (cm ²)	R _s (B.U.)*	R _{mak} (B.U.)	Esneklik (mm)	İşlenebilirlik Oranı (B.U./mm)	Mak. İşlenebilirlik Oranı (B.U./mm)
45.dakika						
Kontrol	121,0±1,0*	491,0±23,0	139,5±2,5	695,5±0,5	3,5±0,3	4,9±0,1
SP-%0,125	119,0±2,0	489,0±11,0	136,5±1,5	687,5±43,5	3,6±0,3	4,8±0,1
SP-%0,25	122,5±2,5	506,5±42,5	137,0±4,0	725,0±0,0	3,7±0,4	5,3±0,1
SP-%0,5	120,5±0,5	519,0±9,0	136,5±1,5	706,0±2,0	3,9±0,1	5,3±0,1
SPE-%0,125	120,0±1,0	464,5±8,5	137,5±1,5	675,5±22,5	3,3±0,1	4,8±0,0
SPE-%0,25	120,0±0,0	472,0±50,0	137,5±1,5	671,0±25,0	3,4±0,4	4,9±0,2
SPE-%0,5	122,5±0,5	475,0±7,0	141,0±1,0	694,5±0,5	3,3±0,1	4,8±0,0
90. dakika						
Kontrol	135,0±1,0	1002,5±11,5	106,0±1,0	1111,5±26,5	9,4±0,2	10,5±0,4
SP-%0,125	133,5±2,5	1012,0±2,0	105,0±0,0	1125,5±18,5	9,7±0,0	10,7±0,2
SP-%0,25	128,5±0,5	1070,5±73,5	100,0±0,0	1122,0±23,0	10,7±0,7	11,2±0,2
SP-%0,5	125,0±4,0	975,5±29,5	101,0±4,0	1088,5±16,5	9,8±0,8	10,9±0,7
SPE-%0,125	128,0±0,0	1018,5±11,5	102,0±0,0	1116,5±7,5	9,9±0,1	10,9±0,5
SPE-%0,25	129,5±2,5	935,5±14,5	108,5±1,5	1068,5±5,5	8,6±0,2	9,8±0,2
SPE-%0,5	129,0±1,0	1005,5±14,5	104,5±2,5	1083,0±2,0	9,6±0,4	10,3±0,2
135. dakika						
Kontrol	130,5±0,5	1091,0±16,0	104,0±3,0	1113,0±6,0	10,5±0,4	10,7±0,2
SP-%0,125	129,0±2,0	1018,0±32,0	108,0±5,0	1079,5±22,5	9,4±0,8	10,0±0,8
SP-%0,25	130,5±4,5	1018,0±32,0	110,5±1,5	1106,5±20,5	9,2±0,3	10,0±0,3
SP-%0,5	126,5±2,5	1079,0±4,0	101,0±2,0	1111,5±2,5	10,7±0,3	11,0±0,2
SPE-%0,125	126,5±3,5	1007,0±15,0	104,0±1,0	1066,0±16,0	9,6±0,2	10,2±0,2
SPE-%0,25	129,0±2,0	961,0±56,0	106,0±1,0	1100,0±70,0	9,1±0,6	10,4±0,8
SPE-%0,5	125,5±1,5	1109,0±2,0	99,0±2,0	1119,5±12,5	11,3±0,3	11,4±0,4

Herbir değer ortalama±standart sapma olarak verilmiştir (n=3). SP: *Spirulina platensis* tozu, SPE: *Spirulina platensis* protein ekstraktı. SP-%0,125, SP-%0,25 ve SP-%0,50: Sırasıyla %0,125, %0,25 ve %0,5 oranında SP ilaveli un. SPE-%0,125, SPE-%0,25 ve SPE-%0,50: Sırasıyla %0,125, %0,25 ve %0,5 oranında SPE ilaveli un. *: İstatistiksel olarak fark olmadığı için harf belirtilmemiştir.

Farinograf analizler ile unun hamur haline gelmesi sırasında unun su absorpsiyonu ve hamurun gelişme süresi, stabilite ve yumuşama derecesi değerleri üzerinden hamurun kıvamı hakkında bilgiye ulaşılabilmektedir (Stojceska ve Butler, 2008). Özellikle

gelişme süresi değerinin, undaki protein kalitesinin belirlenmesinde kullanıldığı bilinmektedir (Karababa ve Ozan, 1998). Çalışmamızda, kontrol örneği ve %0,125, 0,25 ve 0,5 oranlarında SP ve SPE ilaveli un örneklerinin farinogram değerleri Çizelge 4.6’da gösterilmiştir.

Çizelge 4.7’de görüldüğü gibi, farinograf analizinin sonuçlarına göre, un örnekleri arasında gelişme süresi, stabilite değeri ve yumuşama derecesi bakımından istatistiksel olarak önemli düzeyde bir farklılık gözlemlenmemiştir ($p \geq 0,05$). SP-%0,5’in su absorpsiyonu en yüksek düzeyde $57,1 \pm 0,0$ olarak kaydedilmiştir ($p < 0,05$, Çizelge 4.7). Farinograf su tutma kapasitesi değeri, ekmek üretimi için hamurun su gereksinimini değerlendirmek amacıyla kullanılmaktadır (Ram vd., 2005). Rothkaehl (2004)’e göre unların %50-57 arasındaki farinogram su tutma kapasitesi iyi kalitede, %58-60 arasındaki su tutma kapasitesi değeri çok iyi kalitede un olduğunu göstermektedir.

Çizelge 4.7. *Spirulina platensis* ve *Spirulina platensis* protein ekstraktlarının %0,125, 0,25 ve 0,5 oranlarında ilave edildiği buğday unlarının farinogram değerleri.

Örnek	Su Absorpsiyonu %	Gelişme Süresi (dak)	Stabilite Değeri (dak)	Yumuşama Derecesi (10. dak)	Yumuşama Derecesi (12. dak)
Kontrol	56,5±0,0 ^{b*}	1,8±0,0 ^a	2,0±0,0 ^a	83,5±3,5 ^a	84,5±1,5 ^a
SP-%0,125	56,5±0,0 ^b	1,7±0,0 ^a	1,9±0,0 ^a	85,5±1,5 ^a	89,0±1,0 ^a
SP-%0,25	56,9±0,1 ^{ab}	1,9±0,1 ^a	2,0±0,1 ^a	82,5±3,5 ^a	85,0±0,0 ^a
SP-%0,5	57,1±0,0 ^a	1,6±0,0 ^a	1,7±0,0 ^a	82,0±2,0 ^a	90,0±1,0 ^a
SPE-%0,125	56,6±0,0 ^b	1,7±0,0 ^a	1,9±0,0 ^a	86,0±4,0 ^a	85,0±1,0 ^a
SPE-%0,25	56,7±0,0 ^b	1,7±0,0 ^a	1,9±0,0 ^a	87,0±3,0 ^a	88,0±3,0 ^a
SPE-%0,5	56,8±0,1 ^{ab}	1,7±0,0 ^a	1,9±0,1 ^a	88,5±0,5 ^a	92,0±0,0 ^a

Herbir değer ortalama±standart sapma olarak verilmiştir (n=3). SP: *Spirulina platensis* tozu, SPE: *Spirulina platensis* protein ekstraktı. SP-%0,125, SP-%0,25 ve SP-%0,50: Sırasıyla %0,125, %0,25 ve %0,5 oranında SP ilaveli un. SPE-%0,125, SPE-%0,25 ve SPE-%0,50: Sırasıyla %0,125, %0,25 ve %0,5 oranında SPE ilaveli un. *: Kolondaki farklı harfler, Tukey testi tarafından istatistiksel olarak ($p < 0,05$) farklılığı ifade etmektedir.

4.1.4 Kontrol ve SP ve SPE ilaveli unların fonksiyonel özellikleri

Unun su tutma kapasitesi, hamurun reolojik özellikleri ve son ürünün kalitesi üzerinde etkilidir. Bu nedenle unun ekmek yapım özelliklerini belirleyen önemli faktörlerden biridir. Ayrıca, su tutma kapasitesi ekmek için yumuşaklığı ve ekmek özelliklerinin korunması üzerinde de etkili olan faktörlerden biridir (Koppel ve Ingver, 2010). Çizelge 4.8’de kontrol ve SP ve SPE ilaveli un örneklerinin su tutma ve yağ tutma kapasiteleri ile yığın yoğunluğu ve şişme indeksi değerleri verilmiştir.

Çalışmamızda örneklerin su tutma kapasitesi, Çizelge 4.8’de görüldüğü gibi, %90,23±0,57 ile %108,68±5,82 arasında değişmiştir. En yüksek su tutma kapasitesi %108,68±5,82 olarak %0,125 *Spirulina platensis* protein ekstraktı ilaveli unlarda, en düşük su tutma kapasitesi ise %90,23±0,57, %91,55±0,42 ve %91,64±1,10 olarak sırasıyla SP-%0,25, SP-%0,5 ve kontrol örneklerinde gerçekleşmiştir ($p<0,05$). Kontrol örneğinin su tutma kapasitesi (%91,64±1,10); SP-%0,125 (98,11±1,62), SPE-%0,125 (108,68±5,82) ve SPE-%0,25 (%99,52±1,30)’den istatistiksel olarak önemli düzeyde düşüktür ($p<0,05$). Çalışmamızda elde ettiğimiz değerlere yakın olarak Bashir vd. (2017)’nin çalışmasında tam buğday ununun su tutma kapasitesi %85 olarak belirlenmiştir. Çalışmamızdan farklı olarak Das vd. (2019), buğday ununun su tutma kapasitesini %66,59, Nwosu vd. (2014) ise %207 olarak bulmuştur. Du vd. (2014)’e göre, unların su tutma kapasiteleri arasındaki farklılığın nedeni, unda bulunan gluten proteininin miktarı ve kalitesi ile undaki zedelenmiş nişasta ve liflerin miktarındaki farklılık olarak gösterilmiştir.

Çizelge 4.8’da görüldüğü gibi, örneklerin yağ tutma kapasitesi en düşük (%88,91±0,88) kontrol örneğinde ve en yüksek (%107,39±1,86) SPE-%0,25 örneğindedir ($p\geq 0,05$). Nwosu vd. (2014) buğday ununun yağ tutma kapasitesini %152 olarak belirlerken, Bashir vd. (2017) tam buğday ununun yağ tutma kapasitesini çalışmamızda elde ettiğimiz değerlere yakın olarak %110 olarak belirlemiştir.

Sunulan tez çalışmasında, örneklerin yığın yoğunluğu değeri 0,54 ile 0,65 g/ml arasında değişmiştir ($p\geq 0,05$, Çizelge 4.8). Çalışmamıza benzer olarak, Nwosu vd. (2014) buğday ununun yığın yoğunluğunu 0,70 g/ml olarak belirlemiştir. Benzer olarak, Bashir vd. (2017) de tam buğday ununun yığın yoğunluğunu 0,77 g/ml olarak hesaplamıştır.

Çalışmamızda, örneklerin şişme indeksi 1,32 ile 1,57 arasında değişmiştir ($p\geq 0,05$). Bashir vd. (2017) tam buğday ununun şişme indeksi değerini 50 °C’den 90 °C’ye değişen sıcaklık uygulamalarında 1,83 ile 7,83 g/g arasında bulmuştur. Çalışmamızdan farklı olarak, Nwosu vd. (2014) buğday ununun şişme indeksi değerini 3,80 olarak belirlemiştir. Das vd. (2019)’nin çalışmasında ise buğday ununun şişme indeksi 0,58 g/ml olarak bulunmuştur.

Çizelge 4.8. *Spirulina platensis* ve *Spirulina platensis* protein ekstraktlarının %0,125, 0,25 ve 0,5 oranlarında ilave edildiği buğday unlarının su tutma kapasitesi, yağ tutma kapasitesi, yığın yoğunluğu ve şişme indeksi değerleri.

Örnek	Su tutma kapasitesi, %	Yağ tutma kapasitesi, %	Yığın yoğunluğu, g/ml	Şişme indeksi, ml
Kontrol	91,64±1,10 ^b	88,91±0,88 ^a	0,61±0,03 ^a	1,36±0,1 ^a
SP-%0,125	98,11±1,62 ^{ab}	91,59±0,66 ^a	0,65±0,03 ^a	1,32±0,0 ^a
SP-%0,25	90,23±0,57 ^b	86,60±1,40 ^a	0,64±0,01 ^a	1,32±0,0 ^a
SP-%0,5	91,55±0,42 ^b	89,03±7,04 ^a	0,59±0,04 ^a	1,32±0,0 ^a
SPE-%0,125	108,68±5,82 ^a	99,77±6,30 ^a	0,62±0,02 ^a	1,33±0,0 ^a
SPE-%0,25	99,52±1,30 ^{ab}	107,39±1,86 ^a	0,54±0,04 ^a	1,57±0,0 ^a
SPE-%0,5	94,93±0,60 ^b	91,56±1,21 ^a	0,61±0,03 ^a	1,45±0,1 ^a

Herbir değer ortalama±standart sapma olarak verilmiştir (n=3). SP: *Spirulina platensis* tozu, SPE: *Spirulina platensis* protein ekstraktı. SP-%0,125, SP-%0,25 ve SP-%0,50: Sırasıyla %0,125, %0,25 ve %0,5 oranında SP ilaveli un. SPE-%0,125, SPE-%0,25 ve SPE-%0,50: Sırasıyla %0,125, %0,25 ve %0,5 oranında SPE ilaveli un. *: Kolondaki farklı harfler, Tukey testi tarafından istatistiksel olarak (p<0,05) farklılığı ifade etmektedir.

4.2 Kontrol ve SP ve SPE İlaveli Ekmeklerin Tekstürel, Hacim ve Renk Özellikleri

Çalışmanın bu kısmında kontrol ile SP ve SPE ilaveli ekmeklerin tekstürel özelliklerinin yanı sıra hacim ve renk özellikleri araştırılmıştır.

4.2.1 Kontrol ve SP ve SPE ilaveli ekmeklerin tekstürel özellikleri

Kontrol ve SP ve SPE ilaveli ekmek örneklerinin sıklık, elastikiyet, hacim ve renk değerleri Çizelge 4.9'da gösterilmiştir. Örneklerin sıklık değerleri 676,2±33,4-919,4±34,7 g arasında değişmiştir (p<0,05). Sıklık değeri en yüksek olan örnek kontrol örneği (919,4±34,7 g, p<0,05) iken, en düşük olan örnekler SP-%0,25 (676,2±33,4 g), SP-%0,5 (696,2±1,9 g) ve SPE-%0,25 (714,0±51,1 g)'dir (p<0,05). *Spirulina platensis* ve *Spirulina platensis* protein ekstraktları ilave edilmiş ekmek örneklerinin kontrol örneklerine göre daha az sıkı bir yapıya sahip olduğu görülmektedir (p<0,05). Çalışmamızda elde ettiğimiz bulgulara benzer olarak Rózyło vd. (2017)'nin çalışmasında da ekmeklere eklenen kahverengi alg miktarı arttıkça ekmeklerin sıklık değerinin düştüğü görülmüştür. Çizelge 4.9'da görüldüğü gibi, ekmek örneklerinin elastikiyet özelliği üzerine SP ve SPE ilavesinin etkisi istatistiksel olarak önemli değildir (p≥0,05).

4.2.2 Kontrol ve SP ve SPE ilaveli ekmeklerin hacim özellikleri

Ekmek örneklerinin hacim değerleri 5,2-5,9 g/ml arasında değişmiştir ve SP ve SPE ilaveli ekmeklerin kontrol örneklerine göre daha yüksek hacim değerlerine sahip olduğu görülmektedir ($p<0,05$). Örneklerin sıklık ve hacim özellikleri birlikte değerlendirildiğinde, daha sıkı yapıya sahip olan örneklerin daha düşük hacimde olduğu görülmektedir. Örneğin daha sıkı yapıdaki kontrol örneklerinin aynı zamanda diğer örnekler arasında en düşük hacim değerine sahip olduğu tespit edilmiştir (Çizelge 4.9). Çizelge 4.8’de görüldüğü gibi örneklerin su tutma kapasitesinin genellikle SP ve SPE ilavesi ile arttığı bu nedenle zenginleştirilmiş ekmek örneklerinin daha yüksek hacim değerine sahip olduğu söylenebilir. Çalışmamızdan farklı olarak Mamat vd. (2014) tarafından yapılan bir çalışmada, makroalg (denizyosunu) ilaveli ekmek örneklerinde eklenen makroalg miktarı arttıkça ekmek hacminin azaldığı tespit edilmiştir.

4.2.3 Kontrol ve SP ve SPE ilaveli ekmeklerin renk özellikleri

Renk analizi sonuçları incelendiğinde, örneklerin L^* , a^* ve b^* değerlerinin SP ve SPE ilavesi ile farklılaştığı görülmektedir ($p<0,05$, Çizelge 4.9). Örneklerin L^* değerlerinin 52,2 ile 60,8 arasında değiştiği ($p<0,05$), SP ve SPE ilavesi ile L^* değeri ile ifade edilen “parlaklık” özelliğinin azaldığı görülmektedir. Benzer olarak, Mamat vd. (2014)’nın ve Rózyło vd. (2017)’nin çalışmalarında da ekmeklere makroalg ilavesi ile parlaklık değerinin düştüğü tespit edilmiştir. Örneklerin b^* değeri ise 18,9-20,8 arasında değişmiştir. Benzer şekilde örneklerin a^* değeri olan “kırmızılık-yeşillik” değeri SP ve SPE ilavesi ile bir örnek (SP-%0,25) hariç yeşil renkli SP ve SPE ilavesi nedeni ile beklenildiği gibi arttığı görülmektedir ($p<0,05$). Rózyło vd. (2017)’nin çalışmasında da ekmeklere eklenen kahverengi alg miktarı arttıkça a^* değerinde artış rapor edilmiştir. Kısa (2019)’nın çalışmasında da üretilen erişte örneklerinin protein miktarı arttıkça L^* ve b^* değerlerinin düştüğü saptanmıştır. Bu çalışmada, erişte örnekleri arasında protein miktarı en yüksek olan ürünler *Spirulina platensis* tozu ile üretilen erişte örneklerinde olup, L^* ve b^* değerleri en düşük ürünler de *Spirulina platensis* tozu ile üretilen erişte örneklerinde gerçekleşmiştir.

Çizelge 4.9. *Spirulina platensis* ve *Spirulina platensis* protein ekstraktlarının %0,125, 0,25 ve 0,5 oranlarında ilave edildiği ekmeklerin sıklık, elastikiyet, hacim ve renk özellikleri.

Örnek	Sıklık (g)	Elastikiyet (%)	Hacim (ml/g)	Renk		
				L	a	b
Kontrol	919,4±34,7 ^a	49,6±0,0 ^a	5,2±0,1 ^g	60,8±0,4 ^a	4,4±0,5 ^f	20,8±0,2 ^a
SP-%0,125	836,3±4,6 ^{ab}	48,1±0,3 ^a	5,3±0,0 ^f	57,5±1,4 ^{abc}	6,2±0,7 ^b	20,8±0,0 ^a
SP-%0,25	676,2±33,4 ^b	47,9±1,5 ^a	5,7±0,1 ^c	60,5±1,7 ^{ab}	3,9±1,5 ^g	20,0±0,7 ^{ab}
SP-%0,5	696,2±1,9 ^b	47,7±0,1 ^a	5,5±0,0 ^e	53,3±0,1 ^{bc}	4,5±0,3 ^e	19,0±0,0 ^{ab}
SPE-%0,125	782,4±44,9 ^{ab}	47,8±0,2 ^a	5,8±0,0 ^b	55,3±3,1 ^{abc}	7,1±1,8 ^a	20,7±0,3 ^{ab}
SPE-%0,25	714,0±51,1 ^b	47,8±0,4 ^a	5,5±0,1 ^d	52,2±1,0 ^c	5,2±0,4 ^c	18,9±0,2 ^b
SPE-%0,5	764,6±36,7 ^{ab}	48,2±0,1 ^a	5,9±0,1 ^a	52,2±1,8 ^{abc}	5,1±1,2 ^d	19,1±0,0 ^{ab}

Herbir değer ortalama±standart sapma olarak verilmiştir (n=3). SP: *Spirulina platensis* tozu, SPE: *Spirulina platensis* protein ekstraktı. SP-%0,125, SP-%0,25 ve SP-%0,50: Sırasıyla %0,125, %0,25 ve %0,5 oranında SP ilaveli ekmek. SPE-%0,125, SPE-%0,25 ve SPE-%0,50: Sırasıyla %0,125, %0,25 ve %0,5 oranında SPE ilaveli ekmek. *: Kolondaki farklı harfler, Tukey testi tarafından istatistiksel olarak (p<0,05) farklılığı ifade etmektedir.

4.3 Kontrol ile SP ve SPE ilaveli ekmeklerin *in vitro* mide-bağırsak sindirimi

Çalışmanın bu kısmında kontrol ile SP ve SPE ilaveli ekmeklerin *in vitro* mide-bağırsak sindirim sırasında toplam fenolik madde, antioksidan aktivite ve % protein sindirilebilirliğindeki değişim araştırılmıştır.

4.3.1 *In vitro* mide-bağırsak sindirimi sırasında toplam fenolik maddedeki değişim

Örneklerin *in vitro* sindirim öncesi toplam fenolik madde içeriği 26,06±1,29 ile 31,69±0,09 mg GAE/100 g örnek arasında değişmiştir (Çizelge 4.10). Örneklerin *in vitro* mide-bağırsak sindirimi öncesi toplam fenolik madde içerikleri arasındaki farklılık istatistiksel olarak önemli değildir (p≥0,05). Çalışmamızdan farklı olarak, İlhan vd. (2020), %0,1, %0,5, %1,0, %3,0 *Spirulina platensis* ilaveli ekmek örneklerinde yaptıkları toplam fenolik madde içeriği tayininde en az toplam fenolik madde miktarını 118,22 mmol GAE/g olarak kontrol örneğinde, en fazla toplam fenolik madde miktarını ise 167,61 mmol GAE /g olarak %3 *Spirulina platensis* tozu katkılı ekmekte belirlemişlerdir. Tüm örneklerin toplam fenolik madde içeriği *in vitro* mide sindiriminden sonra sindirim öncesi örneklere göre önemli düzeyde daha yüksektir (p<0,05). Çalışmamıza benzer olarak, Chen vd. (2014) tarafından yürütülen bir çalışmada, 33 farklı meyveden bazılarının toplam fenolik madde içeriği ve antioksidan aktivitesi *in vitro* sindirimden sonra azalırken, bazılarının ise artmıştır. Gıda polifenollerini ile ilgili birçok literatür verisi sadece sulu organik ekstraktlarda çözünen bileşiklerle ilgilidir, fakat özellikle yüksek polimerizasyon derecesine sahip

ve yüksek molekül ağırlıklı bileşiklerle bağlantılı polifenoller, kullanılan standart ekstraksiyon yöntemleri ve çözücüler ile ekstrakte edilemediğinden, toplam fenolik madde içeriği *in vitro* sindirim öncesi düşük iken *in vitro* sindirim sırasında artabilir, çünkü bu polifenolik fraksiyonlar, ince bağırsaktaki sindirim enzimleri ve kalın bağırsakta bakteriyel bozulma etkisi ile gıda matrisinden serbest bırakıldıktan sonra biyoaktif hale gelebilir (Jenner vd., 2005). Diğer taraftan, çalışmamızda bazı örneklerin (SP-%0,125, SP-%0,25 ve SP-%0,5) *in vitro* bağırsak sindiriminden sonra toplam fenolik madde içeriğinde azalma meydana gelmiş olsa da bu azalma istatistiksel olarak önemli düzeyde gerçekleşmemiştir ($p \geq 0,05$). Chen vd. (2014, 2015) bu azalmanın polifenollerin *in vitro* bağırsak sindirim ortamındaki alkali koşullara karşı hassas olmasından kaynaklandığını bildirmişlerdir.

4.3.2 *In vitro* mide-bağırsak sindirimi sırasında antioksidan aktivitedeki değişim

Örneklerin CUPRAC yöntemi ile antioksidan aktivitesi *in vitro* sindirim öncesi kuru ağırlıkta $36,17 \pm 2,19$ ile $51,78 \pm 7,95$ mg TE/100 g olarak değişmiştir ($p \geq 0,05$) (Çizelge 4.10). SP-%0,125, SP-%0,5 ve SPE-%0,25'in antioksidan aktivitesi, *in vitro* mide sindiriminden sonra artış göstermiştir ($p < 0,05$). Benzer şekilde Chen vd. (2014 ve 2015)'nin çalışmalarında da *in vitro* sindirim sonrası bazı meyvelerin antioksidan aktivitesinde artış rapor edilmiştir. Örneklerin DPPH yöntemi ile antioksidan aktivitesi örneklerin DPPH radikaline yanıt vermemesi nedeni ile tespit edilememiştir. Karlıağa (2020)'nin çalışmasında *in vitro* bağırsak sindiriminden sonra başlangıç örneklerin DPPH değerlerinde toplam %97- 99 düzeyinde bir kayıp meydana gelmiştir. Benzer olarak Puangkam vd. (2017) ve Chen vd. (2015)'nin çalışmasında da bazı sebzelerin DPPH değeri *in vitro* mide-bağırsak sindiriminden sonra düşmüştür ve bu azalmanın nedeninin, pH değerinin yaklaşık 7,4 olduğu bağırsak sindirim ortamında antioksidan aktiviteye sahip bileşiklerin biyolojik reaktivitelerinin düşmesi olduğu ifade edilmiştir.

Çizelge 4.10. *Spirulina platensis* ve *Spirulina platensis* protein ekstraktlarının %0,125, 0,25 ve 0,5 oranlarında ilave edildiği ekmeklerin *in vitro* mide-bağırsak sindirim sırasında toplam fenolik madde ve antioksidan aktivitedeki değişim.

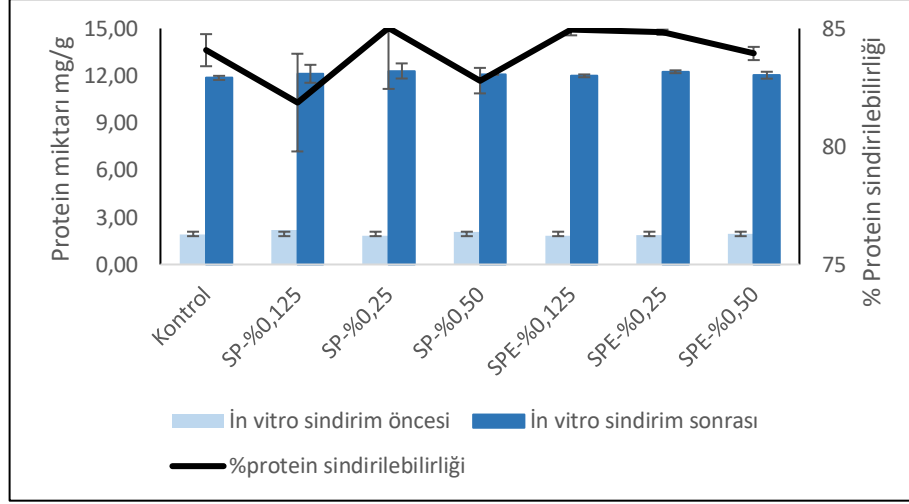
Örnek	Toplam fenolik madde (mg GAE/100 g kuru ağırlık)			CUPRAC (mg TE/100 g kuru ağırlık)		
	<i>In vitro</i> sindirim öncesi	Mide fazı	Bağırsak fazı	<i>In vitro</i> sindirim öncesi	Mide fazı	Bağırsak fazı
Kontrol	30,96±0,65 ^{b,x}	457,27±13,98 ^{a,x}	480,51±10,15 ^{a,x}	51,78±7,95 ^{a,x}	94,94±6,16 ^{a,x,y}	110,75±14,30 ^{a,x}
SP-%0,125	30,03±1,57 ^{b,x}	466,96±16,75 ^{a,x}	433,47±79,11 ^{a,x}	41,92±6,30 ^{c,x}	82,20±0,00 ^{b,y}	110,25±3,95 ^{a,x}
SP-%0,25	31,69±0,09 ^{b,x}	493,95±44,85 ^{a,x}	445,33±45,15 ^{a,x}	43,84±0,00 ^{b,x}	114,25±5,75 ^{a,x}	73,51±7,81 ^{b,x}
SP-%0,5	30,40±1,75 ^{b,x}	490,91±39,87 ^{a,x}	449,45±27,08 ^{a,x}	45,76±0,27 ^{b,x}	102,75±5,75 ^{a,x,y}	90,53±2,80 ^{a,x}
SPE-%0,125	29,20±1,11 ^{b,x}	438,99±11,77 ^{a,x}	551,11±71,89 ^{a,x}	36,17±2,19 ^{b,x}	114,25±0,82 ^{a,x}	114,47±10,82 ^{a,x}
SPE-%0,25	29,02±1,48 ^{b,x}	409,92±53,58 ^{a,x}	505,43±59,93 ^{a,x}	40,00±0,55 ^{b,x}	101,92±6,58 ^{a,x,y}	128,99±38,76 ^{a,x}
SPE-%0,5	26,06±1,29 ^{b,x}	483,02±15,37 ^{a,x}	488,60±8,45 ^{a,x}	37,81±0,82 ^{b,x}	116,72±4,80 ^{a,x}	128,01±17,21 ^{a,x}

Herbir değer ortalama±standart sapma olarak verilmiştir (n=3). SP: *Spirulina platensis* tozu, SPE: *Spirulina platensis* protein ekstraktı. SP-%0,125, SP-%0,25 ve SP-%0,50: Sırasıyla %0,125, %0,25 ve %0,5 oranında SP ilaveli ekmek. SPE-%0,125, SPE-%0,25 ve SPE-%0,50: Sırasıyla %0,125, %0,25 ve %0,5 oranında SPE ilaveli ekmek. *: a, b, c her bir satırdaki; x, y, z kolondaki, Tukey testi tarafından istatistiksel olarak (p<0,05) farklılığı ifade etmektedir.

4.3.3 *In vitro* mide-bağırsak sindirimi sırasında % protein sindirilebilirliğindeki değişim

Örneklerin *in vitro* mide-bağırsak sindirimi öncesi protein miktarı kuru ağırlıkta 11,86±0,13-12,30±0,48 mg/g olarak değişmiştir (p≥0,05) (Şekil 4.1). *In vitro* mide-bağırsak sindirimi sonrası ise örneklerin protein miktarları 2,19±0,15-1,81±0,04 mg/g arasında değişmiştir (p≥0,05). Çalışmamızda elde ettiğimiz bulgulara yakın olarak, S' wieca vd. (2013), soğan kabuğu ile zenginleştirilmiş ekmek örneklerinin *in vitro* sindirim öncesi protein miktarı en düşük kontrol örneğinde 13,30 mg/g olarak tespit edilmiştir. Yine aynı çalışmada *in vitro* sindirim sonrası ekmek örneklerinde en düşük

13,30 mg/g protein bulunduğu belirlenmiştir (S' wieca vd., 2013). Çalışmamızda örneklerin % protein sindirilebilirliği ise %81,86±2,07 ile %85,02±2,58 arasında değişmiştir ve örnekler arasındaki farklılık istatistiksel olarak önemli düzeyde değildir (p≥0,05) (Şekil 4.1). Bu değerler, S' wieca vd. (2013)'nin elde ettiği soğan kabuğu ile zenginleştirilmiş ekmek örneklerine ilişkin % protein sindirilebilirliği değerlerinden (%55,00-78,35) daha yüksektir.



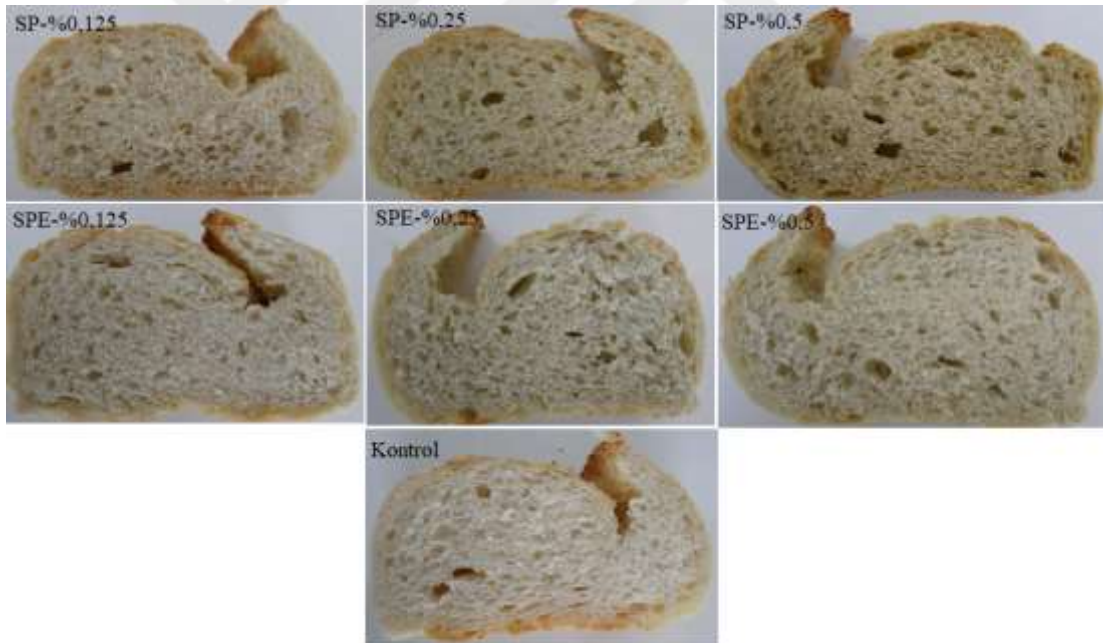
Herbir değer ortalama±standart sapma olarak verilmiştir (n=3). SP: *Spirulina platensis* tozu, SPE: *Spirulina platensis* protein ekstraktı. SP-%0,125, SP-%0,25 ve SP-%0,50: Sırasıyla %0,125, %0,25 ve %0,5 oranında SP ile zenginleştirilmiş ekmek. SPE-%0,125, SPE-%0,25 ve SPE-%0,50: Sırasıyla %0,125, %0,25 ve %0,5 oranında SPE ile zenginleştirilmiş ekmek.

Şekil 4.1. Kontrol ve *Spirulina platensis* ve *Spirulina platensis* protein ekstraktlarının %0,125, 0,25 ve 0,5 oranlarında ilave edildiği ekmeklerin *in vitro* sindirim sırasında protein miktarı ve %protein sindirilebilirliğindeki değişim.

4.4 Duyusal Analiz

Kontrol ve zenginleştirilmiş ekmek örneklerinin koku, kabuk ve iç rengi, ekmek içi gözenek büyüklüğü ve homojenliği, şekil, hacim, kabul edilebilirlik ve tercih edilebilirlik özellikleri açısından duyu analizi sonuçları Çizelge 4.11’de gösterilmiştir. Ekmek örneklerinin görsel görünüşleri Şekil 4.2 ve Şekil 4.3’de gösterilmiştir. Panelistler tarafından, SP-%0,5 en düşük koku değeri ($2,8 \pm 0,2$) ile puanlandırılmıştır ve örneklerin koku özelliği arasındaki farklılık istatistiksel olarak önemli düzeydedir ($p < 0,05$). Örnekler arasında en yüksek koku puanı kontrol örneği ve SPE-%0,125’e 3,6 olarak verilmiştir. Algilerin sahip oldukları balıksı kokuları nedeni ile duyu özellikleri ve tüketimi kısıtlanmaktadır. Bu çalışmada ilginç bir sonuç olarak, panelistler tarafından SP-%0,5 dışındaki tüm SP ve SPE ile zenginleştirilen ekmek örneklerinin, kontrol örneğine yakın koku özelliğinde olduğu değerlendirilmiştir. Kontrol ve zenginleştirilmiş ekmek örneklerinin kabuk ve ekmek içi rengi panelistler tarafından değerlendirilmiş ve örneklerin ekmek içi renkleri arasındaki farklılık önemli düzeyde değilken ($p \geq 0,05$), SPE-%0,50’nin diğer örneklerle göre daha iyi düzeyde kabuk rengine sahip olduğu değerlendirilmiştir ($p < 0,05$). Ekmek içi gözenek büyüklüğü değerleri $2,3 \pm 0,2$ ile $3,8 \pm 0,2$ arasında değişmiştir ve en

yüksek puan SPE-%0,50'ye verilmiştir ($p<0,05$). Benzer şekilde, SPE-%0,50'nin ekmek içi gözenek homojenliği ($3,8\pm0,2$), ekmek içi gözenek homojenliği ($3,6\pm0,0$), ekmek şekli ($4,2\pm0,2$), ekmek hacmi-kabarması ($4,4\pm0,0$) puanları diğer ekmek örneklerinden istatistiksel olarak önemli düzeyde daha yüksektir ($p<0,05$). Örneklerin kabul edilebilirlik puanları en düşük $2,7\pm0,2$ ile SP-%0,50'ye en yüksek $3,9\pm0,1$ ile SPE-%0,50'ye aittir ($p<0,05$). Kontrol ve zenginleştirilmiş ekmek örnekleri incelenen tüm duyu özellikleri ile birlikte değerlendirildiğinde, panelistler tarafından en tercih edilebilir ekmek örneği $3,6\pm0,1$ puan ile SPE-%0,50'dir. İlhan vd., (2020) yaptıkları çalışmada ekledikleri %0,1, %0,5, %1,0, %3,0, oranlarındaki *Spirulina platensis*'li ekmek örneklerinde yapılan duyu analiz sonuçlarında %0,1 ile %0,5 SP ilaveli örnekler kabul edilebilir olarak belirlenmiştir. Aydemir ve Öner (2020)'in çalışmasında ise %0,25, %0,5, %0,75, %1,0 *Spirulina platensis* ilaveli yoğurt örneklerinde yapılan duyu analiz sonuçlarında kontrol örneğinden sonra %0,25 ilaveli örnek kabul edilebilir olarak belirlenmiştir.



Şekil 4.2. Kontrol ve *Spirulina platensis* ve *Spirulina platensis* protein ekstraktlarının %0,125, 0,25 ve 0,5 oranlarında ilave edildiği ekmeklerin görsel görünüşleri.



Şekil 4.3. Kontrol ve *Spirulina platensis* ve *Spirulina platensis* protein ekstraktlarının %0,125, 0,25 ve 0,5 oranlarında ilave edildiği ekmeklerin görsel görünümleri.

Çizelge 4.11. Kontrol ve zenginleştirilmiş ekmek örneklerinin koku, kabuk ve iç rengi, ekmek içi gözenek büyüklüğü ve homojenliği, şekil, hacim, kabul edilebilirlik ve tercih edilebilirlik özellikleri açısından duyuusal analizi.

Örnek	Koku	Renk		Ekmek içi gözenek büyüklüğü	Ekmek içi gözenek homojenliği	Ekmek şekli	Ekmek hacmi-kabarması	Kabul edilebilirlik	Tercih edilebilirlik
		Kabuk	İç						
Kontrol	3,6±0,0 ^a	2,5±0,1 ^b	3,1±0,1 ^a	2,3±0,2 ^b	2,4±0,1 ^b	3,1±0,2 ^b	2,3±0,2 ^c	3,1±0,2 ^{ab}	2,5±0,1 ^d
SP-%0,125	3,5±0,0 ^a	2,6±0,0 ^b	3,1±0,2 ^a	2,7±0,1 ^b	2,6±0,0 ^b	3,3±0,1 ^b	2,6±0,1 ^c	3,3±0,1 ^{ab}	2,8±0,0 ^{cd}
SP-%0,25	3,3±0,2 ^{ab}	3,1±0,2 ^{ab}	3,2±0,3 ^a	2,9±0,1 ^b	2,8±0,2 ^b	3,4±0,0 ^{ab}	2,8±0,1 ^c	3,1±0,2 ^{ab}	2,8±0,1 ^{cd}
SP-%0,5	2,8±0,2 ^b	3,4±0,1 ^{ab}	3,0±0,1 ^a	2,7±0,1 ^b	2,7±0,1 ^b	3,1±0,1 ^b	3,0±0,2 ^{bc}	2,7±0,2 ^b	2,4±0,0 ^d
SPE-%0,125	3,6±0,1 ^a	3,0±0,2 ^{ab}	3,4±0,1 ^a	2,7±0,1 ^b	2,7±0,2 ^b	3,3±0,1 ^b	2,8±0,0 ^c	3,2±0,0 ^{ab}	3,1±0,1 ^{bc}
SPE-%0,25	3,5±0,0 ^a	3,4±0,3 ^{ab}	3,4±0,1 ^a	3,2±0,1 ^{ab}	3,1±0,2 ^{ab}	3,7±0,2 ^{ab}	3,7±0,2 ^{ab}	3,5±0,1 ^{ab}	3,4±0,0 ^{ab}
SPE-%0,5	3,4±0,1 ^{ab}	3,9±0,1 ^a	3,4±0,1 ^a	3,8±0,2 ^a	3,6±0,0 ^a	4,2±0,2 ^a	4,4±0,0 ^a	3,9±0,1 ^a	3,6±0,1 ^a

Herbir değer ortalama±standart sapma olarak verilmiştir (n=3). SP: *Spirulina platensis* tozu, SPE: *Spirulina platensis* protein ekstraktı, SP-0,125: %0,125 oranında *Spirulina platensis* tozu ilave edildiği ekmek. SP-%0,125, SP-%0,25 ve SP-%0,50: Sırasıyla %0,125, %0,25 ve %0,5 oranında SP ile zenginleştirilmiş ekmek. SPE-%0,125, SPE-%0,25 ve SPE-%0,50: Sırasıyla %0,125, %0,25 ve %0,5 oranında SPE ilave edildiği ekmek. *: Kolondaki farklı harfler, Tukey testi tarafından istatistiksel olarak (p<0,05) farklılığı ifade etmektedir.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Spirulina platensis mikroalgi yüksek protein içeriği nedeni ile önemli bir gıda kaynağıdır. Bu çalışmada öncelikle, *Spirulina platensis* ve *Spirulina platensis* protein ekstraktları ile zenginleştirilmiş buğday ununun reolojik ve teknofonksiyonel özellikleri araştırılmıştır. Çalışmanın bir sonraki kısmında ise SP ve SPE ilaveli unlar ile üretilen ekmek örneklerinin tekstürel, duyuşal ve renk özelliklerinin yanı sıra, *in vitro* sindirim sırasında toplam fenolik madde, antioksidan aktivite ve % protein sindirilebilirliğindeki değişim araştırılmıştır. Çalışmanın sonuçlarına göre, su tutma kapasitenin artırılması dışında zenginleştirilmiş un örneklerinin diğer kalite özelliklerinde önemli düzeyde bir değişiklik olmamıştır. Tekstür analizinin sonuçlarına göre SP ve SPE ile zenginleştirilmiş ekmek örneklerinin kontrol örneğine göre daha az sıkı yapıya ve daha yüksek hacim değerine sahip olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca zenginleştirilmiş ekmek örneklerinin kontrol örneklerine göre duyuşal özellikler bakımından daha tercih edilebilir olduğu görülmüştür. Diğer taraftan, ekmek örneklerinin *Spirulina platensis* ya da *Spirulina platensis*'den elde edilen protein ekstraktları ile zenginleştirilmesi, örneklerin toplam fenolik madde ve antioksidan aktivite ile % protein sindirilebilirliği üzerinde herhangi bir değişikliğe yol açmamıştır. Bu nedenle, gelecek çalışmalarda, *Spirulina platensis* ve *Spirulina platensis* protein ekstraktlarının farklı oranlarda katılması ile elde edilen ekmek örneklerinde reolojik, teknofonksiyonel ve duyuşal özelliklerinin iyileştirilmesinin yanı sıra, özellikle antioksidan aktivitede artış sağlanması hedeflenebilir.

KAYNAKLAR

- AACC.,1986. American Association of Cereal Chemists: Approved methods of the AACC, methods 74-09, Eighth Edition, St. Paul, MN.
- AACC., 1990. American Association of Cereal Chemists: Approved methods of the AACC, methods 26-95, Eighth Edition, St. Paul, MN.
- AACC., 2000. American Association of Cereal Chemists: Approved methods of the AACC, methods 46-30, 54-50, 54-21, 38-21A, 26-21A, Tenth Edition, St. Paul, MN.
- AACC., 2008. American Association of Cereal Chemists: Approved methods of the AACC, methods 10-05, Tenth Edition, St. Paul, MN.
- AOAC, 1990. Association of Official Analytical Chemists: Official Methods of Analysis, Fifteenth Edition, Washington, DC.
- Abbasi, H., Ardabili, S.M.S., Emam-Djomeh, Z.A.H.R.A., Mohammadifar, M.A., Zekri, M. ve Aghagholizadeh, R., 2012. Prediction of Extensograph Properties of Wheat-Flour Dough: Artificial Neural Networks and A Genetic Algorithm Approach, Journal of Texture Studies, 43, 4, 326-337.
- Abd El Baky, H.H., El Baroty, G.S. ve Ibrahem, E.A., 2015. Functional characters evaluation of biscuits sublimated with pure phycoyanin isolated from *Spirulina* and *Spirulina biomass*, Nutricion Hospitalaria, 32, 1, 231-241.
- Achour, H.Y., Doumandji, A., Sadi, S. ve Saadi, S., 2014. Evaluation of nutritional and sensory properties of bread enriched with *Spirulina*, Annals. Food Science and Technology, 15, 270-5.
- Al Hamadı, A., 2017. *Spirulina platensis* ve *Chlorella vulgaris* ile boyar madde giderimi, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Apak, R., Güçlü, K., Özyürek, M. ve Karademir, S.E., 2004. Novel total antioxidant capacity index for dietary polyphenols and vitamins C and E, using their cupric ion reducing capability in the presence of neocuproine: CUPRAC method, Journal of Agricultural and Food Chemistry, 52, 26, 7970-7981.
- Arslan, M., 2015. Diyetimizde yer alan bazı sebzelerdeki fenolik bileşiklerin *in vitro* sindirim uygulaması ile biyoyararlılıklarının belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Celal Bayar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Manisa.
- Arslan, R., 2018. Gıda ve gıda katkısı olarak kullanılan *Spirulina platensis* mikroalginden elde edilen protein ve pigmentlerin biyoaktif özellikleri, Yüksek Lisans Tezi, Mersin Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Mersin.
- Atak, E. ve Uslu, M.E., 2018. Fenolik bileşikler, ekstraksiyon, metotları ve analiz yöntemleri, MCBÜ Soma Meslek Yüksek Okulu Teknik Bilimler Dergisi, 27, 3.

- Atlı, C.S., 2020. Sofralık zeytinlerin toplam fenolik madde antioksidan kapasite ve biyoalınabilirlikler üzerine işleme yöntemlerinin etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa.
- Aydemir, S. ve Öner, Z., 2020. Farklı konsantrasyonlarda *Spirulina platensis* eklenmiş yoğurtların kimyasal ve mikrobiyolojik özellikler, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 24, 3, 553-565.
- Aydoğan, S., Göçmen Akcacak A., Şahin, M., Kaya, Y., Koç, H., Görgülü, M. ve Ekici, M., 2012. Ekmeklik buğday unlarında alveograf, farinograf ve miksografta ölçülen reolojik özellikler arasındaki ilişkinin belirlenmesi, Süleyman Demirel Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 7, 1, 74-82.
- Aydoğan, S., Göçmen Akcacak, A., Şahin, M., Önmez, H., Demir, B. ve Yakışır, E., 2013. Ekmeklik buğday çeşitlerinde fizikokimyasal ve reolojik özelliklerin belirlenmesi, Tarla Bitkileri Merkez Araştırma Enstitüsü Dergisi, 2013, 22, 2, 74-85.
- Bashir, K., Swer, T. L., Prakash, K.S. ve Aggarwal, M., 2017. Physico-chemical and functional properties of gamma irradiated whole wheat flour and starch, LWT-Food Science and Technology, 76, 131-139.
- Başıyigit, M., ve Baydar, H., 2017. Tıbbi adaçayı (*Salvia officinalis l.*)’nda farklı hasat zamanlarının uçucu yağ ve fenolik bileşikler ile antioksidan aktivite üzerine etkisi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 21, 1, 131-137.
- Bayram, M.E., 2016. Ekmeklik buğday genotiplerinde yüksek ve düşük molekül ağırlıklı glutenin allellerinin belirlenmesi, verim ve kaliteyle ilişkileri, Doktora Tezi, Namık Kemal Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tekirdağ.
- Berköz, M., Yalın, S., Güler, V.G. ve Yalçın, A., 2008. Akut lösemilerde lipid peroksidasyonu ve antioksidan enzim aktivitesi, Erciyes Tıp Dergisi, 30, 3, 157-162.
- Benelhadj, S., Gharsallaoui, A., Degraeve, P., Attia, H. ve Ghorbel, D., 2016. Effect of pH on the functional properties of *Arthrospira (Spirulina) platensis* protein isolate, Food Chemistry, 194, 1056-1063.
- Bermejo, P., Pinero, E. ve Villar, A.M., 2008. Iron-chelating ability and antioxidant properties of phycocyanin isolated from a protean extract of *Spirulina platensis*. Food Chemistry, 110, 2, 436-445.
- Bilgiçli, N. ve Soylu, S., 2016. Buğday ve un kalitesinin sektörel açıdan değerlendirilmesi, Bahri Dağdaş Bitkisel Araştırma Dergisi Journal of Bahri Dagdas Crop Research, 5, 2, 58-67.
- Bulut, S., 2012. Ekmeklik buğdayda kalite, Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 28, 5, 441-446.

- Burešová, I., Kráčmar, S., Dvořáková, P. ve Středa, T., 2014. The relationship between rheological characteristics of gluten-free dough and the quality of biologically leavened bread, *Journal of Cereal Science*, 60, 2, 271-275.
- Campanella, L., Crescentini, G., ve Avino, P., 1999. Chemical composition and nutritional evaluation of some natural and commercial food products based on *Spirulina*, *Analisis*, 27, 6, 533-540.
- Cansız, Z., Candal Uslu, C., Mutlu, C., Arslan Tontul, S., Ercan, R. ve Erbaş, M., 2020. Farklı oranlarda peynir altı suyu kullanımının beyaz ve tam buğday unlarından üretilen ekmeklerin bazı özellikleri üzerine etkisi, *Gıda*, 45, 1, 125-138.
- Chamorro-Cevallos, G., Garduño-Siciliano, L., Barrón, B.L., Madrigal-Bujaidar, E., Cruz-Vega, D.E. ve Pages, N., 2008. Chemoprotective effect of *Spirulina* (Arthrospira) against cyclophosphamide-induced mutagenicity in mice, *Food and Chemical Toxicology*, 46, 2, 567-574.
- Chen, G.L., Chen, S.G., Zhao, Y.Y., Luo, C.X., Li, J. ve Gao, Y.Q., 2014. Total phenolic contents of 33 fruits and their antioxidant capacities before and after *in vitro* digestion, *Industrial Crops and Products*, 57, 150-157.
- Chen, G.L., Chen, S.G., Xie, Y.Q., Chen, F., Zhao, Y.Y., Luo, C.X. ve Gao, Y.Q., 2015. Total phenolic, flavonoid and antioxidant activity of 23 edible flowers subjected to *in vitro* digestion, *Journal of Functional Foods*, 17, 243-259.
- Çelik, E., 2008 Ekmek yapımında kullanılan bazı katkı maddelerinin ekmek kalitesi ve bayatlama özellikleri üzerine etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyon.
- Çeliker, G., 2019. Buğday standardına göre aynı kategoride yer alan ekmeklik buğday çeşitlerinin farinograf ve ekstensograf özelliklerinin belirlenerek tmo hububat alım kriterleri ile uyumluluğunun incelenmesi ve glutopik analizinin bu sınıflandırma ve değerlendirme çerçevesinde kullanılabilirliğinin belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Korkut Ata Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Osmaniye.
- Dalkavriyan, S., 2011 *Spirulina platensis*'ten süperoksit dismütaz (SOD) enziminin saflaştırılması ve karakterizasyonu, Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.
- Das, P.C., Khan, M.J., Rahman, M.S., Majumder, S. ve Islam, M.N., 2019. Comparison of the physico-chemical and functional properties of mango kernel flour with wheat flour and development of mango kernel flour based composite cakes, *NFS journal*, 17, 1-7.
- De Marco, E.R., Steffolani, M.E., Martínez, C.S. ve León, A.E., 2014. Effects of *Spirulina* biomass on the technological and nutritional quality of bread wheat pasta. *LWT-Food Science and Technology*, 58, 1, 102-108.

- De Marco Castro, E., Shannon, E., & Abu-Ghannam, N., 2019. Effect of fermentation on enhancing the nutraceutical properties of *Arthrospira platensis* (*Spirulina*), *Fermentation*, 5, 1, 28.
- De Oliveira, M.A.C.L., Monteiro, M.P. C., Robbs, P.G. ve Leite, S.G.F., 1999. Growth and chemical composition of *Spirulina maxima* and *Spirulina platensis* biomass at different temperatures, *Aquaculture International*, 7, 4, 261-275.
- Duru, M.D. ve Yılmaz, H.K., 2013. Mikroalglerin pigment kaynağı olarak balık yemlerinde kullanımı, *Türk Bilimsel Derlemeler Dergisi*, 6, 2, 112-118.
- El-Tantawy, W.H., 2015. Antioxidant effects of *Spirulina* supplement against lead acetate-induced hepatic injury in rats, *Journal of Traditional and Complementary Medicine*, 6, 4, 327-331.
- Estrada, J.P., Bescós, P.B. ve Del Fresno, A.V., 2001. Antioxidant activity of different fractions of *Spirulina platensis* protean extract, *II Farmaco*, 56, 5-7, 497-500.
- Gad, A.S., Khadrawy, Y.A., El-Nekeety, A. A., Mohamed, S. R., Hassan, N. S. ve Abdel-Wahhab, M. A., 2011. Antioxidant activity and hepatoprotective effects of whey protein and *Spirulina* in rats, *Nutrition*, 27, 5, 582-589.
- Giami, S.Y. ve Bekebain, D.A., 1992. Proximate composition and functional properties of raw and processed full-fat fluted pumpkin (*Telfairia occidentalis*) seed flour, *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 59, 3, 321-325.
- Göçmen, D., 1993. Un ve katkı maddelerinin ekmek kalite ve bayatlamasına etkileri, *Gıda*, 15, 5, 325-331.
- İlhan, E., Büyükişgi, A.N. ve Ermiş, E., 2020. Mavi-yeşil alg *Spirulina platensis*'in buğday ekmeğinde kimyasal, duyuşal ve antifungal etkisi, *Gıda ve Yem Bilimi - Teknolojisi Dergisi / Journal of Food and Feed Science – Technology*, 24, 22-29.
- Jenner, A.M., Rafter, J. ve Halliwell, B., 2005. Human fecal water content of phenolics: the extent of colonic exposure to aromatic compounds, *Free Radical Biology and Medicine*, 38, 6, 763–772.
- Karababa, E. ve Ozan, A.N., 1998. Effect of wheat bug (*Eurygaster integriceps*) damage on quality of a wheat variety grown in Turkey, *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 77, 3, 399-403.
- Karataş, F., 2019. Hatay bölgesinde yetiştirilen ekmeklik buğday genotiplerinin agronomik ve ekmeklik kalite karakteristiklerinin belirlenmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, Hatay Mustafa Kemal Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Hatay.
- Kargın-Yılmaz, H. ve Duru, M.D., 2011. Syanobakteri *Spirulina platensis*'in besin kimyası ve mikrobiyolojisi, *Türk Bilimsel Derlemeler Dergisi*, 4, 1, 31-43.

- Karlıağa, E.S., 2020. *Spirulina Platensis*'ten elde edilen biyoaktif peptitlerin enkapsülasyonu ve antioksidan özelliklerinin belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Kendirli, K., 2010 *Spirulina* kültürlerinde besin elementlerinin farklı oranlarda kullanımının kuru madde, protein ve klorofil-a düzeyine etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.
- Kent, N.L., 1984. Cereals of the world: grain structure, Technology of Cereals, 1626.
- Kepekçi, R.A., 2011 *Spirulina platensis*'in antioksidan üretiminin indüklenmesi ve karaciğer koruyucu etkisinin incelenmesi, Doktora Tezi, Gaziantep Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gaziantep.
- Keskin, Ş. ve Kaplan Evlice, A., 2015. Fırın ürünlerinde kinoa kullanımı, Tarla Bitkileri Merkez Araştırma Enstitüsü Dergisi, 24, 2, 150-156.
- Kılıç, T., 2018. *Spirulina platensis*'ten elde edilen fikobiliproteinlerin izolasyonu, karakterizasyonu ve biyolojik aktiviteleri, Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- Kısa, H., 2019. Erişte üretiminde farklı un katkılarının (balık unu, çekirge unu, un kurdu unu ve *Spirulina* tozu) kullanım imkanlarının araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Hamdullah Emin Paşa Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Alanya.
- Koppel, R. ve Ingver, A., 2010. Stability and predictability of baking quality of winter wheat, Agronomy Research, 8, 3, 637-644.
- Kurt, M., 2019. Ekmeklik buğdaylara (*Triticum aestivum* L.) iki kez uygulanan tavlama işleminin unun kimyasal, teknolojik, reolojik ve ekmeklik özelliklerine etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Korkut Ata Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Osmaniye.
- Kumaran, A., 2006. Antioxidant and free radical scavenging activity of an aqueous extract of *Coleus aromaticus*, Food Chemistry, 97, 1, 109-114.
- Lee, J.Y., Kang, S.H. ve Kim, M.R., 2011. Changes in the quality characteristics and antioxidant activities of *spirulina* added bread during storage, Korean Journal of Food Preservation, 18, 1, 111-118.
- Lowry, O.H., Rosebrough, N.J., Farr, A.L. ve Randall, R.J., 1951. Protein measurement with the Folin phenol reagent, Journal of Biological Chemistry, 193, 265-275.
- Mamat, H., Matanjun, P., Ibrahim, S., Amin, S.F.M., Hamid, M.A. ve Rameli, A.S., 2014. The effect of seaweed composite flour on the textural properties of dough and bread. Journal of Applied Phycology, 26, 2, 1057-1062.

- Miś, A., Grundas, S., Dziki, D. ve Laskowski, J., 2012. Use of farinograph measurements for predicting extensograph traits of bread dough enriched with carob fibre and oat wholemeal, *Journal of Food Engineering*, 108, 1, 1-12.
- Nwosu, J.N., Owuamanam, C.I., Omeire, G.C. ve Eke, C.C., 2014. Quality parameters of bread produced from substitution of wheat flour with cassava flour using soybean as an improver, *American Journal of Research Communication*, 2, 3, 99-118.
- Okan, O.T., Varlıbaş, H., Öz, M. ve Deniz, İ., 2013. Antioksidan analiz yöntemleri ve doğu karadeniz bölgesinde antioksidan kaynağı olarak kullanılabilir odun dışı bazı bitkisel ürünler, *Kastamonu Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, 13, 1, 48-59.
- Onuegbu, N.C., Ihediohanma, N.C., Odunze, O.F. ve Ojukwu, M., 2013. Efficiency of wheat: maize composite flour as affected by baking method in bread and cake production, *Sky Journal of Food Science*, 2, 8, 005-013.
- Öncü, G., 2014. Gıda matrisinin *in vitro* sindirim sırasında vizkozite ve protein degradasyonu üzerine etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü İzmir.
- Özenç, B., 2011 *Fumaria officinalis* 'un antioksidan aktivitesinin belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- Özkaya, H. ve Özkaya, B., 2005. Tahıl ve ürünleri analiz yöntemleri, *Gıda Teknolojisi Derneği Yayınları*, 2, 31, 157.
- Öztan, T., 2006. Mor havuç, konsantresi, şalgam suyu, nar suyu ve nar ekşisi ürünlerinde antioksidan aktivitesi tayini ve fenolik madde profilinin belirlenmesi, Yüksek lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Pelizer, L.H., de Carvalho, J.C.M., ve de Oliveira Moraes, I., 2015. Protein production by *Arthrospira (Spirulina) platensis* in solid state cultivation using sugarcane bagasse as support, *Biotechnology Reports*, 5, 70-76.
- Pomeranz, Y., 1988. Chemical composition of kernel structures, pp.97-158 in Pomeranz, Y. (Editor), *Wheat: Chemistry and Technology*, American Association of Cereal Chemists, Eagan, USA.
- Puangkam, K., Muanghorm, W. ve Konsue, N., 2017. Stability of bioactive compounds and antioxidant activity of Thai cruciferous vegetables during *in vitro* digestion, *Current Research in Nutrition and Food Science Journal*, 5, 2, 100-108.
- Ram, S., Dawar, V., Singh, R.P. ve Shoran, J., 2005. Application of solvent retention capacity tests for the prediction of mixing properties of wheat flour, *Journal of Cereal Science*, 42, 2, 261-266.

- Rothkaehl J., 2004. Determination of the rheological properties of dough from domestic wheat flour (in Polish), ZPZiP IBPRS, Warszawa.
- Rózyło, R., Hameed Hassoon, W., Gawlik-Dziki, U., Siastała, M. ve Dziki, D., 2017. Study on the physical and antioxidant properties of gluten-free bread with brown algae, *CyTA-Journal of Food*, 15, 2, 196-203.
- Saka, M., 2019. Yulaf kepeği katkılı ekmeklerin fonksiyonel ve kalite özelliklerine ekmek yapım yöntemlerinin etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Sarker, M.Z.I., Yamauchi, H., Kim, S.J., Matsumura-Endo, C., Takigawa, S., Hashimoto, N. ve Noda, T., 2008. A farinograph study on dough characteristics of mixtures of wheat flour and potato starches from different cultivars, *Food Science and Technology Research*, 14, 2, 211-216.
- Servet, Ö. ve Akman, Z., 2014. Yozgat ekolojik koşullarında bazı ekmeklik buğday çeşitlerinin verim ve kalite özelliklerinin belirlenmesi, *Ziraat Fakültesi Dergisi*, 10, 1, 35-43.
- Seyidoğlu, N., 2015. Tavşanlarda *Spirulina platensis* ve canlı maya kültürü *Saccharomyces cerevisiae*'nin bağışıklık sistemi ve büyüme performansı üzerine etkisi, Doktora Tezi, Uludağ Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Bursa.
- Słowik E., 2006. Determination of the quality of flour – the commonly used methods (in Polish), *Przegląd Piekarski i Cukierniczy*, 54, 11, 14-18.
- Soni, R.A., Sudhakar, K. ve Rana, R. S., 2017. *Spirulina*–From growth to nutritional product: A review, *Trends in Food Science & Technology*, 69, 157-171.
- Stanic-Vucinic, D., Minic, S., Nikolic, M.R., ve Velickovic, T.C., 2018. *Spirulina* phycobiliproteins as food components and complements, *Microalgal Biotechnology*, 129-149.
- Stojceska, V. ve Butler, F., 2008. Digitization of farinogram plots and estimation of mixing stability, *Journal of Cereal Science*, 48, 3, 729-733.
- Stone, A.K., Karalash, A., Tyler, R.T., Warkentin, T.D., ve Nickerson, M.T., 2015. Functional attributes of pea protein isolates prepared using different extraction methods and cultivars, *Food Research International*, 76, 31-38.
- Şahin, B., 2019. Glutensiz buğday ekmeği üretimi, Yüksek Lisans Tezi, Mersin Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Mersin.
- Şahin, M., Akcacık Göçmen, A., Aydoğan, S., Demir, B., Hamzaoğlu, S., Mecitoğlu Güçbilez, Ç., Gür, S., ve Yakışır, E., 2019. Kuru ve sulu şartlarda yetiştirilen ekmeklik buğday genotiplerinin farklı reolojik analiz cihazları ile kalite ve teknolojik özelliklerinin değerlendirilmesi, *Bahri Dağdaş Bitkisel Araştırma Dergisi Journal of Bahri Dagdas Crop Research*, 8, 2, 216-231.

- Toor, R. K. ve Savage, G.P., 2006. Changes in major antioxidant components of tomatoes during post-harvest storage, *Food Chemistry*, 99, 4, 724-727.
- Türk, S., 2013. Göller bölgesi'nde bulunan un fabrikaları tarafından kullanılan yerel ve ithal ekmeçlik buğdayların fiziksel, kimyasal ve teknolojik özellikleri ile ekmeç kalitelerinin belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.
- Vo, T., Ngo, D., ve Kim, S., 2016. Nutritional and pharmaceutical properties of microalgal *Spirulina*, pp. 299-308, in Kim S.K. (Editor), *Handbook of Marine Microalgae: Biotechnology Advances*, Elsevier Inc, UK.
- Wang, L., Pan, B., Sheng, J., Xu, J. ve Hu, Q., 2007. Antioxidant activity of *Spirulina platensis* extracts by supercritical carbon dioxide extraction, *Food Chemistry*, 105, 1, 36-41.
- Yılmaz, İ., 2010. Antioksidan içeren bazı gıdalar ve oksidatif stres, İnönü Üniversitesi Tıp Fakültesi Dergisi, 17, 2, 143-153.
- Yucetepe, A., Saroğlu, O., Bildik, F., Özçelik, B. ve Daskaya-Dikmen, C., 2018. Optimisation of ultrasound-assisted extraction of protein from *Spirulina platensis* using RSM, *Czech Journal of Food Sciences*, 36, 1, 98-108.
- Yucetepe, A. ve Özçelik, B., 2016. Bioactive peptides isolated from microalgae *Spirulina platensis* and their biofunctional activities, *Akademik Gıda*, 14, 4, 412-417.
- Yucetepe, A., Saroğlu, Ö. ve Özçelik, B., 2019. Response surface optimization of ultrasound-assisted protein extraction from *Spirulina platensis*: investigation of the effect of extraction conditions on techno-functional properties of protein concentrates, *Journal of Food Science and Technology*, 56, 7, 3282-3292.
- Zelleny, L., 1947. A simple sedimentation test for estimating the bread-baking and gluten qualities of wheat flour., *Cereal Chemistry*, 24, 465-475.
- Zlateva, D., ve Chochkov, R., 2019. Effect of *Spirulina platensis* on the crumb firming of wheat bread during storage, *Ukrainian Food Journal*, 8, 4.
- Zlateva, D., Petrova, M. ve Stefanova, D., 2019. Influence of *Spirulina platensis* on the content of iron and zinc in wheat bread, department of commodities science, faculty of economics, *Food Science and Applied Biotechnology*, 2, 2, 159-165.

EKLER

TARİH:

DUYUSAL ANALİZ FORMU

Panelist

Adı soyadı:

Yaş:

Talimatlar

Size verilen örnekleri belirtilen özelliklere göre aşağıdaki skalayı kullanarak değerlendiriniz. Varsa tercih ettiğiniz örneği belirtiniz.

Skala

5: Çok iyi

4: İyi

3: Kabul edilebilir

2: Zorlukla kabul edilebilir

1: Kabul edilemez

Değerlendirme

Örnek No	Koku	Renk		Ekmek içi gözenek büyüklüğü	Ekmek içi gözenek homojenliği	Ekmek şekli	Ekmek hacmi-kabarması	Kabul edilebilirlik	Tercih edilebilirlik
		Kabuk	İç						
1									
2									
3									
4									
5									
6									
7									
8									
9									
10									
11									
12									
13									
14									

ÖZGEÇMİŞ

Adı ve Soyadı : MELTEM YILMAZ

EĞİTİM BİLGİLERİ (Kurum ve Yıl)

Lisans : Aksaray Üniversitesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, 2014-2018

MESLEKİ DENEYİM VE ÖDÜLLERİ

1. Polen Gıda/ Yaz Stajı
2. Altaylar Group / Yaz Stajı
3. Erke ADK Gıda/ Gıda Mühendisi

