

Review Article/Derleme Makale

# Alternatif ve sürdürülebilir bir gıda kaynağı olarak algler

*“Algae as an alternative and sustainable food source”*

Derya Deniz Şirinyıldız  <sup>1\*</sup>

Aslı Yorulmaz  <sup>2</sup>

1 Aydın Adnan Menderes Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği, Türkiye

2 Aydın Adnan Menderes Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği, Türkiye

## Article info

### Anahtar Kelimeler:

Alg, alg yağı, fonksiyonel gıda, sürdürülebilir gıda,  $\omega$ -3 yağ asidi.

### Keywords:

Algae, algal oil, functional food, sustainable food,  $\omega$ -3 fatty acid.

Received: 15.09.2022

Accepted: 08.11.2022

E-ISSN: 2979-9511

DOI: 10.58625/jfng-1935

Şirinyıldız ve diğ.; Alternatif ve sürdürülebilir bir gıda kaynağı olarak algler

Available online at <https://jfng.toros.edu.tr>

### Corresponding author:

\*Derya Deniz Şirinyıldız, [derya7deniz@hotmail.com](mailto:derya7deniz@hotmail.com)

## ÖZET

Algler; güneş ışığı, su ve karbondioksiti biyokütleyle dönüştürebilen hücre fabrikaları olarak bilinirler. Yaygın olarak büyüklüklerine göre sınıflandırılan algler (mikroalgler ve makroalgler), çok fazla çeşitlilik gösterebilen heterojen organizma gruplarıdır. Algler türe, yetiştiği bölge, mevsim, hasat şekli, depolama koşulları ve gıda işleme tekniklerine bağlı olarak değişiklik göstermek ile birlikte, yapılarında yüksek miktarda lipit (%20-80), protein (%39-71) ve diyet lifi içermektedir. Ayrıca sterol, vitamin, pigment,  $\alpha$ -tokoferol,  $\beta$ -karoten, glutatyon, askorbik asit, flavonoidler, hidrokinonlar, fikosiyeninler, prolin, fenolik bileşikler, poliaminler ve özellikle çoklu doymamış yağ asitleri ( $\omega$ -3 yağ asitleri) içerikleri nedeniyle iyi bir besin kaynağı olarak kabul edilmekte ve fonksiyonel gıda üretiminde kullanılmaktadır. Alglerin barındırdıkları bu değerli biyoaktif bileşenler sayesinde antioksidan, antimikrobiyal, antiinflamatuvar ve antikarsinojen etkiye sahip oldukları düşünülmektedir. Uzun yıllardır insan diyetinin bir parçası olarak olan alglerin tüketiminin en fazla görüldüğü ülke Japonya'dır. Alg üretimi konusunda ise Çin ve Endonezya önderlik etmektedir. Algler, gıda olarak kullanımının yanı sıra, gıda takviyesi üretiminde, hayvan yemi olarak, kozmetik ve ilaç endüstrisinde, biyoenerji ve biyoyakıt üretimi sırasında hammadde olarak tercih edilmektedir. Algler azot sabitleyici biyogübreler olarak kullanımlarının



This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License.

yanı sıra, aynı zamanda sera gazı emisyonunun azaltılması ve biyolojik iyileştirme uygulamalarında kullanılmaktadır. Bu çalışmada alglerin bileşimi, özellikleri, sınıflandırılmaları, üretimi ve hasatı, ayrıca alg yağı hakkında bilgi verilmiştir. Çalışmanın amacı sürdürülebilir, alternatif, yenilikçi ve daha iyi değerlendirilme potansiyeli oldukça yüksek olan bir kaynağa dikkat çekmek, özellikle bir  $\omega$ -3 kaynağı olarak alglerin tanıtılması ve alg kullanımı ile zenginleştirilmiş gıdaların takviye edici olarak insan diyetinde yer alması konusunda bilgi sunmaktır.

## ABSTRACT

Algae are known as cell factories that can convert sunlight, water and carbon dioxide into biomass. Algae, commonly classified by their size (microalgae and macroalgae), are heterogeneous groups of organisms that can vary greatly. Algae contain high amounts of lipid (20-80%), protein (39-71%) and dietary fiber depending on species, the region where it grows, the season, the way of harvesting, storage conditions and food processing techniques. Moreover, due to their there are sterol, vitamin, pigment,  $\alpha$ -tocopherol,  $\beta$ -carotene, glutathione, ascorbic acid, flavonoids, hydroquinones, phycocyanins, proline, phenolic compounds, polyamines and polyunsaturated fatty acids ( $\omega$ -3 fatty acids) contents, they are considered as good food sources and are used in the production of functional food. Thanks to these valuable bioactive components, algae are thought to have antioxidant, antimicrobial, anti-inflammatory and anticarcinogenic effects. The country with the highest consumption of algae, which is a part of the human diet for many years, is Japan. China and Indonesia lead the way in algae production. In addition to its use as food, algae is preferred as a raw material in the production of food supplements, animal feed, in the cosmetics and pharmaceutical industries, and in the production of bioenergy and biofuels. Algae are also used in greenhouse gas emission reduction and biological remediation applications, as well as their usage as nitrogen-fixing biofertilizers. In this study; information about the composition, properties, classification, production and harvesting of algae as well as algal oil is given. The aim of the study is to draw attention to a resource that is sustainable, alternative, innovative and has a high potential for better evaluation and to provide information about the introduction of algae as a source of  $\omega$ -3 and the inclusion of foods enriched with the use of algae in the human diet as supplements.

## GİRİŞ

Algler, güneş ışığını da kullanarak karbondioksiti potansiyel biyoyakıtlara, gıdalara, yemlere ve yüksek değerli biyoaktif maddelere dönüştüren hücre fabrikalarıdır (Paul Abishek vd., 2014). Mikroalgler, yapılarında kuru maddede yüksek miktarda lipit (%20-80), protein (%39-71) ve diyet lifi (bazı türlerde %74.6'ya kadar ulaşmış) içerirler. Sahip oldukları karotenoid, karbonhidrat, sterol, vitamin, pigment, çoklu doymamış yağ asitleri (ÇDYA), özellikle  $\omega$ -3 nedeniyle ek bir besin kaynağı olarak kabul edilirler (Balasubramanian vd., 2011; Akyıl vd., 2016). Ayrıca mikroalgler, içermiş oldukları  $\alpha$ -tokoferol,  $\beta$ -karoten, glutatyon, askorbik asit, flavonoidler, hidrokinnonlar, fikosiyantinler, prolin, fenolik bileşikler ve poliaminler gibi bileşikler sayesinde yüksek antioksidan etkiye sahiptirler (Yılmaz, 2019).

Alglerin, arkeolojik kanıtlara dayanarak binlerce yıldır insan diyetinin bir parçası olduğu söylenebilir. Makroalgelere ek olarak, bazı mikroalglerin de gıdalar ve gıda katkı maddeleri için yetiştirildiği belirtilmiştir. Sadece Çin ve Endonezya, alg üretiminin %95'ini karşılamaktadırlar. Bir gıda maddesi olarak alglerin tüketimi en fazla Japonya'da görülmektedir. 2010 ile 2014 yılları arasında alg tüketimi "9.6-11 g/günlük tüketilen makroalg" aralığında değişim göstermiştir. Alg türü, yetiştirildiği bölge, mevsim, hasat, depolama ve gıda işleme tekniklerine göre değişiklik göstermektedir (Wells vd., 2017).

Balık yağları ÇDYA'nın ana kaynağı olarak bilinse de, aslında balıklar bu yağ asitlerini üretmezler, dışarıdan mikroalg tüketerek bünyelerine alırlar. Ayrıca balık yağı gıda takviyesi olarak arzu edilmeyen kokusu ve tadı nedeniyle sınırlı tüketildiğinden, alg yağları alternatif  $\omega$  yağ asitleri kaynağı (özellikle  $\omega$ -3 yağ asitleri) olarak fonksiyonel gıdaların üretiminde tercih edilmektedir (Akyıl vd., 2016). ÇDYA, koroner kalp hastalığını önleme, iltihabı hafifletme, hiperlipidemi ve hipertansiyonu iyileştirme gibi beslenme ve sağlığı geliştirici etkilere sahip olduğundan, bu yağlar ticari olarak giderek daha fazla önem kazanmaktadır (Cebi vd., 2017). Fakat, gıdalardaki lipitlerin yüksek doymamışlık derecesi, daha hızlı oksidasyon reaksiyonları anlamına gelmek-

tedir. Özellikle, alg yağı ile zenginleştirilmiş gıdalarda, lipit oksidasyonuna karşı korunma ve hoş olmayan balık kokularının maskelenmesi büyük bir zorluktur. ÇDYA'nın oksidatif stabilitesinin düşük olması, bu yağ asitlerinin gıdalarda kullanımını sınırlandırır ve bu yağları oksidasyondan korumak için farklı strateji ve teknikler geliştirilmesini gerekli kılmaktadır (De Ciriano vd., 2010).

Algler, gıda (hem insan hem de hayvan beslenmesi), kozmetik ve ilaç endüstrilerini destekleyen çok sayıda ürünün değerli bir kaynağı niteliğindedir (Mercer ve Armenta, 2011). Mikroalgler, verimli güneş enerjisi dönüştürücüleri olduğundan çok çeşitli metabolitler üretebilirler. Biyoenerji üretimi (biyometan, biyohidrojen, biyoetanol) veya biyoyakıt üretimi (biyodizel) ve CO<sub>2</sub> konsantrasyonunu düşürmek için kombine uygulamalarda kullanılabilirler (Demirbas ve Demirbas, 2011). Ayrıca bu fotosentetik mikroorganizmalardan biyolojik iyileştirme uygulamalarında ve azot sabitleyici biyogübreler olarak faydalanılmaktadır (Paul Abishek vd., 2014).

Mikroalglerin bir yakıt kaynağı olarak kullanılması fikri yeni değildir, ancak petrolün artan fiyatı ve daha da önemlisi, fosil yakıtlarla ilişkili küresel ısınma ve sera etkisi ile ilgili ortaya çıkan sorunlar sebebiyle ciddi bir şekilde gündeme alınmaktadır (Paul Abishek vd., 2014). Algler sayesinde, kömür yakıtlı enerji santrallerinden ve diğer karbon yoğun endüstriyel işlemlerden kaynaklanan sera gazı emisyonunun azaltılması amaçlanmaktadır (Demirbas ve Demirbas, 2011).

Alg türevi gıdaların tüketimi, bileşimleri ve potansiyel besin değerleri nedeniyle sağlık açısından faydalı olduğu düşünülmektedir, ancak bu faydaların ve olası yan etkilerin ölçülmesi devam etmektedir. Alg kaynaklı gıdaların, insan metabolizmasında nasıl etkiler yarattığı ayrıntılı şekilde araştırılmalıdır (Wells vd., 2017).

Bu çalışma kapsamında, alglerin bileşimi ve özellikleri, sınıflandırılmaları, alg kültürlerinin üretimi ve hasatı, toplanan biyokütlerden yağ eldesi, ayrıca alg yağının özellikleri ve kullanım alanları hakkında bilgi verilmiştir.

## 1. ALGLER

Algler; güneş ışığı, su ve karbondioksiti biyokütleyle dönüştürebilen, tuzlu veya tatlı su ortamlarında yaşayan fotosentetik mikroorganizmalardır. Gerçek birer minyatür biyokimyasal fabrika gibi çalışırlar (Demirbas ve Demirbas, 2011) ve birçok gıda ağının hayati parçalarıdır (Abubakar vd., 2012).

### 1.1. Alglerin Sınıflandırılması

Algler, yaygın olarak büyüklüklerine göre mikroalg (fitoplankton) ve makroalg (deniz yosunu-ipliksi algler) olarak sınıflandırılmış heterojen bir organizma grubudur (Abubakar vd., 2012; Leal vd., 2013). Özellikle fitoplanktonlar, yüksek üretkenlik gösterirler ve hızla büyüyebilirler. Daha yüksek yapılı bitkiler gibi davranarak, triaçilgiserol formunda lipit depolarlar. Kuru kütlelerinin %20-80'i kadar lipit içerebilirler. Bu oran çoğu zaman kuru biyokütlerinin %60'ından daha fazla miktarlarda gözlenmektedir (Demirbas ve Demirbas, 2011; Schlagermann vd., 2012).

Ayrıca alglerin; diatomlar, yeşil algler, mavi-yeşil algler ve altın algler olmak üzere dört ana gruba ayrılarak incelendiği kaynaklarda mevcuttur (Demirbas ve Demirbas, 2011; Schlagermann vd., 2012). Algler, diğer deniz ve tatlı su bitkilerine göre çok daha fazla çeşitlilik göstermektedirler (Abubakar vd., 2012).

#### *Mikroalgler*

Mikroalgler, tek hücreli ve basit çok hücreli mikroorganizmaları kapsar (Paul Abishek vd., 2014). En önemli üç mikroalg sınıfı; diatomlar (*Bacillariophyceae*), yeşil algler (*Chlorophyceae*) ve altın algler (*Chrysophyceae*) olarak belirtilebilir. Özellikle diatomlar, fitoplanktondaki baskın yaşam biçimidir ve muhtemelen dünyadaki en büyük biyokütle grubunu temsil ederler. Sadece diatomlar için bile 100 000'den fazla türün olduğu tahmin edilmektedir (Demirbas ve Demirbas, 2011).

Ayrıca mikroalgler, prokaryotik ve ökaryotik mikroalgler olarak da sınıflandırılabilir. Prokaryotik mikroalgere, siyanobakteriler (*Chloroxybacteria*); ökaryotik mikroalgere ise yeşil algler (*Chlorophyta*) ve diatomlar (*Bacillariophuta*) örnek olarak verilebilir (Paul Abishek vd., 2014).

Mikroalgler, özellikle deniz kültüründe yaşayan canlılar için besin kaynağı olarak önemli bir role sahiptirler (Volkman vd., 1989).

Çoğunlukla mikroskopik boyutlarda olan bu organizmalar, karbondioksit varlığında hızla büyüyebilirler (Demirbas ve Demirbas, 2011; Paul Abishek vd., 2014). Biyokütlenin kuru ağırlığının %20-50'si kadar yağ içerebilirler. Ekili olmayan arazide, tuzlu su varlığında çoğalabildikleri gibi, atık sularda da görülebilirler ve tüm yıl boyunca bu alglerin üretiminin yapılması mümkündür (Paul Abishek vd., 2014).

Mikroalglerden elde edilen hektar başına yağ verimi; soya fasulyesi, palm, hindistancevizi veya ayçiçeği gibi hammaddelerden elde edilen yağ verimini büyük ölçüde aşmaktadır (Paul Abishek vd., 2014). Mikroalglerin bitkilere göre diğer bir avantajları ise, metabolik esneklikleridir. Bu durum, biyokütlenin biyokimyasal bileşimindeki (lipit, karbonhidrat veya protein) bir varyasyonun, yetiştirme koşullarının değiştirilmesiyle düzenlenebileceği anlamına gelir. Ayrıca, tüm yıl boyunca gerçekleştirilen aşılama, bakım, hasat ve benzeri işlemler tarım uygulamalarına göre çok daha fazla mümkün olmaktadır (Abubakar vd., 2012; Schlagermann vd., 2012; Paul Abishek vd., 2014).

### Makroalgler

Makroalgler, tuzlu veya tatlı suda büyüyen çok hücreli bitkilerdir (Demirbas ve Demirbas, 2011). Yosun olarak da bilinen makroalgler, karmaşık ve dinamik bir sınıflandırma sergilemektedir. Makroalgler pigmentasyonlarına göre, kahverengi algler (*Phaeophyceae*), yeşil algler (*Chlorophyceae*) ve kırmızı algler (*Rhodophyceae*) olarak sınıflara ayrılırlar (Demirbas ve Demirbas, 2011; Leal vd., 2013). Özellikle kahverengi algler, ılıman bölgelerdeki denizlerde önemli miktarda bulunurlar. Bu alglerin gıda, ilaç ve kozmetik endüstrilerinde uygulama alanları mevcuttur (Pereira vd., 2017).

### 1.2. Alglerin Bileşimi

Algler glikoz, nişasta, selüloz/hemiselüloz ve çeşitli polisakkarit türlerini içermektedirler. Kırmızı alglerin ana polisakkarit bileşeni karragenan ve agar iken, kahverengi makroalglerde bulunan

başlıca polisakkaritler gluklan, mannitol ve alginatdır. Alg bileşiminde yer alan bu karbonhidratlar çeşitli gıda ürünlerinde emülgatör, jelleştirici ajan ve stabilizatör olarak kullanılmaktadırlar (Draget vd., 2005).

Protein içeriği, alg grupları arasında büyük farklılıklar sergilemektedir. Protein içeriğindeki bu farklılıklar, mevsimsel ve çevresel koşullardan ziyade, daha çok alglerin türünden etkilenmektedir. Bir ipliksi siyanobakteri olan *Arthrospira platensis* ve tek hücreli yeşil alg *Chlorella*'nın çeşitli ticari türleri kuru ağırlıklarının %70'i kadar protein içerebilirler. Ayrıca bu mikroalgler tüm elzem aminoasitleri de içeren bir profile sahiptirler (Akyıl vd., 2016). Yüksek protein içeriği dışında; vitamin, mineral ve birçok aktif biyolojik maddeyi bünyesinde barındıran *Arthrospira platensis* hücre duvarının %86 sindirilebilirliğe sahip olması ve insan vücudu tarafından kolayca absorbe edilebilen polisakaritlerden oluşması nedeni ile gıdalarda diyet takviyesi olarak kullanılmaktadır. Ayrıca akvaryum balıkları, kümes hayvanları endüstrisi ve su ürünleri yetiştiriciliği sırasında da tercih edilmektedir (Akyıl vd., 2016).

Makroalgler arasında yer alan kırmızı ve yeşil algler: *Porphyra* türleri (laver), *Pyropia* türleri (nori), *Palmaria palmata* (dulce), *Ulva* türleri (deniz marulu) de proteince zengindirler. Her tür için farklılık göstermek ile birlikte, alglerde en fazla yer alan aminoasitler arasında taurin, glutamik asit ve aspartik asit sayılabilir (Wells vd., 2017). Ayrıca *Anabeana* türleri, *Chlorella vulgaris*, *Chlorella pyrenoidosa*, *Dunaliella* ve *Euglena* türleri ve *Scenedesmus obliquus* yüksek protein içeriğine sahip olarak bilinen diğer alg türleri arasında sayılmaktadır (Becker, 2007).

Mikroalglerin bileşiminde yer alan ÇDYA, sağlık üzerine faydası olan önemli biyoaktif bileşenlerdendir. ÇDYA içerisinde bulunan özellikle  $\omega$ -3 ve  $\omega$ -6, elzem yağ asitleri olup insan vücudunda sentezlenemediklerinden mutlaka diyetten dışarıdan alınmaları gerekmektedir (Akyıl vd., 2016). Özellikle  $\omega$ -3 tüketiminin nöral ve görsel gelişim, kalp hastalığı, hipertansiyon, kanser, diyabet, kistik fibroz, astım, artrit, depresyon, şizofreni ve dikkat eksikliği gibi hastalıkların önlenmesi üzerinde yararlı etkileri olduğu düşünülmekte-

dir (Takahata vd., 1998; Kris-Etherton vd., 2002; Chee vd., 2005).

Algler, beslenmede bir hayli öneme sahip  $\omega$ -3 yağ asitleri bakımından oldukça zengindirler (Pereira vd., 2017). Genellikle, öncelikli  $\omega$ -3 kaynağı olarak balıklar akla gelmektedir. Fakat balıkların uzun zincirli ÇDYA'yı sentezleyememeleri, zamanla biyolojik çeşitliliklerinin azalması, sık tüketimlerinin karaciğerde civa birikimi riski oluşturması ve balık yağındaki  $\omega$ -3 yağ asitlerinin istenmeyen lezzet, koku, stabilite sorunları yaratması besin takviyesi ve gıda katkı maddesi olarak balık yağı kullanımını sınırlamaktadır. Bu nedenle, algler iyi bir alternatif  $\omega$ -3 yağ asitleri kaynağıdır (Lenihan-Geels vd., 2013; Cebi vd., 2017). Alg yağları, yüksek  $\omega$ -3 yağ asidi içeriğinin yanı sıra, doğaya zarar vermemesi nedeni ile de özellikle fonksiyonel gıdaların üretimi sırasında tercih edilmektedir. Fakat bu kadar yüksek ÇDYA içeriğine sahip bir yağ kolayca oksidasyona uğrayabilir, bu durum da yağın stabilitesinin ve kalitesinin kolayca bozulması anlamına gelmektedir (Hu vd., 2004).

Makroalglerde baskın yağ asitlerini  $\alpha$ -linolenik asit (ALA) ve dokosaheksaenoik asit (DHA) oluştururken, özellikle kırmızı alglerde baskın yağ asidi eikosapentaenoik asit (EPA)'tir. Mikroalgler de; zooplanktonlar, balık ve diğer çok hücreli organizmalar için DHA ve EPA'nın birincil kaynakları olarak sayılabilirler (Wells vd., 2017).  $\gamma$ -linoleik asit (GLA) ve araşidonik asit (ARA) gibi özel yağ asitleri de alg yağlarının bileşiminde yer almaktadır. *Amphidinium* türleri, *Cryptocodinium cohnii*, *Prorocentrum triestinum*, *Schizochytrium* türleri yapılarında DHA sentezleyebilirken, *Porphyridium cruentum* yapısında yüksek miktarda EPA yer almaktadır (Bellou ve Aggelis, 2013; Akyıl vd., 2016). Ayrıca *Chrysophyceae* (yeşil alg), *Crypthecodinium* ve *Gyrodinium* türleri de iyi birer EPA ve DHA kaynaklarıdır (Makri vd., 2011). *Arthrospira* türleri ve *Porphyridium cruentum* de sırasıyla GLA ve ARA kaynağı olarak belirtilmiştir (Akyıl vd., 2016). Arterburn vd. (2008) tarafından yapılan ve gıda takviyelerinin doğal gıda kaynakları ile eşdeğer olup olmadığı sorgulandığı çalışmada, 20 ile 65 yaş arası 32 sağlıklı erkek ve kadına alg yağı kapsülleri ve pişmiş somon (600 mg DHA/gün olacak şekilde) verilmiş-

tir. 2 haftalık çalışma süresi sonunda, kişilerin plazma fosfolipitleri ve eritrosit DHA seviyeleri belirlenmiştir. DHA seviyeleri her iki grupta da plazma fosfolipitlerinde %80, eritrositlerde %25 artmıştır. Plazma fosfolipitleri ve eritrositlerde meydana gelen DHA düzeylerindeki değişiklikler gruplar arasında benzerlik göstermiştir. Bu sonuçlar, alg yağı DHA kapsüllerinin ve pişmiş somonun plazmaya DHA sağlamada biyo eşdeğer olduğunu göstermiştir. Graeve vd. (2002) tarafından yapılan çalışmada, Antarktika Yarımadası'nda 6 Arktik ve 14 Antarktik makroalg türünün (*Rhodophyta*, *Phaeophyta* ve *Chlorophyta*) yağ asidi bileşimleri incelenmiştir. Makroalglerde, en fazla bulunan yağ asitleri EPA ve palmitik asit olarak belirlenmiştir. Arktik *Palmaria palmata* ve Antarktik *Audouinella purpurea*, çok yüksek oranlarda EPA (sırasıyla %67.3 ve %60.3) ile karakterize edilirken, bu türlerde ayrıca palmitoleik ve araşidonik asit varlığı da saptanmıştır. *Phycodrys rubens* ve *Delesseria lancifolia*'da sırasıyla %35.3 ve %31.1 oranlarında baskın yağ asidi olarak araşidonik asit tespit edilmiştir. *Ptilota gunneri* ve *Rhodymenia subantarktika*'da palmitoleik asit içeriği sırasıyla %39.9 ve %32.7'dir. *Phaeophyta*'da baskın yağ asidi olarak ise palmitik asit bildirilmiştir. *Desmarestia muelleri*'de nadir görülen tekli doymamış yağ asidi palmitoleik asit (%11.1) yüksek miktarda bulunmuştur. Arktik *Prasiola crispa* ve Antarktika *Lambiya antarktika*'sında, baskın ÇDYA linolenik ve linoleik asittir. *Rhodophyta*'da yüksek miktarda EPA tespit edilirken, *Chlorophyta*'da yüksek yapılı bitkilerde görülen stearik asit varlığı gözlenmiştir. Bu çalışma makroalg türleri arasında yağ asidi bileşimi açısından farklılıkları ortaya koymuştur. Van Ginneken vd. (2011) tarafından yapılan çalışmada; iltihaplanma, kardiyovasküler hastalıklar ve zihinsel bozuklukların önlenmesi ile ilişkili olarak makroalgler (*Ulva lactuca*, *Chondrus crispus*, *Laminaria hyperborea*, *Fucus serratus*, *Undaria pinnatifida*, *Palmaria palmata*, *Ascophyllum nodosum*, *Caulerpa taxifolia*, *Sargassum*) araştırılmıştır. Örneklerde  $\omega$ -3 ve  $\omega$ -6, 2-14 mg/g kuru madde (KM) aralığında hesaplanırken, toplam lipid içeriği 7-45 mg/g KM arasında değişim göstermiştir. n-6/n-3 oranı 0.05-2.75 aralığında (çoğu durumda 1'in altında) hesaplanmıştır. Özellikle *P. palmata* ve *S. natans* sırasıyla yüksek miktarda EPA ve DHA içermektedir. Çalışma sonucunda,

deniz makroalgleri ÇDYA için iyi, dayanıklı ve neredeyse tükenmez bir kaynak olarak bildirilmiştir. Schmid vd. (2014) tarafından yapılan çalışmada, farklı mevsimlerde İrlanda Batı Sahili'nden hasat edilen 16 farklı makroalg türünün (dokuz *Phaeophyceae*, beş *Rhodophyta* ve iki *Chlorophyta*) yağ asidi bileşimi araştırılmıştır. Baskın yağ asitleri; palmitik, oleik,  $\alpha$ -linolenik, araşidonik asit ve EPA olarak belirlenmiştir. Yağ asidi profilleri alg grupları arasında ve içinde oldukça değişkenlik göstermiştir. İncelenen çoğu  $\omega$ -3 açısından zengin tür 1'e yakın n-6/n-3 oranına sahiptir, bu da insan sağlığı açısından faydalı oldukları şeklinde yorumlanmıştır. Ayrıca bu çalışmada, farklı mevsimlerde hasat edilen algler arasında, toplam yağ asidi ve EPA içeriğinde, önemli farklılıklar gözlenmiştir. Yılın her iki zamanında da *Palmaria palmata*, araştırılan tüm türler arasında kuru ağırlığın %0.44-0.58'i oranında değişen seviyelerle EPA içerdiğinden, umut verici bir kaynak olarak tanımlanmıştır. Gubelit vd. (2015) tarafından yapılan çalışmada, *Cladophora glomerata* ve *Ulva intestinalis* incelenmiştir. Bu iki makroalgden elde edilen yağın, yağ asidi bileşimleri incelendiğinde, esansiyel ÇDYA seviyeleri dahil önemli ölçüde farklılıklar saptanmıştır. *C. glomerata*'nın biyokütlesinde nispeten yüksek (4.14 mg/g KM) bir EPA içeriği tespit edilmiştir. *U. intestinalis*'in EPA içeriği (0.45 mg/g KM) daha düşüktür. McCauley vd. (2015) tarafından yapılan çalışmada ise, altı farklı Avustralya deniz makroalginin ÇDYA'ları incelenmiştir. Tüm örneklerde baskın yağ asidi, palmitik asit olarak saptanmıştır. Diğer doymuş yağ asitleri kaprik asit, miristik asit, stearik asit ve araşidik asit olarak bildirilmiştir. Çalışma sırasında 31 farklı yağ asidi tanımlanmıştır. Altı türün hepsinde çok farklı n-6/n-3 oranları bulgulanmış ve yeşil deniz yosunu *Ulva* türleri, 2 kat daha yüksek linolenik asit içerdiğinden, en düşük n-6/n-3 oranına sahiptirler. Bu çalışmada *Ulva* türleri, DHA içeren tek tür olmuştur. Altı alg türü de, inflammatuar aracı nitrik oksidin üretimini güçlü bir şekilde inhibe ettiğinden, antiinflammatuar etki göstermiştir.

Alglerin toplam sterol içeriği ve sterol bileşimi de zamanla incelenmiştir ve türlerine göre farklılık gösterdiği belirtilmiştir (Holdt ve Kraan, 2011). Geçmiş yıllarda yapılan çalışmalarda, ya-

paları benzer olduğundan algal steroller, genellikle kolesterol ile karıştırılmıştır. Fakat özellikle kırmızı ve kahverengi makroalglerde baskın sterol, fukosterol olarak belirlenmiştir (Pereira vd., 2017; Wells vd., 2017).  $\beta$ -sitosterol ise alg yağında önemli miktarda bulunan bir diğer sterol olarak bildirilmiştir (Fahy vd., 2005). Fukosteroller, diyabet ve hipertansiyon komplikasyonlarının yanı sıra diğer sağlık sorunlarının da tedavisinde önemli bir değere sahiptirler (Abdul vd., 2016). Ayrıca algler, hücre zarlarının düzenlenmesinde rol oynayan zengin bir sterol kaynağı olarak kabul edilirler (Grattan, 2013). Terapötik uygulamalar açısından düşünüldüğünde, sterollerin antiinflammatuar, antioksidan ve antikarsinojen gibi farklı biyolojik aktivitelerinden de bahsedilmiştir (Pereira vd., 2017). Fitosterollerin, vitaminler gibi bazı biyoaktif moleküllerin öncülleri olduğu, nutrasötik ve farmasötik endüstrilerde de önemli bir rol oynadığı bilinmektedir. Ayrıca algal sterollerin bağırsaktan kolesterol emilimini engelleyerek toplam ve düşük yoğunluklu lipoprotein (LDL) kolesterol seviyelerini düşürdüğü de bildirilmiştir (Francavilla vd., 2010). Pereira vd. (2017) tarafından yapılan çalışmada, Antartika'da görülen altı farklı kahverengi makroalg türünün (*Adenocystis utricularis*, *Ascoseira mirabilis*, *Cystosphaera jacquinotii*, *Desmarestia anceps*, *Desmarestia antarctica* ve *Himantothallus grandifolius*) sterol içeriği ve bileşimi incelenmiştir. Örneklerde ergosterol, brassikasterol, fukosterol,  $\beta$ -sitosterol, kampesterol, kolesterol ve stigmasterol varlığı tespit edilirken, baskın sterol fukosterol olarak bildirilmiş ve miktarı 6.60 ile 48.13 mg/kg aralığında değişim göstermiştir. Ardından en yüksek miktarda belirlenen sterol  $\beta$ -sitosterol olmuştur ve 5.29 ile 16.49 mg/kg aralığında tespit edilmiştir. Ayrıca örneklerde stigmasterol miktarı 2.69-14.84 mg/kg aralığında belirlenirken, kampesterol ise incelenen tüm örneklerde daha düşük konsantrasyonlarda tespit edilmiştir (0.07-0.15 mg/kg).

Alglerin klorofil içeriği de oldukça yüksektir. Ayrıca klorofil dışında karotenoidler ve fikobiliproteinler gibi pigmentleri de sentezlemektedirler. Karotenoidler, fotosentez sırasında ışığın absorbe edilmesinde, oksijenin toksik etkilerine karşı koruyucu olarak ve fototaksid görev yaparken, biliproteinler *Porphyridium* ve *Sp-*

*ulina* türlerinden ticari olarak elde edilmekte ve doğal renk maddesi olarak gıdalarda kullanılabilirler. Özellikle *Spirulina platensis*'den elde edilen mavi doğal pigmentin (fikosiyenin) pazarı oldukça geniştir (Demiriz, 2008).

Yapılan çalışmalar ile mikroalglerin antibakteriyel, antifungal, antiviral etkileri de doğrulanmıştır. Özellikle antimikrobiyal aktivite algin türü ve algin ekstraksiyonunda kullanılan çözücü ile ilgilidir (Özçimen, 2018). Demiriz (2008) tarafından yapılan çalışmada, uygun kültür koşullarında üretilmiş olan alg türlerinin (*Chlorella vulgaris*, *Oscillatoria limosa*, *Oscillatoria limnetica*, *Phormidium tenue*, *Spirulina major*) farklı çözümler (aseton, etanol, hekzan, metanol, n-bütanol, 0.5 M Tris-HCL pH:8.00 ) kullanarak elde edilen ekstraktlarının antibakteriyel aktiviteleri araştırılmıştır. Elde edilen ekstraktların antibakteriyel etkileri disk difüzyon yöntemi kullanılarak *Bacillus subtilis*, *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus*, *Salmonella enteritidis* bakterileri üzerinde denenmiştir. *Spirulina major*'ün incelenen algler arasında en yüksek antibakteriyel aktiviteye sahip olduğu saptanmıştır. Özçimen (2018) tarafından yapılan çalışmada, farklı mikroalg türlerinden elde edilen yağların, çeşitli mikroorganizmalara karşı *in vitro* antimikrobiyal ve/veya antifungal aktivitesi araştırılmıştır. Çalışma sırasında, dimetil sülfoksit, etanol ve metanolde, 50 ve 100 mg/mL olacak şekilde çözülen *Chlorella protothecoides* mikroalg yağının, *Botrytis cinerea* ve *Aspergillus niger* gibi fungal mikroorganizmalara karşı, antifungal etkisi incelenmiştir. Çalışmanın sonucunda, mikroalg yağının farklı çözücülerde ve farklı oranlarda hazırlanmış ekstraktlarının çalışılan patojenlere karşı antifungal aktiviteye sahip olduğu saptanmıştır. Benzer şekilde Yılmaz (2019) tarafından yapılan çalışmada da, mikroalg türlerinden elde edilen yağların fungal mikroorganizmalara karşı antimikrobiyal etkisi ve gıdalarda koruyucu olarak kullanımı araştırılmıştır. Gıdalarda kayıplara yol açan *Penicillium chrysogenum* ve *Aspergillus parasiticus* funguslarına karşı, kimyasal gıda koruyucularına alternatif olabilecek *Chlorella protothecoides* mikroalg yağının antifungal etkinliği incelenmiştir. Yağın, çalışılan *P. chrysogenum* ve *A. parasiticus*'a karşı antifungal aktiviteye sahip olduğu görülmüştür.

Bu sonuçlar doğrultusunda *C. protothecoides* yağının gıda endüstrisinde gıda koruyucu olarak kullanılabileceği belirtilmiştir.

Eleren ve Öner (2019) tarafından yapılan çalışmada, bazı alg türlerinin karbonhidrat, protein ve lipit içeriklerine yer verilmiştir. Çalışma kapsamında farklı alg türlerine ait karbonhidrat içeriği %15-77, protein içeriği %44-76 ve lipit içeriği ise %23-62 aralığında belirtilmiştir. İçeriği oldukça zengin böyle bir kaynağın gıda denemelerinde kullanıldığı çalışmalar da literatürde yer almaktadır. Chee vd. (2005) tarafından yapılan çalışmada, yoğurt oksidatif olarak stabil ve  $\omega$ -3 bakımından zengin alg yağı emülsiyonu ile desteklenmiştir ve ürünlerin oksidatif stabilitesi, peroksit sayısı tayini ve duyu analizler sonucu belirlenmiştir. Takviye edilmiş yoğurtların peroksit içeriği, emülsiyonun ilave edildiği aşamadan etkilenmeksizin depolama işlemi boyunca artış göstermiştir. Eğitimli panelistler tarafından yapılan duyu analizler sonucunda, örneklerde 22 gün depolama süresi sonrası belirgin bir balık tadı algılanmıştır. Hem kontrol grubu hem de takviye edilmiş örnekler, panelistler tarafından orta derecede beğenilmiştir. Blouin vd. (2006) tarafından yapılan çalışmada, *Porphyra yezoensis*, *P. umbilicalis* ve *P. amplissima* üzerinde araştırmalar yapılmış ve tüketici tarafından kabul edilebilirlik seviyeleri duyu analizler ile değerlendirilmiştir. Bu amaçla 67 çocuk ve 84 yetişkin tarafından duyu analizler gerçekleştirilmiştir. *Porphyra* türleri kraker formülasyonuna dahil edilmiştir ve patlamış mısır kaplama materyali olarak kullanılmıştır. Her iki ürünün de kabul edilebilirliği aynı olarak bulgulanmıştır. Ayrıca yeni hasat edilmiş bu alglerin yağ asidi bileşimlerinin de incelendiği çalışmada, EPA ve palmitik asit en baskın yağ asitleri olarak tespit edilmiştir. EPA içeriği taze alglerde 3.2 mg/g kuru madde olarak bulgulanmıştır. Çalışılan bu türlerin  $\omega$ -3/ $\omega$ -6 oranının (2-3:1) gıdaların besin değerine katkıda bulunabilecek seviyelerde olduğu bildirilmiştir. Chee vd. (2007) tarafından yapılan çalışmada, dondurma örnekleri alg yağı ile zenginleştirilmiş ve duyu özelliklerini iyileştirmek amacıyla vanilya ve çilek aromaları kullanılmıştır. Ürünlerin imalatından itibaren 2 hafta içerisinde eğitimli panelistler tarafından gerçekleştirilen duyu analizleri

sonucunda takviyeli dondurmalarda güçlü bir balık lezzeti algılanırken, vanilya ve çilek aromalı örnekler daha çok tercih edilmiştir. Cofrades vd. (2008) tarafından yapılan çalışmada, üç farklı alg türü *Himanthalia elongata*, *Undaria pinnatifida* ve *Porphyra umbilicalis*' den elde edilen emülsiyonlar, farklı konsantrasyonlarda et ürünlerine dahil edilmiştir. Alg ilavesi, et ürününün su ve yağ bağlama özelliklerini geliştirmiştir. Pişirilen takviyeli ürünlerin, sertliği ve çiğnenebilirliği kontrol örneklerine göre daha iyidir ve yapışkanlık daha düşüktür. Et sistemlerindeki renk değişiklikleri algin türünden etkilenmiştir. Kaynakçı (2012) tarafından yapılan çalışmada, insan sağlığına yararlı olduğu düşünülen farklı yağ kaynaklarının et üretiminde kullanımı ve bu yağların ürünlerin kalite kriterleri üzerine etkileri incelenmiştir. Bu amaçla çeşitli oranlarda (%25, 50, 75, 100) hayvansal yağ ile bitkisel yağ (ALG: alg yağı, AF: antepfıstığı yağı, AY: aspir yağı, ÇY: çörekotu yağı, ÜY: üzüm çekirdeği yağı) yer değiştirilmiş ve emülsiyon ürünü olan sosis denemeleri yapılmış ve sosis örneklerinde pişirme kaybı, nem, tekstür, yağ asidi profili, kolesterol, protein, kül, duyu analizler gerçekleştirilmiştir. Ayrıca sosisler 30 gün boyunca depolanmış ve aralıklarla pH, renk, TBARS ölçümlerine bakılmıştır. Çalışma sonucunda ÜY grubu hariç diğer tüm sosis gruplarında nem değerleri istatistiksel olarak azalma göstermiştir. Tekstür özelliklerine bakıldığında ise ALG, AF, ÜY gruplarının sertlik değerleri kontrol grubuna göre zamanla azalma göstermiştir. ALG grubu hariç diğer tüm bitkisel yağ kullanımı ile kolesterol değerleri önemli düzeyde azalma göstermiştir. Tüm sosis deneme gruplarında doymuş yağ asitleri ve tekli doymamış yağ asitleri değerleri azalmış buna karşın ÇDYA değerleri dikkat çekici şekilde artmıştır. Depolama sonucunda, TBARS değerleri ÜY grubu hariç diğer tüm gruplarda kontrole göre daha yüksek olarak tespit edilmiştir. ALG ve ÜY grupları hariç tüm sosis grupları kontrol grupları ile benzer genel kabul edilebilir olarak değerlendirilmiştir. Chen vd. (2016) tarafından yapılan çalışmada ise, suda alg yağı nanoemülsiyonu elde edilmiştir. Püskürtmeli kurutucuda kurutulduktan sonra elde edilen toz ürün, 30 günlük depolama süresinden sonra bile mükemmel bir yapısal davranış sergilemiştir. Doğal antioksidanlar olan  $\beta$ -sitos-

terol ve  $\gamma$ -orizanol ile hazırlanmış formülasyon yoluyla hem birincil hem de ikincil oksidasyon ürünlerinin azaltılması sağlanmış ve böylece oksidatif stabilite de artırılmıştır. Hazırlanmış olan alg yağı yüklü nanoemülsiyon, istenmeyen balık lezzeti açısından daha iyi bir performans sergilediğinden, hazırlanan emülsiyonun fonksiyonel yiyecek ve içecekler için uygun olduğu sonucu bildirilmiştir. Alglerin fonksiyonel gıda üretiminde kullanıldığı daha birçok çalışma literatürde yer almaktadır. Bu çalışmalarda tercih edilmiş olan alg türü, gıdaya ilave edilen formu ve üretilen ürün ile ilgili bilgiler Tablo 1'de özetlenmiştir.

### 1.3. Alg Kültürlerinin Üretimi

Alg kültürü üretimi; tübüler, düz plaka veya diğer tasarımlara dayalı olarak açık ya da kapalı havuzlarda veya kapalı fotobiyoreaktörlerde gerçekleştirilebilir (Patil vd., 2005; Demirbas ve Demirbas, 2011).

Açık havuz sistemleri, alglerin yetiştirildiği sığ havuzlardır. Bu sistemlerde algler için gerekli besin maddeleri yakındaki kara alanlarından gelen akıntı sularından veya kanalizasyon/su arıtma tesislerinden gelen sularından sağlanmaktadır. Özellikle güvenilir sonuçlar elde edilebilen birkaç açık sistem mevcuttur (Demirbas ve Demirbas, 2011). Bazı mikroalgler, koşulların çok spesifik olduğu durumlarda (yüksek tuz ya da alkali) dahi açık üretim için çok uygundur (Aydın, 2014). Açık havuz kültürleri kapalı sistemlere göre ekonomik olarak daha elverişlidir ve kolay düzenlenebilirler, ancak arazi kullanım maliyeti ve su gerekliliğinin fazla olması, uygun iklim koşulları gerektirmesi ve istenmeyen türlerin oluşması olumsuz yönlerini oluşturmaktadır (Demirbas ve Demirbas, 2011; Aydın, 2014; Eleren ve Öner, 2019). *Spirulina* ve *Chlorella*, açık sistemlerde en çok yetiştirilen mikroalg türlerini oluşturmaktadır (Eleren ve Öner, 2019). Bu sistemlerin teknik ve biyolojik sınırlamaları, kapalı fotobiyoreaktörlerin geliştirilmesine yol açmıştır (Demirbas ve Demirbas, 2011).

Fotobiyoreaktörler, alglerin yetiştirildiği farklı tipte tanklar veya kapalı sistemlerdir. Korunaklı, istilacı mikroorganizmalara karşı nispeten güvenli olan bir kültür ortamı sunarlar (Demirbas



ve Demirbas, 2011). Fotobiyoreaktörler, enerji santrali baca gazlarını temizleme veya atık sudaki besin maddelerini kullanma gibi yararlı görevleri yerine getirirken, aynı zamanda alg üretme yeteneğine sahiptirler (Chisti, 2007; Mwangi vd., 2015). Bu sistemler, fotosentetik verimliliği arttırdıklarından, daha yüksek biyokütle üretimini sağlamaktadırlar (Jez vd., 2017). Kapalı sistemler içinde en fazla boru ve plaka şeklinde fotobiyoreaktörler kullanılmaktadır. Bunun dışında torba şeklinde biyoreaktörler de mevcuttur. Fotobiyoreaktörler kurulurken çeşitli şeffaf plastikler veya konteynırlar kullanılabilir. Uzun yıllar süren çalışmalar sonucu; düz panel, tübüler ve dikey-kolon fotobiyoreaktörler gibi yüksek verimli özelliklere sahip birbirinden farklı fotobiyoreaktörler tasarlanmıştır (Eleren ve Öner, 2019).

Bu teknoloji, altyapı maliyetleri nedeniyle açık havuzlara kıyasla nispeten daha da pahalıdır fakat algleri büyütme için çok daha az ışık ve tarım arazisi gerektirmektedir (Demirbas ve Demirbas, 2011). Fakat üretilen suşların özgülüğü de bu sistem açısından dezavantaj olarak sayılabilir (Jez vd., 2017). Fotobiyoreaktör, büyümeyi optimize ederek yüksek yağlı mikroalg türlerinin üretimine imkan sağlamıştır. Bu sistemlerde bir yılda dönüm başına 19 000-57 000 litre mikroalg yağ üretilebilmektedir. Bu değerler, en yüksek verim ile elde edilen bitkisel yağ miktarının dahi 200 katından fazladır (Demirbas ve Demirbas, 2011).

İdeal bir biyokütle üretim sistemi, güneş ışığını rahatça kullanabilmelidir (Patil vd., 2005). Alglerin yetiştirilmesi ortamın aldığı ışık dışında, sıcaklık (çevresel faktörler) ve besin durumuna göre de değişiklik göstermektedir (Volkman vd., 1989). Jiang ve Chen (2000) tarafından yapılan çalışmada, sıcaklığın deniz mikroalgi *Cryptocodinium cohnii*'nin yağ asidi bileşimi, DHA içeriği ve verimliliği üzerine etkileri araştırılmıştır. Mikroalg, çalışılan tüm sıcaklık aralığında (15-30°C) iyi bir gelişim göstermiştir. 30°C'de en yüksek spesifik büyüme oranına saptanırken, düşük sıcaklık ÇDYA'nın oluşumunu desteklemiştir. En yüksek DHA içeriği 15°C'de erken durağan fazda (72 saat) tespit edilmiştir. 25°C'den (48 saat) 15°C'ye (24 saat) geçiş, hücrel DHA içeriğinde %19.9 ve verimlilikte %6.5 artış ile sonuçlanmıştır.

Ayrıca algler; kültür yetiştirme koşulları dışında, reaktör konfigürasyonları ve toplama seçeneklerine göre çevresel yararlılık ve enerji üretimi açısından farklı performans sergilemektedirler (Jez vd., 2017). Algler üretimleri sırasında başlıca besin maddeleri olarak azot ve fosfora da ihtiyaç duyarlar. Büyüme için gerekli diğer elementler arasında Na, Mg, Ca, K (makro besinler) ve Mo, Mn, B, Co, Fe, Zn (eser miktarda) sayılabilir (Aydoğdu, 2019). Tüm bu faktörler iyileştikçe, alglerin üreme düzeyi artar, fakat üretimin belli bir düzeyi aşması halinde alglerin ve diğer bakterilerin faaliyetleri sonucu bulanıklık oluşur (ötrofikasyon), dolayısıyla algler ışıktan tam olarak faydalanamaz hale gelebilirler (Demiriz, 2008).

Yetiştirilen mikroalgler; mikro basınçlı elekler, sedimentasyon, santrifüj, flokülasyon ya da membran filtrasyonu gibi ayırma prosesleriyle fermentasyon ortamından hasat edilebilirler (Aydın, 2014). Uygun hasat yöntemi, seçilmiş olan mikroalgin özelliklerine, yoğunluğuna, boyutuna ve ayrıca istenen ürünün özelliklerine bağlıdır. Seçilen yöntem türden bağımsız olmalı, daha az kimyasal madde ve enerji gerektirmeli ve mümkünse hücre içi materyalleri serbest bırakmalıdır (Aydoğdu, 2019). Toplanan (hasat edilen) biyokütle, vakum altında su miktarı sabit bir değere gelene kadar kurutulur ve yağ ekstraksiyonu için hazır bir hale getirilmiş olur (Aydın, 2014).

#### 1.4. Alg Yağlarının Elde Edilmesi

Ekstraksiyon, yağ elde etmek için yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir. Mikroalglerden yağın geri kazanılması sırasında kullanılan ve iyi bilinen ekstraksiyon yöntemleri arasında mekanik presleme (basınç), çözgen ekstraksiyonu (sokshlet ekstraksiyonu), enzimatik, süperkritik ve ultrasonik ekstraksiyonlar sayılabilir (Szentmihályi vd., 2002; Shah vd., 2005; Mercer ve Armenta, 2011). Bu ekstraksiyon yöntemlerinin kimi avantaj ve sınırlamaları mevcuttur. Mekanik presleme, kullanımı oldukça kolay ve çözgen gerektirmezken, işlem sırasında çok miktarda numune gerekir ve işlem yavaş ilerler. Çözgen ekstraksiyonu sırasında kullanılan çözücüler nispeten ucuzdur, sonuçlar tekrarlanabilir fakat organik çözücülerin çoğu yüksek derecede yanıcı ve/veya toksiktir, çözücü geri kazanımı pahalı

ve yoğun enerji gerektirdiği gibi yüksek miktarda çözgen kullanımı vardır. Süperkritik sıvı ekstraksiyonu sırasında, toksik ya da yanıcı bir çözgen kullanılmaz ve işlem oldukça kolaydır, fakat bu yöntemin de yüksek güç tüketimi ve yatırım maliyeti olumsuz yönlerini oluşturmaktadır. Ultrasonik destekli ekstraksiyon da ise, ekstraksiyon süresi oldukça kısa ve çözücü tüketimi azdır, çözücü hücresel materyallere daha fazla nüfuz etmektedir. Bu işlem sırasında da yüksek güç tüketimi söz konusudur (Mercer ve Armenta, 2011). Bu yöntemler arasında özellikle çözgen ekstraksiyonu, alglerden yağ elde edilmesi sırasında sıklıkla tercih edilmektedir. Ekstraksiyon sırasında hücre biyokütlesinden yağı başarılı, verimli ve zarar görmeyecek bir şekilde çıkarabilmek gerekmektedir. Ek olarak, yağın çevresel açıdan en sürdürülebilir şekilde ekstrakte edilmesi de çok önemlidir, bu nedenle çözgen ekstraksiyonu, yağlı alg biyokütlesinden almak için her zaman en iyi çözüm olmayabilir (Mercer ve Armenta, 2011; Pragma vd., 2013). Hangi ekstraksiyon yöntemi uygulanırsa uygulansın işlem sırasında ışık, sıcaklık, pH, hava (karbondioksit) ve besin derişimi gibi kültür şartları kontrol altında tutulmalıdır (Aydın, 2014). Hammaddenin türüne bağlı olarak da, bazen yağ ekstraksiyonundan önce biyokütlenin ön işlemi gerekebilmektedir. Hücre parçalamanın amaçlandığı bu yöntemler; mikrodalga uygulaması, sonikasyon, otoklavlama, öğütme, ozmotik şok, homojenizasyon, dondurarak kurutma, NaCl ilavesi vb. olarak sıralanabilirler (Pragma vd., 2013).

Wiyarno vd. (2011) tarafından yapılan çalışmada, *Nannochloropsis* türlerinden yağ ekstraksiyonu gerçekleştirilmiş ve elde edilen yağ analiz edilmiştir. Ekstraksiyon sırasında sokshlet (SE) ve ultrasonik (US) yöntemler kullanılmıştır. Araştırılan iki yöntem sırasında da etanol çözücü olarak seçilmiştir. SE'de çeşitli etanol konsantrasyonu ve süresi denenmiştir. UE'de ise çeşitli etanol hacmi, süresi ve sıcaklığı araştırılmış, tüm denemeler sırasında frekans 40 kHz olarak tercih edilmiştir. SE'de, en iyi kombinasyon etanol konsantrasyonu %70 ve süre 200 dakika olarak tespit edilmiştir. Bu parametreler ile elde edilen örnekte serbest yağ asitliği %9.4 ve sabunlaşma sayısı 286.8 olarak hesaplanmıştır. UE'de ise, 51.6 dakika, %98 etanol konsantrasyonu ve 69.62°C, yağ

veriminin maksimum olduğu parametrelerdir. İki yöntem karşılaştırıldığında, SE'de daha yüksek çözücü konsantrasyonu, daha yüksek serbest yağ asitliği ve sabunlaşma sayısı saptanmıştır. UE ise, daha kısa sürede gerçekleştirilmiştir. Sonuç olarak, her iki ekstraksiyon yönteminin de güçlü ve zayıf yönleri mevcuttur. Ultrasonik ekstraksiyon, geleneksel ekstraksiyona kıyasla nispeten daha kısa bir operasyon süresinde tamamlanırken, ayrıca ultrasonik ortamda çalışılırken daha düşük sıcaklığa ihtiyaç duyulmuştur. Balasubramanian vd. (2011) tarafından yapılan çalışmada da, yeşil alglerden (*Scenedesmus obliquus*) yağ ekstraksiyonu işlemi tasarlanmış ve optimize edilmiştir. Bu işlem için 1.2 kW, 2450 MHz rezonant sürekli mikrodalga sistemi kullanılmıştır. Alg-su süspansiyonu (ağırlıkça 1:1) 80 ve 95°C'ye kadar ısıtılmış ve 30 dakikaya kadar ekstraksiyon işlemine tabi tutulmuştur. Maksimum yağ verimi (%76-77), 95 °C'de 30 dakika boyunca uygulanan işlem sırasında elde edilmiştir. Mikrodalga uygulamasının doymamış ve esansiyel yağ asitlerine zarar vermediği, yüksek kalitede yağ elde edildiği saptanmıştır.

### 1.5. Alternatif Enerji Kaynağı Olarak Algler

Dünya üzerinde ihtiyaç duyulan enerji her geçen gün artmaktadır. Enerji ihtiyaçlarını karşılamak için ilk sırada kullanılan fosil yakıtların sınırlı olması ve gelecekte daha fazla enerji ihtiyacı söz konusu olacağı göz önüne alındığında, fosil yakıtların da bir süre sonra tükeneceği düşünülmelidir (Eleren ve Öner, 2019).

Ayrıca fosil yakıtların kullanımı sonucu CO<sub>2</sub> miktarı önemli ölçüde artmaktadır. Bu durum dünya üzerinde sera etkisi yaratmakta ve küresel ısınmaya sebep olmaktadır. Tüm bunlar göz önüne alındığında, çevre dostu alternatif enerji kaynakları arayışına girilmiştir. Günümüzde güneş, rüzgâr ve okyanus enerjisi, jeotermal, biyoyakıt gibi birçok enerji kaynağı fosil yakıtların yerini almaya başlamıştır (Eleren ve Öner, 2019). Biyoyakıt olarak alglerin kullanımı çevreye karşı nispeten daha zararsızdır (Paul Abishek vd., 2014).

Biyoyakıt üretimi için yenilenebilir bir kaynak olarak alglerin potansiyeli, yüksek büyüme oranları nedeni ile umut vericidir (Schlager-

mann vd., 2012). Biyodizel üretiminde tür ve boyut aralıklarına göre (birkaç mikrometre-birkaç yüz mikrometre) makroalgler veya mikroalgler kullanılabilir (Paul Abishek vd., 2014). Biyodizel üretiminde genellikle tercih edilen mikroalglerle *Pleurochrysis carterae*, *Botryococcus braunii*, *Dunaliella* ve *Chlorella* türleri örnek verilebilirken, makroalgler arasında ise *Gracilaria*, *Sargassum*, *Ulva* türleri örnek verilebilir (Paul Abishek vd., 2014). Yağlı bitkilerden 1 litre biyoyakıt üretimi için yaklaşık 3000 litre suya ihtiyaç duyulurken, %50 lipit içeriğine sahip mikroalglerden 1 litre biyoyakıt elde etmek için gerekli su miktarı 10 ile 20 litre arasında değişmektedir (Schlagermann vd., 2012).

Ayrıca dönüm başına yüksek verime sahip olmalarının yanı sıra, pratik olarak her yerde büyüebilmeleri, belirli türlerin günlük olarak hasat edilebilmesi, kükürt içermemeleri, toksik olmamaları, daha az atık oluşması, daha az çevre kirliliğine sebep olmaları, biyolojik olarak yüksek oranda parçalanabilmeleri, küspelerinin hayvan yemi olarak kullanılabilmesi ve hatta etanole işlenebilmesi, yüksek miktarda ÇDYA içermeleri nedeniyle soğuk iklimler için dahi uygun olmaları, üretimi diğer fosil yakıtlara göre çok daha ekonomik olması, karbon emisyonunu azaltmaları ve sürdürülebilir bir kaynak oluşu alg yağından biyodizel üretiminin avantajlı yönlerini oluşturmaktadır (Demirbas ve Demirbas, 2011; Paul Abishek vd., 2014).

## SONUÇ

Besin zincirinin önemli bir parçasını oluşturan ve su ortamındaki primer üretici olan alglere, küresel talep gün geçtikçe artmaktadır. Yüksek değere sahip bileşiklerin üretiminde sürdürülebilir bir kaynak olarak algler, geleneksel beslenme ve biyoyakıt üretiminin yanı sıra, fonksiyonel özellikleri nedeni ile sağlık faydaları düşünülerek giderek daha fazla tüketilmektedir. Ülkemiz alg üretimi için gerekli olan güneş enerjisi açısından son derece elverişli olduğundan, kesinlikle alg kültürü üretimi gerçekleştirilmeli ve alglerin sahip olduğu bu üstün özelliklerinden yararlanılmalıdır.

Mikroalg ve makroalg gıdaların ve takviyelerin içeriği hakkında geniş bir literatür mevcut

olsa da, insan sağlığına niceliksel katkılarını değerlendiren çalışma sayısı oldukça azdır. Son yıllarda ticarileşme potansiyeli giderek artan alglerin, hala keşfedilmeyi bekleyen bileşikleri mevcuttur. Çevre dostu bir hammadde olarak tercih edilen algler, daha fazla araştırılmalı ve insan metabolizmasında nasıl etkiler yarattığı üzerine ayrıntılı çalışmalar yapılmalıdır. Özellikle alg yağının oksidatif stabilitesini arttırmaya ve oluşabilecek balık kokusunu maskeleyen yönelik çalışmalara ağırlık verilmelidir. Alg yağının, yüksek verimi ve özellikle ÇDYA ( $\omega$ -3 ve  $\omega$ -6 yağ asitleri) açısından iyi bir kaynak olması nedeniyle, kullanım alanları daha da genişletilmelidir.

## Teşekkür

Derya DENİZ ŞİRİNİLDİZ, TÜBİTAK 2211-A ve YÖK 100/2000 Doktora Burs Programları tarafından desteklenmiştir.

## KAYNAKÇA

- Abdul, Q.A., Choi, R.J., Jung, H.A., & Choi, J.S., (2016). Health benefit of fucosterol from marine algae: A review. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 96, 1856-1866.
- Abubakar, L.U., Mutie, A.M., & Kenya, E.U. (2012). Characterization of algae oil (oilgae) and its potential as biofuel in Kenya. *Journal of Applied Phytotechnology in Environmental Sanitation*. 1, 147-153.
- Achour, H. Y., Doumandji, A., Sadi, S., & Saadi, S. (2014). Evaluation of nutritional and sensory properties of bread enriched with spirulina. *Ann Food Sci Technol*. 15, 270-5.
- Agustini, T. W., Maâ, W. F., Widayat, W., Suzery, M., Hadiyanto, H., & Benjakul, S. (2016). Application of *Spirulina platensis* on ice cream and soft cheese with respect to their nutritional and sensory perspectives. *Jurnal Teknologi*. 78, 4-2.
- Ak, B., Avsaroglu, E., Isik, O., Ozyurt, G., Kafkas, E., & Etyemez, M. (2016). Nutritional and physicochemical characteristics of bread enriched with microalgae

*Spirulina platensis*. *Int. J. Eng. Res. Appl.* 6(9).

Akyıl, S., İlter, I., Koç, M., & Kaymak-Ertekin, F. (2016). Alglerden elde edilen yüksek değerlikli bileşiklerin biyoaktif/ biyolojik uygulama alanları. *Academic Food Journal/ Akademik Gıda*. 14.

Almeida, L. M. R., Da Silva Cruz, L. F., Machado, B. A. S., Nunes, I. L., Costa, J. A. V., De Souza Ferreira, E., & De Souza, C. O. (2021). Effect of the addition of *Spirulina* sp. biomass on the development and characterization of functional food. *Algal Research*. 58, 102387.

Arterburn, L.M., Oken, H.A., Hall, E.B., Hamersley, J., Kuratko, C.N., & Hoffman, J.P. (2008). Algal-oil capsules and cooked salmon: nutritionally equivalent sources of docosahexaenoic acid. *Journal of the American Dietetic Association*. 108, 1204-1209.

Atik, D. S., Gürbüz, B., Bölük, E., & Palabıyık, İ. (2021). Development of vegan kefir fortified with *Spirulina platensis*. *Food Bioscience*. 42, 101050.

Aydın, G. (2014). *Alg yağından lipaz katalizli biyodizel üretimi*. Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

Aydoğdu, H. (2019). *Alg yağı ve alg yağı esterlerinin poli (laktik asit) için plastikleştirici olarak kullanılabilir potansiyelinin incelenmesi*. Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

Balasubramanian, S., Allen, J.D. Kanıtkar, A., & Boldor, D. (2011). Oil extraction from *Scenedesmus obliquus* using a continuous microwave system—design, optimization, and quality characterization. *Bioresource Technology*. 102, 3396-3403.

Batista, A. P., Niccolai, A., Bursic, I., Sousa, I., Raymundo, A., Rodolfi, L., & Tredici, M. R. (2019). Microalgae as functional ingredients in savory food products: application to wheat crackers. *Foods*. 8(12), 611.

Becker, E.W. (2007). Micro-algae as a source of protein. *Biotechnology Advances*. 25, 207-210.

Bellou, S., & Aggelis, G. (2013). Biochemical activities in *Chlorella* sp. and *Nannochloropsis salina* during lipid and sugar synthesis in a lab-scale open pond simulating reactor. *Journal of Biotechnology*. 164, 318-329.

Blouin, N., Calder, B.L., Perkins, B., & Brawley, S.H. (2006). Sensory and fatty acid analyses of two atlantic species of porphyra (*rhodophyta*). *Journal of Applied Phycology*. 18, 79.

Cebi, N., Yılmaz, M.T., Sagdıç, O., Yuce, H., & Yelboga, E. (2017). Prediction of peroxide value in omega-3 rich microalgae oil by ATR-FTIR spectroscopy combined

with chemometrics. *Food Chemistry*. 225, 188-196.

Chee, C.P., Gallaher, J.J., Djordjević, D., Farajı, H., McClements, D.J., Decker, E.A., & Coupland, J. N. (2005). Chemical and sensory analysis of strawberry flavoured yogurt supplemented with an algae oil emulsion. *Journal of Dairy Research*. 72, 311-316.

Chee, C.P., Djordjević, D., Farajı, H., Decker, E.A., Hollender, R., McClements, D. J., & Coupland, J.N. (2007). Sensory properties of vanilla and strawberry flavored ice cream supplemented with omega-3 fatty acids. *Milchwissenschaft*. 62, 66-69.

Chen, X.W., Chen, Y.J., Wang, J.M., Guo, J., Yin, S.W., & Yang, X.Q. (2016). Phytosterol structured algae oil nanoemulsions and powders: improving antioxidant and flavor properties. *Food & Function*. 7, 3694-3702.

Chisti, Y. (2007). Biodiesel from microalgae. *Biotechnology advances*. 25, 294-306.

Cofrades, S., López-López, I., Solas, M.T., Bravo, L., & Jiménez-Colmenero, F. (2008). Influence of different types and proportions of added edible seaweeds on characteristics of low-salt gel/emulsion meat systems. *Meat Science*. 79, 767-776.

Cofrades, S., López-López, I., Ruiz-Capillas, C., Trıki, M., & Jiménez-Colmenero, F. (2011). Quality characteristics of low-salt restructured poultry with microbial transglutaminase and seaweed. *Meat Science*. 87(4), 373-380.

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

Da Silva, S. C., Fernandes, I. P., Barros, L., Fernandes, Â., Alves, M. J., Calhelha, R. C., & Barreiro, M. F. (2019). Spray-dried spirulina platensis as an effective ingredient to improve yogurt formulations: testing different encapsulating solutions. *Journal of Functional Foods*. 60, 103427.

De Cıriano, M.G.I., Rehecho, S., Calvo, M.I., Caverro, R.Y., Navarro, Í., Astiasarán, I., & Ansorena, D. (2010). Effect of lyophilized water extracts of *Melissa officinalis* on the stability of algae and linseed oil-in-water emulsion to be used as a functional ingredient in meat products. *Meat Science*. 85, 373-377.

De Marco, E. R., Steffolani, M. E., Martinez, C. S., & León, A. E. (2014). Effects of spirulina biomass on the technological and nutritional quality of bread wheat pasta. *LWT-Food Science and Technology*. 58(1), 102-108.

Demirbas, A. & Demirbas, M.F. (2011). Importance of algae oil as a source of biodiesel. *Energy Conversion and Management*. 52, 163-170.

- Demiriz, T. (2008). *Bazı alglerin antibakteriyal etkileri*. Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Draget, K. I., Smidsrod, O., & Skjak-Bræk, G. (2005). Alginates from algae. *biopolymers online: biology, chemistry, biotechnology. Applications*. 6.
- El-Baz, F. K., Abdo, S. M., & Hussein, A. M. (2017). Microalgae *Dunaliella salina* for use as food supplement to improve pasta quality. *Int. J. Pharm. Sci. Rev. Res.* 46(2), 45-51.
- Eleren, S.Ç., & Öner, B. (2019). Sürdürülebilir ve çevre dostu biyoyakıt hammaddesi: mikroalgler. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*. 25, 304-319.
- Fahy, E., Subramaniam, S., Brown, H.A., Glass, C.K., Merrill Jr, A.H., Murphy, R. C., & Shimizu, T. (2005). A comprehensive classification system for lipids. *European Journal of Lipid Science and Technology*. 107, 337-364.
- Fradique, M., Batista, A. P., Nunes, M. C., Gouveia, L., Bandarra, N. M., & Raymundo, A. (2010). Incorporation of *Chlorella vulgaris* and *Spirulina maxima* biomass in pasta products. part 1: preparation and evaluation. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 90(10), 1656-1664.
- Francavilla, M., Trotta, P., & Luque, R. (2010). Phytosterols from *Dunaliella tertiolecta* and *Dunaliella salina*: a potentially novel industrial application. *Bioresource Technology*. 101, 4144- 4150.
- Graeve, M., Kattner, G., Wiencke, C., & Karsten, U. (2002). Fatty acid composition of arctic and antarctic macroalgae: indicator of phylogenetic and trophic relationships. *Marine Ecology Progress Series*. 231, 67-74.
- Grahl, S., Strack, M., Mensching, A., & Morlein, D. (2020). Alternative protein sources in western diets: food product development and consumer acceptance of spirulina-filled pasta. *Food Quality and Preference*. 84, 103933.
- Grattan, B.J. (2013). Plant sterols as anticancer nutrients: evidence for their role in breast cancer. *Nutrients*. 5, 359-387.
- Gubelit, Y.I., Makhutova, O.N., Sushchik, N.N., Kolmakova, A.A., Kalachova, G.S., & Gladyshev, M.I. (2015). Fatty acid and elemental composition of littoral "green tide" algae from the gulf of Finland, the Baltic Sea. *Journal of Applied Phycology*. 27, 375-386.
- Hall, A. C., Fairclough, A. C., Mahadevan, K. & Paxman, J. R., (2012). *Ascophyllum nodosum* enriched bread reduces subsequent energy intake with no effect on post-prandial glucose and cholesterol in healthy, overweight males. A pilot study. *Appetite*. 58(1), 379-386.
- Holdt, S.L., & Kraan, S. (2011). Bioactive compounds in seaweed: functional food applications and legislation. *Journal of Applied Phycology*. 23, 543-597.
- Honold, P. J., Jacobsen, C., Jónsdóttir, R., Kristinnson, H. G., & Hermund, D. B. (2016). Potential seaweed-based food ingredients to inhibit lipid oxidation in fish-oil-enriched mayonnaise. *European Food Research and Technology*. 242(4), 571-584.
- Huimin, X., Lin, L., Shilin, G., Elfalleh, W., Shenghua, H., Qinghai, S., & Ying, M. (2014). Formation, stability, and properties of an algae oil emulsion for application in UHT milk. *Food and Bioprocess Technology*. 7(2), 567-574.
- İlhan, E., Büyükizgi, A., & Ermiş, E. (2020). Mavi-yeşil alg *Spirulina platensis*' in buğday ekmeğinde kimyasal, duyuusal ve antifungal etkisi. *Gıda ve Yem Bilimi Teknolojisi Dergisi*. (24), 22-29.
- Jez, S., Spinelli, D., Fierro, A., Dibenedetto, A., Aresta, M., Busi, E., & Basosi, R. (2017). Comparative life cycle assessment study on environmental impact of oil production from micro-algae and terrestrial oilseed crops. *Bioresource Technology*. 239, 266-275.
- Jiang, Y., & Chen, F. (2000). Effects of temperature and temperature shift on docosahexaenoic acid production by the marine microalga *Cryptocodinium cohnii*. *Journal of the American Oil Chemists' Society*. 77, 613-617.
- Joshi, S. M., Bera, M. B., & Panesar, P. S. (2014). Extrusion cooking of maize/spirulina mixture: factors affecting expanded product characteristics and sensory quality. *Journal of Food Processing and Preservation*. 38(2), 655-664.
- Kaynakçı, E. (2012). *Sağlıklı et ürünlerinin geliştirilmesi amacıyla alternatif yağ kaynaklarının sosis model sisteminde uygulama imkânlarının araştırılması*. Doktora Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
- Kim, H. W., Choi, J. H., Choi, Y. S., Han, D. J., Kim, H. Y., Lee, M. A., & Kim, C. J. (2010). Effects of sea tangle (*lamina japonica*) powder on quality characteristics of breakfast sausages. *Food Science of Animal Resources*. 30(1), 55-61.
- Kris-Etherton, P.M., Harris, W. S., & Appel, L.J. (2002). Fish consumption, fish oil, omega-3 fatty acids, and cardiovascular disease. *Circulation*. 106, 2747-2757.
- Lane, K. E., Li, W., Smith, C., & Derbyshire, E. (2014). The bioavailability of an omega-3-rich algal oil is improved by nanoemulsion technology using yogurt

- as a food vehicle. *International Journal of Food Science & Technology*. 49(5), 1264-1271.
- Leal, M.C., Munro, M.H., Blunt, J.W., Puga, J., Jesus, B., Calado, R., & Madeira, C. (2013). Biogeography and biodiscovery hotspots of macroalgal marine natural products. *Natural Product Reports*. 30, 1380-1390.
- Lenihan-Geels, G., Bishop, K.S., & Ferguson, L.R. (2013). Alternative sources of omega-3 fats: can we find a sustainable substitute for fish?. *Nutrients*. 5, 1301-1315.
- López-López, I., Cofrades, S., Yakan, A., Solas, M. T., & Jiménez-Colmenero, F. (2010). Frozen storage characteristics of low-salt and low-fat beef patties as affected by wakame addition and replacing pork backfat with olive oil-in-water emulsion. *Food Research International*. 43(5), 1244-1254.
- Lucas, B. F., De Moraes, M. G., Santos, T. D., & Costa, J. A. V. (2018). Spirulina for snack enrichment: nutritional, physical and sensory evaluations. *LWT*. 90, 270-276.
- Lucas, B. F., Rosa, A. P. C. D., Carvalho, L. F. D., Moraes, M. G. D., Santos, T. D., & Costa, J. A. V. (2019). Snack bars enriched with spirulina for schoolchildren nutrition. *Food Science and Technology*. 40, 146-152.
- Makri, A., Bellou, S., Birkou, M., Papatrehas, K., Dolapsakis, N.P., Bokas, D., & Aggelis, G. (2011). Lipid synthesized by micro-algae grown in laboratory- and industrial-scale bioreactors. *Engineering in Life Sciences*. 11, 52-58.
- Mercer, P., & Armenta, R.E. (2011). Developments in oil extraction from microalgae. *European Journal of Lipid Science and Technology*. 113, 539-547.
- Mccauley, J.I., Meyer, B.J., Winberg, P.C., Ranson, M., & Skropeta, D. (2015). Selecting Australian marine macroalgae based on the fatty acid composition and anti-inflammatory activity. *Journal of Applied Phycology*. 27, 2111-2121.
- Morsy, O. M., Sharoba, A. M., El-Desouky, A. I., Bahlol, H. E. M., & Abd El Mawla, E. M. (2014). Production and evaluation of some extruded food products using spirulina algae. *Annals of Agricultural Science, Moshtohor*. 52(4), 329-342.
- Mouritsen, O. G., Williams, L., Bjerregaard, R., & Duelund, L. (2012). Seaweeds for umami flavour in the New Nordic cuisine. *Flavour*. 1(1), 1-12.
- Mwangi, J.K., Lee, W.J., Whang, L.M., Wu, T.S., Chen, W.H., Chang, J.S., & Chen, C.L. (2015). Microalgae oil: algae cultivation and harvest, algae residue torrefaction and diesel engine emissions tests. *Aerosol and Air Quality Research*. 15, 81-98.
- Niccolai, A., Bažec, K., Rodolfi, L., Biondi, N., Zlatic, E., Jamnik, P., & Tredici, M. R. (2020). Lactic acid fermentation of *Arthrospira platensis* (spirulina) in a vegetal soybean drink for developing new functional lactose-free beverages. *Frontiers in Microbiology*. 11, 560684.
- Onacık-Gur, S., Żbikowska, A., & Majewska, B. (2018). Effect of Spirulina (*Spirulina platensis*) addition on textural and quality properties of cookies. *Italian Journal of Food Science*. 30(1).
- Özçimen, D. (2018). *Chlorella protothecoides* Mikroalg yağının *Botrytis cinerea* ve *Aspergillus niger* küflerine karşı antifungal etkisinin incelenmesi. *Journal of Tekirdag Agricultural Faculty*. 15, 45-52.
- Özyurt, G., Uslu, L., Yuvka, I., Gökdoğan, S., Atci, G., Ak, B., & Işık, O. (2015). Evaluation of the cooking quality characteristics of pasta enriched with *Spirulina platensis*. *Journal of Food Quality*. 38(4), 268-272.
- Patil, V., Reitan, K.I., Knutsen, G., Mortensen, L.M., Källqvist, T., Olsen, E., & Gislørød, H.R. (2005). Microalgae as source of polyunsaturated fatty acids for aquaculture. *Plant Biology*. 6, 57-65.
- Paul Abishek, M., Patel, J., & Prem Rajan, A. (2014). Algae oil: a sustainable renewable fuel of future. *Biotechnology Research International*.
- Pereira, C.M., Nunes, C.F., Zambotti-Villela, L., Streit, N.M., Dias, D., Pinto, E., & Colepicolo, P. (2017). Extraction of sterols in brown macroalgae from antarctica and their identification by liquid chromatography coupled with tandem mass spectrometry. *Journal of Applied Phycology*. 29, 751-757.
- Pereira, T., Barroso, S., Mendes, S., & Gil, M. M. (2020). Stability, kinetics, and application study of phycobiliprotein pigments extracted from red algae *Gracilaria gracilis*. *Journal of Food Science*. 85(10), 3400-3405.
- Pragya, N., Pandey, K.K., & Sahoo, P.K. (2013). A review on harvesting, oil extraction and biofuels production technologies from microalgae. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 24, 159-171.
- Rajmohan, D., & Bellmer, D. (2019). Characterization of spirulina-alginate beads formed using ionic gelation. *International Journal of Food Science*.
- Rodriguez De Marco, E., Steffolani, M. E., Martinez, M., & León, A. E. (2018). The use of nannochloropsis sp. as a source of omega-3 fatty acids in dry pasta: chemical, technological and sensory evaluation. *International Journal of Food Science & Technology*. 53(2), 499-507.
- Salagean, C. D., Pop, C., Catrinoi, M., & Nagy, M. (2015). Influence of the brown marine algae on the physicochemical and sensory characteristics of the

- sausages. *Bulletin UASVM Food Science and Technology*. 72(2), 193-199.
- Santos, T. D., De Freitas, B. C. B., Moreira, J. B., Zanfonato, K., & Costa, J. A. V. (2016). development of powdered food with the addition of spirulina for food supplementation of the elderly population. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*. 37, 216-220.
- Savaghebi, D., Ghaderi-Ghahfarokhi, M., & Barzegar, M. (2021). Encapsulation of sargassum boveanum algae extract in nano-liposomes: application in functional mayonnaise production. *Food and Bioprocess Technology*. 14(7), 1311-1325.
- Schlaggermann, P., Gottlicher, G., Dillschneider, R., Rosello-Sastre, R., & Posten, C. (2012). Composition of algal oil and its potential as biofuel. *Journal of Combustion*. 2012.
- Schmid, M., Guihéneuf, F., & Stengel, D.B. (2014). Fatty acid contents and profiles of 16 macroalgae collected from the Irish coast at two seasons. *Journal of Applied Phycology*. 26, 451-463.
- Shah, S., Sharma, A., & Gupta, M.N. (2005). Extraction of oil from *Jatropha curcas* L. seed kernels by combination of ultrasonication and aqueous enzymatic oil extraction. *Bioresource Technology*. 96, 121-123.
- Shun, Y. J., Song, H. Y., Seo, Y. B., & Song, K. B. (2012). Preparation of red algae film containing grapefruit seed extract and application for the packaging of cheese and bacon. *Food Science and Biotechnology*. 21(1), 225-231.
- Song, N. B., Song, H. Y., Jo, W. S., & Song, K. B. (2013). Physical properties of a composite film containing sunflower seed meal protein and its application in packaging smoked duck meat. *Journal of Food Engineering*. 116(4), 789-795.
- Szentmihályi, K., Vinkler, P., Lakatos, B., Illés, V., & Then, M. (2002). Rose Hip (*Rosa canina* L.) Oil obtained from waste hip seeds by different extraction methods. *Bioresource Technology*. 82, 195-201
- Takahata, K., Monobe, K.I., Tada, M., & Weber, P.C. (1998). The benefits and risks of *n-3* polyunsaturated fatty acids. *Bioscience, Biotechnology and Biochemistry*. 62, 2079-2085.
- Uchida, M., Kurushima, H., Hideshima, N., Araki, T., Ishihara, K., Murata, Y., & Ishida, N. (2018). Preparation and characterization of fermented seaweed sauce manufactured from low-quality nori (dried and fresh fronds of *Pyropia yezoensis*). *Fisheries Science*. 84(3), 589-596.
- Uchida, M., Kurushima, H., Ishihara, K., Murata, Y., Touhata, K., Ishida, N., & Araki, T. (2017). Characterization of fermented seaweed sauce prepared from nori (*Pyropia yezoensis*). *Journal of Bioscience and Bioengineering*. 123(3), 327-332.
- Van Ginneken, V.J., Helsper, J.P., De Visser, W., Van Keulen, H., & Brandenburg, W. A. (2011). Polyunsaturated fatty acids in various macroalgal species from north atlantic and tropical seas. *Lipids in Health and Disease*. 10, 104.
- Volkman, J.K., Jeffrey, S.W., Nichols, P.D., Rogers, G.I., & Garland, C.D. (1989). Fatty acid and lipid composition of 10 species of microalgae used in mariculture. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*. 128, 219-240.
- Wells, M.L., Potin, P., Craigie, J.S., Raven, J.A., Merchant, S.S., Hellwell, K.E., & Brawley, S.H. (2017). Algae as nutritional and functional food sources: revisiting our understanding. *Journal of Applied Phycology*. 29, 949-982.
- Wiyarno, B., Yunus, R.M., & Mel, M. (2011). Extraction of algae oil from *nannochloropsis* sp.: a study of soxhlet and ultrasonic-assisted extractions. *Journal of Applied Sciences*. 11, 3607-3612.
- Yılmaz, A. (2019). *Chlorella protothecoides* Mikroalg yağının karakterizasyonu, biyoaktif özellikleri ve antifungal etkinliği. *Academic Food Journal/Akademik GIDA*. 17.
- Zen, C. K., Tiepo, C. B. V., Da Silva, R. V., Reinehr, C. O., Gutkoski, L. C., Oro, T., & Colla, L. M. (2020). Development of functional pasta with microencapsulated spirulina: technological and sensorial effects. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 100(5), 2018-2026.

## EK

Tablo 1. Alglerin fonksiyonel gıda üretiminde kullanıldığı çalışmalar

Alg Türü	Yapı (Form)	Ürün	Kaynak
<i>Chlorella vulgaris</i> , <i>Spirulina maxima</i> (mikroalg)	Biyokütle	Makarna	Fradique vd. (2010)
<i>Lamina japonica</i> (makroalg)	Bütün (toz)	Sosis	Kim vd. (2010)
<i>Undaria pinnatifida</i> (makroalg-wakame)	Bütün (toz)	Dana köftesi	López-López vd. (2010)
<i>Himanthalia elongata</i> (makroalg-kahverengi alg)	Bütün (toz)	Tavuk bifteği	Cofrades vd. (2011)
<i>Ascophyllum nodosum</i> (makroalg-kahverengi alg)	Bütün	Ekmek	Hall vd. (2012)
<i>Saccharina latissima</i> , <i>Palmaria palmata</i> , <i>Gracilaria verrucosa</i> , <i>Saccharina japonica</i> (makroalgler)	Bütün	Dondurma, taze peynir, ekmek	Mouritsen vd. (2012)
Kırmızı alg	Bütün (toz)	Yenilebilir film (peynir ve pastırma için)	Shin vd. (2012)
<i>Gelidium corneum</i> (Makroalg-kırmızı alg)	Bütün	Yenilebilir film (füme ördek eti)	Song vd. (2013)
<i>Arthrospira fusiformis</i> (Spirulina)	Biyokütle (toz)	Ekmek	Achour vd. (2014)
<i>Spirulina platensis</i>	Biyokütle	Makarna	De Marco vd. (2014)
Alg (belirtilmemiş)	Alg yağı	UHT süt	Huimin vd. (2014)
<i>Spirulina</i>	Toz	Atıştırmalık	Joshi vd. (2014)
<i>Schizochytrium</i> türleri (mikroalg)	Alg yağı	Çilek aromalı yoğurt	Lane vd. (2014)
<i>Spirulina</i> (mikroalg, mavi-yeşil alg)	Biyokütle	Ekstrüde gıda	Morsy vd. (2014)
<i>Spirulina platensis</i>	Biyokütle (toz)	Makarna	Özyurt vd. (2015)
Kahverengi alg	Bütün	Sosis	Salagean vd. (2015)
<i>Spirulina platensis</i> (mikroalg)	Biyokütle (toz)	Beyaz peynir ve dondurma	Agustini vd. (2016)
<i>Arthrospira platensis</i>	Biyokütle	Ekmek	Ak vd. (2016)
<i>Fucus vesiculosus</i> (makroalg-kahverengi alg)	Ekstrakt (su, aseton, etanol)	Mayonez	Honold vd. (2016)
<i>Spirulina</i> türleri	Biyokütle (toz)	Çikolata aromalı takviye edici toz gıda	Santos vd. (2016)
<i>Dunaliella salina</i> (mikroalg)	Toz	Makarna	El-Baz vd. (2017)
<i>Pyropia yezoensis</i> (makroalg-kırmızı alg)	Enzim ve kültür varlığında fermente edildi	Yüksek tuz içerikli sos (toz karışım)	Uchida vd. (2017)
<i>Nannochloropsis</i> türleri (mikroalg)	Biyokütle	Makarna	Rodriguez De Marco vd. (2018)
<i>Pyropia yezoensis</i> (makroalg-kırmızı alg)	Kültür varlığında fermente edildi	Sos	Uchida vd. (2018)
<i>Spirulina</i> türleri	Biyokütle (toz)	Atıştırmalık	Lucas vd. (2018)
<i>Spirulina platensis</i> (mavi-yeşil alg)	Biyokütle (toz)	Kurabiye	Onacik-Gür vd. (2018)



## EK

**Tablo 1. (devamı) Alglerin fonksiyonel gıda üretiminde kullanıldığı çalışmalar**

<i>Arthrospira platensis</i> , <i>Tetraselmis suecica</i> , <i>Phaeodactylum tricornutum</i> , <i>Chlorella vulgaris</i> (mikroalg)	Biyokütle	Kraker	Batista vd. (2019)
<i>Spirulina platensis</i>	Biyokütle (toz)	Ayran	Çelekli vd. (2019)
<i>Spirulina platensis</i>	Biyokütle	Yoğurt	Da Silva vd. (2019)
<i>Spirulina</i> türleri	Biyokütle (toz)	Atıştırmalık bar	Lucas vd. (2019)
<i>Spirulina platensis</i> (mavi-yeşil alg)	Biyokütle (toz)	Ekmek	Rajmohan ve Bellmer (2019)
<i>Arthrospira platensis</i> (Spirulina)	Biyokütle (toz)	Makarna	Grahl vd. (2020)
<i>Spirulina platensis</i>	Biyokütle (toz)	Buğday ekmeği	İlhan vd. (2020)
<i>Arthrospira platensis</i> (Spirulina)	Toz	Soya fasulyesi içeceği	Niccolai vd. (2020)
<i>Gracilaria gracilis</i> (makroalg-kırmızı alg)	Ekstrakte edilen fikobiliprotein (pigment)	Pankek ve yoğurt	Pereira vd. (2020)
<i>Spirulina</i> türleri	Biyokütle	Makarna	Zen vd. (2020)
<i>Spirulina</i> türleri	Biyokütle (toz)	Sos (toz karışım)	Almeida vd. (2021)
<i>Spirulina platensis</i>	Biyokütle (toz)	Kefir	Atik vd. (2021)
<i>Sargassum boveanum</i> (makroalg-kahverengi alg)	Bütün	Mayonez	Savaghebi vd. (2021)