



***SPİRULİNA*'NIN TOPLAM FENOLİK BİLEŞENLERİNİN,  
ANTIOKSİDAN KAPASİTESİNİN VE ANTIOKSİDAN  
BİLEŞENLERİN BİYOALINABİLİRLİĞİNİN  
ARAŞTIRILMASI**

**Ceren ŞEN GENÇ**



T.C.  
BURSA ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**SPIRULİNA'NIN TOPLAM FENOLİK BİLEŞENLERİNİN, ANTIOKSİDAN  
KAPASİTESİNİN VE ANTIOKSİDAN BİLEŞENLERİN  
BİYOALINABİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI**

**Ceren ŞEN GENÇ**

Prof. Dr. Ozan GÜRBÜZ  
(Danışman)

YÜKSEK LİSANS  
GIDA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

BURSA – 2019

## TEZ ONAYI

Ceren ŞEN GENÇ tarafından hazırlanan “*SPİRULİNA*’NIN TOPLAM FENOLİK BİLEŞENLERİNİN, ANTIOKSİDAN KAPASİTESİNİN VE ANTIOKSİDAN BİLEŞENLERİN BİYOALINABİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Bursa Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı’nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

**Danışman** : Prof. Dr. Ozan GÜRBÜZ

**Başkan** : Prof. Dr. Ozan GÜRBÜZ  
Uludağ Üniversitesi, Ziraat Fakültesi,  
Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı

imza  


**Üye** : Doç. Dr. Sine Özmen TOĞAY  
Uludağ Üniversitesi, Ziraat Fakültesi,  
Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı

imza  


**Üye** : Prof. Dr. Nurcan DEĞİRMENCİOĞLU  
Bandırma Onyediy Eylül Üniversitesi  
Bandırma Meslek Yüksek Okulu,  
Gıda Teknolojisi

imza  


Yukarıdaki sonucu onaylarım

  
Prof. Dr. Hüseyin Aksel EREN  
Enstitü Müdürü

.././2019

**B.U.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;**

- tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı

**beyan ederim.**

**30/07/2019**

**Ceren ŞEN GENÇ**

## ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

### *SPİRULİNA*'NIN TOPLAM FENOLİK BİLEŞENLERİNİN, ANTIOKSİDAN KAPASİTESİNİN VE ANTIOKSİDAN BİLEŞENLERİN BİYOALINABİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI

**Ceren ŞEN GENÇ**

Bursa Uludağ Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı

**Danışman:** Prof. Dr. Ozan GÜRBÜZ

*Spirulina platensis* antioksidan, antibakteriyel, antidiyabetik, antiviral, antikanserojen vb. gibi pek çok sağlık yönü ile dikkat çekmektedir. Bu çalışmada, ülkemizde, ticari olarak satışa sunulmuş, 3 farklı markaya ait (Egert, Shiffa Home ve Hana) *Spirulina platensis* toz örneklerinin ekstrakte edilebilir, hidrolize edilebilir ve biyoalınabilir fenoliklerinin antioksidan kapasite (DPPH, ABTS, CUPRAC) ve toplam fenolik bileşen analizleri yapılmıştır. En yüksek toplam fenol içeriği değerinin Hana markalı ürünün hidrolize edilebilir fenoliklerine ait olduğu saptanmıştır (7200,38±1,01<sup>a</sup> mg/100 g GAE km). Örnekler arasından en yüksek TEAC<sub>ABTS</sub> değerinin Hana markalı ürünün hidrolize edilebilir fenoliklerine ait olduğu (132,03±2,60<sup>a</sup> µmol TE/g), en yüksek TEAC<sub>DPPH</sub> değerinin Shiffa Home markalı ürünün hidrolize edilebilir fenoliklerine ait olduğu (129,01±0,04<sup>a</sup> µmol TE/g), en yüksek TEAC<sub>CUPRAC</sub> değerinin de Hana markalı ürünün hidrolize edilebilir fenoliklerine ait olduğu (206,15±2,11<sup>a</sup> µmol TE/g) bulunmuştur.

*Spirulina platensis* toz örneklerine ait hidrolize edilebilir fenoliklerin antioksidan kapasiteleri ve toplam fenol içerikleri, ekstrakte edilebilir fenoliklerin antioksidan kapasiteleri ve toplam fenol içeriklerinden daha yüksek olduğu saptanmıştır. Tüm örneklerde toplam fenol içeriklerinin biyoalınabilirlik değerleri %77,0-87,18 arasında bulunmuştur. Biyoalınabilir TEAC<sub>ABTS</sub> değerinin, %55,90-92,87 arasında, TEAC<sub>CUPRAC</sub> değerinin, %20,57-34,31 arasında, TEAC<sub>DPPH</sub> değerinin %3,59-16,31 arasında olduğu belirlenmiştir. Toplam fenol içeriğinin % biyoalınabilirlik değerinin en yüksek olduğu ürün Shiffa Home markalı ürün olarak tespit edilmiştir (%87,18±4,33), ayrıca % biyoalınabilir TEAC<sub>ABTS</sub> değerinin en yüksek olduğu ürün yine Hana markalı ürün olarak bulunmuştur (%92,87±0,05). % biyoalınabilir TEAC<sub>CUPRAC</sub> (%34,31±0,84) ve TEAC<sub>DPPH</sub> (%16,31±1,42) değerlerinin en yüksek olduğu ürün ise Egert markalı ürün olarak saptanmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** antioksidan kapasite, biyoalınabilirlik, fenolik bileşikler, *Spirulina platensis*.

**2019, vii + 46 sayfa.**

## ABSTRACT

MSc Thesis

### INVESTIGATION OF PHENOLIC COMPOUNDS, ANTIOXIDANT CAPACITIES AND BIOACCESSIBILITY OF *SPIRULINA*

**Ceren ŞEN GENÇ**

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

**Supervisor:** Prof. Dr. Ozan GÜRBÜZ

*Spirulina platensis* draws attention with its healthy aspects like antioxidant, antidiabetic, antibacterial, antiviral, anticancer. In this study, Egert, Shiffa Home and Hana branded *Spirulina platensis* powder products which commercially sold in Turkey were compared and the changes in total phenol content, antioxidant capacity of extractable, hydrolyzable and bioaccessible phenolics of these products were investigated. In this study, Hana branded *Spirulina* powder ( $7200,38 \pm 1,01^a$  mg/100 g GAE dm) showed the highest total phenol content value of *Spirulina platensis* powder products.

In this study, when it compared with other samples, hydrolysable Hana branded *Spirulina platensis* powder showed highest TEAC<sub>ABTS</sub> value ( $132,03 \pm 2,60^a$   $\mu$ mole TE/g), hydrolysable Shiffa Home branded *Spirulina* powder showed highest TEAC<sub>DPPH</sub> value ( $129,01 \pm 0,04^a$   $\mu$ mole TE/g) and hydrolysable Hana branded *Spirulina* powder showed highest TEAC<sub>CUPRAC</sub> value ( $206,15 \pm 2,11^a$   $\mu$ mole TE/g). Antioxidant capacity and total phenol content of hydrolyzable phenolics of *Spirulina platensis* powder products were higher than antioxidant capacity and total phenol content of extractable phenolics of *Spirulina platensis* powder products. In the all of samples, bioaccessibilities of total phenol contents was range of 77,0-87,18 %. Bioaccessibility of TEAC<sub>ABTS</sub> was in the range of 55,90-92,87 %, bioaccessibility of TEAC<sub>CUPRAC</sub> was in the range of 20,57-34,31 %, bioaccessibility of TEAC<sub>DPPH</sub> is in the range of 3,59-16,31 %. Shiffa Home branded product ( $87,18 \pm 4,33$  %) showed the highest bioaccessibility (%) of total phenol content value. Otherwise, Hana branded product ( $92,87 \pm 0,05$  %) showed the highest bioaccessibility (%) of TEAC<sub>ABTS</sub> value. Egert branded product showed the highest bioaccessibility (%) of TEAC<sub>CUPRAC</sub> ( $34,31 \pm 0,84$  %) and TEAC<sub>DPPH</sub> values ( $16,31 \pm 1,42$  %).

**Key words:** antioksidan kapasite, biyoalınabilirlik, fenolik bileşikler, *Spirulina platensis*.

**2019, vii + 46 pages.**

## TEŞEKKÜR

Bu araştırma Bursa Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakóltesi Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı öğretim üyelerinden Prof. Dr. Ozan GÜRBÜZ yönetiminde hazırlanarak Bursa Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü'ne Yüksek Lisans Tezi olarak sunulmuştur.

Bu tez çalışmasının planlanmasında, araştırılmasında, yürütülmesinde ve hazırlanmasında her türlü bilgi ve deneyimiyle bana yol gösteren, yüksek lisans eğitimim süresince desteğini her zaman hissettiğim danışman Hocam Sayın Prof. Dr. Ozan GÜRBÜZ'e teőekkürlerimi borç bilirim.

Tezimin her aşamasında bana kıymetli zamanını ayırarak sabırla bana faydalı olabilmek için elinden geleni yapan gerektiğinde manevi desteğini de esirgemeyen Hocam Dr. Elif YILDIZ'a teőekkürlerimi sunarım.

Beni bugünlere sevgiyle ve sabırla getiren benden maddi ve manevi desteğini hiçbir zaman esirgemeyen değerli aileme sonsuz teőekkürlerimi sunarım. Biricik eşim Ufuk GENÇ'e her anımda yanımda olduğu ve desteğini her zaman hissettirdiği için tüm kalbimle teşekkür ederim.

Ceren ŞEN GENÇ

30/07/2019

## İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET.....	i
ABSTRACT .....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
İÇİNDEKİLER .....	iv
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ .....	v
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vi
ÇİZELGELER DİZİNİ .....	vii
1. GİRİŞ .....	1
2. KURAMSAL TEMELLER VE KAYNAK ARAŞTIRMASI.....	3
2.1. <i>Spirulina platensis</i> 'in Tarihçesi .....	3
2.2. <i>Spirulina platensis</i> 'in Morfolojisi ve Sınıflandırılması .....	4
2.3. <i>Spirulina platensis</i> 'in Bileşimi .....	5
2.4. <i>Spirulina platensis</i> Üretimi .....	8
2.5. <i>Spirulina platensis</i> 'in Kullanım Alanları .....	10
2.6. Antioksidanlar .....	11
2.7. <i>Spirulina platensis</i> 'in Antioksidan Aktivitesi.....	12
2.8. <i>Spirulina platensis</i> ile ilgili Literatür Çalışmaları.....	14
3. MATERYAL VE YÖNTEM .....	22
3.1. Materyal .....	22
3.2. Yöntemler.....	24
3.2.1. Ekstraksiyon.....	24
3.2.2. Toplam Fenol İçeriğinin Belirlenmesi .....	26
3.2.3. Antioksidan Kapasitenin Belirlenmesi.....	28
3.3.4. İstatistiksel Değerlendirme .....	33
4. BULGULAR VE TARTIŞMA .....	34
4.1. Toplam Fenol Bileşen Analiz Sonuçları .....	34
4.2. Antioksidan Kapasite Analiz Sonuçları .....	35
5. SONUÇ .....	39
KAYNAKLAR .....	41
ÖZGEÇMİŞ .....	47



## SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

<b>Simgeler</b>	<b>Açıklama</b>
dk	dakika
rpm	dakikadaki devir sayısı
g	gram
v/v	hacim/hacim
kg	kilogram
kgy	kilogray
L	litre
$\mu\text{m}$	mikrometre
$\mu\text{mol}$	mikromol
$\mu\text{L}$	mikrolitre
mL	mililitre
ppm	milyonda bir kısım
nm	nanometre
<b>Kısaltmalar</b>	<b>Açıklama</b>
ABTS	2,2'-azinobis-(3-etilbenzotiazolin-6-sulfonik asit)
CUPRAC	Bakır İyon İndirgeme Antioksidan Kapasitesi
DNA	Deoksiribo Nükleik Asit
DPPH	2,2-difenil-1-pikrilhidrazil
GLA	Gamalinoleik Asit
GMP	Good Manufacturing Practice
<i>S. platensis</i>	<i>Spirulina platensis</i>
SD	Standart Sapma
SOD	Süperoksit Dismutaz
spp.	Tür
TE	Troloks Eşdeğeri
TEAC	Troloks Eşdeğer Antioksidan Kapasite
UV	Ultraviyole

## ŞEKİLLER DİZİNİ

### Sayfa

Şekil 2. 1. <i>Spirulina</i> 'nın hasat edilmesi, bir tür kum filtresinde geleneksel yöntemle kurutulması ve yerel pazarda satılması (Batello ve ark. 2004) .....	3
Şekil 2. 2. <i>Spirulina platensis</i> 'in 15 günlük üretim sırasında çekilmiş olan mikroskopik görüntüsü (x200) (Güneş 2009) .....	5
Şekil 2. 3. <i>Spirulina</i> Üretimi Akış Şeması (Gültaş 2017) .....	9
Şekil 3. 1. Çalışmada kullanılan <i>Spirulina platensis</i> tablet ve kapsül örnekleri .....	22
Şekil 3. 2. Çalışmada kullanılan cihazlar .....	24
Şekil 3. 3. Lowry A, Lowry B, Lowry C ve gallik asit çözeltileri .....	27
Şekil 3. 4. ABTS çözeltisi .....	29
Şekil 3. 5. DPPH ve Troloks çözeltileri .....	30
Şekil 3. 6. Cu(II) klorür, neokuprain, amonyum asetat ve troloks çözeltileri .....	32
Şekil 3. 7. Biyoalınabilirlik ve biyoyararlılık arasındaki farklar .....	33

## ÇİZELGELER DİZİNİ

	<b>Sayfa</b>
Çizelge 2. 1. <i>Spirulina platensis</i> 'in morfolojisi ve sınıflandırılması .....	4
Çizelge 2. 2. <i>Spirulina</i> tozundaki genel içerik, vitaminler, mineraller ve renk maddeleri .....	7
Çizelge 3. 1. <i>Spirulina platensis</i> örnekleri .....	23
Çizelge 4. 1. <i>Spirulina plantensis</i> örneklerinin ekstrakte edilebilir, hidrolize edilebilir ve biyoalınabilir fenolik maddelerinin toplam fenol içerikleri .....	34
Çizelge 4. 2. <i>Spirulina plantensis</i> örneklerinin ekstrakte edilebilir, hidrolize edilebilir ve biyoalınabilir fenolik maddelerinin ABTS yöntemiyle antioksidan kapasitelerinin belirlenmesi .....	35
Çizelge 4. 3. <i>Spirulina plantensis</i> örneklerinin ekstrakte edilebilir, hidrolize edilebilir ve biyoalınabilir fenolik maddelerinin DPPH yöntemiyle antioksidan kapasitelerinin belirlenmesi .....	35
Çizelge 4. 4. <i>Spirulina plantensis</i> örneklerinin ekstrakte edilebilir, hidrolize edilebilir ve biyoalınabilir fenolik maddelerinin CUPRAC yöntemiyle antioksidan kapasitelerinin belirlenmesi .....	36

## 1. GİRİŞ

Mikroalgler içerdikleri yüksek besin değerleri bakımından son yıllarda üzerinde en çok durulan canlılardır. Ulusal ve uluslararası düzeyde mikroalg türleri üzerinde yapılan çalışmalar yoğun bir şekilde devam etmekte, bu alanda hizmet veren ticari işletmelerin sayısı da giderek artmaktadır. Mikroalg türlerinin ticari üretimi konusundaki araştırmalar, özellikle 1980'li yıllarda siyanobakteri türleri ile gerçekleştirilen çalışmalar ile hız kazanmış olup, biyoteknolojik olarak son yıllarda önemli gelişmeler kaydedilmiştir. Mikroalg türlerinin yetiştirilme koşullarının geniş aralıklara sahip olması ve yüksek besin içerikleri nedeniyle geleceğin gıda kaynakları olarak görülmektedir. Mikroalglerin biyokütle kaynağı olarak yetiştirilmesinin birçok avantajı vardır. Bu temel avantajlar şunlardır:

Mikroalglerin, fotosentetik işleme yoluyla organik bileşenlerin üretimi için güneş enerjisinin kullanıldığı en verimli biyolojik sistemler olduğu bilinmektedir. Mikroalgler kompleks üreme organları olmayan mikroorganizmalardır. Bu durum, bütün biyokütlenin hasatına ve kullanılmasına olanak sağlamaktadır. Mikroalglerin birçok türü, proteinler, karbonhidratlar, lipitler ve pigmentler gibi ticari değeri olan ve istenen bileşenlerin özellikle yüksek konsantrasyonlarda üretilmesinde kullanılabilir. Tatlı su eksikliğinden veya fakir topraklardan dolayı verimin az olduğu birçok bölgede, verimliliği arttırmanın ve basit protein üretimini güvence altına almanın yolu, değersiz topraklarda deniz suyu veya acı su kullanılarak yetiştirilen mikroalglerin üretilmesidir. Mikroalgal biyokütle üretim sistemleri, yoğun emek harcanan üretim birimlerinden yüksek yatırımlar gerektiren tam otomatik sistemlere kadar çeşitli işlemsel veya teknolojik yetenek seviyelerine kolaylıkla uyum gösterebilmektedir.

Bugün yetiştiriciliği yapılan en önemli alg türlerinden biri *Spirulina*'dır. *Spirulina* ilk kez 1827'de Turpin tarafından izole edilmiştir (Vonshak 1997).

*Spirulina platensis*'in sağlık üzerine olumlu etkileri birçok çalışma ile kanıtlanmış olup bu etkilerinden faydalanabilmek için çeşitli kullanım türleri mevcuttur. Bunlardan biri gıda takviyesi olarak kullanımınıdır. Bu takviyeler kapsül, tablet veya toz şeklinde üretilmektedir. Ayrıca son yıllarda *Spirulina platensis*'in fonksiyonel gıda olarak

kullanımı da artmıştır. Bisküvilere, krakerlere, keklere, unlara, meyve ve sebze sularına vb. gıdalara ilave edilebilmekte, yeni ürün geliştirme çalışmalarına da devam edilmektedir.

*Spirulina*'nın fenolik maddeler içerdiği çeşitli araştırmalar sonucunda ortaya koyulmuştur. Fenolik maddeler genellikle meyve ve sebzelerde çok az miktarlarda bulunmakta ve bitkisel kaynaklı besinlerin rengine ve ağızda buruk bir tat bırakarak lezzetine etki etmektedirler. Fenolik maddeler aromatik halkasında bir veya daha fazla hidroksil grubu içeren bileşiklerdir (Shahidi ve Nacz 1995). Bu yüzden en basit fenolik maddenin bir tane hidroksil grubu içeren benzen yani fenol olduğu ve diğer fenolik maddelerin de buradan türediği bilinmektedir. Fenolik maddeler basit fenolik maddeler ve polifenoller olmak üzere kabaca iki gruba ayrılmaktadır. Meyve ve sebzelerde yaygın olarak bulunan fenolik maddeler hidroksibenzoik asitler, hidroksisünamik asitler ve flavonoidler olmak üzere üç kısma ayrılırken, flavonoidler ise kateşinler, antosiyanidinler, flavonoller, flavanonlar ve proantosiyanidinler (löykoantosiyanidinler) olmak üzere beş alt grupta incelenmektedir (Cemeroğlu ve Acar, 1986).

*Spirulina platensis* mikroalginin, toplam fenol içeriğinin, antioksidan kapasitesinin ve biyoalınabilirliklerinin belirlenerek besleyici özelliğinin ortaya konulması bu tez çalışmasının konusunu oluşturmaktadır. Türkiye'de ticari olarak satışı yapılan üç farklı markaya ait *Spirulina platensis* tablet ve kapsüllerinin antioksidan kapasitelerini belirlemede ABTS, DPPH ve CUPRAC metotları kullanılmış ve farklı metotların analitik performansları değerlendirilmiştir. Ayrıca *Spirulina platensis* mikroalginin biyoalınabilirlik analizleri gerçekleştirilmiştir.

## 2. KURAMSAL TEMELLER ve KAYNAK ARAŞTIRMASI

### 2.1. *Spirulina platensis*'in Tarihçesi

*Spirulina* yüksek protein içeriği, yüksek sindirilebilirliği ve içerdiği dengelenmiş zorunlu aminoasitler nedeniyle yıllardır besin maddesi olarak kullanılmakta, Kanembular (Afrika) ve Aztekler (Meksika) gibi yerliler tarafından yüzyıllardır tüketilmektedir. Kanembular'ın göllerin kıyılarından toplanan bu mikroalgleri seçerek daha sonra güneşte kuruttukları ve küçük tabletler halinde şekillendirdikleri, benzer şekilde, Azteklerin de tüketmeden önce bunları ince tabakalar halinde kuruttukları bilinmektedir (Lupatini-Luize ve ark. 2016).



**Şekil 2. 1.** *Spirulina*'nın hasat edilmesi, bir tür kum filtresinde geleneksel yöntemle kurutulması ve yerel pazarda satılması (Batello ve ark. 2004)

*Spirulina* günümüzde, Çad Cumhuriyeti'nde Çad Gölü bölgesinde yaşayan Kanembu kabilesi tarafından besin maddesi olarak kullanılmakta ve “dihe” adıyla kurutulmuş ekmecek olarak satılmaktadır (Abdulqader ve ark. 2000, Belay 2002). Bugün ticari olarak ABD, Tayvan, Tayland, Kaliforniya, Meksika, İsrail ve Çin'de *Spirulina* farklı amaçlarla, farklı ölçülerde üretilmektedir (Kendirli 2010).

Fransız Petrol Araştırma Enstitüsü 1962 yılında *Spirulina* hakkında dikkat çekici bilgiler yayınladıktan sonra bilimsel çalışmalar artmıştır. Bu bilgide araştırma yapanlar, laboratuvarlarında ürettikleri *Spirulina*'da % 60-70 oranında protein tespit ettiklerini bildirmişlerdir. Daha sonra NASA (Ulusal Havacılık ve Uzay Dairesi), uzay araştırmalarında kullanmak üzere besin tabletleri yapmak için konuyu sahiplenmiştir. Bu tarihten sonra çalışmalar, üretim kapasitesini artırma ve kullanım alanlarını geliştirme yolunda hız kazanmıştır (Conk-Dalay 2001).

## 2.2. *Spirulina platensis*'in Morfolojisi ve Sınıflandırılması

Mikroalg *Spirulina platensis*, *Arthrospira* olarak da adlandırılmakta olup, *Cyanobacteria* şubesine, *Cyanophyceae* sınıfına, *Oscillatoriaceae* ailesine aittir. *S. platensis* cinsin en önemli türüdür ve onu *S. fusiforme* ve *S. maxima* takip etmektedir.

**Çizelge 2. 1.** *Spirulina platensis*'in morfolojisi ve sınıflandırılması

<b>Alem</b>	<i>Bakteri</i>
<b>Şube</b>	<i>Cyanobacteria</i>
<b>Sınıf</b>	<i>Cyanophyceae</i>
<b>Takım</b>	<i>Oscillatoriales</i>
<b>Aile</b>	<i>Oscillatoriaceae</i>
<b>Cins</b>	<i>Spirulina</i>
<b>Tür</b>	<i>S.platensis</i>

*S. platensis* uzunluğu 200-300  $\mu\text{m}$ 'ye genişliği 5-10  $\mu\text{m}$ 'ye ulaşan sarmal yapıdadır, adını spiral şekilli bu yapıdan almaktadır. Bazik pH'ya toleransı yüksek olup, kolaylıkla kırılabilen yumuşak hücre duvarına dahası, çok aşamalı ve ipliksi yapıya sahiptir. Suda kolaylıkla yetiştirilebilmekte, güneş ışığında, yüksek sıcaklıklarda ve alkali koşullar altında güçlü bir şekilde üreyebilmektedir. Bu mikroorganizmalar birleştirilmemiş dikenler üretmekte, yeni bir lif üremesine yol açmakta ve çapraz ikili fisyon ile çoğalmaktadırlar. Hücre membranı polisakkarit bir hücre kapsülü ile örtülen, selüloz içermeyen ve *S. platensis*'in organizmalar tarafından absorpsiyonuna ve sindirimine olanak sağlayan çok katmanlı hücre duvarı tarafından çevrelenmiştir. *S. platensis*'in özellikleri, hücre duvarı bariyerini kırma olanağı ve bileşenlerine kolaylıkla erişim

sağlanabilmesi nedeniyle araştırmacıların dikkatini çekmiştir (Lupatini-Luize ve ark. 2016).

*Spirulina* kültürleri için optimum pH değeri 8,5-11 arasındadır. Bu pH'nın değeri ortamdaki bikarbonat ve karbonatta mevcut olan CO<sub>2</sub>'den kaynaklanmaktadır (Richmond 1988). *Spirulina*, akarsular, bulanık durgun sular, tatlı ve acı sular gibi çeşitli ortamlarda yaşayabilmektedir ve yaşayabildiği optimum sıcaklık değeri 30-35 °C'dir. Uyum gösterebildiği minimum sıcaklık değeri 18°C iken, maksimum sıcaklık değeri 39°C olarak belirtilmiştir (Richmond 1992).

Optimum kültür koşulları altında *Spirulina platensis* hücreleri Şekil 2.3.'te görüldüğü gibi spiral bir morfolojiye sahiptir. Optimum koşulların dışına çıkıldığında (yüksek ışık ve sıcaklık gibi stres koşulları altında) hücrelerin kıvrımlı yapısında bozulmalar meydana gelmekte ve kültürler uzun süre bu koşullara maruz kaldığında ise yapısında düzleşmeler görülmektedir (Güneş 2009).



**Şekil 2. 2.** *Spirulina platensis*'in 15 günlük üretim sırasında çekilmiş olan mikroskobik görüntüsü (x200) (Güneş 2009)

### **2.3. *Spirulina platensis*'in Bileşimi**

*Spirulina*'nın zengin ve doğal bileşimi, besin olarak kullanılmasında önemli bir nedendir. *Spirulina*'nın genel bileşimi Çizelge 2.2.'de gösterilmiştir. *Spirulina* kültürü ile yarım dekar alandan 15.000 kg protein üretilebilirken, bu alandan sadece 750 kg soya proteini üretilebilmektedir. Ayrıca *Spirulina*'dan dönüm başına soya fasulyesinden 20 kat, mısırdan 40 kat, sığır etinden 200 kat fazla protein üretildiği belirlenmiştir. *Spirulina* yüksek düzeylerde  $\beta$ -karoten, demir ve çinko içerirken, selenyum, mangan, bakır, krom minerallerini; C ve E vitaminlerini de yapısında bulundurmaktadır. Bu



antioksidan mineral ve vitaminlerin vücudu serbest radikal denen zararlı moleküllerden arındırdığı, bağışıklık sistemini uyardığı, yaşlanmayı yavaşlattığı ve özellikle kansere karşı korumada rol oynadığı belirlenmiştir. (Henrikson 1994). *Spirulina*, iyi bir bitkisel protein kaynağı ve B<sub>12</sub> vitamini açısından dünyanın en zengin doğal kaynağı olması sebebiyle vejeteryanlar için de önemli bir yere sahiptir (Richmond, 2004). B<sub>12</sub> vitamini açısından en yakın takipçisi dana ciğerine göre 2-6 kat daha fazla B<sub>12</sub> içermektedir. Ayrıca, doğadaki en zengin organik demir oranına sahiptir. Demir içeriği ıspanaktan 58 kat, dana ciğerinden 28 kat daha fazladır. Ayrıca çalışmalar *Spirulina*'daki demirin demir takviyelerinden %60 daha fazla emildiğini göstermiştir (Ortega, 1972).

Karoten maddelerinin ( $\beta$ -karoten) tüketilmesi ile kanser oluşumu arasında negatif ilişki vardır. Ayrıca doğal karotenler sentetiklerden daha kolay metabolize edilmekte ve vücutta birikerek toksik etkiye sebep olmamaktadır. *Spirulina*'ya özgü olan mavi renkli fikosiyanın pigmentinin kansere karşı koruyucu olduğu ve bağışıklık sistemini güçlendirdiği rapor edilmiştir. Doğadaki en zengin E vitamini içeren besindir ve kendisine en yakın buğday filizinden 3 kat daha fazla E vitamini içermektedir. Sentetik E vitaminine göre, biyolojik aktivitesinin %49 daha fazla olduğu bilinmektedir (Ortega, 1972). *Spirulina* enzimlerce zengindir ve iyi bir doğal enzim kaynağıdır (Seshadri ve Umesh 1993). Kuvvetli bir antioksidan olan süper oksit dismutaz enziminin en önemli kaynaklarından biridir. İnsan vücudu için esansiyel bu enzim sayesinde aminoasitler protein yapımı için kullanılabilir hale gelmektedir. Ayrıca sindirimi zorlaştırıcı selüloz yapıda hücre duvarının olmaması nedeniyle alınan protein %95 oranında sindirilebilir özelliktedir (Seshadri ve Umesh 1993). Ayrıca *Spirulina* polisakkariti bağışıklık güçlendirici olarak kullanılabilir (Li ve Qi 1997). Klorofil *Spirulina*'nın içinde bulunan doğal bir pigmenttir ve hücreleri toksik maddelerden ayırma özelliği ile bilinmektedir. Yapı itibarıyla, hemoglobin molekülüne benzemekte, hemoglobin yapısında demir elementi taşıyarak kanın kırmızı rengini, klorofil ise magnezyum taşıyarak yeşil rengi oluşturmaktadır (Henrikson 1994). Fikosiyanın, *Spirulina*'dan ekstrakte edilebilen mavi bir pigmenttir ve bu pigment kozmetik ürünlerinde ve besinlerde doğal renklendirici olarak kullanılabilir (Li ve Qi 1997). Bununla birlikte linoleik asit hayvanlar ve insanlar tarafından sentezlenemeyen bir yağ asitidir. Bunun bir türü olan gamalinoleik asit (GLA) vücut işlevlerini denetleyen temel

hormonlardan prostoglandin sentezinin uyarılması ile ilişkilidir. *Spirulina* GLA bakımından güçlü bir kaynaktır ve ağırlığının %1'i kadarını GLA oluşturmaktadır. GLA içeriği, kendisine en yakın çuha çiçeği yağından 3 kat daha yüksektir. GLA, ayrıca düşük kan kolestrolünün ve yüksek kan basıncının ayarlanmasına yardımcı olan bir bileşendir (Henrikson 1994).

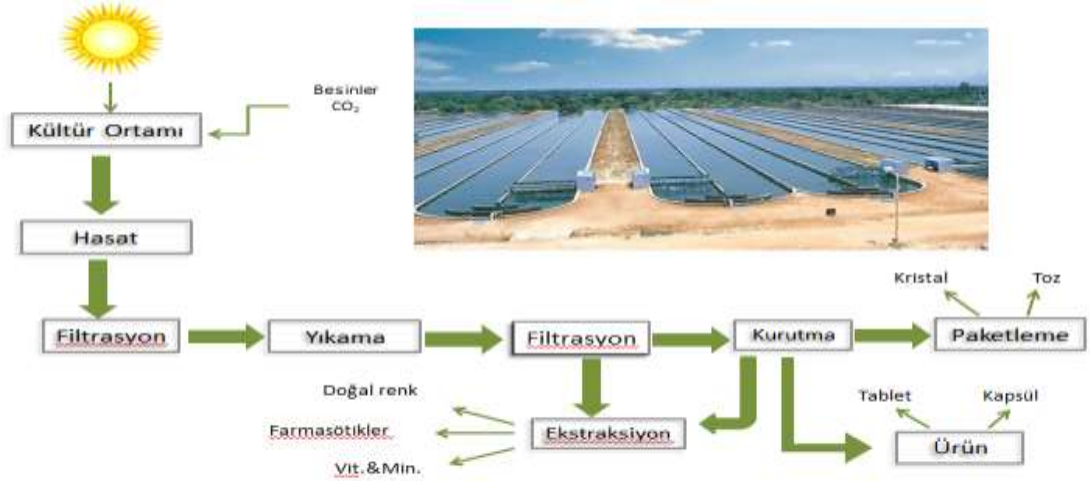
**Çizelge 2. 2.** *Spirulina* tozundaki genel içerik, vitaminler, mineraller ve renk maddeleri (Belay 1997)

<b>Genel Kompozisyon</b>	<b>Miktar (100 g kuru ağırlıkta)</b>
Nem	3,5 g
Protein	63,5 g
Yağ	9,5 g
Lif	3,00 g
Kül	6,70 g
Serbest azot ekstraktı	15 g
<b>Renk Maddeleri</b>	
Fikosiyanin	15,6 g
Karotenler	456,00 mg
Klorofil-a	1,30 g
<b>Vitaminler</b>	
Provitamin A	213,00 mg
Tiamin (V. B <sub>1</sub> )	1,92 mg
Riboflavin (V.B <sub>2</sub> )	3,44 mg
Vitamin B <sub>6</sub>	0,49 mg
Vitamin B <sub>12</sub>	0,12 mg
Vitamin E	10,40 mg
Niasin (V. B <sub>3</sub> )	11,30 mg
Folik Asit (V. B <sub>9</sub> )	40 µg
Pantotenik Asit (V. B <sub>5</sub> )	0,94 mg
İnositol	76,00 mg
<b>Mineraller</b>	
Fosfor	916,00 mg
Demir	53,60 mg
Kalsiyum	168 mg
Potasyum	1,83 mg
Sodyum	1,09 mg
Magnezyum	250 mg

#### 2.4. *Spirulina platensis* Üretimi

*Spirulina*, genellikle kalsiyum miktarı yüksek olan göllerde yetişen bir algdir. Ülkemizde; *Spirulina*'nın doğal olarak yetiştiği bölge olarak Denizli Acı Göl tespit edilmiştir ve gölün *Spirulina* yetişen bölgelerinde tuzluluk oranı %0,2-0,8, pH 8,6 ve suyun sertlik derecesi 10 Fransız Sertliği değerinde bulunmuştur ve çok sert bir su ortamı olduğu görülmektedir. Bu nedenle yetiştirme ortamının algin isteklerine göre ayarlanması gerektiği anlaşılmıştır.

*Spirulina* üretimi akış şeması Şekil 2.4.'te gösterilmiştir. Tank ya da havuzlar içerisinde yapılan *Spirulina* yetiştiriciliğinde yetiştirme suyunun sıcaklığının oldukça yüksek olması istenir. Bu sebepten dolayı ülkemizdeki *Spirulina* yetiştirme çalışmaları için sera içi üretim tesislerinin planlanması gerekmektedir. *Spirulina*'nın sıcaklık isteği 35-38 °C'dir. Yetiştirmede uyum gösterdiği minimum sıcaklık 18 °C maksimum sıcaklık ise 39 °C olmalıdır. Nitrat miktarının 100 mg/L'den az olduğu, üre miktarının ise 1,5 g/L'den az olduğu ortamlarda yetiştirme yapılması gerekmektedir. Ayrıca üremeyi durduran faktörler arasında potasyum ve azot oranının 5'in üzerinde olması bulunmaktadır. Ortamın alkali olması açısından pH 8,3-10,0 değerlerinde olmalıdır. Bu yüzden sulara sodyum karbonat eklenerek pH değeri yükseltilebilir. Kültür yoğunluğuna bağlı olarak ışık miktarı artırılıp azaltılabilir Ayrıca bütün alglerin eşit şekilde ışık alması için havalandırmanın etkin olarak yapılması gerekmektedir.



**Şekil 2. 3.** *Spirulina* Üretimi Akış Şeması (Gültaş 2017)

*Spirulina*'nın yetiştirildiği yerler genel olarak kanal ve elips şeklinde olan çok büyük havuz üniteleridir. Güneşli günlerin yoğun olduğu mevsimlerde daha fazla üretim sağlanmaktadır. Havuzlarda su yavaşça döndürülürken su içerisine kimyasal besin maddeleri (kimyasal gübreler) eklenir. Havuzlarda yetişen *Spirulina*'lar motopomp ile hasat edilmekte ve püskürtme yoluyla kurutulmaktadır. Bazı bölgelerde güneş ışığı da kurutma işlemi için kullanılabilir. *Spirulina* pompa ile hasat edildikten sonra genel bir süzme işleminden geçirilmekte ve eğer insanların tüketimine sunulacaksa hijyen koşullarına dikkat edilmektedir. *Spirulina*'lar iyi bir şekilde temiz su ile yıkandıktan sonra kurutulmaktadır. Özel olarak yapılan makinalarda ürünler usulüne uygun kurutulduğunda *Spirulina*'nın kendine has koyu yeşil rengi canlı bir şekilde korunmaktadır. Bu yöntemde kurutma süresi yaklaşık 3 saniyedir. Üretilen ürünlerin kalitesinin korunabilmesi için özel paketleme yöntemlerine gereksinim vardır. Paketleme için kahverengi cam şişeler ve ışık geçirmeyen folyo kağıtları kullanılabilir, nemsiz ortamda saklandığında uzun süre bozulmadan muhafaza edilebilir (Alpbaz 2013).

## 2.5. *Spirulina platensis*'in Kullanım Alanları

*Spirulina* ürünleri, diyetlerde fonksiyonel gıda olarak tüketilmektedir (Richmond 2004). İnsanlar için besin desteği olarak kullanılırken aynı zamanda hayvan yemi olarak kanatlı hayvan endüstrisinde ve akuakültürde aktif şekilde kullanımı mevcuttur (Kılıç ve ark. 2006).

Yüksek protein içeriğinden dolayı akuakültürde yem maddesi olarak kullanılmaktadır. Bu özelliği ile *Spirulina*, diğer hayvan orijinli yem maddelerinden daha ekonomiktir. *Spirulina*'dan ekstrakte edilen fikosiyanın gıda sanayinde renklendirici, dondurmalarda boyar madde ve kozmetik endüstrisinde doğal boya olarak kullanılmaktadır. Fakat bu madde ışığa duyarlı olduğundan ağarmasından korumak için özen gösterilmelidir (Güneş 2009).

İçeriğindeki besin değerlerinin yanında bütün siyanobakterilerde bulunan fikosiyanın nedeniyle, bağışıklık sistemini uyardığı, antioksidan, antikanser, antiinflamatuvar, antiviral ve kolesterol düşürücü etkiler gösterdiği bildirilmiştir. Fakat siyanobakterinin tüketilmesi sonucunda ortaya çıkan bu sağlık etkilerinin sadece fikosiyanın içeriği nedeniyle değil aynı zamanda siyanobakterilerin içeriğinde bulunan birçok aktif bileşik ile ilgili olduğu da dikkate alınmalıdır (Eriksen 2008, Erdal ve Ökmen 2013). *Spirulina* önemli bir besin kaynağı olmanın dışında aynı zamanda endüstriyel kullanım (emülsifiye edici, kıvam arttırıcı, jelleştirme ajani ve mavi pigment vs.) için de yaygın şekilde üretilmektedir (Güneş 2009).

Son 10 yıl içinde, araştırmalar *Spirulina*'nin potansiyel terapötik etkileri üzerine yoğunlaşmıştır. Preklinik ve klinik çalışmalar, biyokütlenin, nefrotoksisitenin ve kolesterolün azalması, çeşitli patojenik virüslerin replikasyonunun inhibisyonu ve immun sistemi güçlendirici gibi bir takım sağlık ve terapötik etkilerini ortaya koymuştur. Örneğin, *S. platensis*'ten sülfatlanmış polisakkarit elde edilmekte ve kalsiyum Spirulinan, Herpes simplex virüs tip 1, Influenza A virüsü ve HIV-1 gibi bazı zarflı virüslerin replikasyonunu inhibe etmektedir (Richmond 2004).

Bazı mikroalg türleri cilt bakım ürünlerinde yerini almıştır ki bunlardan başlıcaları *Spirulina* (*Arthrospira*) ve *Chlorella*'dır. *Spirulina*'dan (*Arthrospira*) elde edilen proteince zengin ekstraktlar erken cilt yaşlanmasının belirtilerini onarmaktadır, cildi sıkılaştırıcı etki göstermektedir ve kırışıklıkların oluşumunu önlemektedir (Spolaore ve ark. 2006).

*Spirulina*'nın besin olarak güvenilirliği çok sayıda titiz toksikolojik çalışmayla ve yüzyıllar boyu insanların kullanımından geçmesiyle kanıtlanmıştır (Belay 2002). *Spirulina*'nın fonksiyonel gıda olarak kullanımı için çeşitli ürün denemelerinde uygulanan duyu analizler sonucunda kullanılan *Spirulina platensis* miktarı sınırlandırılabilir. Ayrıca *Spirulina*'nın ağır metalleri bağlama yeteneğinden dolayı tüketiminden önce ağır metal analizleri yapılmalı ve bu konudaki çalışmalar artırılmalıdır.

Mikroalgler içerdikleri çeşitli antioksidan bileşenler bakımından da zengindir. Bu nedenle mikroalgler, son yıllarda yapılan araştırmalarda üzerinde en çok çalışılan biyolojik materyallerden biri haline gelmiştir. Ayrıca, *Spirulina* gibi mikroalglerden elde edilen antioksidan bileşiklerden bir kısmı günümüzde ticari olarak da üretilmekte ve büyük talep görmektedir (Gökpınar ve ark. 2006).

## **2.6. Antioksidanlar**

Çeşitli mekanizmalar sonucu ortaya çıkan serbest radikallere karşı vücutta doğal bir savunma mekanizması bulunmaktadır. Bu savunma mekanizmasını oluşturan bileşikler “antioksidanlar” olarak isimlendirilmektedir.

Oksidanların etkisiz hale getirilmesi başlıca dört yolla gerçekleşir:

- i. Söndürme etkisi:** Etki mekanizması, oksidanlara bir hidrojen aktararak inaktive etmesi şeklindedir. Bu yolla etki eden bileşikler vitaminler, flavanoidler, timetazidin ve mannitoldür.

- ii. **Süpürme etkisi:** Etki mekanizması, oksidanları daha zayıf yeni bir moleküle dönüştürmesi şeklindedir. Bu yolla etki eden bileşikler antioksidan enzimler ve mikromoleküllerdir.
- iii. **Onarma etkisi:** Etki mekanizması oksidatif hasar görmüş biyomolekülleri onarması şeklindedir.
- iv. **Zincir reaksiyonlarını kırma etkisi:** Etki mekanizması, hemoglobin, serüloplazmin ve ağır mineraller oksidanları kendilerine bağlayarak inaktive etmesi şeklindedir (Gökpınar ve ark. 2006).

### 2.7. *Spirulina platensis*'in Antioksidan Aktivitesi

*Spirulina*, içerdiği makro ve mikronutrientler ile değerli bir gıda katkı maddesi haline gelmiştir. Başta gıda katkı maddesi olarak kullanılan *Spirulina*, protein ve esansiyel nutrientler açısından zengin bir mavi-yeşil algdir. *Spirulina* antioksidan özellik gösterdiği bilinen fenolik asitler, tokoferol (E vitamini öncül maddesi) ve  $\beta$ -karoten içermektedir (Chopra ve Bishnoi 2008). *In-vivo* ve *in-vitro* çalışmaların sonuçları *Spirulina*'nın antioksidan ve antiinflamatuvar özellikleri nedeniyle hem *in-vitro* hem de *in-vivo* sistemlerde antioksidan koruma sağladığını göstermiştir (Miranda ve ark. 1998). *Spirulina*'nın birçok alanda kullanımı cazip hale gelmiştir.

*Spirulina*'nın bu özelliklerini ona içerdiği bileşenler kazandırmaktadır:

- $\omega$ -3 ve  $\omega$ -6 yağ asitleri
- $\beta$ -karoten
- $\alpha$ -tokoferol
- Fikosiyenin
- Fenolik bileşikler
- Ca-spirulan (Chopra ve Bishnoi 2008).

Günümüzde gıda ve kozmetik gibi ürünleri oksidatif bozulmadan korumak ve canlı hücreler üzerindeki oksidatif hasarı minimize etmek için bitkisel materyaller gibi doğal kaynaklardan elde edilen yeni ve güvenli antioksidanların bulunmasına yönelik bir ilgi

oluşmuştur. Sentetik antioksidanların karsinogenezi tetiklediği düşünülmektedir ve bu yüzden kullanımı azalmaktadır (Miranda ve ark. 1998).

*Spirulina platensis*'in farklı ekstraktları, basınçlı solvent tekniği (PLE) ve 4 farklı solvent kullanılarak elde edilmiştir. Tüm ekstraktlar önemli ölçüde antioksidan aktivitesi göstermişlerdir (Chopra ve Bishnoi 2008).

### ***Spirulina*'nın Antioksidan Mekanizmaları**

*Spirulina*'nın antioksidan etki mekanizması üç yolla gerçekleşmektedir:

- 1. Serbest Radikalleri Uzaklaştırarak:** Süperoksit anyonu, hidroksil, alkoksil ve peroksil radikali gibi zararlı serbest radikaller, mitokondride oksijen moleküllerinin kısmi redüksiyonu nedeniyle çeşitli dokularca üretilmektedir. Hepatotoksik, nefrotoksik ve nörotoksik kimyasallar, serbest radikallerin üretimine neden olmakta, *Spirulina* ekstraktı ve önemli bir bileşeni olan fikosiyanın ise oluşan bu serbest radikalleri uzaklaştırmaktadır (Chopra ve Bishnoi 2008).
- 2. Lipit Peroksidasyonunun İnhibisyonu:** Serbest oksijen radikalleri tarafından yönlendirilen lipit peroksidasyonunun hücre membranlarındaki zarar ve yıkımın önemli bir nedeni olduğu belirtilmiştir. Basit bir başlangıç, yüzlerce yağ asidinin yan zincirlerinin lipit peroksitlerine dönüşümü ile sonuçlanabilmektedir. Oluşan bu lipit peroksitler, hücrel membranların yapısal bütünlüğü ve biyokimyasal fonksiyonlarını değiştirmektedir. *Spirulina*'nın önemli bir antioksidan bileşeni olan fikosiyanınin, Fe<sup>+2</sup>-askorbik asit veya serbest radikal öncüsü AAPH ile muamelesi sonrasında rat karaciğer mikrozomlarında meydana gelen lipit peroksitlerinin artışını inhibe ettiği bulunmuştur (Chopra ve Bishnoi 2008).
- 3. Detoksifikasyon Enzimleri ile:** *Spirulina*, ilaç metabolizması ve antioksidan enzimlerin yanısıra detoksifikasyon enzimleri üzerinde düzenleyici bir etkiye sahiptir. Antioksidan enzimlerle ilişkili olarak, süperoksit dismutaz, katalaz,



glutasyon reduktaz ve glutasyon peroksidaz, *Spirulina*'nın belirli seçilmiş dozları ile önemli ölçüde artmıştır (Chopra ve Bishnoi 2008).

## 2.8. *Spirulina platensis* ile ilgili Literatür Çalışmaları

*Chlorella vulgaris*, oksidatif stresin etkilerini azaltan, antioksidan aktivite gösteren bir diğer mikroalg türüdür. Yapılan çalışmada *Spirulina* ve *Chlorella* ekstraktlarının antioksidan aktivitesi karşılaştırılmıştır. Bu çalışmanın sonucu, *Spirulina*'nın toplam fenolik içeriğinin *Chlorella*'dan 5 kat daha fazla olduğunu göstermiştir ve *Spirulina*'nın antioksidan aktivitesinin *Chlorella*'dan daha fazla olduğu saptanmıştır (Chopra and Bishnoi 2008).

Yapılan bir çalışmada çeşitli stres koşulları altında üretilen bazı mikroalg türlerinin (azot yetersizliği, yüksek ışık şiddeti, yüksek tuzluluk v.b.), hücre içerisinde astaksantin, lutein, zeaksantin, karoten gibi pigment maddelerinin antioksidan özelliğe sahip olanlarını biriktirebildiği saptanmıştır (Gökpınar ve ark. 2006).

Desai ve Sivakami (2007), *Spirulina platensis*'in süperoksit dismutaz (SOD), katalaz, askorbat peroksidaz gibi antioksidan enzimleri eksprese ettiğini bildirmiştir. Ayrıca yapılan çalışmalarda *Spirulina*'nın yüksek SOD aktivitesi gösterdiği belirtilmiştir.

Yapılan bir çalışmaya göre *Spirulina platensis*'in 8 U/mL volumetrik SOD aktivitesine sahip olduğu saptanmıştır (Güneş 2009).

*Spirulina*'da yaklaşık %4,6 oranında bulunan tirosinin, hücrelerin yaşlanmasını geciktirdiği ve güneş ışınlarına karşı koruma sağladığı belirtilmiştir (Tietze 2004).

Güneş (2009) yaptığı çalışma sonucunda, %1,125 *Spirulina platensis* ham ekstrakt içeren cilt kreminin yara iyileşmesini olumlu yönde geliştirdiğini, hücre göçü ve çoğalmasını arttırdığını saptanmıştır. Ayrıca yapılan *in-vitro* genotoksisite testleri ile de genetik materyalde herhangi bir kalıcı hasar oluşturmadığı belirlenmiştir.

Okkiran (2009) yaptığı bir araştırmada, *Spirulina*'nın fizyolojik ve biyokimyasal işlevler üzerine krom ve kurşunun toksik etkisinin algdeki krom ve kurşun birikimiyle doğrudan ilişkili olduğunu, algdeki krom ve kurşun miktarı arttıkça bu parametrelerdeki inhibisyonun arttığını belirlenmiştir. *Spirulina*'nın krom ve kurşuna hassas olduğu ve ortamdaki krom ve kurşunun toksik etkilerini değerlendirmek için uygun bir tür olarak kullanılabileceği belirtilmiştir.

Nalimova ve ark. (2005), bakır ve çinko metallerinin *Spirulina platensis*'in büyümesi ve akümülyasyon yeteneği üzerine etkilerini araştırmışlardır. Sonuçta; *Spirulina platensis*'in ağır metallere toleransının kültür gelişim fazına bağlı olduğu ortaya çıkmıştır. *S. platensis*'in ağır metallere tolerans mekanizması hem hücre duvarının absorpsiyonu hem de metallerin kültür ortamına sekresyonu ile ilişkili olduğunu ortaya koymuşlardır.

Solisio ve ark. (2008) yaptıkları çalışmada, *Spirulina platensis* üzerine çeşitli konsantrasyonlarda kadmiyum (100-800 mg/L) uygulamışlardır. Sonuçta bu değer aralıklarında kadmiyum absorpsiyonunun, biyokütle miktarına göre değişiklik gösterdiği saptanmıştır.

Conk-Dalay ve ark. (2001) bir çalışmalarında *S. platensis* türünün üç farklı gölden alınan üç farklı suşunu karşılaştırmışlardır. Çad gölü'nden elde edilen M2 suşunun izole edilmiş en eski suş olduğu, yıllardır kültüre alınmasından dolayı mutasyona uğradığı ve düzleştiği belirlenmiş, bu suşun kontaminasyona ve değişen faktörlere karşı dayanıklı olduğu fakat değişen şekli yüzünden hasadının zor olduğu tespit edilmiştir. Tular suşunun ise sıcaklık değişimleri ve kontaminasyona karşı hassasiyeti, yavaş gelişmesi gibi nedenlerden dolayı uyumlu olmadığı, Parachas suşunun, M2 suşuna yakın bir gelişim gösterdiği ve kolay hasat edildiği için tercih edilebilir olduğu anlaşılmıştır. Elde edilen bilgiler doğrultusunda M2 ve Parachas suşlarının kültürlerinin karıştırılmasıyla en verimli sonucun alınabileceğine karar verilmiştir.

Şeker ve ark. (2008) araştırmaları kapsamında, *Spirulina platensis*'in kurşun (II), kadmiyum (II) ve nikel (II) iyonlarının sulu solüsyonlardan biyosorpsiyonunu zaman,

konsantrasyon, sıcaklık ve reaktivite olarak çalışmışlardır. Yapılan ölçümler sonunda *S. platensis*'in bu üç metale karşı büyük bir absorban kapasitesinin olduğunu göstermiştir.

Mazinani ve ark. (2015) yaptıkları çalışmada *Spirulina platensis*'in probiyotik beyaz peynirdeki *Lactobacillus acidophilus*'un yaşayabilirliği ve fizikokimyasal özellikleri üzerine etkilerini araştırmışlardır. Bu çalışmanın sonucunda toz siyanobakteri *Spirulina platensis* ilavesinin, peynirdeki protein ve demir seviyesini arttırdığı, bu mikroalgin yeni bir besin maddesi kaynağı olarak fonksiyonel gıda üretiminde kullanılabileceği belirtilmiştir ve *S. platensis* eklendiğinde *L. acidophilus*'un canlılığını arttığı açıkça gösterilmiştir.

Crampon ve ark. (2016) süper kritik karbondioksit kullanarak zenginleştirilmiş *Spirulina platensis* mikroalginden yağ ekstraksiyonu yaptıkları bir çalışma yürütmüşler, bu çalışma sonucunda basıncın ekstraksiyon kinetiği ve verimi üzerinde, sıcaklığın ise antioksidan içerik üzerinde en önemli ve etkili parametreler olduğunu, daha yüksek sıcaklığın, daha yüksek antioksidan içeriği demek olduğunu belirtmişlerdir. Ayrıca ekstrakt analizleri yağ ekstraktlarının klorofil a, b ve karoten içerdiğini göstermiştir.

Esquivel-Hernández ve ark. (2017) *Spirulina platensis*'ten elde edilen biyoaktif metabolitlerin mikrodalga destekli ekstraksiyonu ile biyoaktif gelişimini araştırmışlar, yeşil çözücü ve mikrodalga destekli ekstraksiyon yönteminin kullanımının daha hızlı ekstraksiyon, yüksek tekrarlanabilirlik, azalan çözen tüketimi, azaltılmış sıcaklık gradyanları gibi temel karakteristikler üzerine faydaları nedeniyle mükemmel bir seçenek olarak tercih edilebileceğini belirtmişler, buna dayanarak mikrodalga destekli ekstraksiyon yöntemi ile ekstraksiyonun, *S. platensis*'ten biyoaktif bileşenlerin elde edilmesi için uygun bir prosedür olduğunu kanıtlamışlardır.

Shabana ve ark. (2016) *Arthrospira (Spirulina) platensis*'in gama ışınına tepkisinin biyokimyasal kompozisyonunu ve antioksidan aktivitelerine olan etkilerini araştırmışlardır. Elde edilen veriler fenolik ve pirolin içeriğinin, gama ışını dozunun 2,0 kGy'ye artmasıyla önemli ölçüde arttığını, daha üzerinde ise bir düşüş gözlemlendiğini, bazı N-asimilasyon ve antioksidan enzimlerinin aktivitelerinin de ışınlama dozunun 2,0

kGy'ye yükselmesiyle önemli ölçüde arttığını göstermiştir. Bu çalışmayla, *A. platensis*'in antioksidan aktivitesinin ve besin değerinin yükseltilmesi için uyarıcı bir ışın olarak gama ışını kullanımı desteklenmiştir.

Khosravi-Darani ve ark. (2017) *Arthrospira platensis*'in turtanın raf ömrü, duyuşal ve reolojik özellikleri üzerindeki etkisini araştırmışlardır. Mevcut sonuçlar turtaların *A. platensis* ile zenginleştirilmesinin (en yüksek konsantrasyonda) maya ve küflerin sayısını azalttığını ortaya çıkarmıştır, aynı zamanda daha yüksek kalite, raf ömrü, protein içeriğı ve daha az oksidasyona neden olması nedeniyle %1,0-1,5 konsantrasyonda *A. platensis* turtaların zenginleştirilmesi için tercih edilmiş, fakat %1,5 *A. platensis* içeren turtalar panelistler tarafından tercih edilmemiş, bu yüzden turta zenginleştirmek için önerilen *A. platensis* konsantrasyonu %1,0 olmuştur.

Lupatini ve ark. (2016) mikroalg *Spirulina platensis*'in protein kaynağı olarak potansiyel kullanımını araştırmışlar, *S. platensis*'ten ekstrakte edilmiş proteinin, hayvansal ve bitkisel kaynaklı proteinlerle karşılaştırıldığında yüksek besin kalitesine sahip olduğunu ve bu yüzden birçok ülkedeki insanlarda protein eksikliği göz önüne alındığında, alternatif protein kaynağı olarak bu mikroalgin kullanılabileceğini belirtmişlerdir.

Okuyama ve ark. (2017) *Spirulina* lipopolisakkaritlerinin tümör büyümesini engellemesi üzerine çalışmalar yürütmüşler ve sonuç olarak, *Spirulina* lipopolisakkaritlerinin IL-17/IL-23 serumunun azaltılmasıyla IFN- $\gamma$ 'nın eş zamanlı indüksiyonu ile TLR4 yoluyla tümör büyümesini önlediğini bulmuşlar ve bunun da kanser immünoterapisi için yeni bir bakış açısı sağladığını belirtmişlerdir.

Seyidoğlu (2015) doktora tezinde tavşanlarda *Spirulina platensis* ve canlı maya kültürü *Saccharomyces cerevisiae*'nin bağışıklık sistemi ve büyüme performansı üzerine etkisini araştırmıştır. Bu çalışmada istatistik bakımdan önemli fark bulunmasa da SC ve *Spirulina platensis*'nin canlı ağırlık artışını, hem ayrı ayrı hem de birlikte verildiğı gruplarda arttırdığı görülmüştür. Et kalitesi üzerinde ise SP ve SC ilavesinin et protein, yağ, ham kül ve kuru madde bakımından bir etkisi olmadığı, bununla beraber, SP ve SC

'nin ayrı ayrı ya da birlikte verildiği gruplarda, et proteininde istatistik olarak önemli olmasa da bir artış gözleendiği ve ayrıca et yağ miktarında da yine istatistiksel olmasa da azalma olduğu belirtilmiştir.

Bhattacharya ve Shivaprakash (2005) yapmış oldukları çalışmada aynı ortam koşulları altında *S. platensis*, *S. laxissima* ve *S. lonar*'ın biyokimyasal ve büyüme özelliklerine bakmışlardır. Türler arasında *S. platensis*'te en yüksek büyüme oranı ve en kısa yarılanma süresi elde edilmiş, fenolik madde bakımından ise düşük bir miktar üretilmiştir. Biyokütle ve pigment miktarı bakımından ise en yüksek değerler alınmıştır. Buna bağlı olarak da büyük ölçekli kültürlerde en iyi sonucun *S. platensis*'te alınabileceği sonucuna varılmıştır.

*S. platensis* ve *S. fusiformis*'in biyokimyasal özellikleri ve büyümesi üzerine pH, ışık, sıcaklık gibi çevresel faktörlerin etkileri incelenmiştir. *S. platensis* için pH 9, ışık 2500 lüks, sıcaklık 32,0°C'ye ayarlanırken, *S. fusiformis* için pH 10, ışık 2500 lüks, sıcaklık 37°C'ye ayarlanmıştır. Sonuç olarak protein miktarı *S. fusiformis* için %61,2 ve *S. platensis* için %58,6 bulunmuştur. Elde edilen verilere göre *Spirulina* spp. kültürlerinde çevresel faktörlerin yüksek biyokütle ve protein üretimi üzerinde etkili olabileceği belirtilmiştir (Rafiqul ve ark. 2005).

Güldaş ve İrkin (2010) yaptıkları bir çalışmada *Spirulina platensis* tozunun yoğurt ve süt asidi mikroflorası üzerine etkisini araştırmışlar, çalışmanın sonucunda *Spirulina platensis* tozu eklenmiş yoğurdun 30 günlük buzdolabı depolama süreci boyunca laktik asit bakterileri için iyi bir ortam oluşturduğu, duyusal analiz sonucunda ise %0,5 *Spirulina platensis* tozu eklenmiş yoğurdun %1,0 *Spirulina platensis* tozu eklenmiş yoğurttan daha iyi puan aldığı belirtilmiştir.

Layam ve Reddy (2007) *Spirulina*'nın antidiyabetik özelliği üzerinde çalışmışlardır. Bulgular normal, diyabetik ve *Spirulina* takviyesi yapılmış diyabetik fareler arasında karşılaştırılmıştır. *Spirulina* takviyesi yapılmış diyabetik farelerde parametrelerin önemli ölçüde normale doğru geldiği görülmüştür. *Spirulina*'nın etkisi 15 mg/kg vücut ağırlığının 5 mg/ kg vücut ağırlığı ve 10 mg/kg vücut ağırlığından önemli bir seviyede

daha yüksek olduğu görülmüştür. Diyabetik farelerde *Spirulina* ile tedavide glikoz-6-fosfataz aktivitesinin azaldığı, hegzokinaz aktivitesinin arttığı belirlenmiştir.

Farelerde *Spirulina* ve peynir altı suyu tozu proteinlerinin antioksidan aktivite ve hepato-koruyucu etkileri üzerinde çalışılmıştır. Yapılan *in-vitro* çalışmada peynir altı suyu tozu ve *Spirulina*'nın doza bağımlı olarak antioksidan aktivite, radikal temizleme ve metal şelatlama aktivitelerini gösterdiği ortaya koyulmuştur. *In-vivo* çalışmada ise her iki ajanın da CCl<sub>4</sub>'ün sebep olduğu karaciğer hasarını engellemede başarıya ulaştığı görülmüştür. Bu engellemenin peynir altı suyu tozu-*Spirulina* kombinasyonu alan farelerde daha belirgin olduğu saptanmıştır (Gad ve ark. 2011).

Colla ve ark. (2007) yaptıkları çalışmada farklı sıcaklık ve nitrojen rejimleri altındaki *Spirulina platensis*'in antioksidan özelliklerini incelemişlerdir. 35°C'de ve 1,875 g.L<sup>-1</sup> veya 2,5 g.L<sup>-1</sup> sodyum nitratlı kültür ortamında yetiştirilen *Spirulina platensis* biyokütlesinin daha yüksek konsantrasyonda fenolik bileşen ortaya çıkardığı belirlenmiştir.

Zhou ve ark. (2005) *Spirulina platensis*'ten elde edilen C-fikosiyaninlerin antioksidan aktivitesini etkileyen faktörleri araştırmışlardır. Çalışma aydınlatmanın ve protein konsantrasyonlarının C-fikosiyaninin antioksidan aktivitesini doğrudan etkilediğini göstermiştir. Denatürasyonun farklı koşulları altında, pH değişiminin, C-fikosiyaninin spektrumlarını ve yapısını büyük ölçüde etkilemediğini göstermiştir. Fakat, bu prosedürün C-fikosiyaninin kromosforları etrafında sadece elektrik yükünü etkilemediği aynı zamanda kromosforlar ve apoproteinler arasındaki ve kromosforlar arasındaki etkileşimi etkilediği görülmüştür. Bu değişimlerin, en sonunda C-fikosiyaninin radikalleri temizleme yeteneğini etkilediği belirlenmiştir.

*Spirulina platensis*'ten elde edilen fikosiyanin ve fikosiyanobilin tarafından peroksinitritin temizlenmesi ve DNA'nın oksidatif hasara karşı korunması üzerine çalışmalar yapılmıştır. Fikosiyanin ve fikosiyanobilinin her ikisinin de etkili bir şekilde peroksinitrit temizlediği ve fikosiyanobilinin peroksinitrit aracılığıyla olan DNA hasarını inhibe ettiği gösterilmiştir. Fikosiyaninin antienflamatuar özelliğinin, endojen

peroksinitrit ve aynı zamanda inflamasyonla ilişkili hastalıklar için patolojik koşullardan biri olan oksidatif stresten sorumlu reaktif oksijen türlerini temizleme yeteneğine dayandırılabilceği belirlenmiştir (Bhat ve ark. 2001).

Hirata ve ark. (2000) yaptıkları çalışmada *Spirulina platensis*'ten hazırlanan fikosiyanobinlerin antioksidan aktivitelerini araştırmışlardır. *Spirulina platensis*'ten elde edilen fikosiyanobinin antioksidan aktivitesi, hidrofobik bir sistemde veya fosfotidilkolin lipozomlar ile metil linoletin oksidasyonuna karşı değerlendirilmiştir. Sonuçlar, fikosiyaninin en büyük antioksidan aktivitesinden fikosiyanobinin sorumlu olduğunu ve yaşayan insan vücudunda etkili bir antioksidan olarak rol oynadığını öne sürmüştür.

Herrero ve ark. (2005) tarafından yapılan bir çalışmada *Spirulina platensis*'ten elde edilen antioksidanların dört farklı çözücü ile (hegzan, petrol eteri, etanol ve su) hızlandırılmış solvent ekstraksiyonu kullanarak ekstraksiyonunu optimize etmek için bir deney tasarımı kullanılmıştır. Optimum koşullar olarak maksimuma çıkarılan ekstraksiyon verimi ve minimuma indirilen ekstraksiyonları gerçekleştirmek için kullanılan solvent polaritesine bağımlı EC<sub>50</sub> gözlemlenmiştir. Ekstraksiyon süresinin etkisi hemen hemen yok sayılırken ekstraksiyon sıcaklığının her iki yanıtta büyük bir etkiye sahip olduğu görülmüştür. Etanolün ekstraksiyon çözücüsü olarak genellikle güvenilir olarak kabul edildiği çünkü orta antioksidan aktiviteler ile daha yüksek verim sağladığı belirlenmiştir. Bu çalışmada kolay ve hızlı bir proses kullanılarak, mikroalg gibi doğal kaynaklardan doğal antioksidanların geri dönüşümünün mümkün olduğu gösterilmiştir.

Huang ve ark. (2007) *Spirulina platensis*'ten izole edilen selenyum içerikli fikosiyaninin antioksidan aktivitesini ve karakterizasyonunu incelemişlerdir. Se-fikosiyaninin, onun kümelerinin ve alt türlerinin antioksidan aktivitesinin farklı serbest radikallere karşı, değişken olduğu bulunmuştur. Se bağılı olmayan fikosiyanin karşılaştırıldığında, DPPH Se-fikosiyanin, onun alfa ve beta alt türlerinin ve saf fikosiyanin temizleme aktiviteleri arasında hiçbir farklılık olmamasına rağmen Se-fikosiyanin 1, Se-fikosiyanin 2 ve Se-fikosiyanin 3'ün süperoksit ve hidrojen peroksit

radikal temizleme aktivitelerinin önemli derecede daha yüksek olduğu ve Se içeriği ile pozitif korelasyon olduğu kanıtlanmıştır.

Wang ve ark. (2005) yaban mersini, ıspanak veya *Spirulina*'nın diyete eklenmesiyle iskemik beyin hasarının azaltılması üzerinde çalışmışlardır. Yetişkin erkek Sprague-Dawley fareleri aynı miktardaki diyetlerle (yaban mersini, ıspanak, spirulina) veya kontrol diyetleri ile beslenmişlerdir. Beslenmeden 4 hafta sonra tüm hayvanlar kloral hidrat ile uyutulmuş ve beyinleri incelenmiştir. Çalışmanın sonucunda, ortaya çıkan veriler, yaban mersini, ıspanak ve *Spirulina* ile kronik tedavinin iskemik kaynaklı apoptoz ve serebral infarktüsü azalttığını göstermiştir.

Aksay ve ark. (2018) *Spirulina*'dan (*Spirulina platensis*) klorofil-a ve fikosiyanın pigment ekstraksiyonuna ultrasonikasyon süresinin etkisini araştırmışlardır. Araştırmanın sonucunda sadece çözgen ekstraksiyonuna göre ultrasonikasyon uygulaması ve ardından çözgen ekstraksiyonuyla daha yüksek pigment ekstraksiyonun elde edilebildiği gözlenmiştir. En yüksek antioksidan aktivite 60 dakikalık sonikasyon uygulamasında elde edilmiş fakat çözgen ekstraksiyonu öncesi klorofil-a için 30 dakika, fikosiyanın ekstraksiyonunda 45 dakika sonikasyonun yeterli olabileceği belirtilmiştir.



### 3. MATERYAL VE YÖNTEM

#### 3.1. Materyal

Bu çalışmada kullanılan toz *Spirulina platensis* ürünleri Egert Doğal Ürünler Üretim Ltd. Şti., Shiffa Home Doğal Bitkisel Ürünler A.Ş. ve İskoç Organik Gübre Tarım Hayvancılık Enerji Üretim Danışmanlık San. Ve Tic. Ltd. Şti. (Hana) şirketlerinden temin edilmiştir (Şekil 3.1., Çizelge 3.1).



**Şekil 3. 1.** Çalışmada kullanılan *Spirulina platensis* tablet ve kapsül örnekleri (a-Egert, b-Shiffa Home, c-Hana)

Egert Doğal Ürünler Üretim Ltd. Şti. üretimini Ege Üniversitesi'nde inşa edilen tesisler içerisinde gerçekleştirmektedir. Shiffa Home Doğal Bitkisel Ürünler A.Ş., İstanbul fabrikasında GMP, ISO 22000:2005, ISO 9001:2008 standartlarına göre üretim yapmaktadır. İskoç Organik Gübre Tarım Hayvancılık Enerji Üretim Danışmanlık San. Ve Tic. Ltd. Şti. ise Hana markasıyla Seydikemer/Muğla tesislerinde Gıda Tarım ve Hayvancılık Bakanlığı izni ile *Spirulina* üretimi yapmaktadır.

İlgili analizler Bursa Uludağ Üniversitesi Gıda Mühendisliği Bölümü Enstrümental Analiz Laboratuvarında gerçekleştirilmiştir. Hazırlanan örnekler, analiz edilinceye kadar -24 °C' de saklanmıştır.

**Çizelge 3. 1.** *Spirulina platensis* örnekleri

NO	ÖRNEK	KOD	TÜR
1	Egert	<b>S</b>	<i>Spirulina platensis</i>
2	Shiffa Home	<b>P</b>	<i>Spirulina platensis</i>
3	Hana	<b>R</b>	<i>Spirulina platensis</i>

Ekstraksiyonda kullanılan etanol Fluka (Sigma-Aldrich Co. LLC, USA)'dan; antioksidan kapasite tayinlerinde kullanılan 2,2'-azinobis-(3-etilbenzotiazolin-6-sulfonik asit) (ABTS) ve 2,2-difenil-1-pikrilhidrazil (DPPH) Sigma-Aldrich Co. LLC'den, potasyum persülfat Merck Co. (Darmstadt, Almanya)'den; spektrofotometrik toplam fenol analizinde kullanılan folin-ciocalteu reaktifi ve Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> Merck Co. (Darmstadt, Almanya)'dan temin edilmiştir.

**Kullanılan Cihazlar:**

Çalışmada, örneklerin hazırlanma aşamasında çalkalamalı su banyosu (Julabo SW22, JULABO Labortechnik GmbH, Seelbach, Almanya), santrifüj (Heraeus Megafuge 40R Centrifuge, Thermo Fisher Scientific Inc., USA), hassas terazi (Radwag PS 2100.R2) ve pH metre (Hanna PH 211LB.5.015) kullanılırken, antioksidan kapasite ve toplam fenolik bileşen analizi ölçümleri spektrofotometre (Optizen 322OUV, Optizen Labs LLC, Warsaw, Polonya) ile yapılmıştır (Şekil 3.2.).



a.



b.



c.



d.

**Şekil 3. 2.** Çalışmada kullanılan cihazlar (a- hassas terazi (Radwag PS 2100.R2), b- pH metre (Hanna PH 211LB.5.015), c- santrifüj (Heraeus Megafuge 40R Centrifuge, Thermo Fisher Scientific Inc., USA), d- spektrofotometre (Optizen 322OUV, Optizen Labs LLC, Warsaw, Polonya))

## 3.2. Yöntemler

### 3.2.1. Ekstraksiyon

*Spirulina platensis* örneklerinin ekstrakte edilebilir, hidrolize edilebilir, biyoalinabilir fenolik madde ekstraksiyonları hazırlandıktan sonra, toplam fenolik bileşen ve antioksidan kapasite analizleri gerçekleştirilmiştir.

#### **Ekstrakte Edilebilir Fenolik Madde Ekstraksiyonu:**

*Spirulina platensis* örneklerinin ekstrakte edilebilir fenolik madde ekstraksiyonu, Vitali ve ark. (2009)'nın yöntemleri uygulanarak gerçekleştirilmiştir. Yöntem doğrultusunda homojen haldeki örneklerden 0,5 g tartılmış ve üzerine 1:80:10 oranında 20 mL HCl/methanol/su çözeltisi ilave edilmiştir. Örnek ve çözelti karışımı çalkalayıcılı su banyosunda 20°C'de 2 saat süreyle çalkalanmıştır. Elde edilen karışım süre sonunda

3500 rpm hızda 10 dk boyunca santrifüjlenmiştir. Bu işlemden sonra süpernatantlar ayrılmış ve analizler gerçekleştirilinceye kadar  $-24^{\circ}\text{C}$ 'de muhafaza edilmiştir.

### **Hidrolize Edilebilir Fenolik Madde Ekstraksiyonu:**

*Spirulina platensis* örneklerinin hidrolize edilebilir fenolik madde ekstraksiyonu için Vitali ve ark. (2009)'nın geliştirdiği yöntemler kullanılmıştır. Serbest fenolik madde ekstraksiyonunda, santrifüj işleminden sonra kalan tortu (residu) ağzı teflon kapaklı pyrex tüplere konulmuş ve üzerine 20 ml 10:1 oranında metanol/ $\text{H}_2\text{SO}_{4\text{cot}}$  çözeltisi ilave edilmiştir. Karışım çalkalayıcı su banyosunda,  $85^{\circ}\text{C}$ 'de 20 saat çalkalanmış ve süre sonunda karışım 10 dk 3500 rpm hızda santrifüjlenmiştir (Sigma 3K 30, Germany). İşlem sonrası elde edilen berrak kısımlar analizler gerçekleştirilinceye kadar  $-24^{\circ}\text{C}$ 'de muhafaza edilmiştir.

### **Biyoalınabilir Fenolik Madde Ekstraksiyonu:**

Antioksidan bileşenlerin biyoalınabilirliğinin belirlenebilmesi için yapay koşullarda mide ve bağırsak ortamı oluşturulmuştur. Analizde Vitali ve ark. (2009)'nın geliştirdiği yöntem kullanılmıştır.

**Mide Ortamı:** 500 mg homojenize edilmiş örnek üzerine 10 mL saf su ve 0.5 mL pepsin çözeltisi ilave edilmiştir. Ortamın pH değeri, 5 mol/L HCl çözeltisi kullanılarak pH 2 olacak şekilde ayarlanmıştır ve karışım  $37^{\circ}\text{C}$ 'de 1 saat boyunca çalkalamalı su banyosunda bekletilmiştir.

Pepsin çözeltisi; 2 g pepsin tartılmış ve 100 mL ölçü balonuna konulmuştur. Çizgisine kadar 0,1 mol/L HCl asit çözeltisi eklenerek hazırlanmıştır.

**Bağırsak Ortamı:** *Örnek* 37°C’de 1 saat boyunca çalkalamalı su banyosunda bekletilmiş, saf su ve pepsin karışımı üzerine 1 M NaHCO<sub>3</sub> ilave edilmiş ve pH 7,2’ye getirilmiştir. Üzerine 2,5 mL safra/pankreatin solüsyonu ve 2,5 mL NaCl/KCl eklenerek 37°C’de 2,5 saat süresince bekletilmiştir. Örnekler 10 dk 3500 rpm’de santrifüjlenmiş ve üzerine x mL trikloroasetik asit (%20 w/w) eklenmiştir.

Safra/pankreatin solüsyonu; 3 g safra tuzu ve 0,5 g pankreatin tartılıp, 250 mL’lik ölçü balonunda 0,1 M NaHCO<sub>3</sub> çözeltisiyle çizgisine kadar tamamlanarak hazırlanmıştır. NaCl/KCl; 100 mL için 0,7 g NaCl ve 0,04 g KCl tartılmış ve ayrı ayrı olacak şekilde çizgilerine kadar saf su eklenerek tamamlanmıştır.

### **3.2.2. Toplam Fenol İçeriğinin Belirlenmesi**

*Spirulina platensis* örneklerinin toplam fenolik madde miktarı, Vitali ve ark. (2009)’nın geliştirdiği yöntem uygulanarak belirlenmiştir. Yöntemde Folin Ciocalteu çözeltisi kullanılarak, 750 nm dalga boyunda spektrofotometrik analiz yapılmıştır.

Analizde Lowry A çözeltisi ve Lowry B çözeltisi hazırlanmıştır. Lowry A ve Lowry B çözeltileri oran 50:1 (v/v) olacak şekilde karıştırılmış ve Lowry C çözeltisi oluşturulmuştur (Şekil 3.4.).

Lowry A çözeltisi; %2’lik Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>, 0,1 mol/L NaOH içinde olacak şekilde hazırlanmıştır.

Lowry B çözeltisi; %0,5 CuSO<sub>4</sub>, %1’lik NaKC<sub>4</sub>H<sub>4</sub>O<sub>6</sub> içinde olacak şekilde hazırlanmıştır.



**Şekil 3. 3.** Lowry A, Lowry B, Lowry C ve gallik asit çözeltileri

Deney tüpüne 1:4 seyreltilmiş *Spirulina platensis* ekstraktlarından 100  $\mu$ L koyulmuş ve üzerine 2 mL'ye tamamlayacak şekilde saf su çözeltisi ve 2,5 mL Lowry C eklenerek karıştırılmıştır. Karıştırma işlemi ardından 10 dk karanlıkta bekletilmiş ve süre bitiminde 1:3 oranında su ile seyreltilerek hazırlanmış Folin Ciocalteu reaktifinden 0,25 mL eklenmiştir. Karıştırma işlemi sonrasında karışım karanlıkta ve oda sıcaklığında olacak şekilde 30 dk bekletilmiştir. Süre sonunda oluşan mavi renk için standartların ve örneklerin absorpsiyon değerleri spektrofotometrede (Optizen 3220UV, Optizen Labs LLC, Warsaw, Polonya) 750 nm dalga boyunda okunmuştur. Folin Ciocalteu yöntemi ile üç tekrarlı olarak toplam fenolik madde tayini gerçekleştirilmiştir.

Toplam fenolik madde tayininde gallik asit standart madde olarak kullanılmıştır. Kalibrasyon grafiği için 5-50 mg/L konsantrasyon aralığında gallik asit çözeltileri hazırlanmıştır. *Spirulina platensis* ekstraktlarının spektrofotometrik okumalarının yapılması sırasında gerçekleştirilen işlem basamakları gallik asit standartına uygulanmış ve en küçük kareler yöntemiyle doğru denklemi hesaplanmıştır. Hesaplanan kalibrasyon denklemi kullanılarak ekstraktlar için toplam fenol miktarları mg gallik asit/100 g örnek şeklinde ifade edilmiştir. Analiz her bir ekstrakt için en az üç kez tekrarlanmıştır.

### 3.2.3. Antioksidan Kapasitenin Belirlenmesi

*Spirulina platensis* örneklerinin fenolik bileşenlerinin antioksidan kapasitesi ekstrakte edilebilir, hidrolize edilebilir ve biyoalınabilir fenolikler açısından ABTS (2,2'-azinobis-(3-etilbenzotiazolin-6-sülfonik asit), DPPH (2,2-difenil-1-pikrilhidrazil) ve CUPRAC (bakır iyon indirgeme antioksidan kapasitesi) metotları olmak üzere üç farklı yöntem kullanılarak belirlenmiştir. Analizlerde Vitali ve ark. (2009) tarafından geliştirilen analitik yöntemler kullanılmıştır. Analizler üç paralelli yapılmış olup sonuçlar g ağırlık başına  $\mu\text{mol}$  troloks eşdeğeri (TE) olarak hesaplanmıştır.

#### **ABTS Yöntemi ile Antioksidan Kapasitenin Belirlenmesi:**

ABTS yönteminin ilkesi, ABTS ve potasyum persülfat arasında gerçekleştirilen tepkime sonucu oluşan mavi/yeşil renkli ABTS. + radikal katyonu tarafından tutulan antioksidatif maddelerin miktarının sentetik bir antioksidan olan troloksun standart miktarıyla karşılaştırılarak bağıl ölçümünün sağlanmasına dayanmaktadır (Cemeroğlu 2010). Analizde kullanılan ABTS çözeltisi, 7 mM ABTS (2,2'-azinobis-(3-etilbenzotiazolin-6-sülfonik asit) ile 2,45 mM  $\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_8$ ' ın karıştırılarak karanlıkta 12-16 saat boyunca bekletilmesiyle elde edilmiştir. Çözelti % 96'lık etanolle 1:10 oranında seyreltilerek ABTS çözeltisi analize hazır hale getirilmiştir (Şekil 3.5.).

ABTS çözeltisi için; 38,4 mg ABTS ve 6,6 mg  $\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_8$  tartılmış olup 10 mL balon jode çizgisine kadar hacme tamamlanmıştır.



**Şekil 3. 4.** ABTS çözeltisi

Analizde 1 mL ABTS ve 4 mL etanol karıştırılarak 6. dk sonunda 734 nm dalga boyunda kör örnek için absorbans değeri okunmuştur ( $A_{kör}$ ). Ardından her bir *Spirulina platensis* türü için x mL ekstrakt alınmış üzerine (4-x) mL etanol ve 1 mL ABTS çözeltisi eklenerek karıştırılmış ve 6. dk sonunda 734 nm'de absorbans değeri okunmuştur ( $A_{örnek}$ ).

$$\%inhibisyon = \frac{(A_{kör}) - (A_{örnek})}{A_{kör}}$$

% inhibisyon değerleri ölçümler sonucunda ekstraktlar ve fenolik bileşikler için hesaplanmıştır. ABTS yöntemi ile antioksidan kapasitenin belirlenmesinde standart olarak troloks kullanılır. 0,00625-0,05000 mg aralığındaki troloks çözeltileri ile kalibrasyon grafiği çizilmiştir ve bu grafikten faydalanılarak ekstraktların antioksidan aktivite tayinleri  $\mu\text{mol troloks/g}$  örnek olarak hesaplanmıştır.



### **DPPH Yöntemi ile Antioksidan Kapasitenin Belirlenmesi:**

Bu yöntem, mor renkli stabil bir bileşik olan DPPH radikalini antioksidan bileşiklerin indirgeme yetenekleri ile ilişkilidir. Mor renkli DPPH radikali, 515-517 nm dalgaboyunda kuvvetli bir absorpsiyon göstermekte ve bu durum spektrofotometrede kolaylıkla belirlenebilmektedir (Sanchez-Moreno 2002; Prior ve ark., 2005). Yöntem temel olarak, metanol ya da etanolde hazırlanan DPPH radikal çözeltisi üzerine test bileşiğinin eklenmesi sonucu radikal çözeltisinin mor renginde meydana gelen azalmanın spektrofotometrede 515-517 nm dalgaboyunda ölçülmesine dayanmaktadır (Cemeroğlu 2010).

DPPH çözeltisi; 0,0394 g DPPH, 100 mL'lik bir ölçü balonunda metanol ile çizgisine kadar tamamlanmıştır. 1 mM konsantrasyona sahip bu çözeltiden 6 mL alınıp 100 mL'ye tamamlanarak  $6 \times 10^{-5}$  M konsantrasyonunda DPPH çözeltisi hazırlanmıştır (Şekil 3.5.).



**Şekil 3. 5.** DPPH ve Troloks çözeltileri

0,1 mL metanol (kontrol) ve *Spirulina platensis* örnekleri üzerine 3,9 mL DPPH ( $6 \times 10^{-5}$  M) çözeltisi ilave edilmiştir. Tüpler 30 dk süre boyunca karanlık bir ortamda, oda sıcaklığında bekletilmiştir. Tüp içeriklerinin absorbans değerleri spektrofotometrede (Optizen 322OUV, Optizen Labs LLC, Warsaw, Polonya) 515 nm dalgaboyunda okunmuştur ve % inhibisyon değeri aşağıdaki formül ile hesaplanmıştır.

$$\% \text{ Inhibisyon} = [1 - (A_P/A_{DPPH})] \times 100$$

$A_P$ : 515 nm dalga boyunda örneğin absorpsiyonu

$A_{DPPH}$ : 515 nm dalga boyunda kontrolün absorpsiyonu

### **CUPRAC Yöntemi ile Antioksidan Kapasitenin Belirlenmesi:**

*Spirulina platensis* örneklerinin antioksidan kapasitesinin CUPRAC yöntemi ile belirlenmesinde Vitali ve ark. (2009)'nın geliştirdiği yöntem izlenmiştir. Analizde  $\text{CuCl}_2$ , neokuproin, amonyum asetat çözeltileri aşağıdaki şekilde hazırlanmıştır (Şekil 3.6.).

- Cu(II) klorür çözeltisi: 0,4262 g  $\text{CuCl}_2$  tartılmış, 100 mL ölçü balonuna alınmış ve saf su ile çizgisine kadar tamamlanarak hazırlanmıştır.
- Neokuproin çözeltisi: 0,0390 g neokuproin tartılmış ve 25 mL'lik ölçü balonuna alınmıştır, % 96'lık etil alkolle çizgisine kadar tamamlanarak hazırlanmıştır.
- Amonyum asetat çözeltisi: 7,708 g amonyum asetat 100 mL ölçü balonuna alınmış ve saf su ile çizgisine kadar tamamlanarak hazırlanmıştır.

CUPRAC yönteminde standart olarak troloks çözeltisinden yararlanılmaktadır. Çözelti hazırlanırken 0,0256 g troloks tartılmış ve 100 mL metanolde çözdürülmüştür. Hazırlanan bu çözeltiden 10, 25, 50, 100, 150 ve 300  $\mu\text{L}$  konsantrasyonlarında alınmış ve saf su ile toplam hacim 1 mL olacak şekilde tamamlanmıştır.



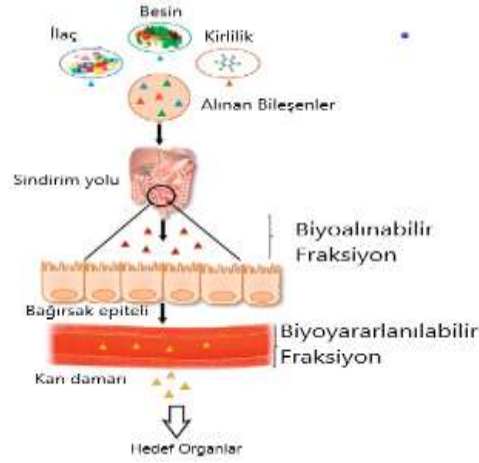
**Şekil 3. 6.** Cu(II) klorür, neokuprain, amonyum asetat ve troloks çözeltileri

Hazırlanan saf su, troloks çözeltisi karışımına toplam hacim 4 mL olacak şekilde 1'er mL  $\text{CuCl}_2$ , neokuproin ve amonyum asetat çözeltilerinden ilave edilmiştir. Karıştırıldıktan sonra 30 dk karanlıkta bekletilmiştir. Antioksidan içermeyen örneğe karşı 450 nm dalga boyunda absorbans değerleri okunmuştur. Kalibrasyon grafiği için 0,0073-0,0430 mg aralığındaki troloks standart çözeltileri hazırlanmış ve en küçük kareler yöntemiyle doğru denklemi hesaplanmıştır. Ekstraktlar için antioksidan aktivite değeri, hesaplanan kalibrasyon denkleminin kullanılmasıyla  $\mu\text{mol}$  troloks/g örnek olarak hesaplanmıştır.

#### **3.2.4. Toplam Fenol İçerik ve Antioksidan Kapasite Analizlerinin % Biyoalınabilirliğinin Belirlenmesi**

Biyoyararlılık teorikte, matristen serbest kalarak, bağırsakta emilerek ve dokular tarafından alınarak veya pratikte kanda ya da idrarda antioksidan konsantrasyonu olarak etkisini gösterdikten sonra sistem döngüsüne katılabilen ve önemli kısımlara yerleşip kullanılabilen bileşen miktarı olarak tanımlanmaktadır.

Biyoalınabilirlik ise hastalıklara karşı diyet antioksidanlarının potansiyel etki gösterdiği *in vitro* çalışmaların ölçüm sonucudur (Porrini ve Riso 2008). Şekil 3.7.'de biyoalınabilirlik ve biyoyararlılık arasındaki farklar gösterilmiştir.



**Şekil 3. 7.** Biyoalınabilirlik ve biyoyararlılık arasındaki farklar (Perello 2016)

*Spirulina platensis* örneklerine ait ekstrakte edilebilir, hidrolize edilebilir, biyoalınabilir fenolik madde ekstraksiyonlarının toplam fenolik bileşen ve DPPH, CUPRAC ve ABTS yöntemlerine göre antioksidan kapasite analizleri sonuçlarının % biyoalınabilirliği Anson ve ark. (2009)'na göre, biyoalınabilir fenolik madde ekstraksiyon sonuçlarının, ekstrakte edilebilir ve hidrolize edilebilir fenolik madde ekstraksiyon sonuçlarının toplamına “%” olarak oranlanması ile hesaplanmıştır.

### 3.3.4. İstatistiksel Değerlendirme

*Spirulina platensis* örneklerine ait analiz sonuçlardan elde edilen veriler istatistiksel olarak JMP IN 7.0.0 (Statistical Discovery from SAS 2005. Institue Inc.) programı kullanılarak varyans analizi ile değerlendirilmiştir. LSD (Least Significant Differance) testi uygulanarak elde edilen ortalama değerler arasındaki istatistiksel fark gruplarının belirlenmiştir.

## 4.BULGULAR ve TARTIŞMA

### 4.1.Toplam Fenol Bileşen Analiz Sonuçları

*Spirulina platensis* örneklerine ait ekstrakte edilebilir, hidrolize edilebilir, biyoalınabilir fenolik maddelerin toplam fenolik bileşen analiz sonuçları ve bunların % biyoalınabilirlikleri Çizelge 4.1.'de verilmiştir.

**Çizelge 4. 1.** *Spirulina platensis* örneklerinin ekstrakte edilebilir, hidrolize edilebilir ve biyoalınabilir fenolik maddelerinin toplam fenol içerikleri

Marka	Kod	Ekstrakte Edilebilir Fenolikler (mg/100 g GAE km)	Hidrolize Edilebilir Fenolikler (mg/100 g GAE km)	Biyoalınabilir Fenolikler (mg/100 g GAE km)	% Biyoalınabilirlik
Egert	S	400,29±0,08 <sup>b</sup>	2200,64±0,03 <sup>c</sup>	25,34±0,40 <sup>b</sup>	85,0±0,90 <sup>a</sup>
Shiffa Home	P	1200,41±0,24 <sup>a</sup>	6400,82±0,67 <sup>b</sup>	66,28±1,49 <sup>a</sup>	87,18±4,33 <sup>a</sup>
Hana	R	1400,28±0,18 <sup>a</sup>	7200,38±1,01 <sup>a</sup>	67,44±0,48 <sup>a</sup>	77,00±2,47 <sup>b</sup>

Analiz edilen *Spirulina platensis* örneklerinin toplam fenol içeriği bu çalışmada 400,29-1400,28 mg/100 g GAE km (ekstrakte edilebilir) ve 2200,64-7200,38 mg/100 g GAE km (hidrolize edilebilir) olarak saptanmıştır. Ekstrakte edilebilir ve hidrolize edilebilir *Spirulina platensis* fenollerinin toplam fenol içeriği arasında önemli farklılıklar olduğu gözlenmiştir ve diğer örneklerle kıyasla hidrolize edilebilir Hana markalı *Spirulina platensis* tozu fenoliklerinin toplam içeriğinin (7200,38±1,01 mg/100 g GAE km) oldukça yüksek olduğu tespit edilmiştir. Örneklerin toplam fenol içeriğinin % biyoalınabilirliği %77,00-87,18 olarak tespit edilmiştir. Fenoliklerin toplam içeriğinin biyoalınabilirliğinin Shiffa Home markasına ait *Spirulina platensis* örneğinde oldukça yüksek olduğu görülmüştür (% 87,18±4,33<sup>a</sup>). Örnekler arasındaki bu farklılıkların sebepleri, ortam koşullarındaki farklılıklar, iklim ve ekstraksiyon süreçlerinin çeşitliliği (çözücü tipi, bitki materyali, çözücü oranı) olarak düşünülmektedir.

## 4.2. Antioksidan Kapasite Analiz Sonuçları

*Spirulina platensis* örneklerine ait ekstrakte edilebilir, hidrolize edilebilir, biyoalınabilir fenolik madde ekstraksiyonlarının TEAC<sub>ABTS</sub>, TEAC<sub>CUPRAC</sub> ve TEAC<sub>DPPH</sub> analiz sonuçları ve bunların % biyoalınabilirlikleri Çizelge 4.2, 4.3 ve 4.4`de verilmiştir.

**Çizelge 4. 2.** *Spirulina plantensis* örneklerinin ekstrakte edilebilir, hidrolize edilebilir ve biyoalınabilir fenolik maddelerinin ABTS yöntemiyle antioksidan kapasitelerinin belirlenmesi

Marka	Kod	Ekstrakte Edilebilir Fenolikler ( $\mu\text{mol TE/g km}$ )	Hidrolize Edilebilir Fenolikler ( $\mu\text{mol TE/g km}$ )	Biyoalınabilir Fenolikler ( $\mu\text{mol TE/g km}$ )	% Biyoalınabilirlik
Egert	S	1,65 $\pm$ 0,02 <sup>c</sup>	2,72 $\pm$ 0,16 <sup>b</sup>	2,94 $\pm$ 0,10 <sup>b</sup>	74,54 $\pm$ 2,15 <sup>b</sup>
Shiffa Home	P	5,04 $\pm$ 0,00 <sup>a</sup>	7,58 $\pm$ 0,21 <sup>b</sup>	6,82 $\pm$ 1,11 <sup>b</sup>	55,90 $\pm$ 7,22 <sup>c</sup>
Hana	R	2,97 $\pm$ 0,06 <sup>b</sup>	132,03 $\pm$ 2,60 <sup>a</sup>	125,98 $\pm$ 3,28 <sup>a</sup>	92,87 $\pm$ 0,05 <sup>a</sup>

**Çizelge 4. 3.** *Spirulina plantensis* örneklerinin ekstrakte edilebilir, hidrolize edilebilir ve biyoalınabilir fenolik maddelerinin DPPH yöntemiyle antioksidan kapasitelerinin belirlenmesi

Marka	Kod	Ekstrakte Edilebilir Fenolikler ( $\mu\text{mol TE/g km}$ )	Hidrolize Edilebilir Fenolikler ( $\mu\text{mol TE/g km}$ )	Biyoalınabilir Fenolikler ( $\mu\text{mol TE/g km}$ )	% Biyoalınabilirlik
Egert	S	11,09 $\pm$ 0,74 <sup>b</sup>	50,84 $\pm$ 1,16 <sup>b</sup>	10,39 $\pm$ 0,40 <sup>b</sup>	16,31 $\pm$ 1,42 <sup>a</sup>
Shiffa Home	P	108,56 $\pm$ 2,92 <sup>a</sup>	129,01 $\pm$ 0,04 <sup>a</sup>	13,26 $\pm$ 2,51 <sup>a</sup>	3,59 $\pm$ 1,43 <sup>b</sup>
Hana	R	103,77 $\pm$ 3,00 <sup>a</sup>	125,00 $\pm$ 0,54 <sup>a</sup>	8,59 $\pm$ 1,70 <sup>c</sup>	3,65 $\pm$ 0,82 <sup>b</sup>

**Çizelge 4. 4.** *Spirulina plantensis* örneklerinin ekstrakte edilebilir, hidrolize edilebilir ve biyoalınabilir fenolik maddelerinin CUPRAC yöntemiyle antioksidan kapasitelerinin belirlenmesi

Marka	Kod	Ekstrakte Edilebilir Fenolikler ( $\mu\text{mol TE/g km}$ )	Hidrolize Edilebilir Fenolikler ( $\mu\text{mol TE/g km}$ )	Biyoalınabilir Fenolikler ( $\mu\text{mol TE/g km}$ )	% Biyoalınabilirlik
Egert	S	11,59 $\pm$ 0,30 <sup>c</sup>	82,64 $\pm$ 2,43 <sup>c</sup>	32,14 $\pm$ 0,41 <sup>c</sup>	34,1 $\pm$ 0,84 <sup>a</sup>
Shiffa Home	P	37,38 $\pm$ 3,50 <sup>b</sup>	181,31 $\pm$ 1,10 <sup>b</sup>	44,99 $\pm$ 0,12 <sup>b</sup>	20,57 $\pm$ 0,17 <sup>c</sup>
Hana	R	52,63 $\pm$ 0,98 <sup>a</sup>	206,15 $\pm$ 2,11 <sup>a</sup>	62,22 $\pm$ 1,81 <sup>a</sup>	24,00 $\pm$ 0,27 <sup>b</sup>

ABTS, CUPRAC ve DPPH metotları elektron transfer ölçümlerinde aynı mekanizma reaksiyonuna sahiptir (Apak ve ark. 2008; Fidrianny ve ark. 2013) fakat bu çalışmanın sonuçları, ekstrakte edilebilir Shiffa Home ve Hana markalı toz *Spirulina* örnekleri haricinde, diğer toz *Spirulina* örneklerinde, CUPRAC yönteminin ABTS ve DPPH yöntemlerinden daha yüksek antioksidan kapasite değerleri ortaya koyduğunu göstermiştir. Toz *Spirulina* örneklerinde, CUPRAC yöntemi değerleri 11,59-52,63  $\mu\text{mol TE/g}$  (ekstrakte edilebilir fenolikler) ve 82,64-206,15  $\mu\text{mol TE/g}$  (hidrolize edilebilir fenolikler) değer aralığında bulunmuştur. Bu durum, fenolik asitlerin (hidroksisinnamik asit) yapısal özelliklerinin, normal olarak, iki -OH grubu taşıyan kafeik ve klorojenik asitlerin, monofenolik (tek -OH grubu taşıyan) ferulik ve *p*-kumarik asitlerden daha fazla TEAC katsayıları sergilemesi gerektiği gerçeği ile açıklanabilir. Bu nedenle, yapısal gereklilikler, hidroksisinnamik asitlerin, ABTS yöntemi ile değil, TEAC düzenine sahip CUPRAC yöntemi ile ölçülmesi gerektiğini belirtmektedir (Apak ve ark. 2008).

Zainoddin ve ark. (2018)'nin yaptıkları çalışmada, *Nannochloropsis sp.* ve *Spirulina sp.*'den elde edilen mikroalg ekstraktlarının kimyasal profillerini incelenmiştir. *Nannochloropsis sp.*'nin *Spirulina sp.*'den belirgin şekilde daha yüksek toplam fenol içeriğine (58,43 $\pm$ 0,85 mg GAE/ g km vs. 19,64 $\pm$ 0,52 mg GAE/g km) sahip olduğu belirlenmiştir. Bu çalışmada elde edilen *Spirulina sp.*'nin toplam fenol içeriği değerinin (19,64 $\pm$ 0,52 mg GAE/g km) bizim çalışmamızdaki ekstrakte edilebilir *Spirulina*

*platensis* örneklerinin toplam fenol içeriği değerleriyle (4,29±0,08 mg GAE/ g km, 12,41±0,24 mg GAE/g km, 14,28±0,18 mg GAE/g km) benzerlik gösterdiği görülmüştür.

Herrero ve ark. (2005)'nin yaptığı çalışmada ise *Spirulina*'nın etanol ile hazırlanan ekstraktının DPPH yöntemiyle elde edilen antioksidan kapasite sonuçları 100,50 µg/mL, 98,80 µg/mL, 84,20 µg/mL şeklinde bulunmuştur. Bu sonuçların bizim bulduğumuz ekstrakte edilebilir örneklerin antioksidan kapasite sonuçlarından daha yüksek olduğu görülmüştür (108,56±2,92 µmol TE/g km ve 103,77±3,00 µmol TE/g km).

Bolanho ve ark. (2014)'nin yaptığı bir çalışmada, lif kaynakları ve *Spirulina platensis* ile zenginleştirilmiş kurabiyelerin antioksidan ve besin değeri potansiyeli araştırılmıştır. Bu çalışmada kullanılan *Spirulina platensis* örneğinin toplam fenolik bileşen değeri 12,2±0,1 g.kg<sup>-1</sup> olarak saptanmıştır. Antioksidan kapasite değerleri ise, DPPH yöntemiyle 74,9±0,3 mmol.kg<sup>-1</sup>, ABTS yöntemiyle 4,5±0,1 mmol.kg<sup>-1</sup>, FRAP yöntemiyle 41,4±0,2 mmol.kg<sup>-1</sup> olarak bulunmuştur.

Shalaby ve Shanab (2013)'in yaptığı bir çalışmada *Spirulina platensis*'in su ve metanollü ekstraktlarının antioksidan potansiyelinin belirlenmesi için DPPH ve ABTS yöntemleri karşılaştırılmıştır. Kullanılan *Spirulina platensis* örneğinin metanollü ekstraktının toplam fenolik içeriği %1,23 olarak bulunmuştur. Aynı örneğin metanollü ekstraktının 200 µg/mL konsantrasyonda DPPH yöntemiyle belirlenen antioksidan kapasite değeri %89,61 iken ABTS yöntemiyle belirlenen antioksidan kapasite değeri %99,55 olarak saptanmıştır.

Anbarasan ve ark. (2011)'nin yaptıkları bir çalışmada mavi-yeşil alg *Spirulina platensis*'in antioksidan aktivitesinin *in-vitro* gelişimini incelemiştir. *Spirulina platensis* örneğinin etanollü ekstraktında DPPH yöntemiyle belirlenen antioksidan aktivite değeri 100 µg/mL konsantrasyonda %27,88±1,21 olarak bulunmuştur.



Sindirim sırasında, polifenoller hem indirgenmiş diğer yiyecekler (ince bağırsaktaki antosiyaninler gibi) ile etkileşimde bulunabilirler hem de hidroliz tepkimeleriyle metabolize edilebilirler. Bu yapısal değişiklikler hem onların ileriki alımlarını hem de biyoaktivitelerini etkileyebilir. Örneğin; bağımsız fenollerin antioksidan aktiviteleri onların glikozit ve demir-fenol bağlarından daha yüksektir (Bouayed ve ark. 2012). Gıda polifenollerini ile ilgili birçok literatür verileri sadece sulu organik ekstraktlarda çözünen bileşiklerle ilgilidir (ekstrakte edilebilir polifenoller) fakat bazı polifenoller, özellikle yüksek polimerizasyon derecesine sahip ve yüksek molekül ağırlıklı bileşiklerle (ekstrakte edilemeyen polifenoller) bağlantılı polifenoller, kullanılan standart ekstraksiyon yöntemlerinden kaçabildiğinden, bu yaklaşım ekstraksiyon teknikleri ile sınırlandırılabilir. Bu gıda polifenol fraksiyonu, insan bağırsağında, ince bağırsakta sindirim enzimleri ve kalın bağırsakta bakteriyel bozulma etkisi ile gıda matrisinden serbest bırakıldıktan sonra biyoaktif hale gelebilir (Jenner ve ark. 2005).

TEAC<sub>ABTS</sub>, TEAC<sub>CUPRAC</sub> ve TEAC<sub>DPPH</sub> ise örneklerin biyoalınabilirliği, % 55,90-92,8743, % 20,57-34,31 ve % 3,59-16,31'dir. Shiffa Home markalı *Spirulina platensis* tozunun toplam fenolik içeriğinin biyoalınabilirliğinin diğer *Spirulina* örneklerine göre daha yüksek olmasına karşın, Hana markalı *Spirulina platensis* tozunun, ABTS yöntemi ile belirlenen antioksidan kapasitesi daha yüksek biyoalınabilirliğine sahiptir. Bu farklılığın nedeni, bitki materyali, yetiştirilme koşulları ve ölçümler için kullanılan şartlar ile ilgili birkaç faktörle bağlantılı olabilir. Bütün bu sonuçlar, farklı *Spirulina* örneklerinin, toplam fenoliklerin ve antioksidan kapasitelerinin ortaya çıkmasında etkiye sahip olduğunu kanıtlamakta ve bu nedenle, biyolojik olarak kullanılabilir içeriği etkilemektedir.

## 5. SONUÇ

Bu çalışmanın amacı Türkiye’de satışı yapılan üç farklı marka *Spirulina platensis* tozunun toplam fenol içeriklerini, antioksidan kapasitesini ve biyoyararlılıklarını araştırarak gıda takviyesi olarak kullanımının insan sağlığına faydalarını somut olarak tespit etmektir. Ayrıca bu çalışma hiçbir özel sanayi kuruluşuyla işbirliği yapılmadan yürütülmüştür.

Bu çalışma kapsamında, ticari olarak satışa sunulan üç farklı markadan temin edilen *Spirulina platensis* tozu örneklerinin ekstrakte edilebilir, hidrolize edilebilir ve biyoalınabilir fenoliklerinin ABTS, CUPRAC, DPPH yöntemlerine göre antioksidan kapasiteleri ve Folin Ciocalteu metodu ile toplam fenol içeriği belirlenmiştir. Örnekler; Shiffa Home, Hana, Egert Egert markaları bünyesinde ticari olarak tüketime sunulmuş *Spirulina platensis* tozu örnekleridir.

Örneklerin toplam fenolik bileşen içerikleri incelendiğinde, farklı markalar için içeriklerin değişiklik gösterdiği belirlenmiştir. Shiffa Home markalı *Spirulina plantensis* tozu ve Hana markalı *Spirulina platensis* tozu örneklerinin ekstrakte edilebilir toplam fenol içeriklerinin benzer olmasına karşılık Egert markalı *Spirulina platensis* tozunda, belirgin olarak daha düşük bir sonuç elde edilmiştir. Fakat hidrolize edilebilir toplam fenol miktarlarında Shiffa Home markalı *Spirulina plantensis* tozu ve Egert markalı *Spirulina platensis* tozu örneklerinde daha düşük sonuçlar elde edilirken Hana markalı üründe daha yüksek bir sonuç bulunmuştur.

Ekstrakte edilebilir antioksidan kapasite sonuçlarına baktığımızda  $TEAC_{ABTS}$  ve  $TEAC_{DPPH}$  değerlerinde en yüksek sonuçların Shiffa Home markalı ürünün olduğu, en yüksek  $TEAC_{CUPRAC}$  değerinin ise Hana markalı ürünün olduğu bulunmuştur.

Hidrolize edilebilir örneklerin antioksidan kapasite sonuçlarına baktığımızda ise en yüksek  $TEAC_{ABTS}$  ve  $TEAC_{CUPRAC}$  değerlerinin Hana markalı ürüne, en yüksek  $TEAC_{DPPH}$  değerinin Shiffa Home markalı ürüne ait olduğu bulunmuştur.

Bu farklılıklar menşei coğrafi çeşitlilik (toprak kompozisyonu ve iklim) ve ekstraksiyon süreçlerinin çeşitliliği (çözücü tipi, bitki materyali, çözücü oranı) ile açıklanabilmektedir.

ABTS, CUPRAC ve DPPH metotları elektron transferi deneyleri olarak aynı mekanizma reaksiyonlarına sahiptir fakat bu metotlar farklı reaktif gruplar için farklı mekanizmalara, redoks potansiyellerine, pH ve çözücü bağlarına ve hassaslığa sahiptir. Bu çalışmanın sonuçları göstermiştir ki *Spirulina platensis*'in hidrolize edilebilir örneklerinin CUPRAC denemesi genel olarak ABTS ve DPPH denemelerinden daha yüksek antioksidan kapasite değerleri sergilemiştir.

Biyoalınabilirlik değerlerine baktığımızda sonuçların daha farklı olduğu görülmüştür. Toplam fenol içeriği bakımından biyoalınabilirliği en yüksek ürün Shiffa home'dur. Antioksidan kapasitenin biyoalınabilirliği CUPRAC ve DPPH metotlarıyla incelendiğinde ise en yüksek sonuçlar Egert markalı *Spirulina platensis* tozu örneğine aittir. Üç üründe de antioksidan kapasitenin biyoalınabilirliğini en yüksek çıkaran yöntem ise ABTS yöntemi olmuştur.

Sonuç olarak toplam fenol içeriği, antioksidan kapasite ve biyoalınabilirlikler açısından genel olarak en yüksek değerlere sahip ürün Hana markalı *Spirulina platensis* tozu olarak tespit edilmiştir. Fakat en yüksek toplam fenol içeriği biyoalınabilirlik sonucunun Shiffa Home markalı ürüne ait olduğu, ABTS yöntemiyle tespit edilen en yüksek antioksidan kapasite biyoalınabilirlik sonucunun ise Hana markalı ürüne ait olduğu görülmüştür.

İnsan sağlığı ve beslenmesinde önemi ve kullanımı gün geçtikçe artan *Spirulina*'nın toplam fenolik bileşik içeriklerinin, *Spirulina platensis*'in yetiştirildiği iklim koşullarına ve yetiştirme yöntemlerine bağlı olarak değiştiği saptanmıştır. Sonuç olarak, *Spirulina platensis* mikroalgi, tüketicilere fenolik ve antioksidan içeriklerinden ve bu bileşiklerin biyoalınabilirliklerinden dolayı önemli sağlık faydaları sağlayacak potansiyele sahiptir.

## KAYNAKLAR

**Abdulqader, G., Barsanti, L., Tredici, M. 2000.** Harvest of *Arthrospira platensis* from Lake Kossorom (Chad) and its household usage among the Kanembu. *Journal Applied Phycology*, 12: 493-498.

**Anbarasan, V., Kumar Kishor, V., Satheesh Kumar, P., Venkatachalam, T. 2011.** *In vitro* evolution of antioxidant activity of blue green algae *Spirulina platensis*. *International Journal of Pharmaceutical Sciences and Research*, 2 (10): 2616-2618.

**Alpbaz, A. 2013.** *Spirulina* Yetiştiriciliği. İzmir, <http://www.atillaalpbaz.com/?o=3&y=163> (Erişim tarihi: 10.06.2019).

**Aksay, S., Arslan, R. 2018.** *Spirulina*'dan (*Spirulina platensis*) Klorofil-a ve Fikosiyanin Pigment Ekstraksiyonuna Ultrasonikasyon Süresinin Etkisi. *Akademik Gıda*, 16 (3): 307-312.

**Apak, R., Güçlü, K., Özyürek, M., Çelik, S.E. 2008.** Mechanism of antioxidant capacity assays and the CUPRAC (cupric ion reducing antioxidant capacity) assay. *Microchimica Acta*, 160: 413-419.

**Belay, A. 1997.** Mass culture of *Spirulina* outdoors: the Earthrise Farms Experience. In: Vonshak A., ed. *Spirulina platensis* (*Arthrospira*) Physiology, *Cell Biology and Biotechnology*. London: Taylor and Francis; 1997: 131-158.

**Belay, A. 2002.** The Potential Application of *Spirulina* (*Arthrospira*) as a Nutritional and Therapeutic Supplement in Health Management. *The Journal of the American Nutraceutical Association*, California, 5 (2): 27-48.

**Bhat, V.B., Madyastha, K.M. 2001.** Scavenging of Peroxynitrite by Phycocyanin and Pycocyanobilin from *Spirulina platensis*: Protection against Oxidative Damage to DNA. *Biochemical and Biophysical Research Communication*, 285: 262-266.

**Bhattacharya S. ve Shivaprakash M.K. 2005.** Evaluation of three *Spirulina* species grown under similar conditions for their growth and biochemicals. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 85: 333-336.

**Bolanho, B. C., Egea, M. B., Jacome, A. L. M., Campos, I., Carvalho, J. C. M., Danesi, E. D. G. 2014.** Antioxidant and nutritional potential of cookies enriched with *Spirulina platensis* and sources of fibre. *Journal of Food and Nutrition Research*, 53 (2): 171-179.

**Bouayed, J., Deußer, H., Hoffmann, L., Bohn, T. 2012.** Bioaccessible and dialysable polyphenols in selected apple varieties following *in vitro* digestion vs. their native patterns. *Food Chemistry*, 131:1466-1472.

**Cemeroğlu, B. 2010.** Gıda Analizleri. Gıda Teknolojisi Derneği Yayınları, No.34, Ankara, 657 s.

**Chopra, K., Bisnoi, M. 2008.** Chapter 5, Antioxidant Profile of Spirulina: A Blue Green Microalga: Spirulina in Human Nutrition and Health, Ed: Gershwin, M. E., Belay, A., USA, pp: 101-114.

**Colla, L.M., Furlong, E.B., Costa, J.A.V. 2007.** Antioxidant Properties of Spirulina platensis Cultivated Under Different Temperatures and Nitrogen Regimes. *Brazilian Archives of Biology and Technology*, 50(1): 161-167.

**Conk-Dalay, M., Cirik, S., Kuru, E. 2001.** Türkiye Ege Bölgesi İklim Koşullarında Açık Hava Kültürleri İçin Uygun Spirulina platensis (Stiz.) Geitl, 1930 Suşunun Tespiti. *Ege Üniversitesi Su Ürünleri Dergisi*, 18(3-4): 523-528.

**Crampon, C., Nikitine, C., Zaier, M., Lepine, O., Tanzi, C. D., Vian, M. A., Chemat, F., Badens, E. 2016.** Oil extraction from enriched Spirulina platensis microalgae using supercritical carbon dioxide. *The Journal of Supercritical Fluids*, 119 (2017): 289-296.

**Desai, K., Sivakami, S. 2007.** Purification and biochemical characterization of a superoxide dismutase from the soluble fraction of the cyanobacterium, *Spirulina platensis*, *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 23: 1661-1666.

**Erdal, P. ve G. Ökmen. 2013.** Gıdalarda Kullanılan Mikrobiyal Kaynaklı Pigmentler. *Türk Bilimsel Derlemeler Dergisi*, 6 (2): 56-68.

**Eriksen, N.T. 2008.** Production of phycocyanin – a pigment with applications in biology, biotechnology, foods and medicine. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 80 (1): 1-14.

**Esquivel-Hernandez, D.A., Rodriguez-Rodriguez, J., Cuellar-Bermudez, S.P., Saul Garcia-Perez, J., Mancera-Andrade, E.I., Nunez-Echevarria, J.E., Ontiveros-Valencia, A., Rostro-Alanis, M., Garcia-Garcia, R.M., Antonia-Torres, J., Chen, W.N., Parra-Saldivar, R. 2017.** Effect of Supercritical Carbon Dioxide Extraction Parameters on the Biological Activities and Metabolites Present in Extracts from *Arthrospira platensis*. *Marine Drugs*, 15(6): 174.

**Fidrianny, I., Windyaswari, A.S., Wirasutisna, K.R. 2013.** Antioxidant capacities of various leaves from five colours varieties of sweet potatoes tubers using ABTS, DPPH assays and correlation with total flavonoid, phenolic, carotenoid content. *Research Journal of Medicinal Plant*, 7 (3): 130-140.

**Gad, A.S., Khadrawy, Y.A., El-Nekeety, A.A., Mohamed, S.R., Hassan, N.S., Abdel-Wahhab, M.A. 2011.** Antioxidant Activity and Hepatoprotective Effects of Whey Protein and *Spirulina* in Rats. *Nutrition*, 27 (5): 582-589.

**Gökpınar, S., Koray, T., Akçiçek, E., Göksan, T., Durmaz, Y. 2006.** Algal Antioksidanlar. *E.Ü. Su Ürünleri Dergisi*, 23 (1): 85-89.

**Güldaş, M., Irkin, R. 2010.** Influence of *Spirulina platensis* powder on the microflora of yoghurt and acidophilus milk. *Mljekarstvo*, 60 (4): 237-243.

**Güldaş, M. 2017.** *Spirulina platensis* as food supplement and its health benefits. III. International Conference on Food Chemistry and Technology, Baltimore, USA, November 02-04.

**Güneş, S. 2009.** *Spirulina Platensis* Katkılı Cilt Kremlerinin Geliştirilmesi ve Hücre Kültürleri Üzerinde Etkilerinin İncelenmesi. *Yüksek Lisans Bitirme Tezi*, Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.

**Henrikson, R. 1994.** Microalga *Spirulina-Superlimento del futuro*, Barcelona Urano D.L., Spanish, 220 pp.

**Henrikson, R. 2010.** Algae in Historical Legends:Spirulina - World Food: How this micro algae can transform your health and our planet., Ed: Henrikson, R., England, pp: 1-6.

**Herrero, M., Martin-Alvarez, P.J., Javier Senorans, F., Cifuentes, A., Ibanez, E. 2005.** Optimization of Accelerated Solvent Extraction of Antioxidant From *Spirulina platensis* microalga. *Food Chemistry*, 93 (3): 417-423.

**Hirata, T., Tanaka, M., Ooike, M., Tsunomura, T., Sakaguchi, M. 2000.** Antioxidant activities of phycocyanobilin prepared from *Spirulina platensis*. *Journal of Applied Phycology*, 12 (3-5): 435-439.

**Huang, Z., Guo, B.J., Wong, R.N.S., Jiang, Y. 2007.** Characterization and antioxidant activity of selenium-containing phycocyanin isolated from *Spirulina platensis*. *Food Chemistry*, 100 (3): 1137-1143.

**Jenner, A.M., Rafter, J., Halliwell, B. 2005.** Human fecal water content of phenolics: the extent of colonic exposure to aromatic compounds. *Free Radical Biology and Medicine*, 38 (6): 763-772.

**Kasal, G.L. 2006.** Endüstriyel Ölçekli *Spirulina* Üretimi. *Yüksek Lisans Bitirme Tezi*, Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.

**Kendirli, K. 2010.** *Spirulina* Kültürlerinde Besin Elementlerinin Farklı Oranlarda Kullanımının Kurumadde, Protein Ve Klorofil-A Düzeyine Etkisi. *Yüksek Lisans Bitirme Tezi*, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.

**Khosravi-Darani, K., Gholami, Z., Gouveia, L. 2017.** Effect of *Arthrospira platensis* on the Shelf Life, Sensorial and Rheological Properties of Strudel. *Romanian Biotechnological Letters*, 22 (1): 12250-12258.

- Kılıç, C., Göksan, T., Ak, İ., Gökpinar, Ş. 2006.** İki Farklı *Spirulina platensis* Suşunun Büyüme Özelliklerinin Karşılaştırılması, *E.Ü. Su Ürünleri Dergisi*, 23(1): 189-192.
- Koru, E. 2012.** Chapter 13, Earth Food *Spirulina (Arthrospira)*: Production and Quality Standarts: . Ed: El-Samragy, Y., Croatia, pp: 191-202.
- Layam, A., Reddy, C.L.K. 2007.** Antidiabetic property of *Spirulina*. *Diabetologia Croatica*, 35 (2): 29-33.
- Li, D.M., Qi, Y.Z. 1997.** *Spirulina* Industry in China: Present status and future prospects. *Journal of applied Phycology*, 9 (1): 25-28.
- Lupatini, L.A., Colla, L.M., Canan, C., Colla, E. 2016.** Potential application of microalga *Spirulina platensis* as a protein source. *Journal of Science of Food and Agriculture*, 97 (3): 724–732.
- Batello, C., Marzot, M., Toure, A. H. 2004.** The Future Is An Ancient Lake. FAO, Rome, Italy, 307 pp.
- Mazinani, S., Fadaei, V., Khosravi-Darani, K. 2015.** Impact of *Spirulina platensis* on Physicochemical Properties and Viability of *Lactobacillus Acidophilus* of Probiotic uf Feta Cheese. *Journal of Food Processing and Preservation*, 40 (2016): 1318-1324.
- Miranda, M.S., Cintra, R.G., Barros, S.B.M., Mancini-Filho, J. 1998.** Antioxidant activity of the microalga *Spirulina maxima*. *Brazilian Journal of Medical and Biological Research*, 31 (8): 1075-1079.
- Nalimova, A.A., Popova, V.V., Tsoglin, L.N., Pronina, N.A. 2005.** The Effects of copper and zinc on *Spirulina platensis* growth and heavy metal accumulation in its cells, *Russian Journal Of Plant Physiology*, 52 (2): 259-265.
- Okkıran, P. 2009.** Krom ve Kurşun Birikiminin *Spirulina* Sp.'de Büyüme Hızı, Pigment ve Şeker Miktarına Etkileri. *Yüksek Lisans Bitirme Tezi*, Gaziantep Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gaziantep.
- Okuyama, H., Tominaga, A., Fukuoka, S., Taguchi, T., Kusumoto, Y., Ono, S. 2017.** *Spirulina* lipopolysaccharides inhibit tumor growth in a toll-like receptor 4-dependent manner by altering the cytokine milieu from interleukin-17/interleukin-23 to interferon- $\gamma$ . *Oncology Reports*, 37: 684-694.
- Ortega, M. 1972.** Study of the Edible Algae of the Velly of Mexico. *Botanica Marina*, 15 (3): 162-166.
- Perello, F. M. P. 2016.** *In vitro* digestion behavior of complex formulations for clinical nutrition applications based on model systems. *Master's Thesis*, Universitat De Les Illes Balears.

**Porrini, M., Riso, P. 2008.** Factors influencing the bioavailability of antioxidants in foods: A critical appraisal. *Nutrition, Metabolism and Cardiovascular Diseases*, 18 (10): 647-650.

**Prior, R. L., Wu, X., Schaich, K. 2005.** Standardized methods for the determination of antioxidant capacity and phenolics in foods and dietary supplements. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53 (10): 4290-4302.

**Rafiqul, I.M., Jalal, K.C.A., Alam, M.Z. 2005.** Environmental Factors For Optimisation of Spirulina Biomass in Laboratory Culture. *Biotechnology*, 4 (1): 19-22.

**Richmond, A. 1992.** Open systems for the mass production of photoautotrophic microalgae outdoors: physiological principles. *Journal of Applied Phycology*, 4 (3): 281-86.

**Richmond, A. 1988.** Micro-algal Biotechnology, Spirulina. Cambridge University press, England, 103 pp.

**Richmond, A. 2004.** Biological Principles of Mass Cultivation: Handbook of Microalgal Culture: Biotechnology and Applied Phycology. Ed: Richmond A., Blackwell Publishing Company, USA, pp: 125-177.

**Sanchez-Moreno, C. 2002.** Review: Methods Used to Evaluate The Free Radical Scavenging Activity in Foods and Biological Systems. *Food Science and Technology International*, 8(3): 121-137.

**Seshadri, C.V., Umesh, V. 1993.** *Spirulina*, ETNA National Symposium. Murugappa Chettiar Research Center (MCRC), Madras, India, pp: 76-82.

**Seyidoğlu, N. 2015.** Tavşanlarda *Spirulina platensis* ve canlı maya kültürü *Saccharomyces cerevisiae*'nin bağışıklık sistemi ve büyüme performansı üzerine etkisi. Doktora Tezi, Bursa Uludağ Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü Ana Bilim Dalı, Bursa.

**Shabana, E. F., Gabr, M. A., Moussa, H. R., El-Shaer, E. A., Ismaiel, M. M. S. 2016.** Biochemical composition and antioxidant activities of *Arthrospira (Spirulina) platensis* in response to gamma irradiation. *Food Chemistry*, 214 (2017): 550-555.

**Shahidi, F., Naczk, M. 1995.** Food Phenolics: Sources, Chemistry, Effects, Applications. Technomic Publishing Company, Inc.: Lancaster, PA, 331 pp.

**Shalaby, E.A., Shanab, S.M.M. 2013.** Comparison of DPPH and ABTS Assays for Determining Antioxidant Potential of Water and Methanol Extracts of *Spirulina platensis*. *Indian Journal of Geo-Marine Sciences*, 42 (5): 556-564.

**Solisio, C., Lodi, A., Soletto, D., Converti, A. 2008.** Cadmium biosorption on *Spirulina platensis* biomass. *Bioresource Technology*, 99 (13): 5933-5937.



**Spolaore P., Joannis-Cassan C., Duran E., Isambert A. 2006.** Commercial applications of microalgae. *Journal of Bioscience and Bioengineering*, 101 (2): 87–96.

**Şeker, A., Shahwan, T., Eroğlu, A. E., Yılmaz, S., Demirel, Z., Conk-Dalay, M. 2008.** Equilibrium, thermodynamic and kinetic studies for the biosorption of aqueous lead(II), cadmium(II) and nickel(II) ions on *Spirulina platensis*. *Journal of Hazardous Materials*, 154 (1-3): 973–980.

**Tietze, H.W. 2004.** Micro Food Macro Blessing, Fourth Ed., Australia, 78 pp.

**Vitali, D., Dragojević, I.V., Šebečić, B. 2009.** Effects of incorporation of integral raw materials and dietary fibre on the selected nutritional and functional properties of biscuits. *Food Chemistry*, 114 (4): 1462-1469.

**Vonshak, A. 1997.** Outdoor Mass Production of *Spirulina*: The Basic Concept: *Spirulina platensis* (Arthrospira) Physiology, Cell- Biology and Biotechnology. Ed: Vonshak A., Taylor&Francis Ltd., UK, pp: 79-99.

**Wang, Y., Chang, C.F., Chou, J., Chen, H.L., Deng, X., Harvey, B.K., Cadet, J.L., Bickford, P.C. 2005.** Dietary supplementation with blueberries, spinach, or *Spirulina* reduces ischemic brain damage. *Experimental Neurology*, 193 (2005): 75-84.

**Zainoddin, H. A. H., Hamzah, A., Jamari, Z., Omar, W. A. W. 2018.** Chemical Profiles of Methanolic Extracts from Two Species of Microalgae, *Nannochloropsis* sp. and *Spirulina* sp. *Pertanika Journal of Tropical Agricultural Science*, 41 (3): 1085-1096.

**Zhou, Z.P., Liu, L.N., Chen, X.L., Wang, J.X., Chen, M., Zhang, Y.Z., Zhou, B.C. 2005.** Factors that effect antioxidant activity of C-phycoyanins from *Spirulina platensis*. *Journal of Food Biochemistry*, 29 (2005): 313-322.

## ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Ceren ŞEN GENÇ  
Doğum Yeri ve Tarihi : Balıkesir, 09.09.1991  
Yabancı Dil : İngilizce

Eğitim Durumu  
Lise : Balıkesir Gönen Anadolu Lisesi, 2009  
Lisans : Ege Üniversitesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, 2014  
Yüksek Lisans : Bursa Uludağ Üniversitesi, Gıda Mühendisliği, 2019

Çalıştığı Kurum/Kurumlar : Bursa Uludağ Üniversitesi Tıp Fakültesi Yemek Şirketi  
(07.2015-07.2018)

İletişim (e-posta) : cerensen91@gmail.com