



**TÜRKİYE CUMHURİYETİ
ADANA ALPARSLAN TÜRKER BİLİM VE TEKNOLOJİ
ÜNİVERSİTESİ**

**LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
GIDA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

***SPIRULINA PLATENSIS* İLAVELİ FERMENTE SÜT ÜRÜNÜNÜN
DEPOLAMA SÜRECİNDE BİYOAKTİF, FİZİKSEL, TEKSTÜREL VE
DUYUSAL ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ**

**NURAY GÖZEN
YÜKSEK LİSANS TEZİ**



**TÜRKİYE CUMHURİYETİ
ADANA ALPARSLAN TÜRKER BİLİM VE TEKNOLOJİ
ÜNİVERSİTESİ**

**LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
GIDA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

***SPIRULINA PLATENSIS* İLAVELİ FERMENTE SÜT ÜRÜNÜNÜN
DEPOLAMA SÜRECİNDE BİYOAKTİF, FİZİKSEL, TEKSTÜREL VE
DUYUSAL ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ**

**NURAY GÖZEN
YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**DANIŞMAN
DR. ÖĞR. ÜYESİ LEVENT YURDAER AYDEMİR**

ADANA, 2022

BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK BEYANNAMESİ

Adana Alparslan Türkeş Bilim ve Teknoloji Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü tez yazım kurallarına uygun olarak, bilimsel ahlak ve geleneklere aykırı düşecek bir yol ve yardıma başvurmaksızın hazırladığım bu tez çalışmada;

Bu tezin özgün bir çalışma olduğunu; çalışmamın hazırlık, veri toplama, analiz ve bilgilerin akademik kurallara ve etik davranışa uygun olarak elde edilerek sunulduğunu beyan ederim. Ayrıca, tez kapsamında bu kuralların ve davranışların gerektirdiği şekilde bu çalışmaya özgün olmayan tüm veri ve bilgiler için bilimsel etik ve gelenek çerçevesinde kaynak gösterdiğimi; bu kaynakları da kaynakçada belirttiğimi beyan ederim. Çalışmam ile ilgili yaptığım beyana aykırı bir durum saptanması halinde tüm ahlaki ve hukuki sonuçları kabul ettiğimi bildiririm.

....../....../2022

[İmza]

Nuray GÖZEN

ÖZET

***SPIRULİNA PLATENSİS* İLAVELİ FERMENTE SÜT ÜRÜNÜNÜN DEPOLAMA SÜRECİNDE BİYOAKTİF, FİZİKSEL, TEKSTÜREL VE DUYUSAL ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ**

Nuray GÖZEN

Yüksek Lisans, Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Levent Yurdaer AYDEMİR

Eylül 2022, 82 sayfa

Gelişen gıda teknolojisi ile beraber günümüzde insanlar beslenme konusunda, tek öğünde dahi maksimum besin öğelerine ulaşmayı hedeflemektedir. Bununla birlikte yüksek proteinli gıdaların popülerliği artmıştır. Protein içeriği yükseltilmiş süt ve fermente süt ürünleri raflarda yerini alırken, bu ürünlerin protein kaynakları veya nasıl üretildikleri tartışılır hale gelmiştir.

Spirulina platensis bitkisel kaynaklı, yüksek protein içeriğine sahip planktonik mavi-yeşil siyanobakterilerdir. Bu tez çalışmasında, yosun olarak da bilinen *Spirulina*'nın, içerdiği besin değerleri ele alınarak, terapötik etkisi ve protein içeriği yüksek, bitkisel, yeni ve fonksiyonel bir gıda elde edilmesi amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda Kontrol örneği ile birlikte dört farklı konsantrasyonda (%0, %0,5, %0,1 ve %1,5) *Spirulina platensis* ilaveli fermente süt ürünleri üretilmiştir. 4 haftalık depolama süresi boyunca 1., 7., 14. ve 21. günlerinde *Spirulina platensis* ilavesi ile fermente süt ürünlerinin fiziksel, tekstürel ve duyuşsal kalitesine etkisi araştırılmıştır. Ayrıca üretilen fermente süt ürünleri *in vitro* sindirime uğratarak biyoaktif özellikleri incelenmiştir.

Spirulina platensis'e nem ve protein analizi yapılarak kimyasal özelliklerine bakılmıştır. Ayrıca toplam protein miktarına göre çözünür protein ile ilgili bilgi sahibi olunmuş ve proteinin izoelektrik noktalarına bakılarak yorum getirilmiştir. En yüksek suda çözünür protein miktarı pH 9 iken, en düşük protein çözünürlüğünün pH 3,5 iken olduğu görülmüştür. *Spirulina platensis* ilavesinin örneklerin pH değerine, kül miktarına ve titre edilebilirlik asitliğine önemli bir etkisi olmadığı belirlenmiştir. Ancak örneklerdeki *Spirulina platensis* konsantrasyonu arttıkça, örneklerin kuru madde miktarının azaldığı, sinerez ve su tutma kapasitesinin arttığı tespit edilmiştir. Fermente süt ürünlerine yapılan Kjeldahl protein analizi sonucu, en yüksek protein oranının %1,5 *Spirulina platensis* içeren S3 örneğinde olduğu saptanmıştır. Fermente

süt ürünlerine 1., 7., 14., ve 21.günlerinde tekstür analizi yapılmıştır. Bu analizin sonuçlarına göre iç yapışkanlık, esneklik ve sakızımsılık değerlerinde depolama ve *Spirulina* konsantrasyonuna bağlı önemli bir değişim gözlenmemiştir. Renk analizi sonucunda *Spirulina platensis* ilavesi ile L* değerleri azalmış, a* ve b* değerleri artmıştır. Duyusal analiz sonuçlarına göre, *Spirulina platensis* ilavesinin örneklerin koku, deniz kokusu ve genel izlenim parametrelerine etkisi istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($p<0.05$). Panelistler, beğeniye dayalı olan genel izlenim parametresinde en yüksek puanı Kontrol örneğine vermişlerdir. Bu örneği sonrasında %0,5 *Spirulina platensis* içeren S1 örneği izlemiştir. Çalışmanın son aşamasında ise *in vitro* yöntemi kullanılarak *Spirulina platensis* katkılı fermente süt ürünlerinin biyoaktif özellikleri tespit edilmiş olup, bunun sonucunda ürünün antioksidan kapasitesinin ve toplam fenolik miktarının arttığı, antihipertansif ve antidiyabetik özellikler gösterdiği belirlenmiştir.

Tüm bu sonuçlar, fermente süt ürünü üretimi ve geliştirilmesinde *Spirulina platensis*'in rol alabileceğini ve amaçlanan hedefleri gerçekleştirebileceğini göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: *Spirulina platensis*, yosun, fermente süt ürünü, biyoaktif özellikler, *in vitro* sindirim

ABSTRACT

INVESTIGATION OF BIOACTIVE, PHYSICAL, TEXTURAL AND SENSORY PROPERTIES OF *SPIRULINA PLATENSIS* ADDED FERMENTED MILK DURING THE STORAGE PROCESS

Nuray GÖZEN

M.Sc., Department of Food Engineering

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Levent Yurdaer AYDEMİR

September 2022, 82 pages

With the developing food technology, people today aim to reach maximum nutritional elements in nutrition, even in a single meal. However, the popularity of high-protein foods has increased. While milk and fermented milk products with increased protein content take their place on the shelves, the protein sources of these products or how they are produced have become controversial.

Spirulina platensis is a plant-derived, high protein planktonic blue-green cyanobacteria. In this thesis, it is aimed to obtain a herbal, new and functional food with high therapeutic effect and protein content by considering the nutritional values of *Spirulina*, also known as algae. For this purpose, fermented milk products were produced with the addition of *Spirulina platensis* at four different concentrations (0%, 0,5%, 0,1% and 1,5%) together with the Control sample. The effect on the physical, textural and sensory quality of fermented milk products was investigated with the addition of *Spirulina platensis* on the 1st, 7th, 14th and 21st days during the 4-week storage period. In addition, the produced fermented milk products were digested in vitro and their bioactive properties were examined.

Moisture and protein analysis was performed on *Spirulina platensis* and its chemical properties were examined. In addition, information about the soluble protein was obtained according to the total protein amount and comments were made by looking at the isoelectric points of the protein. The highest amount of water-soluble protein was observed at pH 9, while the lowest protein solubility was at pH 3.5. It was determined that the addition of *Spirulina platensis* did not have a significant effect on the pH value, ash content and titratable acidity of the samples. However, as the *Spirulina platensis* concentration in the samples increased, the dry matter

content of the samples decreased, and the syneresis and water holding capacity increased. As a result of the Kjeldahl protein analysis performed on fermented milk products, it was determined that the highest protein content was found in the S3 sample containing 1,5% *Spirulina platensis*. Texture analysis was performed on fermented milk products on the 1st, 7th, 14th and 21st days. According to the results of this analysis, no significant change was observed in the internal stickiness, flexibility and gumminess values depending on storage and *Spirulina* concentration. As a result of color analysis, L* values decreased and a* and b* values increased with the addition of *Spirulina platensis*. According to the results of the sensory analysis, the effect of *Spirulina platensis* addition on the odor, sea odor and general impression parameters of the samples was found to be statistically significant ($p < 0.05$). The panelists gave the Control sample the highest score in the overall impression parameter based on taste. This sample was followed by the S1 sample containing 0,5% *Spirulina platensis*. In the last stage of the study, the bioactive properties of *Spirulina platensis* added fermented milk products were determined using the *in vitro* method, and as a result, it was determined that the antioxidant capacity and total phenolic content of the product increased, and it showed antihypertensive and antidiabetic properties.

All these results showed that *Spirulina platensis* can play a role in the production and development of fermented milk products and can achieve the intended targets.

Keywords: *Spirulina platensis*, algae, fermented milk product, bioactive properties, *in vitro* digestion



Canım Aileme

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimim boyunca tecrübelerinden yararlandığım, sabrını ve hoşgörüsünü hiçbir zaman esirgemeyen, çalışmaktan onur duyduğum çok değerli danışman hocam, Dr. Öğr. Üyesi Levent Yurdaer AYDEMİR'e teşekkür eder ve saygılarımı sunarım.

Tez çalışmalarımda her zaman yanımda olan, yoğun analiz dönemlerimde yardımını esirgemeyen Esra Koca ve Pelin Erbay'a teşekkür ederim.

Lisans ve Yüksek lisans eğitimlerim boyunca üzerimde emeği olan saygıdeğer bölüm hocalarıma ve tez çalışmalarına olanak sağlayan Adana Alparslan Türkeş Bilim ve Teknoloji Üniversitesi Gıda Mühendisliği Bölümü'ne teşekkürlerimi sunarım.

Maddi ve manevi her zaman yanımda ve kalbimde olan babam Kurtuluş Keskin'e, annem Nursel Kılıçgedik'e, Adana'ya gidiş gelişlerimde bana sıcak evlerinin kapısını açan kardeşlerim Mustafa&Ezgi Keskin, Nil&Süleyman Karataş ve Nükhet&Erhan Aydınol'a, desteklerini her zaman kalbimde hissettiğim eşim Hakkı Gözen'e, dostlarım Ufuk Mutlu ve Dilara Kaya'ya, son olarak kıymetli ailem Ender&Nazan&Emre Gözen'e sevgi ve minnetlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

JÜRİ ONAY SAYFASI	Hata! Yer işareti tanımlanmamış.
BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK BEYANNAMESİ	i
ÖZET	ii
ABSTRACT	iv
TEŞEKKÜR	vii
İÇİNDEKİLER	viii
ŞEKİL LİSTESİ	xi
TABLolar LİSTESİ	xii
KISALTMALAR	xiii
SEMBOLLER	xiv
1. GİRİŞ	0
1.1. Besinsel ve Fonksiyonel Gıda Kaynakları Olarak Yosunlar	0
1.2. <i>Spirulina platensis</i> İçeriği	1
1.3. <i>Spirulina platensis</i> 'in İnsanlar ve Hayvanlar Üzerindeki Etkileri	2
1.4. Fermente Süt Ürünleri	3
1.5. <i>Spirulina platensis</i> İlaveli Fermente Süt Ürünleri	4
1.6. Biyoaktif Özellikler	5
1.6.1. Antioksidan aktivite	5
1.6.2. Antidiyabetik aktivite	5
1.6.3. Antihipertansif aktivite	6
2. KURAMSAL TEMELLER VE KAYNAK ARAŞTIRMASI	8
3. MATERYAL VE METOT	11
3.1. Malzeme	11
3.2. Metot	11
3.2.1. Toz <i>Sp</i> 'ye uygulanan analizler	12
3.2.1.1. Kuru Madde Analizi	12
3.2.1.2. Örneklerde Toplam Protein Analizi (Kjeldahl)	12
3.2.1.3. Örneklerde Suda Çözünür Protein Miktarının (İzoelektrik pH Aralığının) Belirlenmesi	13
3.2.2. <i>Sp</i> içeren ve içermeyen fermente süt ürünü üretimi	13

3.2.3.	Sp içeren ve içermeyen fermente süt örneklerine uygulanan analiz yöntemleri	13
3.2.3.1.	Örneklerde pH Analizi	14
3.2.3.2.	Örneklerde Kuru Madde Analizi	14
3.2.3.3.	Örneklerde Kül Analizi	15
3.2.3.4.	Örneklerde Duyusal Analiz	16
3.2.3.5.	Örneklerde Toplam Protein Analizi	19
3.2.3.6.	Örneklerde Titre Edilebilir Asitlik Analizi (Titrasyon)	20
3.2.3.7.	Örneklerin Su Tutma Kapasitesinin Belirlenmesi	21
3.2.3.8.	Örneklerde Sinerez Ölçümü	21
3.2.3.9.	Örneklerde Tekstür Analizi	22
3.2.3.10.	Örneklerde Renk Ölçümü	23
3.2.4.	<i>İn vitro</i> sindirime uğratılmış örneklere uygulanan analiz yöntemleri	23
3.2.4.1.	Örneklerde Toplam Antioksidan Aktivite	24
3.2.4.2.	Örneklerde Toplam Antidiyabetik Aktivite	24
3.2.4.3.	Örneklerde Antihipertansif Aktivite	25
3.2.4.4.	Örneklerde Toplam Fenolik Madde	25
3.2.5.	İstatistiksel analizler	26
4.	BULGULAR VE TARTIŞMA	27
4.1.	Toz <i>Sp</i> Örneklerinin Kimyasal Analizleri	27
4.2.	<i>Sp</i> İçeren ve İçermeyen Fermente Süt Ürünlerine Uygulanan Analizler	28
4.2.1.	<i>Sp</i> içeren ve içermeyen fermente süt ürünlerinde pH analizi	28
4.2.2.	<i>Sp</i> içeren ve içermeyen fermente süt ürünlerinde kuru madde analizi	29
4.2.3.	<i>Sp</i> içeren ve içermeyen fermente süt ürünlerinde kül analizi	31
4.2.4.	<i>Sp</i> içeren ve içermeyen fermente süt ürünlerinde duyusal analiz	31
4.2.5.	<i>Sp</i> içeren ve içermeyen fermente süt ürünlerinde toplam protein analizi	34
4.2.6.	<i>Sp</i> içeren ve içermeyen fermente süt ürünlerinde titre edilebilir asitlik analizi (titrasyon)	35
4.2.7.	<i>Sp</i> içeren ve içermeyen fermente süt ürünlerinde su tutma kapasitesi	36
4.2.8.	<i>Sp</i> içeren ve içermeyen fermente süt ürünlerinde sinerez analizi	37
4.2.9.	<i>Sp</i> içeren ve içermeyen fermente süt ürünlerinde tekstür analizi	39
4.2.10.	<i>Sp</i> içeren ve içermeyen fermente süt ürünlerinde renk analizi	40
4.3.	<i>İn Vitro</i> Sindirim Metodu	44

4.3.1.	<i>İn vitro</i> sindirime uğratılmış örneklerde toplam antioksidan aktivite analizi	46
4.3.1.1.	DPPH yöntemi ile serbest radikal süpürme aktivitesi	47
4.3.1.2.	ABTS yöntemi ile serbest radikal süpürme aktivitesi	48
4.3.2.	<i>İn vitro</i> sindirime uğratılmış örneklerde antidiyabetik aktivite	49
4.3.2.1.	α - Amilaz	50
4.3.2.2.	α –Glukozidaz	50
4.3.3.	<i>İn vitro</i> sindirime uğratılmış örneklerde antihipertansif aktivite	51
4.3.4.	<i>İn vitro</i> sindirime uğratılmış örneklerde toplam fenolik madde (TFEM)	52
5.	SONUÇLAR	54
6.	ÖNERİLER	56
KAYNAKÇA		57
ÖZGEÇMİŞ	Hata! Yer işareti tanımlanmamış.	

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 1.1. <i>Spirulina</i> 'nın tedavi edici önemli bileşikleri ve etkileri	2
Şekil 3.1. Toz <i>Sp</i> 'ye uygulanan analizler	11
Şekil 3.2. <i>Sp</i> içeren ve içermeyen fermente süt ürünü örneklerine uygulanan analizler	14
Şekil 3.3. Etüvde kurutma işlemi sonrası örneklerin son hali	15
Şekil 3.4. Kül cihazı ve cihazda yakılan numuneler	15
Şekil 3.5. Duyusal analiz yapan panelistler	16
Şekil 3.6. Duyusal değerlendirme formu	17
Şekil 3.7. Duyusal değerlendirmeye yardımcı bilgiler	18
Şekil 3.8. Kjeldahl cihazında arkada tamamen yanıp berraklaşan ve öndeki yanması tamamlanmamış, koyu renkli örnekler	20
Şekil 3.9. Titrasyon sonrası örneklerdeki renk değişimi	20
Şekil 3.10. Santrifüj sonrası ayrışan örnekler	21
Şekil 3.11. Tekstür cihazı	22
Şekil 3.12. Renk analiz cihazı	23
Şekil 3.13. <i>In vitro</i> sindirime uğratılmış örneklere uygulanan analizler	23
Şekil 4.1. <i>Spirulina</i> 'nın pH'ya bağlı suda çözünür protein grafiği	28
Şekil 4.2. <i>Sp</i> içeren ve içermeyen fermente süt ürünlerinin depolama süresi boyunca kaydedilen kuru madde değerleri	30
Şekil 4.3. <i>Sp</i> içeren ve içermeyen fermente süt ürünlerinin depolama süresi boyunca kaydedilen titrasyon değerleri	35
Şekil 4.4. <i>Sp</i> içeren ve içermeyen fermente süt ürünlerinin depolama süresi boyunca kaydedilen su tutma değerleri	37
Şekil 4.5. <i>Sp</i> içeren ve içermeyen fermente süt ürünlerinin depolama süresi boyunca kaydedilen sinerez değerleri	38
Şekil 4.6. <i>Sp</i> içeren ve içermeyen fermente süt ürünü örneklerin depolama süresi boyunca kaydedilmiş L^* değerleri	41
Şekil 4.7. <i>Sp</i> içeren ve içermeyen fermente süt ürünü örneklerin depolama süresi boyunca kaydedilmiş a^* değerleri	42
Şekil 4.8. <i>Sp</i> içeren ve içermeyen fermente süt ürünü örneklerin depolama süresi boyunca kaydedilmiş b^* değerleri	43
Şekil 4.9. ACE inhibisyonu için kullanılan kaptopril eğrisi	44
Şekil 4.10. DPPH için kullanılan trolox eğrisi	45
Şekil 4.11. ABTS için kullanılan trolox eğrisi	45
Şekil 4.12. TFEM için kullanılan gallik asit eğrisi	45
Şekil 4.13. α - amilaz inhibisyonu için kullanılan akarboz eğrisi	46
Şekil 4.14. α - glukozidaz inhibisyonu için kullanılan akarboz eğrisi	46

TABLÖLAR LİSTESİ

Tablo 4.1. Toz <i>Sp</i> 'nin içerdığı toplam protein ve nem analiz sonuçları.....	27
Tablo 4.2. Örneklerin pH'ya bağlı suda çözünür protein miktarlarının belirlenmesi	27
Tablo 4.3. <i>Sp</i> içeren ve içermeyen fermente süt ürünlerinin depolama süresi boyunca kaydedilen pH değerleri.....	29
Tablo 4.4. <i>Sp</i> içeren ve içermeyen fermente süt ürünlerinin kül değerleri.....	31
Tablo 4.5. <i>Sp</i> içeren ve içermeyen fermente süt ürünlerinin depolama süresi boyunca kaydedilen duyu analizi değerleri	32
Tablo 4.6. <i>Sp</i> içeren ve içermeyen fermente süt ürünlerinin toplam protein değerleri (%)	34
Tablo 4.7. <i>Sp</i> içeren ve içermeyen fermente süt ürünlerinin depolama süresi boyunca kaydedilen tekstür değerleri.....	39
Tablo 4.8. <i>Sp</i> içeren ve içermeyen fermente süt ürünlerinin <i>in vitro</i> öncesi ve sonrası DPPH değerleri	47
Tablo 4.9. <i>Sp</i> içeren ve içermeyen fermente süt ürünlerinin <i>in vitro</i> önce ve sonrası ABTS değerleri	49
Tablo 4.10. <i>In vitro</i> sindirime uğratılmış örneklerde α -amilaz aktivite	50
Tablo 4.11. <i>In vitro</i> sindirime uğratılmış örneklerde α -Glukozidaz aktivite.....	51
Tablo 4.12. <i>Sp</i> içeren ve içermeyen fermente süt ürünlerinin <i>in vitro</i> sindirim sonrası ACE değerleri	51
Tablo 4.13. <i>Sp</i> içeren ve içermeyen fermente süt ürünlerinin <i>in vitro</i> önce ve sonrası TFEM değerleri	52

KISALTMALAR

<i>Sp</i>	: <i>Spirulina platensis</i>
Ca	: Kalsiyum
UF	: Ultrafiltrasyon
NAFLD	: Non-alcoholic fatty liver disease (Alkole bağlı olmayan yağlı karaciğer hastalığı)
WHO	: World Health Organization (Dünya Sağlık Örgütü)
E202	: Potasyum sorbat
PCA	: Principal component analysis (Temel bileşen analizi)
TFEM	: Toplam fenolik madde
SRSA	: Serbest radikal süpürme aktivitesi

SEMBOLLER

rpm	: Revolutions per minute (Dakikadaki devir sayısı)
κ	: Kappa
μg	: Mikrogram



1. GİRİŞ

Spirulina platensis tropikal ve subtropikal su kütlelerinde büyük popülasyonlar oluşturan, planktonik mavi-yeşil siyanobakterilerdir. Hücresel yapısı spiraldır ve basit prokaryotlara benzetilir. Bilinen en eski yaşam formlarından biri olarak sayılmaktadır. Eski zamanlarda Meksika ve Afrika’lı yerel halk için geleneksel bir gıda olarak tüketildiği bilinmektedir. İçerdiği vitamin, protein ve mineraller sayesinde Dünya Sağlık Örgütü (WHO) tarafından süper yiyecek olarak adlandırılmıştır (Sharoba, A. M., 2014). *Spirulina*, başka hiçbir bitkinin yetişemeyeceği çok alkali suda yaşayabilir (Tietze, H., 1996). Ayrıca GRAS (Generally Recognized As Safe) sertifikalıdır ve 1981 yılında FDA (Food and Drug Administration) tarafından onaylanmıştır. Beslenme açısından önemli bir yere sahip olan ve bağışıklık sistemi başta olmak üzere pek çok hastalık üzerinde iyileştirme özelliği olan *Spirulina*, pek çok araştırmaya konu olmuş ve başta ABD olmak üzere Tayland, Hindistan, Japonya ve Çin gibi ülkelerde yetiştirilmeye başlanmıştır.

Spirulina aynı zamanda yüksek B12 vitamini içermesi sebebi ile vejetaryanların beslenmesinde önemli bir yer almaktadır. *Spirulina*’nın besin içeriği, konuma ve algin yetiştigi ortama göre değişiklik göstermektedir. *Spirulina*’nın hasat şekli de yine aynı şekilde içerdiği vitamin ve antioksidanları etkileyebilir. Besin takviyesi olarak en çok tercih edilen ve en popüler olan çeşidi *S. platensis* ve *S. maxima* (bir diğer adıyla *Arthrospira*)’dır (Beheshtipour vd., 2012).

1.1. Besinsel ve Fonksiyonel Gıda Kaynakları Olarak Yosunlar

Günümüzde insanlar yiyecek-içecek tüketirken artık sadece besin içeriği ve lezzeti baz almamaktadırlar. Aynı zamanda vücut sağlığı üzerindeki etkilerini ve fonksiyonel özelliklerini de göz önünde bulundurarak değerlendirmektedirler.

Sağlıklı beslenmeye yönelik artan talep, gıda üretim endüstrisini geniş çapta teşvik etmek için yenilikçi ve yeni ürünlerin geliştirilmesine neden olmuştur (Çelekli vd., 2019).

Son zamanlarda tüketiciler sofistike ve yenilikçi ürünler talep etmektedir. Bunun yanı sıra, tüketecekleri gıdalarda içermesini en çok tercih ettikleri özellikler; antikanserojen, bağışıklık sistemini güçlendirme ve serbest radikal oluşumunu önleyen antioksidan özelliklerdir (Lafarga, Tomas vd., 2020).

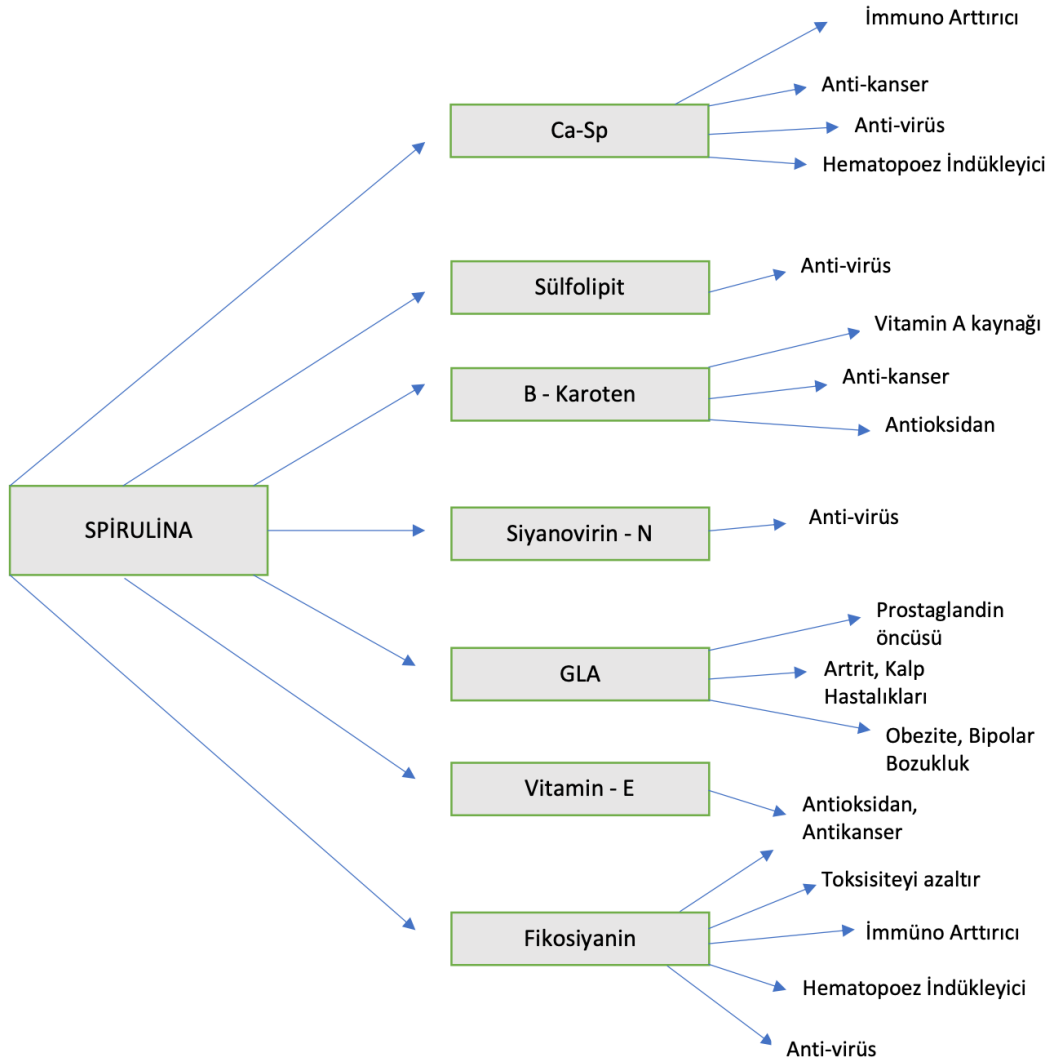
Genel olarak, yosun içerikli gıdalara yönelik küresel talep gittikçe artmakta ve algler, sağlığa daha fazla odaklanılmasından ve gıda katkı maddelerinin daha yaygın olarak kullanılmasından dolayı giderek daha fazla tüketilmeye başlanmaktadır (Wells, Mark L., 2017).

Spirulina çeşitlerinden özellikle *S. platensis*, içerdiği biyoaktif bileşiklerin besin değerini arttırmasından ötürü fonksiyonel gıdaların üretiminde kullanılmaktadır (Çelekli vd., 2019).

1.2. *Spirulina platensis* İçeriği

Spirulina platensis aynı cinse ait olan *Arthrospira* ve *Spirulina*'nın ortak adıdır. *Spirulina*'nın kurutulmuş hücre ağırlığının temel bileşimi %5-6 arası lipit, %55-70 arası proteinden oluşur (Marzieh Hosseini, S. vd., 2013). Aynı zamanda vitamin bakımından zengin ve doğal bir kaynaktır. Özellikle B vitamin kompleksi yüksek olan *Spirulina*, B12 (1750 µg/100 g) ve folik asit (9.92 mg/100 g) de içerir. Zengin besinsel içeriği bakımından çocuklarda beyin gelişimine yardımcı olur. Ayrıca kalsiyum (992.28 mg/100 g) ve demir (273.2 mg/100 g) içerir. Bu da osteoporoz ve kan hastalıklarını önlemeye yardımcı olur. İçerisinde selenyum elementi (0,0393 mg/100 g), klorofil ve fikosiyanin gibi (sırasıyla %1,56 ve %14,647) fotopigmentler bulunmaktadır (Sharoba, A. M., 2014).

Ca-*Sp* olarak adlandırılmış, *Spirulina*'nın su özütünden izole edilerek elde edilen sülfatlanmış polisakkaritler, bağışıklık sistemini düzeltici etkilere ve anti-viral aktiviteye sahip olduğu gözlenmiştir. *Spirulina*'daki polisakkaritler ve fotosiyanin farelerde kemik iliği oluşumunu, timüs ve dalak gelişimini artırdığı görülmüştür (Khan, Z., Bhadouria, P., & Bisen, P. S., 2005). *Spirulina*'nın tüm bu tedavi edici etkileri Şekil 1.1 üzerinde gösterilmiştir.



Şekil 1.1. *Spirulina*'nın tedavi edici önemli bileşikleri ve etkileri

1.3. *Spirulina platensis*'in İnsanlar ve Hayvanlar Üzerindeki Etkileri

Yapılan çalışmalar, *Spirulina*'nın insan vücudu tarafından hızla absorbe edildiğini ve besin içeriklerinin normal seviyeye ulaşmasına yardımcı olduğunu göstermektedir. Fareler üzerinde yapılan çalışmalara göre hamilelik ve emzirme dönemlerinde vücuttaki demir oranını iyileştirdiği etkisi gözlenmiştir. Zengin mineral içermesi ve kolay biyoyararlanım özelliği sayesinde kadınların hamilelik ve emzirme dönemi boyunca tercih edebilecekleri bir besin kaynağı haline gelmiştir. İçerdiği besinler sayesinde geleceğin besini olarak adlandırılmaktadır. *Spirulina*'nın bazı türlerinin immünomodülatör (bağışıklık destekleyici) ve biyomodülatör (biyolojik düzenleyici) gibi tedavi edici özellikleri de vardır. Örneğin *S. platensis*'in hayvanlar

ve insanlar üzerinde yapılan çalışmalar sonucu özellikle aids, kanser ve bu tip hastalıklarda bağışıklık direncini artırdığı görülmektedir (Khan, Z., Bhadouria, P., & Bisen, P. S., 2005).

1.4. Fermente Süt rnleri

Süt ve fermente süt ürünleri içerdiği proteinler, laktoz mineralleri ve suda çözünen vitaminlerden sağladığı birçok besinsel fayda nedeniyle insan beslenmesinde önemli bir role sahiptir (Öztürkoğlu-Budak, Akal, & Yetişemeyen, 2016).

Yoğurt, *Lactobacillus delbrueckii ssp. bulgaricus* ve *Streptococcus thermophilus*'un etkisiyle laktik asit fermentasyonu ile elde edilen fermente bir süt ürünüdür. Elde edilen laktik asit, süt proteini ile reaksiyona girerek bu ürünün karakteristik dokusunu ve duysal özelliklerini destekler (Serafeimidou, Zlatanov, Kritikos ve Tourianis, 2013). Yoğurtlar beğenilen bir gıda ürünüdür ve insan beslenmesinde önemli olarak kabul edildiğinden birçok ülkede kitlesel olarak üretilmekte ve tüketilmektedir (O'Connell & Fox, 2001; Serafeimidou vd., 2013; Shori & Baba, 2014).

Fermente süt ürünü olan yoğurt, dünya çapında en çok tüketilen süt ürünlerinden biridir ve özellikle önemli miktarda protein ve esansiyel mineral içermesi nedeniyle yüksek besin değerine sahiptir (Mudgil, P. vd., 2018). Bununla birlikte süt endüstrisi yenilikçi ürünler için sürekli araştırma içindedir. Tüketiciler giderek daha fazla doğal ürünler talep ettiğinden, Caleja vd., (2016) yaptıkları çalışmada doğal ve sentetik antioksidan koruyucuların yoğurtlardaki etkilerini karşılaştırmayı amaçlamışlardır. Sentetik katkı maddeleri ile zenginleştirilmiş yoğurtlara kıyasla, doğal kaynaklı antioksidanlarla zenginleştirilmiş yoğurtlar tüketiciler tarafından daha tercih edilebilir bir üründür. Doğal kaynaklı, *Matricaria recutita* L. (papatya) ve *Foeniculum vulgare* Mill. (rezene) takviyeli yoğurtlar, potasyum sorbat (E202) gibi sentetik katkı maddeli yoğurtlara göre daha yüksek antioksidan aktivite göstermiştir.

Gıda endüstrisinde yoğurdun raf ömrünü uzatmak veya inovatif ürün üretmek amacıyla çeşitli sentetik katkı maddeleri (Potasyum sorbat (E202), Allura kırmızısı (E129), Tartrazin (E102) gibi) kullanılmaktadır (Caleja vd., 2016). Bununla birlikte, birçok çalışma sentetik gıda katkı maddelerinin aşırısı tüketiminin solunum, dermatolojik, gastrointestinal ve nörolojik advers reaksiyonlarla ilişkili olduğunu doğrulamıştır (Carocho, Barreiro, Morales ve Ferreira, 2014; Randhawa ve Bahna, 2009). Bu nedenle, güvenli katkı maddeleri kullanma ihtiyaı, araştırmacıları doğal kaynaklardan süt ürünlerine uygulamaya ve uygun katkı maddeleri

hazırlamaya sevk etmiştir (Beheshtipour, Mortazavian, Haratian ve Darani, 2012; Dönmez, Mogol ve Gökmen, 2017; Senaka Ranadheera, Evans, Adams ve Baines, 2012).

Yoğurt jeli oluşumu, hem pH azalması hem de κ -kazeinler ve denatüre peynir altı suyu proteinleri arasındaki disülfid bağlarının oluşumu ile κ -kazein agregasyonunun sonucu olan karmaşık bir biyokimyasal olgudur. Yoğurdun reolojik davranışı, kazein ve denatüre peynir altı suyu proteininden oluşan üç boyutlu bir ağ oluşumunun bir sonucudur.

Yoğurt yapımı sırasında protein jel ağının, denatüre olmuş peynir altı suyu proteinleri ve κ -kazein molekülleri arasındaki di-sülfür çapraz bağlarının güçlenmesi proteinin jelleşmesi için önemlidir (Mudgil vd., 2018). Ayrıca kullanılan mikrobiyal starter kültürlerin inkübasyon sıcaklığı, süresi ve proteolitik aktivitesi de jel kuvvetinin belirlenmesinde önemli bir rol oynar (Vasbinder, 2002; Vasbinder, Alting, Visschers ve de Kruif, 2003; Vasbinder ve De Kruif, 2003; Vasbinder vd., 2003).

1.5. *Spirulina platensis* İlaveli Fermente Süt Ürünleri

Süt ve süt ürünleri, proteinler, laktoz, mineraller ve suda çözünen vitaminler gibi birçok besinsel faydaları nedeniyle insan beslenmesinde önemli bir yere sahiptir (Öztürkoğlu-Budak, Akal ve Yetisemiyen, 2016). Birçok ülkede kitlesel olarak üretilmekte ve tüketilmektedir (Caleja vd., 2016). Sağlık üzerindeki faydalı etkilerine rağmen, bu ürünler genellikle biyoaktif maddeler için önemli bir kaynak olarak görülmemektedir (Gahruie, Eskandari, Mesbahi ve Hanifpour, 2015). Son zamanlarda beslenme uzmanları, doğal kaynaklar kullanılarak süt ürünlerinin güçlendirilmesinin, minimum istenmeyen etkilerle genel diyet gıda alımını iyileştirmenin en iyi yollarından biri olduğunu belirtmişlerdir (Gahruie vd., 2015).

Yoğurtta mikroalg takviyesi, canlı probiyotiklerin çoğalmasını teşvik ederek ürünün fonksiyonel özelliklerini geliştirmek ve besinsel faydalarını artırmak için de kullanılabilir. *Spirulina platensis* (*S. platensis*), ete benzer protein düzeyine sahip, su kaynaklı (460–630 g/kg, kuru madde bazında) zengin bir protein kaynağı olarak kabul edilmiştir (Lupatini vd. 2017). *Spirulina platensis*, yoğurt (Akalın vd. 2009; Gültaş ve Irkin 2010; Beheshtipour vd. 2012) ve UF Peyniri (Mazinani vd. 2016) gibi çeşitli ürünlere başarıyla dahil edilmiştir. *Spirulina platensis* zengin bir amino asit, mineral ve vitamin kaynağıdır (Gültaş ve Irkin 2010). Ek olarak, fikosiyeninler ve fikosiyanobilinler gibi antioksidan pigmentleri ile ilgili olarak hem *in vivo* hem de *in vitro* modellerde antioksidan ve anti-inflamatuar aktiviteler sergilemiştir (Fernandez-Rojas vd., 2014). Ebrahimi-Mameghani vd. (2017), yaptıkları çalışmaya göre mikroalg

takviyesinin alkole bağılı olmayan yağlı karaciğer hastalığı (NAFLD) olan hastalarda kilo kaybını indüklediği, glisemik durumu iyileştirdiği ve karaciğer fonksiyonunu arttırdığı, buna bağılı olarak da yardımcı bir tedavi olarak kullanılabileceği tespit edilmiştir.

Mikroalglerden ticari olarak yararlanılmaktadır ve fonksiyonel bir gıda için esas olarak kullanılan cinsler *Dunaliella*, *Chlorella* ve *Arthrospira*'dır (Beheshtipour vd., 2012). *Spirulina* olarak da bilinen *A. platensis*, yüksek protein içeriği (%65) ve yüksek besin değeri nedeniyle en popüler mikroalg türüdür (Beheshtipour vd., 2012). *Spirulina*'nın kanser, böbrek yetmezliği (Ghaeni & Roomiani, 2016), hipertansiyon (Suliburska, Szulinska, Tinkov, & Bogdanski, 2016) ve erkek kısırlığı gibi çeşitli hastalıkların önlenmesi ve tedavisinde yararlı etkileri sahip olduğu kanıtlanmıştır. Bunun nedeni, esansiyel amino asitler, yağ asitleri, vitaminler, birçok esansiyel mineral ve enzim gibi bileşikleri içeren kimyasal bileşimidir. Besin değerinin yanı sıra, bazı insan patojenlerine karşı antibakteriyel ve antifungal aktiviteler sergilediği (Ahsan vd., 2015; Usharani, Srinivasan, Sivasakthi ve Saranraj, 2015), süt ve süt ürünlerinde laktik asit bakterilerinin büyümesini desteklediği bulunmuştur (Beheshtipour vd., 2012).

Bütün bu bilgiler doğrultusunda, bu tez çalışmasında *Spirulina platensis*'in zengin içeriğinden faydalanılarak, tüketiciler için protein oranı yüksek fermente süt ürünü elde edilmek istenmiştir.

1.6. Biyoaktif Özellikler

1.6.1. Antioksidan aktivite

Oksidanlara ve serbest radikallere sürekli maruz kalmak, insan vücudunda oksidatif strese neden olur ve sağlığa zararlıdır. Oksidatif stres, vücuttaki serbest radikallerin ve antioksidanların dengesiz üretiminden kaynaklanır. Oksidatif stres hücre hasarına neden olduğu gibi lipidlerin, proteinlerin ve nükleik asitlerin fonksiyonlarını bozar. Bu olumsuz etkiler sonucunda kanser, diyabet, kardiyovasküler ve otoimmün bozukluklar gibi kronik hastalıklar ortaya çıkmaktadır. Olumsuz etkileri ortadan kaldırmak için insan vücudu doğal olarak antioksidan üretmeye başlar. Antioksidanlar açısından zengin beslenme, birçok kronik hastalığın ortaya çıkışını geciktirir veya engeller (Goodarzi, Rafiei, Javadi, Haghighian ve Noroozi, 2018).

1.6.2. Antidiyabetik aktivite

Diyabet, pankreasın insülin üretimindeki yetersizliği veya salgılanan insülinin etkisizliği nedeniyle ortaya çıkan en yaygın bulaşıcı olmayan hastalıktır. Bu tür bir yetersizlik kan

şekerinin artmasına neden olur ve kan damarları ve sinirler başta olmak üzere vücut dokusuna zarar verir (ÜNAL, M. Ü., Şener, A., & Cemek, K., 2018).

Diyabet, kardiyovasküler hastalıklar gibi majör komplikasyonlara yol açan yaygın bir metabolik hastalıktır. Ayrıca bu hastalık, α -Amilaz ve α -Glukosidaz'ın (karbonhidrat hidrolize edici enzimler) inhibisyonu yoluyla, sindirim organlarındaki glikoz emilimini geciktirmektedir (Kumar, S. vd., 2011).

Diyabet hastalığı, insülin direnci olsun veya olmasın, bozulmuş insülin salgılanmasının bir sonucu olarak, hem tokluk hem de açlık durumunda yaygın olarak hiperglisemi ile karakterizedir. Tokluk sonrası ani kan şekeri yükselmesini (hiperglisemi) önlemek için herhangi bir terapötik (tedavi edici) yaklaşım, α -Amilaz ve α -Glukosidaz'ı inhibe etmektedir. Bu da polisakkaritlerin veya disakkaritlerin sindirimini geciktirerek, monosakkarit yani glikoz emilimini geciktirir (Kam vd., 2013). Bu da tokluk plazma glukoz seviyelerinin azalmasına ve tokluk hipergliseminin baskılanmasına neden olur (Kumar, S., vd., 2011).

α -Amilaz, tükürük bezlerinden ve pankreastan üretilir. Enzim, ağızdan ince bağırsağa polisakkaritlerin (örneğin nişasta), disakkaritlere (örneğin dekstrin ve maltoz) hidrolizini katalize eder. α -Glukozidaz, ağırlıklı olarak ince bağırsağın fırça kenarlı zarı içindeki epitel hücrelerinde yer alır. Ayrıca disakkaritleri (örn. sakaroz ve maltoz) gastrointestinal absorpsiyon için glukoz ve diğer monosakkaritlere hidrolize edebilir (Li vd. 2005).

1.6.3. Antihipertansif aktivite

Son yıllarda yapılan araştırmalar, enzimatik hidroliz sonucu oluşan biyoaktif peptitlerin farmakolojik aktivitelerinin yanı sıra besin değerlerinin de olduğunu göstermiştir. Bu biyoaktif peptitler, bitki proteinlerinden ve hayvan proteinlerinden elde edilebilir. Biyoaktif peptitler terapötik etkiye sahiptir. Bu terapötik etkiyi sağlayan, biyoaktif peptitlerin gösterdiği antioksidan, antitümöral, antimikrobiyal veya antihipertansif aktivitelerdir (Ortega vd., 2014). Hipertansiyon, kan damarlarında yetersiz gevşeme ve kan akış hızının düşmesi ile ortaya çıkan, yüksek tansiyon ile kendini gösteren kronik bir hastalıktır. Hipertansiyon tedavi edilmediği takdirde ölümcül bir hastalıktır ve ölümle sonuçlanmasa bile yetersiz kan akışı nedeniyle organlarda kalıcı hasarlar bırakabilir. Kan basıncını düzenleyen renin-anjiyotensin sistemi (RAS), renin ve anjiyotensin dönüştürücü enzim (ACE) tarafından korunur (Aluko, 2015).

ACE, Anjiyotensin I'i Anjiyotensin II'ye dönüştürür. Anjiyotensin II, adrenal korteksten sodyum tutucu bir steroid görevi gören ve kan basıncını artırma eğiliminde olan aldosteronun

salınmasında etkilidir. ACE ayrıca kan basıncının düşmesine katkıda bulunan bradikinin yıkımını da katalize eder (Li, Le, Shi ve Shrestha, 2004)

ACE inhibisyonu hipertansiyon tedavisinde etkilidir. ACE inhibisyonu, yüksek tansiyon ve kardiyovasküler hastalıkların tedavisinde kullanılan ilaçların geliştirilmesinde önemli bir adımdır. Ancak gıda kaynaklarından elde edilen ACE inhibitörü biyopeptitleri, bu ilaçların çeşitli yan etkilerinden dolayı sentetik ACE inhibitör peptitlerinden daha avantajlıdır. ACE inhibitör peptitler, inaktif bozulmamış gıda proteinleridir ve gastrointestinal sindirim ve fermentasyon gibi işlemlerle aktif olmaları gerekir. ACE inhibitörü peptitlerin önde gelen gıda kaynakları; et, süt, mısır, buğday ve baklagillerdir (Akıllıoğlu & Karakaya, 2009).



2. KURAMSAL TEMELLER VE KAYNAK ARAŞTIRMASI

Spirulina tozu, yenilikçi ve ilgi çekici katkı maddesi olarak verimli kullanımını yoğurt işlemede kanıtlamıştır. Besleyici rolüne ek olarak, *Spirulina* doğal renklendirici ve tatlandırıcı madde kaynağı olarak bilinmektedir. *Spirulina* ağız hissini geliştirir ve viskoziteyi artırarak, dokusal ürün bakımından fiziksel bir stabilizatör rolü oynar. %0,25 *Spirulina* ilavesi, fermentasyonun sonunu hızlandırmak ve süt ürününün duyuusal kabul edilebilirliğini korumak için yeterli olmuştur. *Spirulina*'nın eklenmesi sadece ürünün besin kalitesini arttırmakla kalmamış, aynı zamanda antioksidan aktivitesini artırarak, nutrasötik özelliğini de arttırmıştır. Enstrümental renk parametrelerinin (L^* , a^* ve b^*) 28 günlük depolama süresi boyunca değerlendirilmesi sonucu yoğurttaki renk indekslerinin daha yüksek stabilitesinin olduğu gözlemlenmiştir. Bu sonuçlar doğrultusunda gıdalara *Spirulina*'nın eklenmesi, tüketicilerde olumsuz etkilere neden olabilecek sentetik kimyasal bileşiklerin eklenmesine göre daha kabul edilebilir sayılmıştır. Biyoaktif bileşiklerin bir kaynağı olarak da kabul edilen *Spirulina*'nın, içeriği zenginleştirilmiş yeni bir yoğurt geliştirmek için kullanılabilir olduğu sonucuna varılmıştır. *Spirulina*'nın yoğurtta takviye malzemesi olarak seçilmesi doğru bulunmuş olup, tüketicinin ilgisini çeken ve sağlık açısından fayda sağlayan uygun bir gıda olduğu gözlenmiştir (Barkallah vd., 2017).

Spirulina'nın gıda ürünlerine eklenmesi hem gıdanın besin değerini artırır hem de fonksiyonel gıda üretimini destekler. Mevcut çalışmada, yoğurt içine üç farklı konsantrasyonda (%0,1, %0,3 ve %0,5) taze *Spirulina* ve kurutulmuş *Spirulina* eklenmiş ve etkisi araştırılmıştır. Yoğurdun %0,5 konsantrasyonlarında taze veya kurutulmuş *Spirulina* ilavesi besin kalitesini (protein), viskoziteyi arttırmış ve ürünün duyuusal özelliklerini etkilemiştir. Parametreler arasındaki ilişkiler temel bileşen analizi (PCA) kullanılarak araştırıldı. PCA uygulaması, örnekler arasındaki gruplaşma eğilimlerini daha iyi bir şekilde ortaya çıkarmıştır. Sonuçlara göre her iki *Spirulina* formu, protein içeriğini, asitliği ve görünür viskoziteyi arttırdı ve sinerez oranını azalttı. Taze *Spirulina* takviyesi, depolama sırasında bakteri canlılığında azalmaya yol açmıştır. Taze *Spirulina* ile takviye edilmiş yoğurtlar, kurutulmuş *Spirulina* ile takviye edilmiş yoğurtlara kıyasla, daha düşük miktarda protein, kül ve viskoziteye sahip olduğu görülmüştür. PCA grafiklerinde değişkenlerin ve parametrelerin gruplandırılması, potansiyel ticari veya endüstriyel kullanımları için önemli olan belirli yoğurt özelliklerini göstermiştir. Ayrıca, taze *Spirulina* ilavesi, bakteri starter kültürünün hayatta kalması üzerinde faydalı bir etkiye sahip olmuştur. Taze *Spirulina*'nın yeni yoğurt formülasyonları geliştirmek için bir gıda bileşeni

olarak başarıyla kullanılabildiği gözlenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, taze *Spirulina* ile zenginleştirilmiş yoğurtta, kurutulmuş *Spirulina* ile zenginleştirilmiş yoğurda göre daha iyi fizikokimyasal özellik ve yüksek besin değerleri saptanmıştır. Ek olarak, duyu analizi sonuçlarında, panelistler %0,3 taze *Spirulina* ile zenginleştirilmiş yoğurdu diğer örneklerle göre daha fazla beğenmişlerdir. Duyusal özelliklerde en düşük puana sahip olan ürünlerin, görünüm ve peynir altı suyu ayrımının, tüketicilerin kabul edilebilirliğini belirleyen faktörler olduğunu göstermiştir. Bu nedenle, bu parametreleri geliştirmek için karamel, çikolata veya lif gibi kaplama elemanlarının kullanılması tavsiye edilmiştir (Bchir vd., 2019).

Çelekli vd. (2019) yaptığı çalışmada, *S. platensis*'in farklı konsantrasyonlarda (0, %0,25 %0,5 ve %1) ayranı eklenmesi, fermentasyon boyunca ve depolama günlerinin 7, 14 ve 21. günlerinde *Streptococcus thermophilus*, *Lactobacillus delbrueckii* spp. *bulgaricus*, *Lactobacillus acidophilus*, *Bifidobacterium lactis* büyümesini, pH'yı ve titre edilebilir asitliği etkilediğini gözlemlemiştir. Aynı zamanda fermentasyon süresi boyunca ve depolama süresinin 7, 14 ve 21. günlerinde ayranın toplam kuru madde değerini, protein değerini, viskozitesini, renk değerlerini, probiyotik bakterilerin büyümesini ve ayranın besin değerlerini arttırmada büyük bir potansiyele sahip olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

S. platensis tozu ilaveli yoğurtlarda *L. bulgaricus*'un canlılığının eskisi kadar yüksek olmadığı sonucuna varılmıştır (Akalin vd., 2009).

Guldaz ve Irkin'in yaptığı çalışmada (2010), sade yoğurda ilave edilen toz *Cyanobacterium Spirulina platensis* ve *Lactobacillus acidophilus* içeren yoğurdun, buzdolabında depolama sırasında mikrobiyotanın hayatta kalması üzerindeki etkisinin gözlemlenmesi amaçlanmıştır. Bu çalışmada kontrol numuneleri ile *S. platensis* tozu eklenmiş numuneler arasındaki canlı sayıları karşılaştırıldığı zaman, *S. platensis* tozu eklendiğinde bakteri canlılığının arttığı gözlenmiştir. Ancak, %1 *S. platensis* tozu ilavesinin canlı sayılar üzerindeki etkisinin %0,5 ilavesine benzer olduğu bulunmuştur. %1 *S. platensis* tozunun ilave edildiği yoğurda duyu özellikler göz önünde bulundurularak hafif yeşilimsi renk ve alg aroması panelistler tarafından belirlenmiştir. Bu nedenle, %0,5'lik *S. platensis* tozu ilavesi, % 1'den daha kabul edilebilir olacaktır. Ancak meyveli yoğurt veya meyve aromalı yoğurtlarda organoleptik özellikleri olumsuz etkilemeden %1 *S. platensis* tozunun da kullanılabileceği tahmin edilebilir olduğu

düşünülmüştür. Kontrol numuneleri ile *S. platensis* tozu eklenmiş numuneler arasındaki canlı sayıları karşılaştırıldığında, *S. platensis* tozu eklenen örneklerde bakteri canlılığının arttığı bildirilmiştir. %1 oranda *S. platensis* tozu ilavesinin canlı sayılar üzerindeki etkisinin % 0,5 orandaki ilavesine benzer olduğu bulunmuştur. Duyusal analiz sonucunda %1 *S. platensis* tozunun ilave edildiği yoğurtta hafif yeşilimsi renk ve alg aroması panelistler tarafından gözlemlenmiştir. Bu nedenle, % 0,5'lik *S. platensis* tozu ilavesi, % 1'den daha kabul edilebilir olmuştur. Ancak meyveli yoğurt veya meyve aromalı yoğurtlarda organoleptik özellikleri olumsuz etkilemeden %1 *S. platensis* tozunun da kullanılabileceği fikrine varılmıştır.

Suzery vd. (2018) yaptığı çalışmada yoğurt ürünlerine %1 ve %1,2 konsantrasyonlarında *Spirulina* takviyesi yapılmasının organoleptik, kimyasal ve mikrobiyolojik testler ile kabul edilebilir olduğuna varmışlardır. Eklenen *Spirulina*, mavi renkleri daha çekici hale getirmiş ve uzman panelistler tarafından kabul edilebilir sayılmıştır. *Spirulina* katkılı yoğurdun üretiminde hedeflenen renk, aroma ve kıvam üzerindeki organoleptik testin sonucu %1,2 konsantrasyonuna sahip olan örnek ile sağlanmıştır. *Spirulina*'nın eklenmesi ile birlikte protein içeriği en yüksek, %1'lik grupta 10,30 gr artmış, yağ içeriği ise düşük bir azalma göstermiştir. Sonuç olarak yoğurt endüstrisi için en ideal ürünün %1 ve %1,2 konsantrasyonlarında *Spirulina* eklenmesi ile olabileceği sonucuna varmışlardır.

S. platensis'in yoğurda eklenmesi üzerine yapılan çalışmaya dayanarak, yoğurt içeriğini zenginleştirmek için yapılacak olan en iyi işlemin, panelistler tarafından da kabul edilen %1'lik *S. platensis* ilavesi olduğu sonucuna varılmıştır. Ayrıca %1 *S. platensis* katkılı zenginleştirilmiş yoğurt; protein, viskozite ve toplam laktik asit bakterileri açısından kontrol yoğurda göre önemli farklılık gösterirken ($p<0.05$), su içeriği, kül, karbonhidrat, yağ, toplam laktik asit, pH ve duyusal test açısından önemli bir farklılık göstermemiştir ($p>0.05$). Ürün standarda uygun görülmüştür (Endonezya Ulusal Standardı) (Agustini vd., 2017).

Yapılan başka bir çalışmada, *Spirulina*'nın eklendiği gıdanın besinsel değerlerini artırdığı göz önüne alınmış olup yoğurda farklı konsantrasyonlarda (%0, %0,12, %0,24) *Spirulina* eklenmiş ve titre edilebilir asitlik, pH, toplam katı madde, protein, yağ, karbonhidrat, kül ve kalori özellikleri karşılaştırılmıştır. %0,12 oranında eklenmiş *Spirulina*'nın, tüketicilerin kabulünü değiştirmeden yoğurdun besin değerini iyileştirdiğini gözlemlenmiştir (Debbabi vd., 2019).

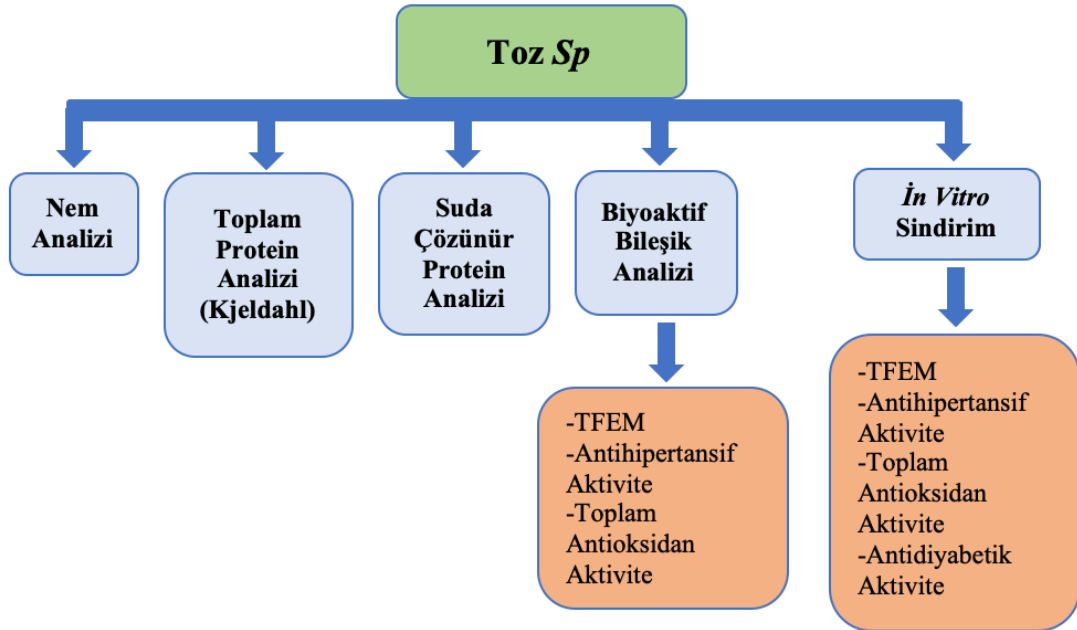
3. MATERİYAL VE METOT

3.1. Malzeme

Spirulina, Muğla'nın Fethiye ilçesinde yer alan 125.000 lt kapasiteli NS *Spirulina* isimli tesisten toz şeklinde temin edilmiştir. Fermente süt ürünü üretiminde %3 oranında protein içeren süt tercih edilmiş olup, yerel bir marketten satın alınmıştır. Kullanılan yoğurt mayası toz halde, kapalı ambalajda satın alınmıştır. Bilinen bir market zincirinden temin edilmiştir. Bütün analizler için gereken toplam maya miktarı önceden hesaplanmış olup, aynı parti numarasına sahip mayalar tek seferde satın alınmıştır. Süt tozu online bir alışveriş sitesinden temin edilmiştir.

3.2. Metot

Spirulina platensis'e uygulanan analizler Şekil 3.1'de şematik olarak verilmiştir.



Şekil 3.1. Toz *Sp*'ye uygulanan analizler

3.2.1. Toz *Sp*'ye uygulanan analizler

3.2.1.1. Kuru Madde Analizi

Sabit tartıma getirilen metal petri kaplarının içerisine 1 g örnek tartılarak etüvde 105°C' de 3 saat kurutulmuştur (Şekil 3.8 ve Şekil 3.9.). Kuruyan örnekler nem kapmadan oda sıcaklığına gelmesi için 30 dakika desikatörde soğumaya bırakılmış ve daraları alınmıştır. Soğuyan örneklerin tekrar tartımı alınmıştır. Örnekler 3 paralel olarak çalışılmıştır ve hesaplamada paralellerin ortalaması alınarak yüzde toplam kuru madde miktarı aşağıdaki formüle göre hesaplanmıştır (Öner ve Aloğlu, 2018). Toz *Sp*'nin içerdiği nem oranı önce kuru maddesi belirlenerek bulunmuştur.

$$Kuru\ madde = \left(\frac{m_1 - m}{m_2 - m} \right) * 100$$

Burada;

m: Boş kurutma kabının ağırlığı (darası) (g)

m1: Kurutulmuş deney numunesi ile birlikte kabın ağırlığı (g)

m2: Deney numunesi ile birlikte kabın ağırlığı (g)

3.2.1.2. Örneklerde Toplam Protein Analizi (Kjeldahl)

Örnekler için toplam azotlu bileşikler Kjeldahl yöntemi ile belirlenmiştir. Örnekler bir ısı bloğunda bir bakır katalizör tableti (%1,5 CuSO₄ · 5H₂O +%2 Se) (Cu-Se, Sigma Aldrich) içeren 15 mL konsantre sülfürik asit (H₂SO₄) ile hidrolize edilmiştir. Cihaza yerleştirilen örnekler kademeli olarak önce 250°C'de 15 dakika, ardından 420°C'de 1,5 saat boyunca yakma işlemine bırakılmıştır. Soğutulduktan sonra, nötrleştirme ve titrasyondan önce hidrolizat numunelerine H₂O ilave edilmiştir. Örnekler 2 paralel olarak çalışılmıştır. Sarfiyatlar not edilmiş, aşağıdaki formüle göre % azot içeriği hesaplanmıştır;

$$\% Azot = \frac{(S - S_{ank}) \times F \times 0,0014}{m} \times 100$$

Burada;

S: Titrasyonda tüketilen HCl miktarı (mL)

S_{ank}: Titrasyonda kör için tüketilen HCl miktarı (mL)

m: Örnek miktarı (g)

F: HCl faktörü

3.2.1.3. Örneklerde Suda Çözünür Protein Miktarının (İzoelektrik pH Aralığının) Belirlenmesi

0,5 gr örneğe 10 ml su ilave edilmiştir. 1 saat boyunca 150 rpm karıştırma hızında ve oda sıcaklığında inkübe edilmiştir. 10 dk yüksek hızda santrifüj sonrası süpernatant pelletten ayrılmıştır. Tüplerin pH'sı sırası ile 2 ile 11 arasında ayarlanmıştır. Ayarlama 1 M NaOH ve HCl ile gerçekleştirilmiştir. Sarfiyat kaydedilmiştir. pH'sı ayarlanan örneklerin çözünür protein miktarları Lowry yöntemi ile belirlenmiştir. Örnekler 2 paralel olarak çalışılmıştır.

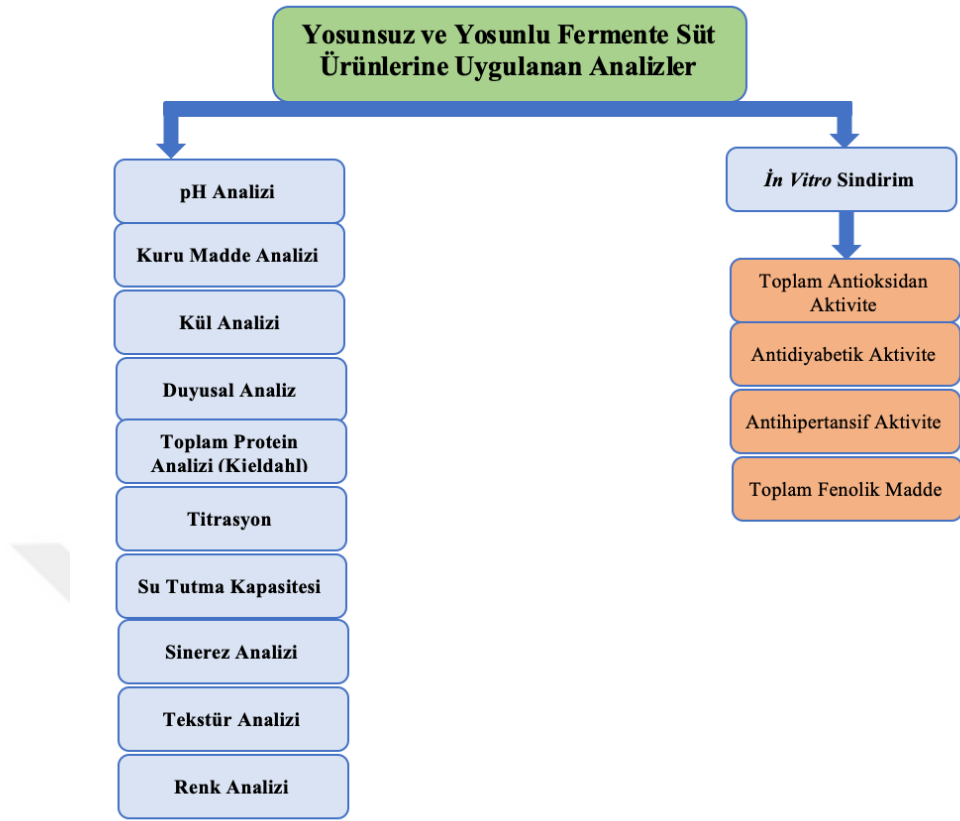
In vitro sindirim öncesi ve sonrası toz *Sp*'nin Toplam Antioksidan Aktivite, Antidiyabetik Aktivite, Antihipertansif Aktivite ve Toplam Fenolik Madde analizleri, 3.2.3. *In Vitro* Sindirime Uğratılmış Örneklerle Uygulanan Analiz Yöntemleri kısmındaki yöntemler kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

3.2.2. *Sp* içeren ve içermeyen fermente süt ürünü üretimi

Hazırlanacak olan fermente süt ürünü örnekleri toplam protein içeriği %5 olacak şekilde formülize edilmiş ve farklı konsantrasyonlarda (%0, %0,5, %1 ve %1,5) *Spirulina* içeren 4 farklı fermente süt ürünü üretilmiştir. *Spirulina* eklenmemiş fermente süt ürünü örneği kontrol olarak tanımlanmıştır. Belli hacimlerde hazırlanan sütlerle yine belli miktarlarda süt tozu ve *Spirulina* eklenmiştir. Süt tozu ve *Sp*'yi daha iyi çözdürmek ve sütü pastörize edebilmek adına karışım ısıtılma işlemi (95°C'de 10 dakika) tâbi tutulmuştur. Pastörizasyonun ardından karışım 42°C'ye soğutulmuştur. Soğuduktan sonra yoğurt mayası eklenip iyice karıştırılmıştır. Hazırlanan karışımlar ~100 mL olmak üzere plastik, kapaklı kaplara eşit bir şekilde aktarılmıştır. Yoğurt karışımları 42°C'de 6-8 saat mayalanmaya bırakılmıştır. Mayalanma süreci tamamlandıktan sonra fermente süt ürünü örnekleri +4°C'de depolanmak üzere buzdolabına koyulmuştur.

3.2.3. *Sp* içeren ve içermeyen fermente süt örneklerine uygulanan analiz yöntemleri

Sp içeren ve içermeyen fermente süt ürünü örneklerine uygulanan analizler Şekil 3.2'de şematik olarak verilmiştir.



Şekil 3.2. *Sp* içeren ve içermeyen fermente süt ürünü örneklerine uygulanan analizler

3.2.3.1. Örneklerde pH Analizi

Örneklerin pH değerleri 20±2°C’de WTW InoLab marka pH metre ile ölçülmüştür (Öner vd., 2018).

3.2.3.2. Örneklerde Kuru Madde Analizi

Sabit tartıma getirilen metal petri kaplarının içerisine 1 g örnek tartılarak etüvde 105°C’ de 3 saat kurutulmuştur (Şekil 3.3). Kuruyan örnekler nem kapmadan oda sıcaklığına gelmesi için 30 dakika desikatörde soğumaya bırakılmış ve daraları alınmıştır. Soğuyan örneklerin tekrar tartımı alınmıştır. Örnekler 3 paralel olarak çalışılmıştır ve hesaplamada paralellerin ortalaması alınarak yüzde toplam kuru madde miktarı aşağıdaki formüle göre hesaplanmıştır (Öner vd., 2018).

$$Kuru\ madde = \left(\frac{m1 - m}{m2 - m} \right) * 100$$

Burada;

m: Boş kurutma kabının ağırlığı (darası) (g)

m₁: Kurutulmuş deney numunesi ile birlikte kabın ağırlığı (g)

m₂: Deney numunesi ile birlikte kabın ağırlığı (g)



Şekil 3.3. Etüvde kurutma işlemi sonrası örneklerin son hali

3.2.3.3. Örneklerde Kül Analizi

Kül kapları sabit tartıma uygun olması için 105°C'de 2 saat etüvde bekletilmiştir. Bu kaplara 2'şer g numuneler tartılmıştır. Daha sonra numuneler kül fırınına yerleştirilerek önce 1 saat boyunca 120°C'de daha sonra 30 dk 200°C'de ve en son açık gri kül veya sabit ağırlık elde edilene kadar 550°C'de 2 gün boyunca yakılmıştır (Şekil 3.4). Desikatörde soğutulduktan sonra, numuneler tartılmış ve kül içerikleri kuru madde bazında hesaplanmıştır (Öner vd., 2018).



Şekil 3.4. Kül cihazı ve cihazda yakılan numuneler

3.2.3.4. Örneklerde Duyusal Analiz

Örneklerin duyusal analizi, 1, 7, 14 ve 21. gün depolamadan sonra, Adana Alparslan Türkeş Bilim ve Teknolojisi Üniversitesi Gıda Mühendisliği Bölümü öğrencileri ve akademik personel kadrosundan oluşan 10 kişilik panelist grubu tarafından değerlendirilmiştir (Şekil 3.5). Fermente süt ürünü örneklerini renk, koku, kıvam, ağızdaki doku, tat, deniz kokusu ve genel kabul edilebilirlik açısından değerlendirmişlerdir. Örnekler değerlendirilmeden yaklaşık 1 saat önce buzdolabından çıkarılarak oda sıcaklığında muhafaza edilmiştir. Panelistlere numuneleri değerlendirme arası, ağızlarını çalkalamaları için su ve ekmek verilmiştir. Her panel üyesinden örnekleri genel kalitelerine veya genel kabul edilebilirliklerine göre 10 cm uzunluğundaki çizgiler üzerinden, 1 ile 10 arasında sıralamaları istenmiştir (H. Gurkan vd., 2017). Duyusal analiz için kullanılan duyusal değerlendirme formu Şekil 3.6'da, değerlendirmeye yardımcı olması için verilen bilgiler Şekil 3.7'de verilmiştir.



Şekil 3.5. Duyusal analiz yapan panelistler

Spirulina ilave edilmiş fermente süt ürünü duyusal değerlendirme formu

İsim-soy isim:

Tarih:

Yaş:

Ürün kodu:

Puanlamanızı **sol çizgi en düşük** ve **sağ çizgi en yüksek** olacak şekilde yapınız. Ortadaki çizgi puan ölçeğinin tam orta noktasını göstermektedir.

Değerlendirme kriterleri	Puanlama
Renk	
Koku	
Kıvam	
Doku	
Tat	
Deniz Kokusu	
Genel İzlenim	

Önerileriniz

Şekil 3.6. Duyusal değerlendirme formu

Uyarı: Deneyecek olduğunuz Türk Gıda Kodeksi Fermente Süt Ürünleri Tebliği (2009/25) kapsamında “Çeşnili Fermente Süt Ürünleri” olarak sınıflandırılabilen bir üründür. Ürün içerisinde **yağlı inek sütü, kurutulmuş yosun tozu (*Spirulina platensis*), süt tozu ve yoğurt kültürü** bulunmaktadır.

Renk: Ürün rengi yosundan kaynaklı olarak parlak yeşilimsi-mavimsi bir renge sahiptir. Bu kısımda sizlerden ürün renginin ne kadar çekici olduğunu değerlendirmeniz istenmektedir. Değerlendirmenizi **en düşük: hiç çekici değil; en yüksek: çok çekici** olarak yapabilirsiniz.

Koku: Ürünün kokusunun hem **ferment süt kokusuna (yoğurt)** hem de **yosun kaynaklı** bir kokuya sahip olması beklenmektedir. Denediğiniz ürünün bu kokuları içermesini değerlendiriniz. **En düşük koku** olarak **koku yoğunluğunun olmadığı; en yüksek koku** olarak **yoğurt ve yosun kokusunun yoğun şekilde hissedildiği koku** olarak değerlendiriniz. Değerlendirmenizi yaparken koku beğenisi üzerine değerlendirme yapmayınız.

Kıvam: Üründen beklenen kıvam **pürüzsüz ve akışkan** olmasıdır. **Sundae tipi yoğurtlar (meyveli yoğurt)** ile kıyaslanabilir. Kıvamının meyveli yoğurta yakın olmasını değerlendiriniz. **En düşük kıvam** olarak **ev tipi yoğurt; en yüksek kıvam** olarak **meyveli yoğurt** kıvamları göz önüne alınarak değerlendirme yapılmalıdır.

Doku: Ürünün meyveli yoğurt benzeri bir dokuya sahip olması istenmektedir. Ağza alındığından **pürüzsüz, homojen ve kaygan yapılı** olmasına göre değerlendirmenizi yapabilirsiniz.

Tat: Ürün lezzetinde hem yoğurt hem de yosun lezzeti barındırmaktadır. **En düşük tat** olarak **tat yoğunluğunun olmadığı; en yüksek tat** olarak **yoğurt ve yosun tatlarının yoğun şekilde hissedildiği tat** olarak değerlendiriniz. Değerlendirmenizi yaparken tat beğenisi üzerine değerlendirme yapmayınız.

Deniz Kokusu: Yosun içeren bir ürün olduğu için yutma sonrası genizde deniz/yosun kokusu alınabilmektedir. **En düşük** değerlendirme **kokunun hiç alınmadığı; en yüksek değerlendirme yosun yutulması sonrası genizde alınan koku** olarak değerlendiriniz. Değerlendirmenizi yaparken deniz/yosun kokusu beğenisi üzerine değerlendirme yapmayınız.

Genel İzlenim: Bu ürün yoğurt yerine tüketilebilecek bir üründür. Spirulina %50’den fazla protein içeren ve antosiyaninlerce zengin bir üründür. Ürün hakkındaki genel izleniminizi oluştururken “**Bu ürünü sağlığınıza katkı olarak düşündüğünüzde tüketmek ister misiniz?**” sorusunun cevabına göre değerlendiriniz. **En düşük** değerlendirme **asla tüketmem; en yüksek değerlendirme sürekli tüketmek isterim** olarak değerlendiriniz.

Şekil 3.7. Duyusal değerlendirmeye yardımcı bilgiler

3.2.3.5. Örneklerde Toplam Protein Analizi

Kjeldahl yöntemi, gıdalar, içecekler, et, tarım ürünleri, yem, süt ürünleri ve ilaçlarda azot içeriğinin ölçülmesinde yaygın olarak kullanılan yöntemlerden biridir. Kjeldahl yöntemi üç adımdan oluşur:

- NH_4^+ iyonlarına dönüşmesine neden olan nitrojen içeren asidik (konsantre H_2SO_4) sindirimi (mineralizasyon),
- NH_4^+ iyonlarını NH_3 'e dönüştürürken, NH_3 'ün su buharı ile damıtılması ve asidik damıtma alıcısında NH_3 toplanması,
- Damıtma alıcısından çözeltinin titrasyonu.

Kjeldahl'ın orijinal nitrojen analiz yönteminde, sindirim ortamı olarak genellikle sülfürik asit kullanılır. Bir selenyum reaktif karışımı (Na_2SO_4 , H_2SO_4 , CuSO_4 , Se) genellikle sindirim için gereken süreyi kısaltmak için uygulanabilir; Na_2SO_4 , H_2SO_4 'ün kaynama noktasını yükseltir ve diğer bileşenlerde katalizör görevi görür. 360–410 °C sıcaklık aralığında sindirim tamamlanır (Michałowski, Asuero, & Wybraniec, 2013).

Örnekler için toplam azotlu bileşikler Kjeldahl yöntemi ile belirlenmiştir. Örnekler bir ısı bloğunda bir bakır katalizör tableti (%1,5 $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ +%2 Se) (Cu-Se, Sigma Aldrich) ve 15 mL konsantre sülfürik asit (H_2SO_4) ile hidrolize edilmiştir. Cihaza yerleştirilen örnekler kademeli olarak önce 250°C'de 15 dakika, ardından 420°C'de 1,5 saat boyunca yakma işlemine bırakılmıştır (Şekil 3.8). Örnekler soğutulduktan sonra, nötrleştirme ve titrasyon işlemleri gerçekleştirilmiştir. Örnekler 2 paralel olarak çalışılmıştır. Sarfiyatlar not edilmiş, aşağıdaki formüle göre % azot içeriği hesaplanmıştır;

$$\% \text{ Azot} = \frac{(S - S_{\text{blank}}) \times F \times 0,0014}{m} \times 100$$

Burada;

S: Titrasyonda tüketilen HCl miktarı (mL)

S_{blank}: Titrasyonda blank için tüketilen HCl miktarı (mL)

m: Örnek miktarı (g)

F: HCl faktörü



Şekil 3.8. Kjeldahl cihazında arkada tamamen yanıp berraklaşan ve öndeki yanması tamamlanmamış, koyu renkli örnekler

3.2.3.6. Örneklerde Titre Edilebilir Asitlik Analizi (Titrasyon)

Fermente süt ürünü olan yoğurt numunesine 10 ml distile su eklenmiş ve karıştırılmıştır. Ardından %1 fenolftalein indikatörü kullanılarak 0,1 N NaOH ile renk değişimi gözlemlenene kadar titre edilmiştir (Şekil 3.9). NaOH sarfiyatı kaydedilip aşağıdaki formüle göre titre edilebilir asitlik laktik asit cinsinden hesaplanmıştır (Öner vd., 2018).

$$\text{Titre edilebilir asitlik} = \frac{V \times 0,009 \times F}{M} \times 100$$

Burada;

V: NaOH sarfiyatı (ml)

F: NaOH faktörü

M: Örnek miktarı (g)



Şekil 3.9. Titrasyon sonrası örneklerdeki renk değişimi

3.2.3.7. Örneklerin Su Tutma Kapasitesinin Belirlenmesi

10 g fermente süt ürünü numunesi +4°C’de 15 dk 4000 rpm’de santrifüjlenmiştir. Santrifüj sonrası ayrılan fermente süt ürününün serumu ayrılıp ölçülmüştür (Şekil 3.10). Su tutma kapasitesi aşağıdaki formüle göre hesaplanmıştır. Örnekler 2 paralel olarak çalışılmıştır (Isanga & Zhang, 2009).

$$WHC = \left(\frac{Y - W}{Y} \right) * 100$$

Burada;

WHC: Su tutma kapasitesi

Y: Yoğurt

W: Ayrılan fermente süt ürününün serumu



Şekil 3.10. Santrifüj sonrası ayrılan örnekler

3.2.3.8. Örneklerde Sinerez Ölçümü

Fermente süt ürünü örneklerinden 10 g tartılıp, dereceli silindirde filtre kağıdıyla 2 saat buzdolabında bekletilmiştir. 2 saat sonunda dereceli silindire süzülen peynir altı suyunun hacmi ölçülmüş olup, aşağıdaki formüle göre % değeri hesaplanmıştır (Öner vd., 2008).

$$\% \text{ Sinerez} = \left(\frac{\text{Süzülen peynir altı suyu}}{\text{Numune başlangıç ağırlığı}} \right) \times 100$$

Örnekler 2 paralel olarak çalışılmıştır.

3.2.3.9. Örneklerde Tekstür Analizi

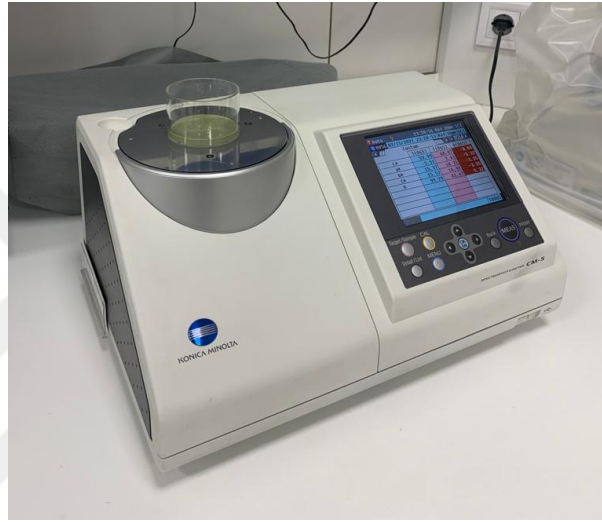
Spiriluna ilaveli fermente süt ürünlerinin aralarındaki farklılıkların etkisi araştırılmak üzere baskı (compression) testi ile tekstürel özellik ölçümleri yapılmıştır. Örnekler, buzdolabından (4 °C) çıkarıldıktan hemen sonra analiz edilmiştir. Numuneler 10 s kadar spatül ile homojen dağılım olacak şekilde karıştırıldıktan sonra ölçülmüştür. Tekstür profil analizi, 5 kg yük hücresine sahip olan Brookfield CT3 Texture Analyzer (Massachusetts, ABD) marka cihazda, silindirik prob (TA4/1000, 38,1 mm çap, 20 mm uzunluk) kullanılarak yapılmıştır (Şekil 3.11). Prob hızları; 2,0 mm/s (test-öncesi), 0,5 mm/s (test) ve 0,5 mm/s (test-sonrası) şeklindedir. Hedef mesafesi ve triger yükü sırasıyla 7 mm ve 4,5 g'dır. Baskı işlemi her bir test için 2 kez uygulanmıştır. Örnekler 2 paralel çalışılmıştır. Testler sonucunda, Sertlik 1 ve 2 (hardness, N), Yüzey Yapışkanlığı (adhesive force, mJ) İç Yapışkanlık (cohesive force), Esneklik (springiness, mm) ve Sakızimsılık (gumminess, N) değerleri kaydedilmiştir (Demir.H vd., 2021). Sertlik 1 ve Sertlik 2, belirli bir deformasyona ulaşmak için gerekli olan kuvvet olarak tanımlanmaktadır (Szczeniak 2002; Uprit ve Mishra 2004). Yüzey yapışkanlığı, belirli bir yüzeye adsorbe eden malzemeyi uzaklaştırmak için gereken kuvvettir (Salvador ve Fiszman, 2004). İç Yapışkanlık, ürünü bir bütün olarak tutan iç bağların kuvveti olarak tanımlanır. Sakızimsılık, yarı katı kıvamdaki ürünü yutmaya hazır hale getirmek için gerekli olan enerjidir. Esneklik, birinci sıkıştırma döngüsünün sonu ile ikinci sıkıştırma döngüsünün başlangıcı arasında geçen süre boyunca numunenin yükseldiği uzunluk ile ilişkilidir (Salvador ve Fiszman, 2004).



Şekil 3.11. Tekstür cihazı

3.2.3.10. Örneklerde Renk Ölçümü

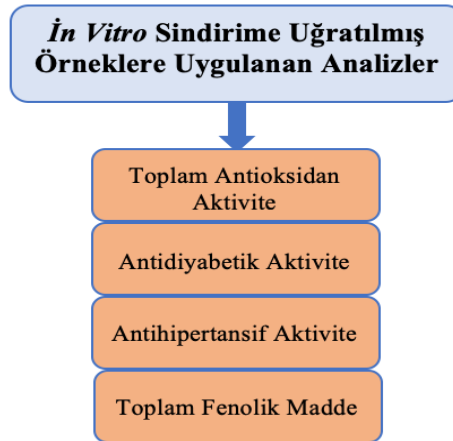
Fermente süt ürünü örneklerinin renk analizi Konica Minolta CM-5, Japonya renk ölçüm cihazı kullanılarak yapılmıştır (Şekil 3.12). Cihaz, ölçümden önce beyaz plaka kullanılarak kalibre edilmiştir. Sonuçlar L^* , a^* ve b^* olarak verilmiştir. CIE renk sistemine göre L^* : açık ve ($L^*=100$) koyu ($L^*=0$) arasındaki farkı, a^* : yeşille ($-a^*$) kırmızı ($+a^*$) arasındaki farkı, b^* : maviyle ($-b^*$) sarı ($+b^*$) arasındaki farkı tanımlar (Barkallah vd., 2017). Örnekler 2 paralel olarak çalışılmıştır.



Şekil 3.12. Renk analiz cihazı

3.2.4. *In vitro* sindirime uğratılmış örneklerle uygulanan analiz yöntemleri

Uygulanan yöntemler Şekil 3.13'te şematik olarak verilmiştir.



Şekil 3.13. *In vitro* sindirime uğratılmış örneklerle uygulanan analizler

3.2.4.1. Örneklerde Toplam Antioksidan Aktivite

3.2.4.1.1. ABTS yöntemi

Örneklerin antioksidan aktivite ölçümleri troloks eşleniği antioksidan kapasite yöntemi modifiye edilerek gerçekleştirilmiştir. Bu yöntemde örneklerin ABTS (2,2'-azino-bis (3- etilbenzotiyazolin-6-sulfonik asit)) radikallerini nötralize etme aktiviteleri ölçülmüştür. Re vd. (1999) 0,1 ml örnek çözeltisi ile 1,9 ml 7 mmol/L ABTS radikal çözeltisinin (2,5 mmol/L potasyum persülfat içerisinde hazırlanmış)) ABTS serbest radikallerini süpürme aktivitelerini ölçmüştür. Örneklerin verdiği reaksiyon, 6 dakika boyunca kinetik olarak 734 nm'deki absorbans değerinde meydana gelen değişimin ölçülmesi ile belirlenmiştir. ABTS radikal çözeltisinin başlangıç absorbans değeri $0,700 \pm 0,020$ olacak şekilde pH 7.4 75 mmol/L tuzlu fosfat tamponu (150 mmol/L NaCl içeren) kullanılarak ayarlanmıştır. Örnekler 2 paralel olarak çalışılmıştır.

3.2.4.1.2. DPPH yöntemi

Öncelikle 0,06 mmol/L metanol DPPH (2,2-Difenil-1-(2,4,6-trinitrofenil) hidrazil) çözeltisi hazırlanmıştır. Çözelti hazırlandıktan sonra absorbansı kontrol edilmiştir. Absorbans $0,7 \pm 0,02$ olacak şekilde metanol ile ayarlanarak karanlıkta muhafaza edilmiştir. Ayarlanan absorbans 0.an olarak kaydedilmiştir. 50 µL örnek veya ekstraktın hazırlandığı çözgen (kör) cam tüpe aktarılmıştır. Üzerine 1,95 mL DPPH çözeltisi ilave edilmiştir. Yarım saat karanlıkta inkübe edilmiştir. 517 nm dalga boyunda absorbans ölçümü yapılmıştır. İlk okunan absorbans değerinin altında olması beklenmiştir. Örnekler 2 paralel olarak çalışılmıştır.

3.2.4.2. Örneklerde Toplam Antidiyabetik Aktivite

α -Glukozidaz inhibisyon deneyi Ayyash vd. (2018)' te belirlenen yöntem modifiye edilerek gerçekleştirilmiştir. 0.1 M sodyum fosfat tamponunda (pH 6.8) hazırlanmış olan 50 µL α -glukozidaz enzimi (1 unit/ml) 50 µL örnek ile 10 dakika boyunca 37°C' de ön inkübasyona bırakılmıştır. Ardından substrat olarak 50 µL 1 mM (4-Nitrofenil β -D-Galaktopiranosit) ilave edilerek enzimatik reaksiyon başlatılmış ve 60 dakika boyunca 37°C' de gerçekleşen reaksiyon 1 mL 0.1 M Na₂CO₃ ilave edilerek sonlandırılmıştır. Enzim aktivitesi oluşan p-nitrofenil' in 400 nm' de ölçülmesiyle belirlenmiştir. Örnek içermeyen çözelti kontrol, substrat içermeyen çözelti kör (her örnek için yapılmış) olarak kullanılmıştır. Örnekler 3 paralel olarak çalışılmıştır.

α -Amilaz inhibisyon deneyi Ayyash vd. (2018)' te belirlenen yöntem modifiye edilerek gerçekleştirilmiştir. 0.1 M sodyum fosfat tamponunda (pH 6.8) hazırlanmış olan 100 μ L α -Amilaz enzimi (10 unit/ml) 100 μ L örnek ile 5 dakika boyunca 37 °C' de ön inkübasyondan sonra, reaksiyonu başlatmak için sodyum fosfat tamponu (pH 6.8) içinde hazırlanan 250 μ L %1 (mg/ml)' lik nişasta ilave edilmiştir. Reaksiyon, 37°C' de 30 dakika süreyle gerçekleştirilmiş ve 200 μ L DNS reaktifi (0.4 M NaOH içinde %1'lık 3,5-dinitrosalisilik asit ve %12'lik sodyum potasyum tartarat) ilave edilmiştir. Reaksiyon 95°C' de 10 dakika ısıtılmış ve enzimin inaktivitesi ile sonlandırılmıştır. Ardından buz banyosunda 1 ml damıtılmış su ile seyreltilmiştir. α -Amilaz aktivitesi, 540 nm'de absorbans ölçülerek belirlenmiştir. Örnek içermeyen çözelti kontrol, substrat içermeyen çözelti kör (her örnek için yapılmış) ve enzim içermeyen çözelti enzim blankı (her örnek için yapılmış) olarak kullanılmıştır. Örnekler 3 paralel olarak çalışılmıştır.

3.2.4.3. Örneklerde Antihipertansif Aktivite

Yoğurdun antihipertansif aktivitesi, Shalaby vd. (2006) tarafından tarif edilen yöntem, modifiye edilerek anjiyotensin dönüştürücü enzim (ACE) üzerindeki inhibitör etkileri ölçülerek belirlenmiştir. pH 7.0'da 0.01 mol/L fosfat tamponlu salin (PBS) (NaCl konsantrasyonu: 0.5 mol/L) içinde 0,1 U/ml anjiyotensin dönüştürücü enzim (ACE) hazırlanmıştır. 40 μ l uygun oranda seyreltilmiş örnekler 20 μ l anjiyotensin dönüştürücü enzimi (ACE) eklenerek 37 °C de 15 dk inkübe edilmiştir. Ardından 740 μ l FAPGG (N-[3-(2- Furl)akrilol] L- fenilalanil-glisil-glisin) substratı ilave edilip tekrardan 37 °C de 75 dk inkübe edilmiştir. Daha sonra 400 μ l PBS eklenerek 340 nm' de spektrofotometrik olarak ölçüm yapılmıştır. Örnekler 2 paralel olarak çalışılmıştır.

3.2.4.4. Örneklerde Toplam Fenolik Madde

Örneklerin toplam fenolik madde içerikleri Folin-Ciocalteu reaktifi kullanılarak ve yöntem modifiye edilerek gerçekleştirilmiştir (Singleton & Rossi, (1965)). 100 μ l uygun oranda seyreltilmiş örnek 1000 μ l Folin Ciocalteu reaktifi ile (1/10 oranında deiyonize su ile seyreltilmiş) karıştırılarak 3 dakika inkübe edilmiştir. Ardından 800 μ l Na₂CO₃ (%7,5'luk (g/ml)) ilave edilip karıştırılmış ve 1 saat karanlıkta bekletilmiştir. Oluşan renk 765 nm' de spektrofotometrik olarak ölçülerek sonuçlar galik asit eşleniği cinsinden ifade edilmiştir (Agilet Carry 60, ABD). Örnekler 2 paralel olarak çalışılmıştır.

3.2.5. İstatistiksel analizler

Örnekler arasındaki karşılaştırmalar tek yönlü ANOVA kullanılarak, SPSS (Statistical Package for the Social Sciences, 15.version) yazılımı yardımıyla gerçekleştirilmiştir. $p<0.05$ önem derecesine göre sonuçlar kıyaslanmıştır.



4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1. Toz *Sp* Örneklerinin Kimyasal Analizleri

Toz *Sp*'nin herhangi bir ön işleme maruz kalmadan içerdiği nem, toplam protein ve pH'ya bağlı suda çözünür protein miktarları belirlenmiştir. İçerdiği toplam protein ve nem miktarı Tablo 4.1'de verilmiştir. Toz *Sp*'nin önce pH 2.5-4 aralığındaki suda çözünür protein miktarına bakılmıştır (Tablo 4.2). Daha sonra bu pH aralığı genişletilerek, pH 2 ile 11 arasındaki suda çözünür protein miktarları incelenmiştir (Şekil 4.1).

Tablo 4.1. Toz *Sp*'nin içerdiği toplam protein ve nem analiz sonuçları

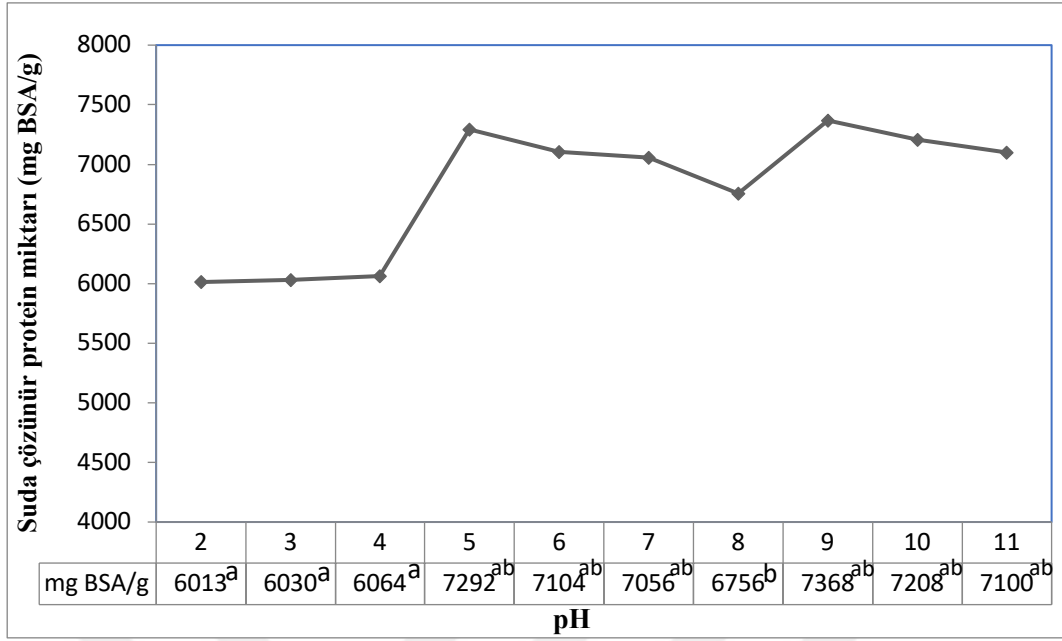
	Toz <i>Sp</i>
Toplam protein miktarı (%)	52.78 ± 0.11
Nem tayini (%)	10.89 ± 0.13

Tablo 4.1'de görüldüğü gibi *Spirulina*'nın protein içeriği %52,78 bulunmuştur. Bu oran literatür ile uyumludur ve oldukça yüksektir. Nem içeriğine bakıldığında ise oran %12'nin altında olduğundan, *Spirulina* için kuru bir ürün denebilir.

Tablo 4.2. Örneklerin pH'ya bağlı suda çözünür protein miktarlarının belirlenmesi

pH	Suda çözünür protein miktarı (mg BSA/g)
2.5	1620.69 ^a ± 84.86
3	1693.49 ^a ± 16.95
3.5	1616.93 ^a ± 64.52
4	1669.18 ^a ± 92.95

Tablo 4.2'ye göre *Spirulina*'nın suda çözünür protein miktarı en yüksek 1693.49 mg BSA/g olarak pH değeri 3 iken elde edilmiştir. pH'ya bağlı suda çözünür protein miktarında önemli ölçüde değişiklik olmamıştır.



Şekil 4.1. *Spirulina*'nın pH'ya bağlı suda çözünür protein grafiği

Grafiğe göre en yüksek suda çözünür protein miktarı pH değeri 9 iken elde edilmiştir. Ardından en yüksek değer pH değeri 5 olduğunda görülmüştür. En düşük suda çözünür protein miktarı ise pH değeri 2 iken elde edilmiştir. Bu değerler ele alındığında ortamın asidik değeri arttıkça *Spirulina*'nın suda çözünür protein miktarının düştüğü sonucuna varılmıştır. En ideal suda çözünür protein değerlerinin, pH'nın yüksek olduğu ortamlarda elde edilebileceği görülmüştür. Sonuçlar ele alındığında asidik bölgede protein çözünürlüğü minimum iken, nötral ve bazik bölgelerde protein çözünürlüğünün arttığı görülmüştür. Bu analizin amacı *Spirulina*'nın izoelektrik noktasını bulmaktır.

4.2. *Sp* İçeren ve İçermeyen Fermente Süt Ürünlerine Uygulanan Analizler

Sp içermeyen örnekler Kontrol, %0,5 *Sp* içeren örnekler S1, %1 *Sp* içeren örnekler S2 ve %1,5 *Sp* içeren örnekler ise S3 olarak adlandırılmıştır.

4.2.1. *Sp* içeren ve içermeyen fermente süt ürünlerinde pH analizi

Depolama süresi boyunca fermente süt örneklerinde meydana gelen pH değerlerindeki değişim Tablo 4.3'te verilmiştir. Örneklerin pH değerleri 3.90 ile 4.72 arasında değişmiştir.

Tablo 4.3. *Sp* içeren ve içermeyen fermente süt ürünlerinin depolama süresi boyunca kaydedilen pH değerleri

	1. Gün	7. Gün	14. Gün	21. Gün
Kontrol	4.27 ± 0.17 ^{aAB}	3.98 ± 0.05 ^{aA}	4.16 ± 0.02 ^{aA}	4.52 ± 0.02 ^{aB}
S1	4.16 ± 0.18 ^{aA}	3.90 ± 0.06 ^{aA}	4.12 ± 0.02 ^{aA}	4.59 ± 0.00 ^{aB}
S2	4.19 ± 0.18 ^{aA}	4.08 ± 0.21 ^{aA}	4.13 ± 0.01 ^{aA}	4.59 ± 0.00 ^{aA}
S3	4.21 ± 0.20 ^{aAB}	4.14 ± 0.16 ^{aA}	4.15 ± 0.01 ^{aA}	4.72 ± 0.12 ^{aB}

*Küçük harfle belirtilen ortalamalar örnekler arasındaki istatistiksel konsantrasyon farklılığını göstermektedir (p<0.05).

*Büyük harfle belirtilen ortalamalar depolama süresi arasındaki istatistiksel farklılığı göstermektedir (p<0.05).

Spirulina ilavesinin ve depolama süresinin örneklerin pH değerleri üzerinde önemli bir etkisi gözlenmemiştir (p>0.05). pH değerleri birbirine yakındır ancak depolama sırasında örneklerin en yüksek pH değerleri 21. günde belirlenmiştir. Depolama süresi arttıkça 7. günden sonra pH değerinde artış görülmüştür. Yani asitliğin azaldığı görülmektedir. Bunun sebebi örneklerle üretilirken eklenen süt tozu ilavesi veya kullanılan maya olabilir.

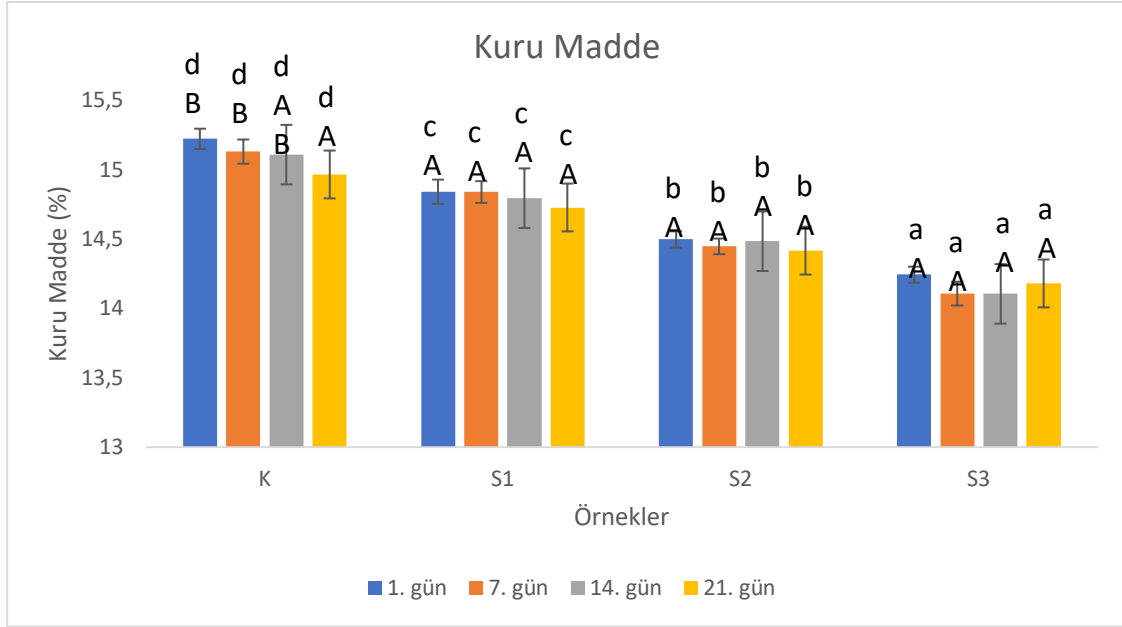
Varga vd. (1999) yaptığı çalışmada, *Spirulina* içerikli ve *Streptococcus thermophilus* ve *Lactobacillus bulgaricus* kültürü ile aşılanmış sütün pH değerlerinin fermantasyon evresinde kontrol numunelerinden daha hızlı bir şekilde azaldığını tespit etmişlerdir.

Beheshtipour vd. (2012) yaptığı çalışmada, *Arthrospira platensis* ve *Chlorella vulgaris* ilaveli yoğurdun pH ve titre edilebilir asitlik değerlerini, fermantasyon ve 28 günlük soğutmalı depolama (5°C) sırasında probiyotik bakterilerin canlılığını incelemişlerdir. *S. platensis* içeren yoğurtların *Chlorella vulgaris* içeren yoğurda göre daha yavaş pH düşüşü, daha hızlı asitlik artışı, daha uzun inkübasyon süresi ve daha yüksek titre edilebilir asitliğe sahip olduğu sonucuna ulaşmışlardır. *Spirulina* içeren örnekler fermantasyon işlemi sırasında daha düşük tamponlama kapasitesi sergilemiştir. Bütün yoğurtlarda asidite oranlarında minimum artış olduğu gibi pH oranlarında da minimum azalma gözlemiştir. Bu durum yoğurtların farklı tamponlama kapasitesi etkilerine bağlanmıştır.

4.2.2. *Sp* içeren ve içermeyen fermente süt ürünlerinde kuru madde analizi

Fermente süt ürünü örneklerinin depolama süresi boyunca kaydedilen kuru madde değerlerine ilişkin sonuçlar Şekil 4.2’de verilmiştir. Örneklerin kuru madde değerleri %14,11 ile %15,23 arasında değişmiştir.

Tablo 4.8'e göre en yüksek kuru madde değerine sahip olan Kontrol örneği, en düşük değere sahip olan örnek ise S3 örneğidir. *Spirulina* ilavesi arttıkça kuru madde değerinin düştüğü görülmektedir. Kontrol örneğinin kuru madde değerinin, depolama süresi boyunca azaldığı saptanmıştır. Örnekler arasında istatistiksel olarak önemli bir fark bulunmuştur ($p<0.05$).



Şekil 4.2. *Sp* içeren ve içermeyen fermente süt ürünlerinin depolama süresi boyunca kaydedilen kuru madde değerleri

*Küçük harfle belirtilen ortalamalar örnekler arasındaki istatistiksel konsantrasyon farklılığını göstermektedir ($p<0.05$).

**Büyük harfle belirtilen ortalamalar depolama süresi arasındaki istatistiksel farklılığı göstermektedir ($p<0.05$).

Spirulina ilavesi ile örneklerde kuru madde oranının artışı beklenilenin tersine olmuştur. En düşük kuru madde içeren örneğin, en yüksek *Spirulina* konsantrasyonuna sahip örnek olmasının sebebi; fermente süt ürünü üretilirken proteini sabitlemek için üretim esnasında örneklerle süt tozu eklenmesidir. Hesaplamalara göre ürünlerdeki *Sp* ilavesi azaldıkça, eklenen süt tozu miktarı artmıştır. Yani üretim esnasında en yüksek süt tozu miktarı Kontrol örneğine eklenmiştir. Bu durum Kontrol örneğinin kuru madde miktarının neden daha fazla çıktığını açıklamaktadır. Aynı zamanda *Spirulina* 'nın yetiştiği ortam, kurutulma şekli bütün tayinleri etkilediği gibi kuru madde tayinini de etkilemiş olabilir.

Barkallah vd. (2017) yaptığı çalışmada, kontrol ve %0,25 *Spirulina* eklenmiş yoğurdun kuru madde değerlerini sırasıyla 22.47 ± 0.03 ve 22.62 ± 0.07 g / 100 g olarak bulmuşlardır. Değerler arasındaki fark istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($p < 0.05$).

4.2.3. *Sp* içeren ve içermeyen fermente süt ürünlerinde kül analizi

Fermente süt örneklerinin kül değerlerine ilişkin sonuçlar Tablo 4.4'te verilmiştir. Kül miktarları yüzde olarak belirtilmiş olup kuru temel baz alınmıştır.

Tablo 4.4. *Sp* içeren ve içermeyen fermente süt ürünlerinin kül değerleri

% Kül Miktarı	
Kontrol	0.068 ± 0.00^a
S1	0.068 ± 0.00^a
S2	0.067 ± 0.00^{ab}
S3	0.065 ± 0.00^b

*Küçük harfle belirtilen ortalamalar örnekler arasındaki istatistiksel konsantrasyon farklılığını göstermektedir ($p < 0.05$).

Kül miktarı en fazla %0,5 oranında *Spirulina* içeren S1 ve Kontrol örneğinde saptanmıştır ancak genel olarak değerler birbirine yakın çıkmıştır. *Sp* konsantrasyonu arttıkça kül miktarında istatistiksel olarak belirgin bir azalma gözlemlenmiştir ($p < 0.05$). *Sp* ilavesi kuru madde miktarını artırdığından kül miktarının da bu mantıkla artmış olması gerekirdi. Ancak sonuçlara bakıldığında durumun tam tersi olması, kuru madde analiz sonuçlarında olduğu gibi, üretim esnasında eklenen farklı süt tozu miktarlarıdır. Örneklerle eklenecek *Sp* miktarı arttıkça, eklenecek olan süt tozu miktarı azaldığından, en yüksek süt tozu miktarı Kontrol örneğine ilave edilmiştir. Bu durum *Sp* ilavesi arttıkça azalan kül miktarını açıklamaktadır. Ek olarak süt tozu ilavesi artan örneklerin mineral içeriğinin daha fazla olduğu söylenebilir.

4.2.4. *Sp* içeren ve içermeyen fermente süt ürünlerinde duyu analizi

Duyu analizi insan duyuları tarafından belirlenir ve tüketicinin bir gıdayı tercih edip, etmemesi konusunda fikir verir. Bir gıda ürününün duyu özellikleri hem tüketiciler için hem gıda üreticileri için önemli bir faktördür. Gıda endüstrisinde yeni bir ürün piyasaya sunulacağı zaman ürünün tercih edilebilirliğinin araştırılması gerekir. Pazar payı artmayan, sevilerek

yenmeyen ürünlerin de kalitesini yükseltmek amacıyla daha fazla deneysel çalışma yapılarak ürünün halka beğendirilmesi sağlanır (Onoğur vd., 2011).

Fermente süt örnekleri depolamanın 1., 7., 14. ve 21. günlerinde 10 kişilik panelist grubu tarafından duyuşal özellikleri bakımından test edilmiştir. Yapı, asidik tat, görünüş, renk, koku ve toplam kabul edilebilirlik kriterlerine göre panelistler tarafından verilen değerlendirme sonuçları Tablo 4.5'te verilmiştir. Puanlandırma 10 üzerinden değerlendirilmiştir. 1 en düşük, 10 ise en yüksek değer olarak kabul edilmiştir.

Tablo 4.5. *Sp* içeren ve içermeyen fermente süt ürünlerinin depolama süresi boyunca kaydedilen duyuşal analiz değerleri

KRİTER	Gün	K	S1	S2	S3
Renk	1	7.74±2.92 ^{aC}	4.86±2.33 ^{aA}	5.27±2.68 ^{aA}	6.78±2.65 ^{aA}
	7	7.81±2.77 ^{aD}	4.61±2.39 ^{aA}	5.96±3.10 ^{aA}	5.24±2.35 ^{aA}
	14	6.44±3.08 ^{aA}	5.19±2.43 ^{aA}	5.46±1.72 ^{aA}	7.05±2.43 ^{aA}
	21	6.74±3.39 ^{aB}	4.17±2.60 ^{aA}	6.14±1.84 ^{aA}	5.81±2.57 ^{aA}
Koku	1	3.04±2.93 ^{aA}	3.46±1.92 ^{abA}	4.01±2.48 ^{abA}	6.54±2.27 ^{bA}
	7	3.50±3.21 ^{aA}	3.66±2.57 ^{aA}	5.51±3.19 ^{aAB}	5.81±2.82 ^{aA}
	14	4.19±2.74 ^{aA}	4.84±2.01 ^{abA}	6.38±1.91 ^{abab}	7.44±2.06 ^{bA}
	21	3.80±3.06 ^{aA}	5.22±2.19 ^{aA}	7.16±1.21 ^{aB}	6.72±1.73 ^{aA}
Kıvam	1	7.16±3.12 ^{aA}	4.87±2.66 ^{aAB}	4.04±2.08 ^{aA}	5.55±2.07 ^{aB}
	7	6.54±3.25 ^{bA}	3.20±2.72 ^{abA}	4.00±2.67 ^{abA}	2.18±1.75 ^{aA}
	14	7.79±2.6 ^{aA}	6.79±2.44 ^{aB}	5.97±3.01 ^{aA}	5.65±2.80 ^{aB}
	21	5.32±2.85 ^{aA}	4.91±2.92 ^{aAB}	5.09±2.69 ^{aA}	4.99±2.55 ^{aAB}
Doku	1	8.99±0.98 ^{bA}	7.38±1.83 ^{abA}	7.77±1.35 ^{abA}	6.96±1.93 ^{aA}
	7	8.59±1.55 ^{aA}	7.86±1.54 ^{aA}	6.09±3.11 ^{aA}	7.31±2.36 ^{aA}
	14	8.64±0.99 ^{aA}	6.73±2.84 ^{aA}	6.72±3.02 ^{aA}	6.60±3.25 ^{aA}
	21	8.86±0.88 ^{bA}	6.68±2.82 ^{abA}	5.46±3.17 ^{abA}	5.20±3.67 ^{aA}
Tat	1	4.58±3.21 ^{aA}	5.45±2.21 ^{aA}	6.11±2.57 ^{aA}	7.54±2.16 ^{aA}
	7	4.08±2.49 ^{aA}	5.46±1.00 ^{abA}	6.71±2.12 ^{bA}	7.31±1.61 ^{bA}
	14	5.53±2.51 ^{aA}	6.76±2.09 ^{aA}	7.08±1.25 ^{aA}	7.57±1.85 ^{aA}
	21	5.39±3.58 ^{aA}	6.21±2.74 ^{aA}	6.98±1.89 ^{aA}	7.31±1.83 ^{aA}
Deniz Kokusu	1	0.42±0.41 ^{aA}	3.31±2.61 ^{bA}	3.69±2.28 ^{bcA}	6.26±2.40 ^{cA}
	7	0.50±0.72 ^{aA}	1.62±1.93 ^{abA}	5.31±3.11 ^{cA}	4.51±3.23 ^{bcA}
	14	0.95±1.76 ^{aA}	7.23±7.80 ^{bA}	5.22±2.34 ^{abA}	6.97±2.51 ^{bA}

	21	0.74±1.26 ^{aA}	5.02±2.71 ^{bA}	6.54±2.62 ^{bA}	6.98±2.53 ^{bA}
Genel İzlenim	1	7.99±1.32 ^{bA}	5.11±2.45 ^{aA}	4.51±2.03 ^{aA}	3.23±2.44 ^{aA}
	7	8.01±1.11 ^{bA}	5.96±2.28 ^{aA}	3.73±2.16 ^{aA}	3.63±1.89 ^{aA}
	14	6.91±2.84 ^{aA}	5.56±2.95 ^{aA}	5.43±2.97 ^{aA}	4.84±3.12 ^{aA}
	21	7.30±2.77 ^{bA}	3.99±3.00 ^{abA}	3.50±2.64 ^{aA}	3.39±2.58 ^{aA}

*Küçük harfle belirtilen ortalamalar örnekler arasındaki istatistiksel konsantrasyon farklılığını göstermektedir (p<0.05).

**Büyük harfle belirtilen ortalamalar depolama süresi arasındaki istatistiksel farklılığı göstermektedir (p<0.05).

Sonuçlara bakıldığında öne çıkan değişimler; Koku, Deniz Kokusu ve Genel izlenim parametrelerinde görülmüştür. Geriye kalan parametrelerde ise örnekler arası anlamlı değişim görülmemiştir (p>0.05).

Genel İzlenim, beğeniye dayalı bir parametredir ve burada en yüksek puanı 8.01 ile Kontrol-7.gün örneği almıştır. *Sp* ilaveli örnekler kıyaslandığında en az *Sp* içeren örnek en çok beğeniyi alan örnek olmuştur. Bunun sebebi *Sp*'nin gıda endüstrisinde yaygın bir katkı maddesi olmaması ile birlikte panelistlerin alışmış olmadığı bir tat olmasından dolayı olabileceği düşünülmüştür. *Sp* ilavesi ve depolama süresi arttıkça Genel İzlenim'de azalma görülmüştür.

Duyusal analiz sonuçlarına göre renk puanlaması 4.17 ile 7.81 arasında değişmektedir. En yüksek renk puanına sahip örnek 7.81 puanla Kontrol-1.gün örneği olduğu görülmüştür. Kontrol örneği için depolama süresi arttıkça renk puanı düşerken, *Sp* katkılı örneklerde önemli bir artma ya da azalma görülmemiştir (p>0.05).

Shin vd. (2008), *Spirulina* içeren yoğurtların kalite özelliklerini ve antioksidan aktivitelerini değerlendirmişlerdir. Duyusal değerlendirme puanları görünüm, koku, tat ve genel kabul edilebilirlik için diğer gruplara göre %0,25 *Spirulina* içeren yoğurtta daha yüksek olduğunu saptamışlardır. *Spirulina* içeren yoğurttaki mikro ve makrobesin miktarı kontrolde olduğundan daha yüksek bulunmuştur.

Yapı bakımından depolamanın 1. gününde en fazla beğeniyi K ve S1 numaralı gruptaki yoğurt örnekleri alırken bu grupları sırasıyla S2 ve S3 numaralı gruplar izlemiştir. Yapı hissinde tüm gruplarda depolama süresinin ilerlemesine bağlı olarak bir düşüş gözlenmiştir (p<0.05). Bu düşüşün nedeni olarak yoğurtların depolama süresinin ilerlemesiyle daha gevşek bir pıhtı yapısının ortaya çıkmasından kaynaklandığı söylenebilir. Asidik tat parametresi ise depolamanın etkisi ile artmış ve bu durum istatistiksel olarak önemli düzeyde bulunmuştur (p<0.05).

Koku özelliği bakımından değerlendirilen örneklerde, gruplar içinde depolamanın 1., 7., 14. ve 21. günlerinde istatistik olarak önemli bir fark bulunmazken ($p>0.05$), gruplar arasında fark istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($p<0.05$). Yani depolamanın örneklerin kokusu üzerine herhangi bir etkisi olmazken farklı konsantrasyonlarda *Sp* eklenmesi koku parametresini olumsuz yönde etkilemiştir. *Sp* ilavesi arttıkça Koku ve Deniz Kokusu parametrelerinde artış saptanmıştır. Bu da *Sp* ilavesinin kokuyu etkilediği ve miktarı arttıkça örneklerdeki etkisinin arttığını göstermektedir.

Barkallah vd. (2017), *Spirulina*'nın yoğurda dört farklı konsantrasyonda eklenmesinden sonra, yoğurdun fermentasyon süreci, dokusu, nutrasötik ve duyuşal özellikleri üzerine etkisini araştırmışlardır. *Spirulina*'nın %0,25 oranında eklenmesi yoğurdun sadece beslenme kalitesini arttırmakla kalmayıp, aynı zamanda antioksidan aktivitesini ve nutrasötik özelliğini de arttırmıştır. Üretimden bir hafta sonra yapılan duyuşal analizler, %0,25 *Spirulina* ile zenginleştirilen yoğurdun kontrol yoğurda göre renk ve tekstür olarak daha düşük puan aldığını fakat tat olarak ise daha yüksek bir puan aldığını göstermiştir.

4.2.5. *Sp* içeren ve içermeyen fermente süt ürünlerinde toplam protein analizi

Fermente süt örneklerinin protein miktarları Tablo 4.6'da verilmiştir. Örneklerin protein değerleri %4,44 - %4,65 arasında değişmiştir.

Tablo 4.6. *Sp* içeren ve içermeyen fermente süt ürünlerinin toplam protein değerleri (%)

	Toplam Protein Miktarı (%)
Kontrol	4.49 ± 0.08 ^{ab}
S1	4.45 ± 0.08 ^a
S2	4.44 ± 0.06 ^a
S3	4.65 ± 0.10 ^b

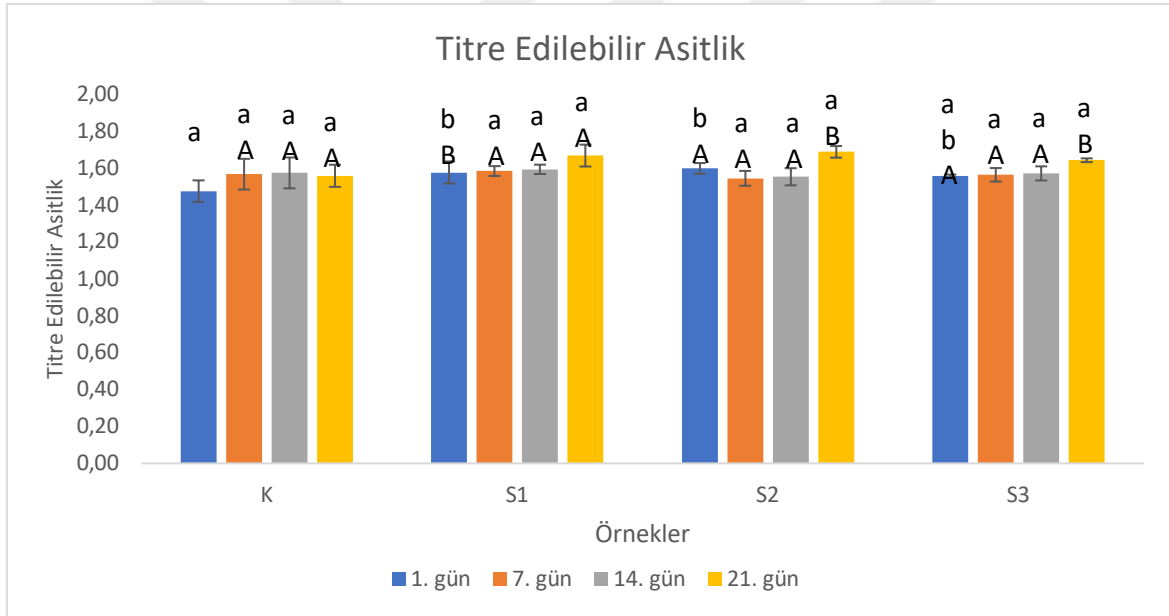
*Küçük harfle belirtilen ortalamalar örnekler arasındaki istatistiksel konsantrasyon farklılığını göstermektedir ($p<0.05$).

Tablo 4.11'e göre en yüksek protein miktarı %1,5 *Sp* içeren S3 örneğinde bulunmuştur. Protein miktarında maksimum verim %1,5 *Spirulina* eklenen fermente süt örneğinde yakalanmıştır. Genel olarak sonuçlara bakıldığında kontrol ile *Sp* katkılı örnekler arasında önemli bir fark görülmemiştir ($p>0.05$) ancak S3 örneğinin protein miktarı diğer örneklerden yüksek olması anlamlıdır ($p<0.05$).

S. platensis'in protein içeriği hakkında diğer araştırmacıların elde ettikleri değerler %56-62 aralığındadır (Agustini vd., 2016). *Spirulina*'nın sahip olduğu bu yüksek protein içeriği, düşük konsantrasyonda bile gıda ürününe eklenirse toplam proteini artırabilir (Christwardana vd., 2013).

4.2.6. *Sp* içeren ve içermeyen fermente süt ürünlerinde titre edilebilir asitlik analizi (titrasyon)

Yapılan bu analizde asitlik cinsi % laktik asit cinsinden belirlenmiştir. Fermente süt örneklerinde depolama süresi boyunca meydana gelen titrasyon asitliği değerlerindeki değişim Şekil 4.3'te verilmiştir. Örneklerdeki laktik asit değerleri %1,48 ve %1,69 arasında değişmiştir.



Şekil 4.3. *Sp* içeren ve içermeyen fermente süt ürünlerinin depolama süresi boyunca kaydedilen titrasyon değerleri

*Küçük harfle belirtilen ortalamalar örnekler arasındaki istatistiksel konsantrasyon farklılığını göstermektedir ($p < 0.05$).

**Büyük harfle belirtilen ortalamalar depolama süresi arasındaki istatistiksel farklılığı göstermektedir ($p < 0.05$).

Depolamanın 21.gününde en yüksek titrasyon asitliği miktarı %1,69 ile S2 örneğine aittir. En düşük asitlik miktarı ise Kontrol örneğine aittir. Depolamanın 21.gününde S2 ve S3 örneklerinde belirgin artış görülürken ($p < 0.05$), Kontrol ve S1 örneklerinde belirgin bir değişim görülmemiştir ($p > 0.05$). Depolama süresi boyunca Kontrol ve %0,5 *Sp* katkılı fermente süt

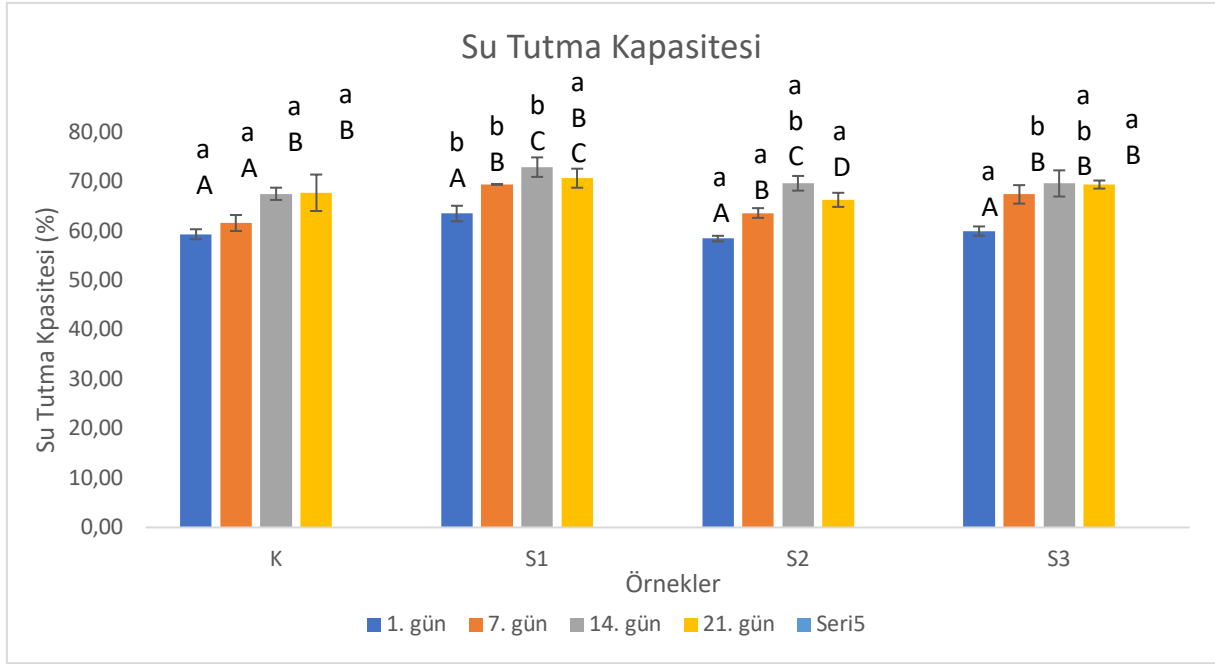
örneği baz alındığında, *Sp* konsantrasyonlarındaki artış titre edilebilir asitlikte genel olarak artışa neden olmuştur ($p<0.05$). Örnekler arasında en istikrarlı değere sahip olan S1 örneğidir. Diğer S2 ve S3 örneklerinin değerleri düzensiz bir şekilde ya artıp düşmüş ya da düşüp artmıştır. Barkallah vd. (2017), yaptıkları çalışma sonucuna göre *S. platensis* eklendiği yoğurdun fermentasyon sürecini etkileyerek laktik asit artışına sebep olduğu saptanmıştır. Barkallah ve vd.'nin sonuçları bu çalışma ile benzerlik göstermektedir. Ancak yine Barkallah vd.'nin çalışma sonucuna göre %0,25, %0,5, %0,75 ve %1'lik numuneler arasında titre edilebilir asitlik açısından önemli bir fark görülmemiştir ($p>0.05$).

Shin vd. (2008), *Spirulina* içeren yoğurtların kalite özelliklerini ve antioksidan aktivitelerini değerlendirmişlerdir. *Spirulina* tozu eklenmesinin, laktik asit bakterilerinin gelişmesini desteklediğini ve titre edilebilir asitliği arttırdığını tespit etmişlerdir. En yüksek asitliğe %1 *Spirulina*'lı yoğurtta ulaşmışlardır.

Agustini vd. (2016) ise kontrol yoğurdunun titre edilebilir asitlik değerini 62 °SH olarak bulurken %1 *Spirulina platensis* eklenmiş yoğurdun değerini 70 °SH olarak tespit etmişlerdir.

4.2.7. *Sp* içeren ve içermeyen fermente süt ürünlerinde su tutma kapasitesi

Fermente süt örneklerinin su tutma kapasiteleri Şekil 4.4'te verilmiştir. Su tutma kapasitesi en düşük örnek S2-1.gün ve en yüksek örnek ise S1-14.gün'dür. 1, 7 ve 14.günlere bakıldığında su tutma kapasitesinin depolamaya bağlı olarak arttığı görülmüştür. S1 ve S2 örnekleri için 14. ve 21.günler arasında önemli bir düşüş olduğu görülmüştür ($p<0.05$). Kontrol ve S3 örneklerinde ise önemli bir değişiklik olmadığı görülmüştür. *Sp* içeriği arttıkça azalan su tutma kapasitesinin nedeni, *Sp*'nin içerdiği zengin diyet lifleri ile açıklanabilir. Çünkü Wu vd. (2001), yaptıkları çalışmada su tutma kapasitesinin, proteinlerin ve diyet liflerinin yoğurdun yapısı içindeki suyu tutma yeteneği ile ilişkili olduğunu göstermişlerdir. Ayrıca süt yağı globüllerinin de su tutmada önemli bir rol oynayabileceğini öne sürmüşlerdir. *Sp* ilavesi arttıkça azalan su tutma kapasitesinin sebebi, Wu vd. (2001)'nin çalışmasındaki gibi diyet lifleri ve süt yağı globülleri ile ilişkilendirilebilir.



Şekil 4.4. *Sp* içeren ve içermeyen fermente süt ürünlerinin depolama süresi boyunca kaydedilen su tutma değerleri

*Küçük harfle belirtilen ortalamalar örnekler arasındaki istatistiksel konsantrasyon farklılığını göstermektedir ($p < 0.05$).

**Büyük harfle belirtilen ortalamalar depolama süresi arasındaki istatistiksel farklılığı göstermektedir ($p < 0.05$).

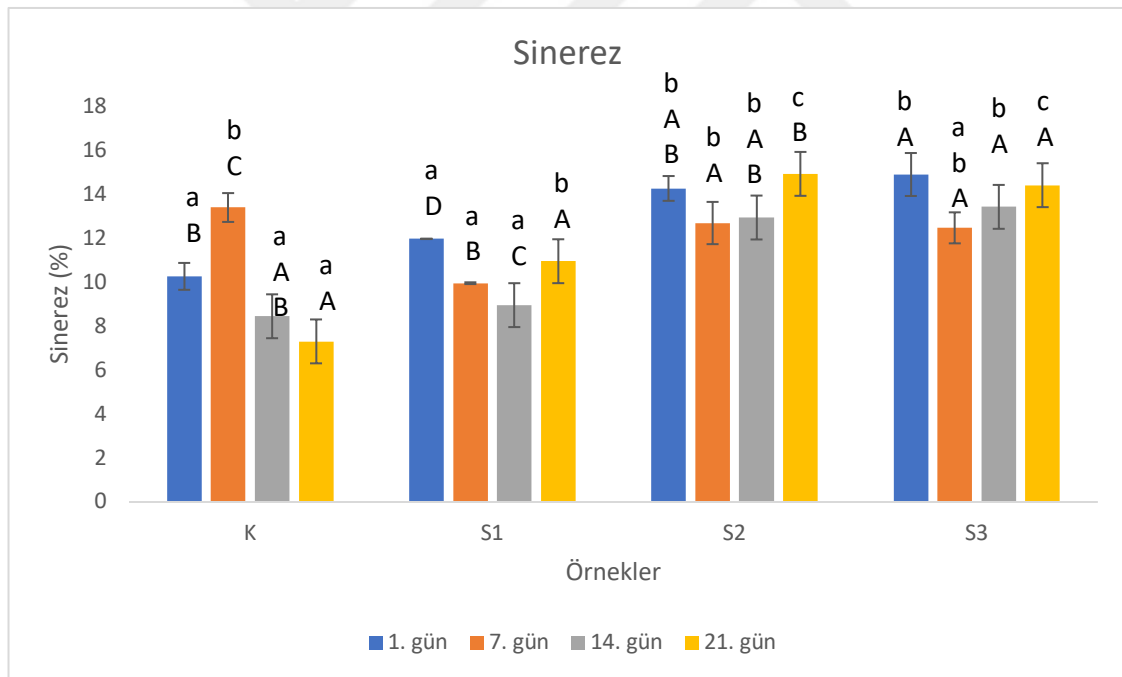
Benzer şekilde Delikanlı vd. (2014), yaptıkları çalışmaya göre WPC ile zenginleştirilmiş yoğurtların su tutma kapasitesi kontrol yoğurduna göre daha yüksek bulunmuştur. Bu değerler Guzman-Gonzalez vd. (1999) ve Cheng vd. (2000), tarafından elde edilen değerlerle karşılaştırılabilir olup, bu durum WPC ile takviye edilmiş yoğurtlarda fark edilen daha yüksek ağ çapraz bağından kaynaklanabilir (Remeuf vd., 2003; Aziznia vd., 2008).

4.2.8. *Sp* içeren ve içermeyen fermente süt ürünlerinde sinerez analizi

Serum ayrılması olarak da bilinen ve yoğurt ürünlerinde istenmeyen bir özellik olan sinerez, yoğurdun kalitesini depolama sırasında gösteren en önemli parametrelerden biridir (Senaka Ranadheera vd., 2012). Serum ayrılması, ürünlerdeki protein ağında tutulan sıvı fazın herhangi bir dış zorlama olmadan jel yapısından kendiliğinden ayrılmasıyla oluşan yapısal bir kusurdur. Serum ayrılmasını hızlandıran temel sebepler arasında yüksek inkübasyon sıcaklığı ve hızlı asitlik değişimleri vardır (Pearse ve Mackinlay, 1989; Bakırcı vd., 2015). Üretici firmalar yoğurt sütüne stabilizatör ekleyerek, kuru maddesini arttırarak veya sütü yüksek ısı ile maruz bırakarak su bağlama kapasitesini arttırmaya çalışmaktadırlar (Lucey, 2002).

Fermente süt örneklerinde depolama süresi boyunca meydana gelen sinerez değerlerindeki değişim Şekil 4.5’de verilmiştir. Sinerez değerleri yüzde olarak verilmiş olup 7.32 ile 14.95 değerleri arasında artış göstermiştir.

Örneklerin sinerez değerlerine ilişkin sonuçlara göre, *Sp* ilavesi arttıkça sinerez değerlerinde önemli bir artış görülmüştür ($p<0.05$). En düşük sinerez değeri, Kontrol-21.gün iken en yüksek değer S2-21.gün’de görülmüştür. Kontrol örneğinin sinerez değeri Spirulina ilaveli örneklerin sinerez değerinden daha düşük bulunmuştur ($p<0.05$). Kontrol ve S1 arasında, S1 ve S3 arasında önemli bir benzerlik saptanmıştır ($p<0.05$). Depolama süresi arttıkça örneklerin sinerez değerlerinde artış görülmüştür. Yani fermente süt örneklerinin yapısı bozulmaya başlamış, su salınımı artmıştır. Bu da oluşan jel yapının zamanla kararlılığını kaybettiğini göstermektedir. Kontrol ve S1 örneklerinde jel yapısı daha iyi oluşmuş, suyu daha iyi tutmuşlardır. Ancak *Sp* ilavesi arttıkça jel yapı bozulmuş, suyu daha fazla bağlayamamış ve su kaybına neden olmuştur.



Şekil 4.5. *Sp* içeren ve içermeyen fermente süt ürünlerinin depolama süresi boyunca kaydedilen sinerez değerleri

*Küçük harfle belirtilen ortalamalar örnekler arasındaki istatistiksel konsantrasyon farklılığını göstermektedir ($p<0.05$).

**Büyük harfle belirtilen ortalamalar depolama süresi arasındaki istatistiksel farklılığı göstermektedir ($p<0.05$).

Robertson vd. (2016) yaptıkları çalışmada kontrol ile %0,25 ve %0,50 *Pavlova lutheri* eklenmiş yoğurtların sinerezis değerlerini sırasıyla %2,8, %65,3 ve %64,1 olarak bulmuşlardır. Sinerezis oranında 28 günlük depolama süresi boyunca istatistiksel olarak önemli bir fark gözlememişlerdir.

4.2.9. *Sp* içeren ve içermeyen fermente süt ürünlerinde tekstür analizi

Pıhtılaştırılmış süt ürünlerinin yapısal özellikleri, hem tekstürel hem de reolojik özellikleri etkiler (Bryant vd. 1995).

Farklı konsantrasyonlarda *Spirulina* ilavesi ile zenginleştirilen fermente süt ürünlerine, dokularındaki değişimi gözlemlemek ve yorumlamak amacıyla 0., 7., 14., ve 21.günlerinde yani toplamda 4 hafta boyunca tekstür analizi uygulanmıştır. Uygulanan tekstür analizi sonuçları Tablo 4.7’de verilmiştir.

Tablo 4.7. *Sp* içeren ve içermeyen fermente süt ürünlerinin depolama süresi boyunca kaydedilen tekstür değerleri

Örnek	Hafta	Sertlik 1 (N)	Sertlik 2 (N)	Yüzey Yapışkanlığı (mJ)	İç Yapışkanlık	Esneklik (mm)	Sakızimsılık (N)
Kontrol	1	0.29 ± 0 ^{bA}	0.26 ± 0 ^{bA}	1.61 ± 0.24 ^{bA}	0.3 ± 0.23 ^{aA}	6.56±0 ^{aA}	0.09±0.07 ^{aA}
	2	0.38 ± 0.01 ^{bB}	0.35± 0.01 ^{cB}	1.64 ± 0.03 ^{bA}	0.61 ± 0.01 ^{aA}	6.7 ± 0.02 ^{aA}	0.23±0 ^{bAB}
	3	0.39 ± 0.01 ^{dB}	0.36± 0.01 ^{bB}	1.37 ± 0.16 ^{bA}	0.79 ± 0.02 ^{aA}	6.71±0.15 ^{aA}	0.31±0.01 ^{cB}
	4	0.36 ± 0.02 ^{bB}	0.34±0.02 ^{bB}	1.28 ± 0.03 ^{bA}	0.78 ± 0.01 ^{aA}	6.69±0.05 ^{aA}	0.28±0.02 ^{bAB}
S1	1	0.23 ± 0.01 ^{aA}	0.23±0.01 ^{aA}	0.81 ± 0.02 ^{aA}	0.76 ± 0.03 ^{aB}	6.91±0.17 ^{aA}	0.17±0.01 ^{aAB}
	2	0.26 ± 0.01 ^{aB}	0.25 ± 0 ^{bA}	1.17 ± 0.03 ^{abB}	0.57 ± 0.04 ^{aA}	6.63±0.23 ^{aA}	0.15±0.01 ^{abA}
	3	0.29 ± 0 ^{cC}	0.3±0.03 ^{abA}	1.04 ± 0.03 ^{abAB}	0.75 ± 0.01 ^{aB}	6.63±0.07 ^{aA}	0.22±0.01 ^{bB}
	4	0.25 ± 0 ^{aB}	0.24 ± 0 ^{aA}	0.89 ± 0.08 ^{aA}	0.75 ± 0.03 ^{aB}	6.64±0.11 ^{aA}	0.19±0.01 ^{aAB}
S2	1	0.23 ± 0.01 ^{aA}	0.22±0.01 ^{aA}	1.03±0.06 ^{abAB}	0.57 ± 0.1 ^{aAB}	6.66±0.05 ^{aA}	0.13±0.03 ^{aAB}
	2	0.24 ± 0 ^{aA}	0.23±0.01 ^{abA}	1.27 ± 0.07 ^{bB}	0.36 ± 0.06 ^{aA}	6.86±0.12 ^{aA}	0.08±0.01 ^{aA}
	3	0.25 ± 0 ^{bA}	0.24 ± 0 ^{bA}	0.9 ± 0.03 ^{abA}	0.76 ± 0.02 ^{aB}	6.58±0.23 ^{aA}	0.19±0 ^{aB}
	4	0.23 ± 0 ^{aA}	0.23±0.01 ^{aA}	0.76 ± 0.04 ^{aA}	0.77 ± 0.01 ^{aB}	6.46±0.01 ^{aA}	0.18±0 ^{ab}
S3	1	0.23 ± 0.01 ^{aA}	0.21 ± 0 ^{aA}	0.78 ± 0.03 ^{aA}	0.68 ± 0.03 ^{aA}	7.04±0.15 ^{aA}	0.15±0.01 ^{aA}
	2	0.22 ± 0 ^{aA}	0.21 ± 0 ^{aA}	0.74 ± 0.16 ^{aA}	0.71 ± 0.13 ^{aA}	6.54±0.42 ^{aA}	0.16±0.02 ^{abA}
	3	0.23 ± 0.01 ^{aA}	0.23 ± 0.01 ^{bB}	0.84 ± 0.06 ^{aA}	0.75 ± 0.01 ^{aA}	6.69±0.05 ^{aA}	0.17±0 ^{aA}
	4	0.22 ± 0 ^{aA}	0.22 ± 0 ^{aAB}	0.78 ± 0.03 ^{aA}	0.71 ± 0.01 ^{aA}	12.84±4.5 ^{aA}	0.16±0.01 ^{aA}

*Küçük harfle belirtilen ortalamalar örnekler arasındaki istatistiksel konsantrasyon farklılığını göstermektedir ($p<0.05$).

**Büyük harfle belirtilen ortalamalar depolama süresi arasındaki istatistiksel farklılığı göstermektedir ($p<0.05$).

***Sertlik1, ilk sıkıştırma döngüsünün tepe yüküdür.

****Sertlik2, ikinci sıkıştırma döngüsünün tepe yüküdür.

Sonuçlara göre, belirli bir deformasyona ulaşmak için gerekli kuvvet olarak da tanımlanan Sertlik 1 ve Sertlik 2 değerleri (Szczesniak 2002; Uprit ve Mishra 2004), birbirlerine benzer bulunmuştur. Bu parametreler baz alındığında Kontrol örneğinin, *Sp* ilaveli fermente süt örneklerinden az da olsa daha yüksek değerlere sahip olduğu görülmüştür. *Spirulina* ilavesinin Sertlik 1 ve 2 parametrelerine önemli bir etkisi görülmemiştir ($p>0.05$).

Yüzey yapışkanlığı, belirli bir yüzeye adsorbe eden malzemeyi uzaklaştırmak için gereken kuvvettir (Salvador ve Fiszman, 2004). Yüzey yapışkanlığı değerlerinde, Kontrol ve S3 örnekleri için önemli bir değişim gözlenmemiş olup ($p>0.05$), S1 ve S2 örnekleri arasında önemli bir değişim gözlenmiştir ($p<0.05$). Yüzey yapışkanlığı en yüksek Kontrol örneklerinde bulunmuştur.

İç Yapışkanlık, ürünü bir bütün olarak tutan iç bağların kuvveti olarak tanımlanır. Sakızimsılık, yarı katı kıvamdaki ürünü yutmaya hazır hale getirmek için gerekli olan enerjidir. Esneklik, birinci sıkıştırma döngüsünün sonu ile ikinci sıkıştırma döngüsünün başlangıcı arasında geçen süre boyunca numunenin yükseldiği uzunluk ile ilişkilidir (Salvador ve Fiszman, 2004).

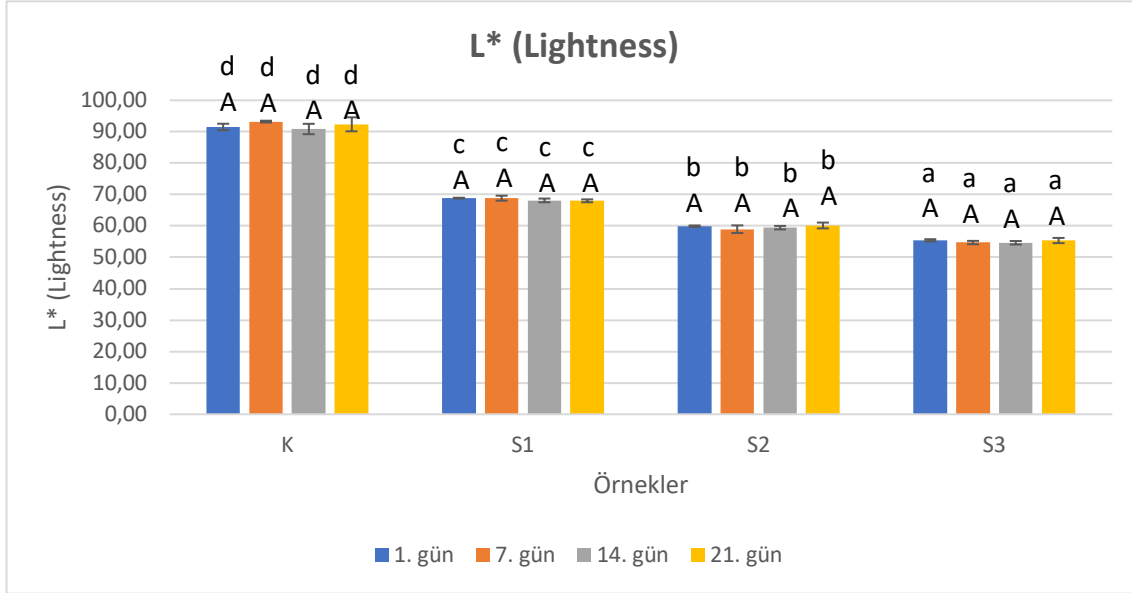
İç Yapışkanlık, Esneklik ve Sakızimsılık parametrelerindeki değerlere göre, örnekler arasında depolamaya ve konsantrasyona bağlı önemli bir değişim gözlenmemiştir ($p>0.05$).

Yoğurt sütüne peynir altı suyu proteinlerinin eklenmesi, sertlik, kohezyon ve elastikiyet değerlerinde artışa yol açarak, dokusal özelliklerin iyileşmesini sağlamıştır. Bu çalışma, yoğurdun güçlendirilmesi için ilave edilen peynir altı suyu katkı maddelerinin, raf ömrü boyunca sabit tutulan en iyi tekstürel ve duysal özellikleri verdiğini göstermektedir (Delikanlı vd., 2014).

4.2.10. *Sp* içeren ve içermeyen fermente süt ürünlerinde renk analizi

Renk sadece fermente süt ürünleri için değil bütün gıdalarda tüketici için seçici bir etken ve önemli etkisi olan bir özelliktir. Bu sebeple örneklerin depolama süresi boyunca renk ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Farklı konsantrasyonlarda eklenmiş *Sp*'li fermente süt ürünlerinin farklı depolama günlerinde ölçülen L^* değerleri Şekil 4.6'da, a^* değerleri Şekil 4.7'de ve b^* değerleri Şekil 4.8'de verilmiştir. Renkler şu şekilde ifade edilmektedir; L^* değeri (Lightness) açıklık/

koyuluk (L^*0 : siyah, L^*100 : beyaz), a^* değeri (Redness) kırmızı/ yeşil ($+a^*$: kırmızı, $-a^*$: yeşil), b^* değeri (Yellowness) sarı/ mavi ($+b^*$: sarı, $-b^*$: mavi) renklerini belirtir.



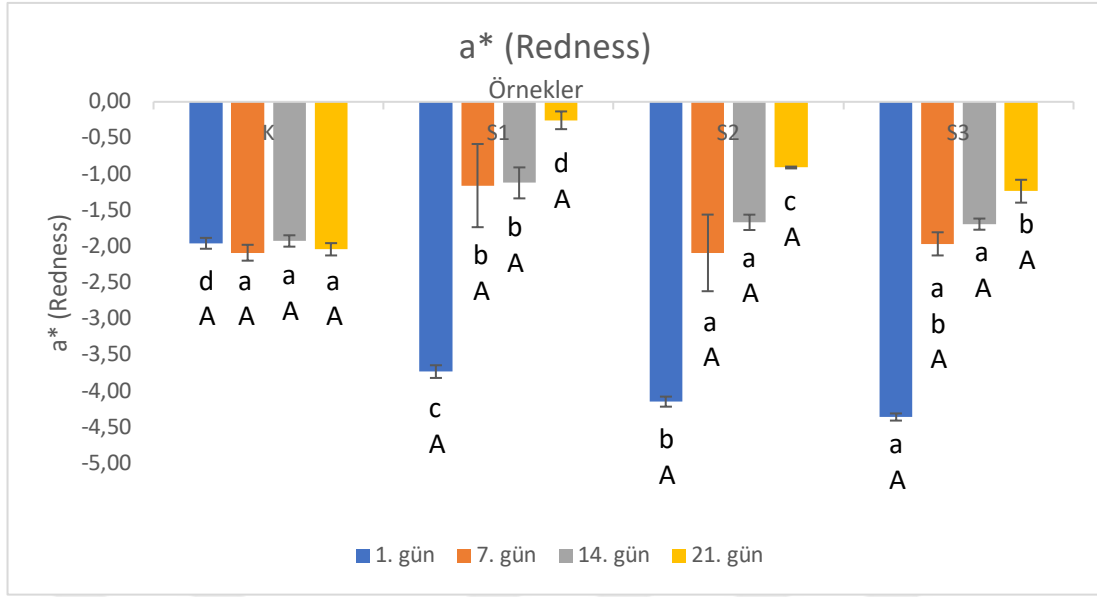
Şekil 4.6. *Sp* içeren ve içermeyen fermente süt ürünü örneklerin depolama süresi boyunca kaydedilmiş L^* değerleri

*Küçük harfle belirtilen ortalamalar örnekler arasındaki istatistiksel konsantrasyon farklılığını göstermektedir ($p<0.05$).

**Büyük harfle belirtilen ortalamalar depolama süresi arasındaki istatistiksel farklılığı göstermektedir ($p<0.05$).

Sonuçlara bakıldığında L^* değerinin en yüksek olduğu değer 93.22 ± 0.28 olarak K-7.gün'de olduğu belirlenmiştir (Şekil 4.6). Genel olarak örneklerin L^* değerleri, farklı günlerde bile birbirlerine yakın değerlerde ve belli bir seyirde devam ettiği tespit edilmiştir ($p>0.05$). En düşük L^* değeri S3-14.gün'de 54.63 ± 0.56 olarak ölçülmüştür. Kontrol örneklerinde *Sp* katkısı olmadığından, açıklık değerleri diğer örneklerle kıyasla anlamlı ve yüksek olduğu saptanmıştır ($p<0.05$). Diğer taraftan içerdiği *Sp* konsantrasyonuna göre, L^* değeri küçükten büyüğe doğru sırayla $S3<S2<S1$ şeklinde önemli bir fark belirlenmiştir ($p<0.05$). Diğer yandan depolama süreci boyunca örneklerin değerlerinin birbirine yakın olması ve önemli bir fark olmaması, fermente süt ürünü olan yoğurttaki açıklık-koyuluk renk özelliğinin koruduğu görülmüştür ($p>0.05$).

Kontrol yoğurtların L^* değerleri, *Spirulina* katkılı yoğurtların %0,25'inden daha yüksek açıklık değerlerine sahip olduğu görülmüştür ($p < 0.01$) (Dönmez vd., 2017).

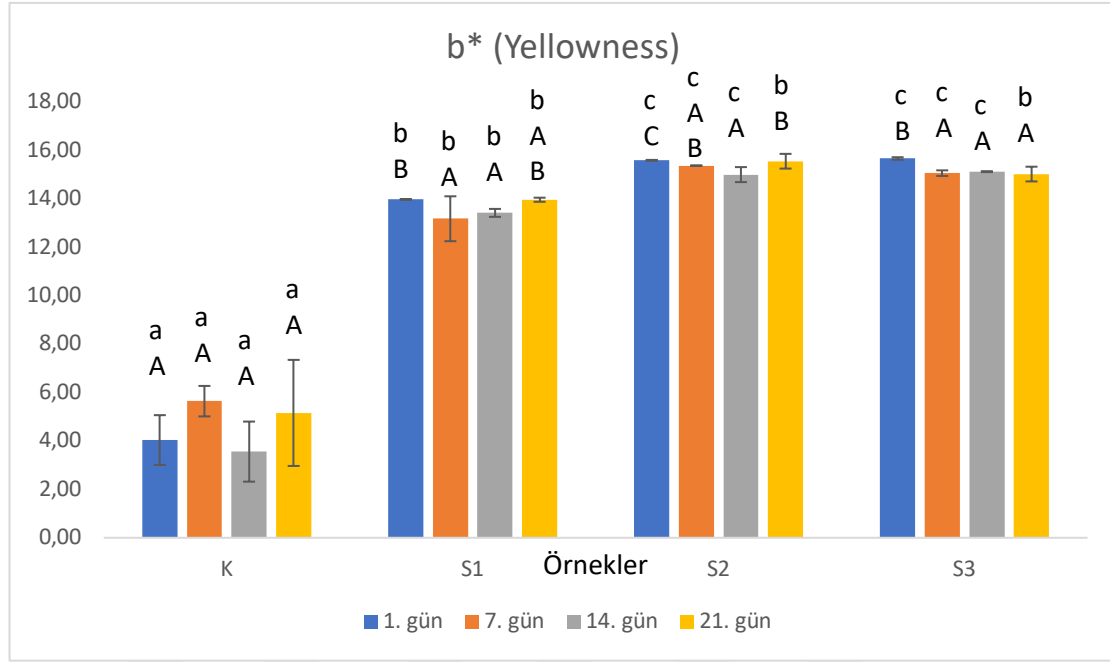


Şekil 4.7. *Sp* içeren ve içermeyen fermente süt ürünü örneklerin depolama süresi boyunca kaydedilmiş a^* değerleri

*Küçük harfle belirtilen ortalamalar örnekler arasındaki istatistiksel konsantrasyon farklılığını göstermektedir ($p < 0.05$).

**Büyük harfle belirtilen ortalamalar depolama süresi arasındaki istatistiksel farklılığı göstermektedir ($p < 0.05$).

Kırmızılık değeri bütün örnekler için çok düşük olarak belirlenmiştir. Kontrol örneği *Sp* içermediğinden beyaz, diğer örnekler ise farklı konsantrasyonlarda *Sp* içerdiğinden yeşil tonlarındadır. Yeşillik değeri en düşük $-4,36 \pm 0,05$ ile S3-1.gün iken en yüksek değer $-0,26 \pm 0,12$ S1-21.gün olarak belirlenmiştir. *Sp* katkılı örneklerde yeşillik değerinin depolama süresi boyunca arttığı görülmüştür. S3 örneklerinin 1.gündeki a^* değerinin, diğer *Sp*'li örneklere kıyasla daha düşük olduğu belirlenmiştir. Kontrol ürünün yeşillik değerinin ise depolama sürecinde önemli şekilde değişmediği saptanmıştır ($p < 0.05$).



Şekil 4.8. *Sp* içeren ve içermeyen fermente süt ürünü örneklerin depolama süresi boyunca kaydedilmiş b* değerleri

*Küçük harfle belirtilen ortalamalar örnekler arasındaki istatistiksel konsantrasyon farklılığını göstermektedir ($p < 0.05$).

**Büyük harfle belirtilen ortalamalar depolama süresi arasındaki istatistiksel farklılığı göstermektedir ($p < 0.05$).

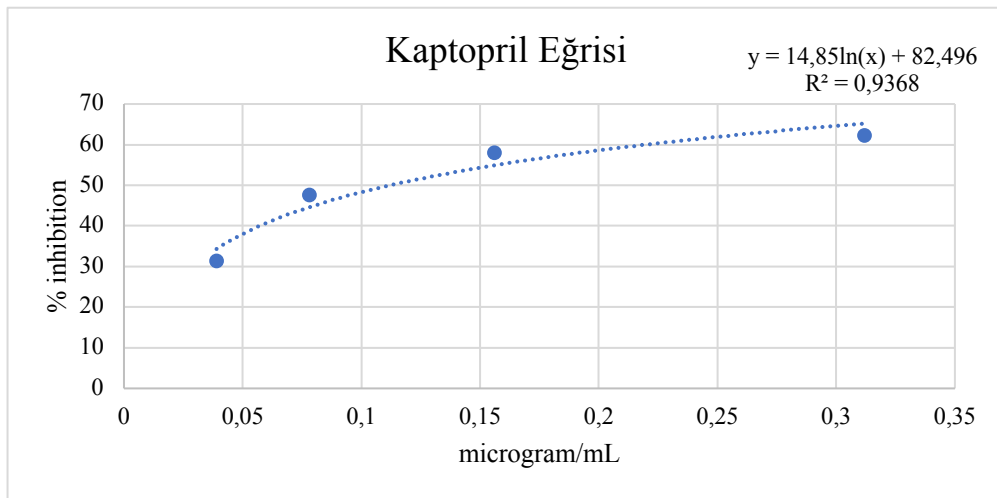
Sarılık değeri en yüksek 15.66 ± 0.05 ile S3-1.gün olarak ve en düşük ise 3.56 ± 1.4 ile K-14.gün olarak ölçülmüştür. Genel olarak b* değerlerine bakıldığında en düşük değerlerin kontrol örneklerine ait olduğu belirlenmiştir. S1 örneklerinin sarılık değeri depolama süresi boyunca aynı değerlerde devam ettiği görülmüştür. S2 ve S3 örneklerinin b* değerleri S1'den yüksek olup, aralarında önemli bir fark olmadığı belirlenmiştir ($p > 0.05$). *Sp* katkısı olmayan kontrol örneklerinin *Sp*'li örneklere göre daha açık sarı renge sahip oldukları saptanmıştır. En yüksek sarılık değerlerinin S2 ve S3 örneklerinde olduğu düşünülürse bunun sebebi olarak artan *Spirulina* konsantrasyonu ve buna bağlı olarak içerdiği klorofil miktarının artması olarak açıklanabilir.

Bchir vd. (2019)'da yaptıkları çalışmada kuru yosun ilaveli yosun örneğinin renk analizi sonuçlarını; L: $30.73b \pm 0.21$, a: $-5.74b \pm 0.07$ ve b: $7.34a \pm 0.07$ olarak bildirmiştir.

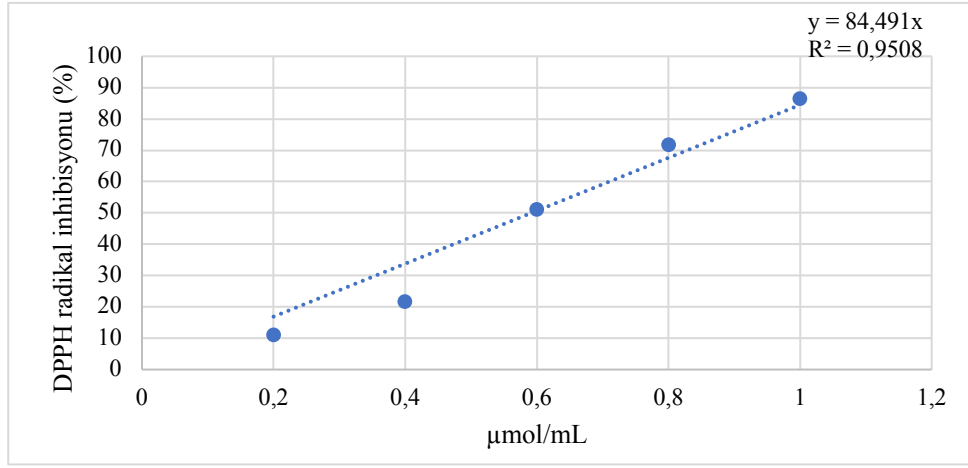
4.3. *İn Vitro* Sindirim Metodu

Gastrointestinal sindirim sırasında ve/veya gıda işleme sırasında, aktif olmayan proteinden biyoaktif peptitler oluşabilir. Bu protein kısımları, antihipertansif, antimikrobiyal, antioksidan, immünomodülatör veya mineral bağlama gibi spesifik biyolojik aktiviteler gösterebilir (Balthazar vd., 2017).

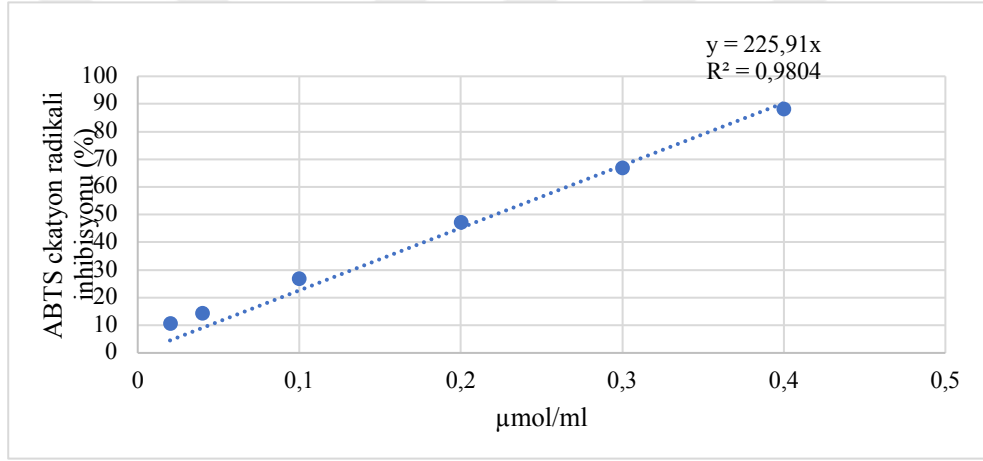
Sp katkılı fermente süt örneklerine mide-bağırsak sistemi taklit edilerek *in vitro* sindirim uygulanmıştır. Sindirim 3 ayrı fazda gerçekleşmiştir. Bunlar; ağız, mide ve bağırsak fazıdır. Ağız fazı için, amilaz enzimi kullanılmadan ağız ortamına benzer ve pH'sı 7 olan sıvı hazırlanmıştır. Çiğneme etkisi yaratmak için örnekler bu ağız sıvısında 2 dakika boyunca vortexlenmiştir. Mide fazı için, pepsin enzimi kullanılmıştır ve hazırlanan ortamın pH'sı 3'e ayarlanmıştır. Örnekler bu fazda 2 saat boyunca çalkalamalı inkübatörde karıştırılmıştır. Bağırsak fazı için ise, pankreatin enzimi kullanılmıştır ve hazırlanan ortamın pH'sı 7'ye ayarlanmıştır. Örnekler bu fazda 2 saat boyunca çalkalamalı inkübatörde karıştırılmıştır. Bu şekilde *in vitro* sindirime uğratılan örneklere sindirim öncesi ve sonrası ACE, DPPH, ABTS, Toplam Fenolik Madde (TFEM) ve Antidiyabetik Aktivite analizleri uygulanmış ve sonuçları elde edilmiştir. ACE inhibisyonu için kullanılan kaptopril eğrisi Şekil 4.9'da, ABTS için kullanılan trolox eğrisi Şekil 4.10'da, DPPH için kullanılan trolox eğrisi Şekil 4.11'de, α -amilaz inhibisyonu için kullanılan akarboz eğrisi Şekil 4.12'de, α -glukozidaz inhibisyonu için kullanılan akarboz eğrisi Şekil 4.13'te ve TFEM için kullanılan gallik asit eğrisi Şekil 4.14'te verilmiştir. Ayrıca fermente süt örneklerine ek olarak *Spirulina platensis*'in de *in vitro* sindirim öncesi ve sonrası değerleri belirlenmiştir.



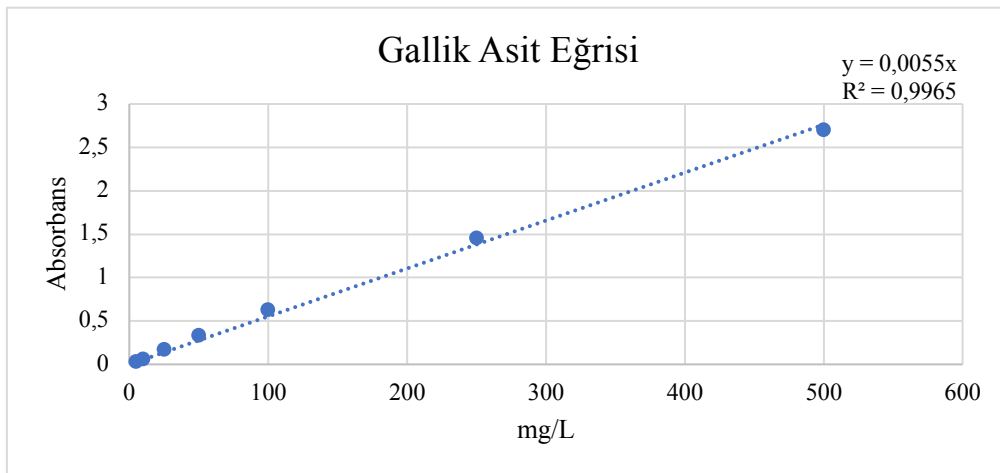
Şekil 4.9. ACE inhibisyonu için kullanılan kaptopril eğrisi



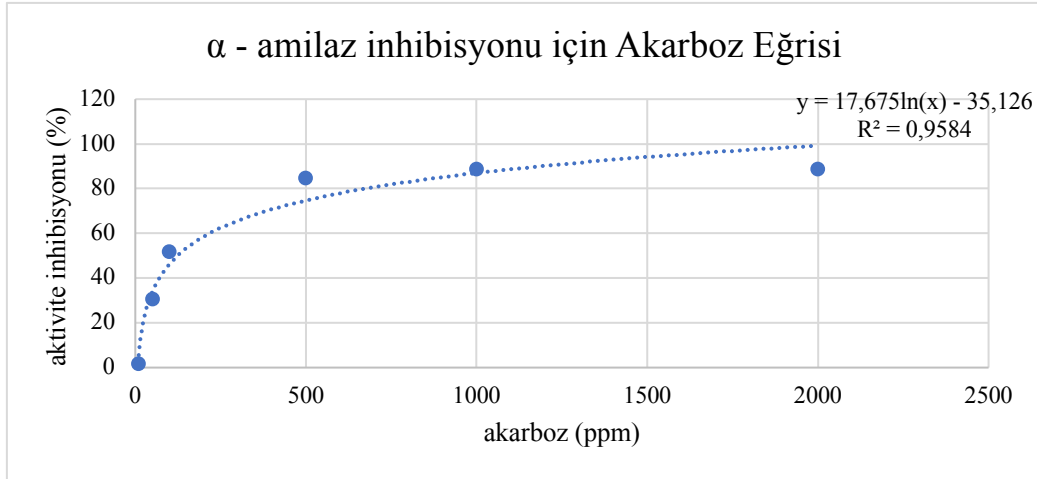
Şekil 4.10. DPPH için kullanılan trolox eğrisi



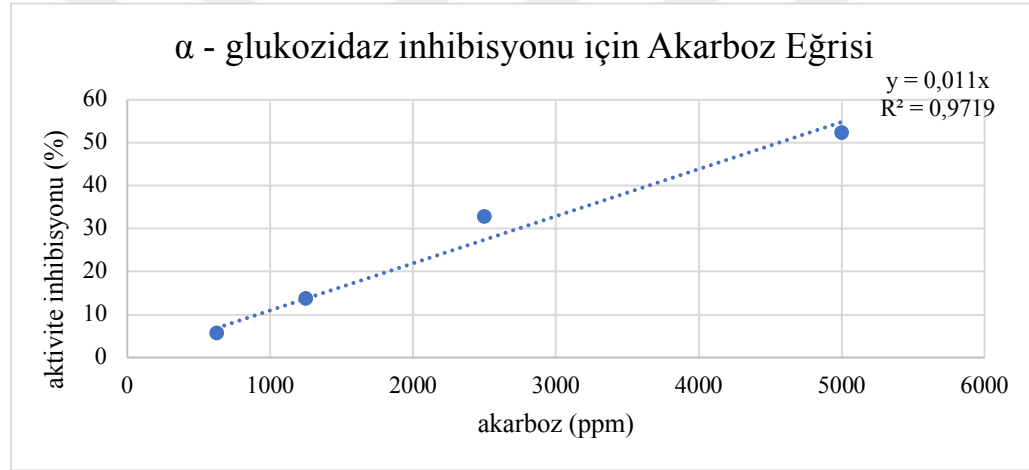
Şekil 4.11. ABTS için kullanılan trolox eğrisi



Şekil 4.12. TFEM için kullanılan gallik asit eğrisi



Şekil 4.13. α - amilaz inhibisyonu için kullanılan akarboz eğrisi



Şekil 4.14. α - glukozidaz inhibisyonu için kullanılan akarboz eğrisi

4.3.1. *In vitro* sindirime uğratılmış örneklerde toplam antioksidan aktivite analizi

Mikroalgler, sayısız serbest radikal süpürücü bileşen içerdiğinden yüksek antioksidan aktivite gösterirler (Barkallah vd., 2017). Böylece *S. platensis*'in fermente süt örneklerindeki antioksidan kapasitelerine katkısını değerlendirmek için toplam antioksidan aktivitesine bakılmıştır. Örneklerin antioksidan aktivite tayini ABTS ve DPPH serbest radikal süpürme aktivite yöntemleri kullanılarak belirlenmiştir.

4.3.1.1. DPPH yöntemi ile serbest radikal süpürme aktivitesi

Farklı konsantrasyonlarda *Spirulina* içeren örneklerin biyoyararlılık çalışması için mide-bağırsak sistemi taklit edilmiş olup, DPPH yöntemi kullanılarak toplam antioksidan madde tayini yapılmıştır.

Örneklerin toplam antioksidan madde değerleri $\mu\text{mol trolox/g}$ olarak Tablo 4.8’de verilmiştir. *Spirulina*’nın *in vitro* sindirimi öncesi toplam antioksidan madde değerleri 35-37 $\mu\text{mol trolox/g}$ arasında, *in vitro* sindirim sonrası antioksidan aktivite 539-872 $\mu\text{mol trolox/g}$ arasında değişmiştir.

Tablo 4.8. *Sp* içeren ve içermeyen fermente süt ürünlerinin *in vitro* öncesi ve sonrası DPPH değerleri

Örnek	<i>İn vitro</i> Öncesi ($\mu\text{mol trolox/g}$)	<i>İn vitro</i> Sonrası ($\mu\text{mol trolox/g}$)
Konsantrasyon	1 g/ml	0.126 g/ml
Kontrol	35 $\pm$ 9.81 ^a	349 $\pm$ 12.51 ^a
S1	37 $\pm$ 10.63 ^a	293 $\pm$ 74.44 ^a
S2	47 $\pm$ 11.32 ^a	401 $\pm$ 10.61 ^a
S3	43 $\pm$ 10.22 ^a	332 $\pm$ 49.09 ^a
<i>Sp</i>*	539 $\pm$ 18.13	872 $\pm$ 27.82

**Sp* konsantrasyon: *İn vitro* öncesi: 0.272 g/ml, *İn vitro* sonrası: 0.126 g/ml

**Küçük harfle belirtilen ortalamalar örnekler arasındaki istatistiksel konsantrasyon farklılığını göstermektedir ($p < 0.05$).

İn vitro sindirim öncesi sonuçlar incelendiğinde, *Spirulina* içeren örneklerin antioksidan aktiviteleri kontrol örneğine benzer bulunmuştur ve en yüksek antioksidan aktivite S2 örneğinde saptanmıştır. *İn vitro* sindirim sonrası sonuçlar incelendiğinde ise, en yüksek antioksidan aktivite S2 örneğinde, en düşük ise S1 örneğinde bulunmuştur.

O'Sullivan vd. (2016), deniz yosunu ile zenginleştirilmiş yoğurtların toplam antioksidan potansiyelini DPPH yöntemini kullanarak *in vitro* sindirim metodu yapılmadan önce ve sonra olmak üzere belirlemişlerdir. *İn vitro* sindirim öncesi %0,50 *Fucus vesiculosus* içeren yoğurdun, kontrolden önemli ölçüde daha yüksek DPPH miktarına sahip olduğunu tespit etmişlerdir. *İn vitro* sindirim sonrası DPPH radikal süpürme aktivitesi ise, sadece %0,50 *Fucus vesiculosus* içeren yoğurtta bulunmuştur.

Bütün örneklerin DPPH değerlerinde *in vitro* sindirim sonrası net ve önemli bir artış görülmüştür ($p>0.05$). *In vitro* sindirim öncesi en yüksek DPPH değerine S2 örneği sahipken, sindirim sonrası en yüksek DPPH değerinin yine S2'ye ait olduğu görülmüştür. Yani en büyük artış S2 örneğine ait iken sonra sırasıyla Kontrol, S3 ve S1 örneklerine aittir. En az DPPH artışına sahip olan örnek S1'dir.

O'Sullivan vd. (2014)'nin yaptıkları çalışma sonrası *Ascophyllum nodosum* ve *Fucus vesiculosus* yosunlarının ekstratları ile zenginleştirilmiş süt örneklerinin DPPH aktivitesinin *in vitro* sindirimden sonra önemli ölçüde azaldığı görülmüştür.

Ismail vd. (2016) yaptıkları çalışmada, *Spirulina platensis* ile antioksidanların üretiminde pH'nın rolünü ele almışlardır. *S. platensis*'in, pH 7.5 ile pH 11.0 arasındaki geniş pH aralığında kontrolden daha yüksek toplam antioksidan aktiviteye sahip olduğunu bulmuşlardır. pH değeri yüksek alkaliliğe veya nötrlüğe doğru kaydırıldığında, toplam antioksidan aktivitesinde bir azalma olduğu sonucuna ulaşmışlardır.

Bu iki çalışma baz alındığında ve O'Sullivan vd. (2014)'nin yaptıkları çalışmanın sonuçlarına kıyasla, bizim çalışmamızda *in vitro* sonrası DPPH sonuçlarında azalma yerine artış olduğu görülmektedir. Bunun sebebi Ismaiel vd. (2016) 'nin çalışmasına göre pH olabilir. Depolama ve *in vitro* sindirim sonrası değişkenlik gösteren pH değerlerinden dolayı DPPH miktarlarında artış görülmüş olabilir.

4.3.1.2. ABTS yöntemi ile serbest radikal süpürme aktivitesi

Farklı konsantrasyonlarda *Spirulina* içeren örneklerin biyoyararlılık çalışması için mide-bağırsak sistemi taklit edilmiş olup, ABTS yöntemi kullanılarak toplam antioksidan madde tayini yapılmıştır. Sonuçlar Tablo 4.9'da verilmiştir.

Sindirilmemiş örneklerde en yüksek süpürme aktivitesine S3 örneği sahiptir. *In vitro* sindirim sonrası bu sonuç değişmemiştir; yine en yüksek süpürme aktivitesine S3 örneği sahiptir. Örneklerde konsantrasyon arttıkça ABTS aktivitesinde önemli bir artış vardır ($p<0.05$).

Tablo 4.9. *Sp* içeren ve içermeyen fermente süt ürünlerinin *in vitro* önce ve sonrası ABTS değerleri

Örnek	<i>İn vitro</i> öncesi (µmol trolox/ KA g)	<i>İn vitro</i> sonrası (µmol trolox/ KA g)
Konsantrasyon	1 g/ml	0.126 g/ml
Kontrol	1.08 ± 0.10 ^{ab}	266.8 ± 8.3 ^a
S1	0.76 ± 0.05 ^a	361.4 ± 5 ^b
S2	1.44 ± 0.11 ^b	416.4 ± 11 ^c
S3	2.66 ± 0.24 ^c	503.7 ± 10.6 ^d
<i>Sp</i>*	15.37 ± 0.66	3146.61 ± 15.63

**Sp* konsantrasyon: *İn vitro* öncesi: 0.272 g/ml, *İn vitro* sonrası:0.126 g/ml

**Küçük harfle belirtilen ortalamalar örnekler arasındaki istatistiksel konsantrasyon farklılığını göstermektedir (p<0.05).

Beheshtipour vd. (2012)'nin yaptıkları çalışmada fermente süt örneklerine *Chlorella vulgaris* ve *Dunaliella* eklenmiştir. Örneklerde mikroalg miktarı arttıkça antioksidan aktivitesinin arttığını tespit etmişlerdir. *Spirulina*'nın fermente süt örneklerine eklenmesi sonucu toplam antioksidan madde miktarındaki artış klorofil (Ismail vd., 2016), karotenoid (Goiris vd., 2012) ve fikosiyanın içeriğindeki artış ile ilgili olabilir.

4.3.2. *İn vitro* sindirime uğratılmış örneklerde antidiyabetik aktivite

Farklı konsantrasyonlarda *Spirulina* içeren örneklerde antidiyabetik özelliğe alfa amilaz ve alfa glukozidaz enzimleri kullanılarak bakılmıştır.

Spirulina'nın antilipidemik ve antidiyabetik etkisini gösteren diğer bir klinik çalışmada ise, Tip II diyabet hastası olan 15 kişiye 2 ay süreyle verilen *Spirulina* takviyesinin açlık kan şekeri seviyesini önemli ölçüde azalttığı; trigliserit, total kolesterol ve serbest yağ asidi seviyesini önemli ölçüde düşürerek lipid profilini düzenlediği gösterilmiştir (Mani vd., 2000).

Bunların yanı sıra, oldukça önemli olarak *Spirulina*'nın antilipidemik, antioksidan, antidiyabetik, antiviral, antihistaminik ve antikarsinojenik özelliklerini ortaya koyan pek çok klinik çalışma mevcuttur (Khan vd., 2005; Karkos vd., 2011).

Tüm dünyada ilgi gören ve farklı tedavilerde kullanılan *Spirulina* diyet takviyesinin antilipidemik, antidiyabetik, antiviral, antihistaminik ve antikarsinojenik özellikleri yapılan birçok klinik araştırmayla ortaya koyulmuştur (Karkos vd., 2011).

4.3.2.1. α - Amilaz

İn vitro öncesi örneklerde α -amilaz inhibisyon tespit edilememiştir. *İn vitro* sonrası örneklerde, en yüksek inhibisyon kontrol örneğinde görülürken, en düşük inhibisyon S2 örneğinde görülmüştür (Tablo 4.10). *Spirulina* konsantrasyonu arttıkça alfa amilaz inhibisyonunda önemli bir değişim gözlenmemiştir ($p>0.05$).

Tablo 4.10. *İn vitro* sindirime uğratılmış örneklerde α -amilaz aktivite

Örnek	<i>İn vitro</i> sonrası
Konsantrasyon	0.126 g/ml
Kontrol	0.69 ± 0.24^a
S1	0.63 ± 0.03^a
S2	0.55 ± 0.16^a
S3	0.62 ± 0.07^a
<i>Sp</i> *	0.7 ± 0.05

**Sp* konsantrasyon: *İn vitro* sonrası: 0.126 g/ml

4.3.2.2. α -Glukozidaz

İn vitro sindirim öncesi örneklerin α -glukozidaz inhibisyonu belirlenememiş olup, *İn vitro* sindirim sonrası örneklerin α -glukozidaz inhibisyonları Tablo 4.11’de verilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde α -glukozidaz inhibisyonunda *Spirulina* konsantrasyonu arttıkça önemli bir artış görülmüştür ($p<0.05$). En düşük inhibisyon Kontrol örneğinde, en yüksek inhibisyon ise S3 örneğinde tespit edilmiştir.

Tablo 4.11. *İn vitro* sindirime uğratılmış örneklerde α -Glukozidaz aktivite

Örnek	<i>İn vitro</i> sonrası
Konsantrasyon	0.126 g/ml
Kontrol	11.84 $\pm$ 1.07 ^a
S1	21.02 $\pm$ 1.91 ^b
S2	66.39 $\pm$ 3.09 ^c
S3	82.01 $\pm$ 2.05 ^d
Sp*	39.62 $\pm$ 0.57

*Sp konsantrasyon: *İn vitro* sonrası: 0.126 g/ml

α -glukozidaz inhibisyonunda önemli bir artış görülmüştür ($p < 0.05$). En küçük inhibisyonun Kontrol örneğinde olduğu belirlenmiştir.

4.3.3. *İn vitro* sindirime uğratılmış örneklerde antihipertansif aktivite

Sp içerikleri farklı olan fermente süt örneklerinin biyoaktif özelliklerini değerlendirebilmek için mide-bağırsak sistemi taklit edilmiş olup antihipertansif (ACE (anjyotensin I-dönüştürücü enzim)) aktivite tayini yapılmıştır. Sonuçlar Tablo 4.12’de verilmiştir.

Tablo 4.12. Sp içeren ve içermeyen fermente süt ürünlerinin *in vitro* sindirim sonrası ACE değerleri

Örnek	<i>İn vitro</i> Öncesi (%inh)	<i>İn vitro</i> Sonrası (%inh)
Konsantrasyon	502 mg/ml	63 mg/ml
Kontrol	45.87 $\pm$ 1.99 ^a	7.73 $\pm$ 1.63 ^a
S1	57.9 $\pm$ 0.19 ^b	15.49 $\pm$ 1.56 ^{ab}
S2	61.33 $\pm$ 2.25 ^b	19.98 $\pm$ 2.29 ^b
S3	52.67 $\pm$ 2.85 ^{ab}	68.50 $\pm$ 2.01 ^c
Sp*	22.91 $\pm$ 0.22	40.75 $\pm$ 1.09

* Sp konsantrasyon: *İn vitro* öncesi: 0.272 g/ml, *İn vitro* sonrası: 0.126 g/ml

**Küçük harfle belirtilen ortalamalar örnekler arasındaki istatistiksel konsantrasyon farklılığını göstermektedir ($p < 0.05$).

In vitro sindirime uğratılmamış örneklerde en düşük inhibisyon Kontrol örneğine ait iken en yüksek inhibisyon %1 *Sp* içeren S2 örneğine aittir. %1,5 *Sp* içeren fermente süt örneği hariç *Spirulina* konsantrasyonu arttıkça ACE inhibisyonu önemli bir şekilde artmıştır ($p<0.05$).

Sindirim sonrası örneklerde ise en yüksek inhibisyon %1,5 *Sp* içeren örnekte iken konsantrasyon arttıkça örneklerin ACE inhibisyonu önemli bir şekilde artmıştır ($p<0.05$).

Laktik asit bakterileri tarafından sütün fermentasyonu sırasında özellikle kazeinin hidrolizi ile ACE inhibitör peptitleri ortaya çıkmaktadır (Silva ve Malcata, 2005).

In vitro sindirim öncesi sonuçlara bakacak olursak en yüksek ACE inhibisyonu S2 örneğinde tespit edilmiştir, fakat S1, S2 ve S3 örnekleri arasındaki değişim anlamlı bulunmamıştır ($p>0.05$).

Sindirilmiş ve sindirilmemiş örnekler incelendiğinde sindirim işlemiyle örneklerin ACE inhibisyonunda artış saptanmıştır. Bu artışın sebebi de sindirim sonrası parçalanmış proteinden, açığa çıkan peptitlerin antihipertansif özelliklerinden dolayı olabilir.

4.3.4. *In vitro* sindirime uğratılmış örneklerde toplam fenolik madde (TFEM)

Birçok yararı dışında gıdalarda katkı maddesi olarak da kullanılan *Spirulina platensis*, içeriğinde antioksidan özellikler gösterdiği bilinen fenolik asitler, tokoferoller ve β -karoten bulundurur (Miranda vd., 1998).

Farklı konsantrasyonlarda *Sp* içeren fermente süt örneklerinin ve *Spirulina*'nın *in vitro* sindirim öncesi ve sonrası içerdiği toplam fenolik madde miktarları Tablo 4.13'te, GA/100g cinsinden verilmiştir.

Tablo 4.13. *Sp* içeren ve içermeyen fermente süt ürünlerinin *in vitro* önce ve sonrası TFEM değerleri

Örnek	<i>In vitro</i> Öncesi (mg GA/100g)	<i>In vitro</i> Sonrası (mg GA/100g)
Konsantrasyon	1 g/ml	0.126 g/ml
Kontrol	12.6 $\pm$ 1.5 ^a	2621 $\pm$ 188.2 ^a
S1	15.1 $\pm$ 5.5 ^a	2836 $\pm$ 219.6 ^{ab}
S2	14.7 $\pm$ 2.2 ^a	3082 $\pm$ 49.3 ^b
S3	31.7 $\pm$ 6.5 ^b	3745 $\pm$ 97.6 ^c
<i>Sp</i>*	272 $\pm$ 19.5	4145 $\pm$ 106.9

**Sp* konsantrasyon: *In vitro* öncesi: 0.272 g/ml, *In vitro* sonrası: 0.126 g/ml

**Küçük harfle belirtilen ortalamalar örnekler arasındaki istatistiksel konsantrasyon farklılığını göstermektedir (p<0.05).

Fermente süt örneklerinin *in vitro* sindirim sonrası toplam fenolik madde (TFEM) değerleri 2621-3745 mg GA/100 mg arasındadır.

Sonuçlara bakıldığında *in vitro* önce ve sonrası toplam fenolik madde miktarı en az olan Kontrol örneğidir. Bunun sebebi kontrol örneğinin hiç *Spirulina* içermemesi olabilir. En yüksek TFEM içeren örneğin *Spirulina* olması ve *Sp* konsantrasyonu arttıkça TFEM'nin artması bu yorumu desteklemektedir. *In vitro* sindirim sonrası bütün örneklerde TFEM miktarında önemli bir artış görülmüştür (p<0.05).



5. SONUÇLAR

Bu çalışmada, *Spirulina platensis*'e çeşitli kimyasal analizler yapılmıştır. *Spirulina platensis* içeren ve içermeyen fermente süt ürünleri üretilerek, 21 günlük depolama süresi boyunca gerçekleşen değişimler araştırılmıştır. Örneklerin depolama sürelerinin 1., 7., 14. ve 21. günlerinde karakteristik analizler yapılmıştır. Çalışmada dikkat çeken sonuçlar maddeler halinde verilmiştir:

- Depolama esnasında fermente süt örneklerinin 7. ve 14.gündeki pH değeri azalırken, 21.günde önemli bir şekilde artmıştır. S2 örneği hariç. S2 örneğinin pH değeri anlamlı artmamıştır.
- *Sp* içermeyen fermente süt örneklerinin, *Sp* katkılı örneklerle göre kuru madde değerleri daha fazla elde edilmiştir. *Sp* konsantrasyonu arttıkça, kuru madde değerinde önemli bir azalma görülmüştür. Kül değerlerine bakıldığında, *Sp* konsantrasyonu arttıkça kül değerlerinde önemli bir azalma görülmüştür. *Sp* katkısız fermente süt örneğinin kül değeri ile S1 örneğinin kül değeri birbirine benzer bulunmuştur.
- Depolama süresince fark oluşmayan özellikler renk, kıvam, ağızdaki doku ve tat duyuşsal parametreleridir. Depolama süresince öne çıkan değişimler ise koku, deniz kokusu ve genel izlenim duyuşsal parametrelerinde bulunmuştur. Renk, kıvam, ağızdaki doku ve tat duyuşsal parametrelerinde örnekler arasında anlamlı değişimler bulunmamıştır. Deniz kokusu duyuşsal parametresinde *Sp* katkısız örneklerle göre *Sp* ilaveli örneklerde önemli bir artma görülmüştür. *Sp* konsantrasyonu arttıkça genel izlenim duyuşsal parametresinde önemli bir azalma elde edilmiştir. *Sp* ilavesi arttıkça koku parametresinde önemli bir artış gözlenmiştir.
- Depolama süresi boyunca su tutma kapasitesi önemli bir şekilde artmıştır. Ancak 21.günde azalma görülmüştür. *Sp* ilavesi arttıkça su tutma kapasitesi önemli bir şekilde artmıştır.

- Depolama süresi boyunca sinerez değerlerindeki 14.günde azalma görülmüş ancak 21.günde artış saptanmıştır. *Sp* ilaveli fermente süt örneklerinin sinerez değerleri *Sp* ilavesiz örneklerle göre önemli bir şekilde daha yüksek bulunmuştur.
- Depolama süresince tekstürel özelliklerde öne çıkan önemli bir değişim görülmemiştir. Yüzey yapışkanlığı *Sp* ilavesiz örneklerde, *Sp* ilaveli örneklerle göre daha yüksek bulunmuştur. Bunun dışındaki diğer tüm tekstürel özelliklerde önemli bir değişim görülmemiştir.
- Depolama süresince L^* değerlerinde herhangi bir değişim görülmezken, *Sp* ilavesi arttıkça örneklerin L^* değeri düşmüştür. a^* değerleri yeşil, b^* değerleri ise sarı renklerini belirtmiştir. *Sp* konsantrasyonu arttıkça yeşil ve sarı renk yoğunluğu artmıştır. Depolama süresi boyunca a^* ve b^* değerlerinde önemli bir değişim görülmemiştir.
- *In vitro* sindirim ile örneklerin toplam fenolik madde, antidiyabetik, antioksidan ve antihipertansif özelliklerinde önemli bir artış görülmüştür.

6. ÖNERİLER

Bütün bu sonuçlar ele alındığında, elde edilmek istenen *Sp* ile zenginleştirilmiş fermente süt ürünlerinin, yüksek protein içerikli, yeni ve fonksiyonel olarak üretilebileceğinin uygun olduğu anlaşılmıştır. Yine sonuçlar doğrultusunda tercih edilebilir ve beğenilebilir bir ürün meydana gelmiştir. Üç farklı konsantrasyonda üretilen ürünler arasında en ideal oranın %0,5 *Sp* olduğu kanısına varılmıştır. İlaveten %0,5 *Sp* katkılı fermente süt ürünlerinin besin içeriği, duyuusal ve biyoaktif özellik açısından yeterli olacağı gibi, %0,5'ten daha düşük konsantrasyonda *Sp* ilaveli fermente süt ürünlerinin de özellikleri incelenebileceği ve bu özellikler açısından yeterli gelebileceği düşünülmüştür. Aroma ve koku açısından değerlendirme yapıldığında; fermentasyon öncesi süte eklenerek, ısıt işleme tâbi tutulan *Sp*'nin, ısıt işlem sonrası da ürüne eklenebileceği öneriye açılmıştır. Bu sayede, ısıt işlem olmadan tat ve kokuyu daha az etkileyebileceği sonucuna varılmıştır.

KAYNAKÇA

- Agustini, T. W., Soetrisnanto, D., & Ma'ruf, W. F. (2017). Study on chemical, physical, microbiological and sensory of yoghurt enriched by *Spirulina platensis*. International Food Research Journal, 24(1).
- Abd El-Monem, A. M., Gharieb, M. M., Hussian, A. M., & Doman, K. M. (2018). Effect of pH on phytochemical and antibacterial activities of *Spirulina platensis*. International Journal of Applied Environmental Sciences, 13(4), 339-351.
- Akalin, A.S., Unal, G., Dalay, M.C. (2009): Influence of *Spirulina platensis* biomass on microbiological viability in traditional and probiotic yogurts during refrigerated storage. Italian Journal of Food Science 21, 357-364.
- Alizadeh Khaledabad, M., Ghasempour, Z., Moghaddas Kia, E., Rezazad Bari, M., & Zarrin, R. (2020). Probiotic yoghurt functionalised with microalgae and Zedo gum: chemical, microbiological, rheological and sensory characteristics. International Journal of Dairy Technology, 73(1), 67-75.
- Anekthanakul, K., Senachak, J., Hongsthong, A., Charoonratana, T., & Ruengjitchatchawalya, M. (2019). Natural ACE inhibitory peptides discovery from *Spirulina (Arthrospira platensis)* strain C1. Peptides, 118, 170107.
- Anitha L., Chandralekha K., Effect of Supplementation of *Spirulina* on Blood Glucose, Glycosylated Hemoglobin and Lipid Profile of Male Non-Insulin Dependent Diabetics. Asian Journal of Experimental Biological Sciences, 2010, 1(1), 36-46.
- Ariza-Ortega, T. D. J., Zenón-Briones, E. Y., Castrejón-Flores, J. L., Yáñez-Fernández, J., Gómez-Gómez, Y. D. L. M., & Oliver-Salvador, M. D. C. (2014). Angiotensin-I-converting enzyme inhibitory, antimicrobial, and antioxidant effect of bioactive peptides obtained from different varieties of common beans (*Phaseolus vulgaris* L.) with *in vivo* antihypertensive activity in spontaneously hypertensive rats. European Food Research and Technology, 239(5), 785-794.
- Barkallah, M., Dammak, M., Louati, I., Hentati, F., Hadrich, B., Mechichi, T., ... & Abdelkafi, S. (2017). Effect of *Spirulina platensis* fortification on physicochemical, textural,

antioxidant and sensory properties of yogurt during fermentation and storage. *Lebensmittel-Wissenschaft & Technologie*, 84, 323-330.

Bchir, B., Felfoul, I., Bouaziz, M. A., Gharred, T., Yaich, H., Noumi, E., ... & Attia, H. (2019). Investigation of physicochemical, nutritional, textural, and sensory properties of yoghurt fortified with fresh and dried *Spirulina* (*Arthrospira platensis*). *International Food Research Journal*, 26(5).

Beheshtipour, H., Mortazavian, A. M., Haratian, P., Darani, K. K. (2012). Erratum to: Effects of *Chlorella vulgaris* and *Spirulina platensis* addition on viability of probiotic bacteria in yogurt and its biochemical properties. *European Food Research and Technology*, 235(6), 1213-1213.

Bryant A, Ustunol Z and Steff J (1995) Texture of cheddar cheese as influenced by fat reduction. *Journal of Food Science*, 60, 1216–1236.

Caleja, C., Barros, L., Antonio, A. L., Carcho, M., Oliveira, M. B. P., & Ferreira, I. C. (2016). Fortification of yogurts with different antioxidant preservatives: A comparative study between natural and synthetic additives. *Food Chemistry*, 210, 262-268.

Cheng L J, Augustin M A and Clarke P T (2000) Yogurts from skim milk – whey protein concentrate blends. *Australian Journal of Dairy Technology*, 55, 110.

Çelekli, A., Alslibi, Z. A., & Üseyin Bozkurt, H. (2019). Influence of incorporated *Spirulina platensis* on the growth of microflora and physicochemical properties of ayran as a functional food. *Algal Research*, 44, 101710.

Debbabi, H., Boubaker, B., Gmati, T., Chouaibi, M., Boubaker, A., & Snoussi, A. (2017, November). Yogurt enrichment with *Spirulina* (*Arthrospira platensis*): effect of storage on physicochemical parameters. In *Euro-Mediterranean Conference for Environmental Integration*, 1267-1268.

Delikanli, B., & Ozcan, T. (2014). Effects of various whey proteins on the physicochemical and textural properties of set type nonfat yoghurt. *International Journal of Dairy Technology*, 67(4), 495-503.

- Demir, H., Simsek, M., & Yildirim, G. (2021). Effect of oat milk pasteurization type on the characteristics of yogurt. *Lebensmittel-Wissenschaft & Technologie*, 135, 110271.
- Ebrahimi-Mameghani, M., Sadeghi, Z., Farhangi, M. A., Vaghef-Mehrabany, E., & Aliashrafi, S. (2017). Glucose homeostasis, insulin resistance and inflammatory biomarkers in patients with non-alcoholic fatty liver disease: Beneficial effects of supplementation with microalgae *Chlorella vulgaris*: A double-blind placebo-controlled randomized clinical trial. *Clinical Nutrition*, 36(4), 1001-1006.
- Elbagowry, H.M.A. (2014). Antimicrobial activities of some selected fresh water algae isolated from gharblah governorate. Master Thesis Faculty of Science, Tanta University.
- Gahrue, H. H., Eskandari, M. H., Mesbahi, G., & Hanifpour, M. A. (2015). Scientific and technical aspects of yogurt fortification: A review. *Food Science and Human Wellness*, 4(1), 1e8.
- Guldas, M., & Irkin, R. (2010). Influence of *Spirulina platensis* powder on the microflora of yoghurt and acidophilus milk. *Mljekarstvo: časopis za unaprjeđenje proizvodnje i prerade mlijeka*, 60(4), 237-243.
- Gurkan, H. A. C. E. R., & Hayaloglu, A. A. (2017). Volatiles and sensory characteristics of yogurt manufactured by incorporating basil (*Ocimum basilicum L.*). *International Journal of Food Properties*, 20(sup1), S779-S789.
- Guzman-Gonzalez M, Morais F, Ramos M and Amigo L (1999). Influence of skimmed milk concentrate replacement by dry dairy products in a low fat set-type yoghurt model system. I: use of whey protein concentrates; milk protein concentrates and skimmed milk powder. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 79, 1117–1122.
- Isanga, J., & Zhang, G. (2009). Production and evaluation of some physicochemical parameters of peanut milk yoghurt. *Food Science and Technology*, 6, 1132e2238.
- Kam, A., Li, K. M., Razmovski-Naumovski, V., Nammi, S., Shi, J., Chan, K., & Li, G. Q. (2013). A comparative study on the inhibitory effects of different parts and chemical constituents of pomegranate on α -amylase and α -glucosidase. *Phytotherapy Research*, 27(11), 1614-1620.

- Khan, Z., Bhadouria, P., & Bisen, P. S. (2005). Nutritional and therapeutic potential of *Spirulina*. *Current pharmaceutical biotechnology*, 6(5), 373-379.
- Kumar, S., Narwal, S., Kumar, V., & Prakash, O. (2011). α -glucosidase inhibitors from plants: A natural approach to treat diabetes. *Pharmacognosy reviews*, 5(9), 19.
- Lafarga, T., Fernández-Sevilla, J. M., González-López, C., & Acién-Fernández, F. G. (2020). *Spirulina* for the food and functional food industries. *Food Research International*, 137, 109356.
- Li, G. H., Le, G. W., Shi, Y. H., & Shrestha, S. (2004). Angiotensin I-converting enzyme inhibitory peptides derived from food proteins and their physiological and pharmacological effects. *Nutrition Research*, 24(7), 469-486.
- Li Y, Wen S, Kota BP, et al. 2005. *Punica granatum* flower extract, a potent alpha-glucosidase inhibitor, improves postprandial hyperglycemia in Zucker diabetic fatty rats. *J Ethnopharmacol* 99(2), 239–44.
- Mao T., Van de Water J., Gershwin M., Effects of a *Spirulina*-based dietary supplement on cytokine production from allergic rhinitis patients. *Journal of Medicinal Food*, 2005, 8(1), 27-30.
- Marzieh Hosseini, S., Shahbazizadeh, S., Khosravi-Darani, K., & Reza Mozafari, M. (2013). *Spirulina paltensis*: Food and function. *Current Nutrition & Food Science*, 9(3), 189-193.
- Michałowski, T., Asuero, A. G., & Wybraniec, S. (2013). The Titration in the Kjeldahl Method of Nitrogen Determination: Base or Acid as Titrant. *Journal of Chemical Education*, 191-197.
- Mudgil, P., Jumah, B., Ahmad, M., Hamed, F., & Maqsood, S. (2018). Rheological, micro-structural and sensorial properties of camel milk yogurt as influenced by gelatin. *Lebensmittel-Wissenschaft & Technologie*, 98, 646-653.
- Narmadha T., Sivakami V., Ravikumar M., Mukeshkumar D., Effect of *Spirulina* on lipid profile of hyperlipidemics. *World Journal of Science and Technology*, 2012, 2, 19-22.

- Onacik-Gür, S., Żbikowska, A., & Majewska, B. (2018). Effect of *Spirulina* (*Spirulina platensis*) addition on textural and quality properties of cookies. *Italian Journal of Food Science*, 30(1).
- Ovando, C. A., Carvalho, J. C. D., Vinícius de Melo Pereira, G., Jacques, P., Soccol, V. T., & Soccol, C. R. (2018). Functional properties and health benefits of bioactive peptides derived from *Spirulina*: A review. *Food Reviews International*, 34(1), 34-51.
- Öner, Z., Karahan, A. G., Aydemir, S., Aloğlu, H. Ş. (2008). Effect of transglutaminase on physicochemical properties of set-style yogurt. *International Journal of Food Properties*, 11(1), 196-205.
- Öner, Z., Aloğlu, H. Ş. (Ed.), (2018). *Süt ve Süt Ürünleri Analiz Yöntemleri*. Sidas Yayıncılık, 590.
- Öztürkoğlu-Budak, S., Akal, C., Yetişemiyen, A., (2016). Effect of dried nut fortification on functional, physicochemical, textural, and microbiological properties of yogurt. *Journal of Dairy Science*, 99(11), 8511-8523.
- Re, R., Pellegrini, N., Proteggente, A., Pannala, A., Yang, M., & Rice-Evans, C. (1999). Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. *Free Radical Biology and Medicine*, 26(9-10), 1231-1237.
- Remeuf F, Mohammed S, Sodini I and Tissier J P (2003) Preliminary observations on the effects of milk fortification and heating on micro- structure and physical properties of stirred yogurt. *International Dairy Journal* 13 773–782.
- Salamatullah, A. (2014); Characterization of extraction methods to recover phenolic rich antioxidants from blue green algae (*Spirulina*) using response surface approaches. Master Thesis University of Nebraska – Lincoln.
- Salvador, A. and Fiszman, S. M. 2004. Texture and sensory characteristics of whole and skimmed flavoured set yoghurt during long storage. *Journal of Dairy Science* 87(12), 4033-4041.
- Sharoba, A. M. (2014). Nutritional value of *spirulina* and its use in the preparation of some complementary baby food formulas. *Journal of Food and Dairy Sciences*, 5(8), 517-538.

- Shin, Y. M., Son, C. W., Sim, H. J., Kim, M. H., Kim, M. Y., Kwon, O. Y., Kim, M. R., (2008). Quality characteristics and antioxidant activity of *Spirulina* added yogurt. Korean Journal of Food and Cookery Science, 24(1), 68-75.
- Stuknytė, M., Cattaneo, S., Masotti, F., & De Noni, I. (2015). Occurrence and fate of ACE-inhibitor peptides in cheeses and in their digestates following *in vitro* static gastrointestinal digestion. Food Chemistry, 168, 27-33.
- Suzery, M., Sutanto, H., & Widiastuti, Y. (2018, April). Improvement the Yoghurt Nutritional Value, Organoleptic Properties and Preferences by *Spirulina* (*Spirulina platensis*) Supplementation. In IOP Conference Series: Materials Science and Engineering (Vol. 349, No. 1, 012040).
- Szczesniak A S (2002) Texture is a sensory property. Food Quality and Preference, 13, 215–225.
- Tietze, H. (1996). *Spirulina* Micro Food Macro Blessings. Harald Tietze Publishing P/.
- Ünal, M. Ü., Şener, A., & Cemek, K. (2018). Biyoaktif Peptitlerin Sağlık Üzerine Etkileri. Gıda, 43(6), 930-942.
- Vasbinder, A. J. (2002). Casein-whey protein interactions in heated milk. Doctoral The Netherlands: Utrecht University.
- Vasbinder, A. J., Alting, A. C., Visschers, R. W., & de Kruif, C. G. (2003). Texture of acid milk gels: formation of disulfide cross-links during acidification. International Dairy Journal, 13(1), 29–38.
- Vasbinder, A. J., & De Kruif, C. G. (2003). Casein–whey protein interactions in heated milk: The influence of pH. International Dairy Journal, 13(8), 669–677.
- Vasbinder, A. J., Rollema, H. S., Bot, A., & De Kruif, C. G. (2003b). Gelation mechanism of milk as influenced by temperature and pH; studied by the use of transglutaminase cross-linked casein micelles. Journal of Dairy Science, 86(5), 1556–1563.
- Vonshak, A. (Ed.). (1997). *Spirulina platensis arthrospira*: physiology, cell-biology and biotechnology. CRC press.

- Wells, M. L., Potin, P., Craigie, J. S., Raven, J. A., Merchant, S. S., Helliwell, K. E., ... & Brawley, S. H. (2017). Algae as nutritional and functional food sources: revisiting our understanding. *Journal of Applied Phycology*, 29(2), 949-982.
- Wu, H., Hulbert, G. J., Mount, J. R., (2001). Effects of ultrasound on milk homogenization and fermentation with yogurt starter. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 1, 211-218.

