

Sürdürülebilir Gıda, Gıda Takviyesi ve Gıda Katkı Maddesi Üretiminde Alglerin Önemi

Muazzez Kumkapu , Neşe Şahin Yeşilçubuk 

İstanbul Teknik Üniversitesi, Kimya Metalurji Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, 34467 Sarıyer, İstanbul

Geliş Tarihi (Received): 01.12.2021, Kabul Tarihi (Accepted): 09.07.2023

✉ Yazışmalardan Sorumlu Yazar (Corresponding author): kumkapu15@itu.edu.tr (M. Kumkapu)

☎ 0 212 285 7341 📠 0 212 285 2925

ÖZ

Dünya nüfusunun hızla artması, çevresel bozulma, gıda kaynakları için rekabet ve tarımın uluslararası ekonomiye entegrasyonu gibi nedenler gıda sürdürülebilirliği için tehdit oluşturmaktadır. Günümüzde potansiyel yeni gıda kaynağı arayışı ön plandadır. Bu noktada algler öne çıkmaktadır. Algler içeriğinde protein, çoklu doymamış yağ asitleri, polisakkarit, pigment, sterol, vitamin ve mineraller gibi önemli biyoaktif bileşenler bulundurmaktadır. Bu değerli biyoaktif bileşenlere ek olarak alglerin doğal ve sürdürülebilir gıda kaynağı olarak görülmesinin nedenleri arasında alglerin bölünerek çoğalıp hızla biyokütle oluşturmaları ve uygun koşullarda açık sistemler kullanılarak düşük maliyetlerle yetiştirilebilmesi gibi faktörlerde bulunmaktadır. Alglerin gıda olarak tüketimi özellikle Uzak Doğu'da geleneksel bir uygulama olmasına rağmen, günümüzde alglerin gıda endüstrisinde ticarileşme potansiyeli, alglerin gıda katkısı, gıda takviyesi veya gıda bileşeni olarak kullanılmalarıyla artmaktadır. Tüm bu bilgiler doğrultusunda alglerin gıda endüstrisindeki öneminin yakın gelecekte artması beklenmektedir. Bu çalışmada biyoaktif bileşenler için potansiyel alg kaynakları, elde edilen ürünler ve günümüzdeki ticari üretimi konusunda bilgiler verilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Sürdürülebilirlik, Alg, Gıda, Gıda takviyesi

Importance of Algae in Production of Sustainable Food, Food Supplements and Food Additives

ABSTRACT

Rapid increase in the world population, environmental degradation, competition for food resources, and the integration of agriculture into the global economy pose threats to food sustainability. Currently, there is a prominent search for potential new food sources, and in this context, algae have emerged as a notable candidate. Algae contain significant bioactive compounds such as proteins, polyunsaturated fatty acids, polysaccharides, pigments, sterols, vitamins, and minerals. In addition to these valuable bioactive compounds, algae are perceived as a natural and sustainable food source due to their ability to rapidly multiply and generate biomass under favorable conditions, as well as their ability to be cultivated at low costs using open systems. While algae consumption as a food has traditionally been prevalent in the Far East, the commercial potential of algae in the food industry has recently increased with their utilization as food additives, dietary supplements, and food ingredients. Based on all these insights, it is expected that the importance of algae in the food industry will continue to grow in the near future. This review provides information on potential algae sources for bioactive compounds, derived products, and current commercial production, emphasizing their significance.

Keywords: Sustainability, Algae, Food, Food supplement

GİRİŞ

Sürdürülebilirlik, sürekliliği olan herhangi bir sistemin işlerini kesintisiz, bozulmadan, aşırı kullanımla tüketmeden ya da sistemin yaşama bağlı olan ana kaynaklara aşırı yüklenmeden sürdürülebilirliği olarak tanımlanmaktadır [1]. Sosyal, ekonomik ve çevresel olmak üzere üç boyutlu bir sürdürülebilirlik tanımı evrensel olarak yaygınlaşmıştır [2]. Sürdürülebilir gıda ve sürdürülebilir gıda tüketimi gibi konular son yıllarda oldukça önem verilen konular haline gelmiştir. Sıkı bağları olan tarım ve gıda endüstrilerini içeren 'yeşil tedarik zinciri' çalışmaları hız kazanmaktadır [3]. Devlet kurumları ve sivil toplum örgütlerinin yanı sıra uluslararası şirketlerin politikaları arasında sürdürülebilir gıda, sürdürülebilir gıda tüketimi ve sürdürülebilir ambalajlama gibi başlıklar yer almaktadır. Ayrıca, şirketler bu politikaları sosyal sorumluluk projeleri ile desteklemektedirler. Brklacich ve ark. [4]'e göre, gıda sürdürülebilirliğini tehdit eden dört etken çevresel bozulma, kaynaklar için rekabet, artan gıda talepleri ve tarımın uluslararası ekonomiye entegrasyonu olarak sıralanmaktadır. 2050 yılına kadar Dünya nüfusunun dokuz milyarı bulması beklenmekte olup, zamanda küresel gıda üretiminin yaklaşık %60 oranında artması gerekmektedir [5]. Gıda ve Tarım Örgütü (FAO), Uluslararası Tarımsal Kalkınma Fonu (IFAD) ve Dünya Gıda Programı (WFP) tarafından yayınlanan 'Dünyadaki Gıda Güvencesizliğinin Durumu' Raporu' na göre, son üç yılda açlık çeken insan sayısında hafif bir artış yaşanmasına rağmen, bugün Dünyada 820 milyondan fazla insan hâlen açlık çekmektedir. Açlık ve yetersiz beslenmenin yaklaşık yüzde 20' lik bir oranla en yaygın görüldüğü kıta Afrika'dır [6]. Hem nüfus artışına bağlı gıda talebinin artması hem de mevcut durumda dahi yetersiz beslenmenin yoğun yaşanmasından dolayı mevcut kaynakların verimliliğinin artırılması ve yeni gıda kaynak arayışı hızla artmaktadır. Yabancı yenilebilir bitkiler, yenilebilir çiçekler, yenilebilir böcekler, tohumlar, saksı balı/poleni ve deniz canlıları alternatif gıda kaynakları kapsamında incelenmektedir. [7, 8]. Alternatif protein ve et arayışı günümüzde ticari karşılık bulmaktadır. Sentetik et, bitkisel proteinler, böcek kaynaklı proteinler ve farklı bakteri, alg, küf ve mayaları içeren mikrobiyal proteinler alternatif protein kaynağı kapsamında araştırma konusu olmaktadır [9, 10]. Global pazarda bitkisel proteinlerden hazırlanmış hamburgerler, böcek tozu kullanılarak hazırlanmış atıştırmalıklar, farklı mikrobiyal kaynaklardan ekstrakte edilmiş protein tozları ve farklı et çeşitlerini simüle eden sentetik etler gibi çok çeşitli ürünler bulunmaktadır. Tüm bu bilgiler ışığında, algler sürdürülebilir ve alternatif gıda, protein ve diğer değerli biyoaktif bileşenler bakımından önemli bir araştırma konusu olarak gündeme gelmiştir. Alglerin sürdürülebilir kaynak olarak öne çıkmasının ana nedenleri, değerli bileşime sahip olmaları, hali hazırda ekosistemde doğal koşullarda bulunabilmeleri ve açık sistemlerde düşük yatırım maliyetiyle üretilebilmeleridir. Algler bölünerek çoğalıp hızlı biyokütle oluşturmaları ve uygun koşullarda açık sistemler kullanılarak düşük maliyetlerle üretim yapılabilmesi nedeniyle ticari olarak da alg yetiştiriciliğine ilgi artmaktadır [11, 12]. Alglerin gıda endüstrisinde popülerliğinin diğer nedenleri ise yüksek protein içeriği sebebiyle vegan beslenmeye

uygun olması ve tüketicilerin doğal gıda/katkı maddesine olan ilgisidir.

Bu derlemenin amacı, alglerin sürdürülebilir gıda endüstrisindeki önemine vurgu yaparak biyoaktif bileşenler için potansiyel alg kaynakları, elde edilen ürünler ve ticari üretimleri gibi güncel konulara odaklanmaktadır.

ALGLER HAKKINDA GENEL BİLGİLER

Algler, insan yaşamı ve dünya için bilinenin ötesinde önemli bir role sahiptir. Algler dünya yüzeyinin %7' ini oluşturan okyanuslar ve denizler için birincil üreticiler olarak belirtilmekte olup, insanlar ve diğer kara hayvanlarının solunumu için mevcut net küresel oksijenin yaklaşık yüzde 30 ila 50' sini üretmektedir [13]. Algler aerobik fotosentetik organizmalardır. Protista aleminin bitki benzeri 'plant like' olarak adlandırılan üyesidir. Algler genellikle sucul habitatlarda yaşayan, selüloz çeperi bulunan, ototrof, basit yapılı ve fotosentez yapabilen ökaryotik canlılar olarak tanımlanır [14]. Bu genel tanımın aksine prokaryot ve fotosentez yapamayan şubeleri de vardır. Tek hücreli ya da çok hücreli olarak bulunabilirler. Algler, yaklaşık olarak %70' i deniz ve göllerde bulunmasına rağmen, yeryüzünün her alanında yaygın olarak bulunabilirler [15]. Her alg türü farklı bir özelliğe sahip olabilmekte ve bu özellikleri doğrultusunda gereksinim duyduğu sıcaklık, ışık, karbon ihtiyacı gibi koşullar değişikliği göstermektedir [12]. Algler morfolojik açıdan tek hücreli ve iplikli formlardan, karışık yapıda olan türlere kadar farklı biçimlerde gözlenebilmektedir. Algler ökaryotik ve prokaryotik olarak iki gruba ayrılırlar. Prokaryotik algler mikroalg olarak adlandırılır ve bakteriler alemine dahildir. Ökaryotik algler ise makroalg olarak adlandırılır. Makroalgler genel olarak yosun olarak bilinmektedir. Mavi-yeşil algler (*Cyanophyta*) mikroalgler olarak bilinirler. Makroalgler ise kamçı taşımalarına veya pigmentasyonlarına göre beş şubeye ayrılabilir. Bu şubeler kahverengi algler (*Phaeophyta*), kırmızı algler (*Rhodophyta*), yeşil algler (*Chlorophyta*), diyatomeleler ve kamçılı algler (*Flagellata*)'dir [15].

ALGLERİN GIDA OLARAK TÜKETİMİ

Algler, Uzak Doğu' da geleneksel olarak farklı formlarda tüketilmektedir. Uzakdoğu mutfağında taze ya da kurutulmuş olarak birçok farklı çeşitte alg kaynaklı yemeği bulunmaktadır. Makroalgler, deniz ve göllerden toplanarak taze salata olarak veya çorba, yemek, sos, baharat ve çay gibi şekillerde kurutulması ve pişirilmesi suretiyle tüketilmektedir [16]. En yaygın olarak tüketilen makroalgler arasında kırmızı alglerden *Porphyra* (nori, kim, laver), *Asparagopsis taxiformis* (limu), *Gracilaria*, *Chondrus crispus* (İrlanda yosunu) ve *Palmaria palmata* (dulce), *Laminaria* (kombu), *Undaria* (wakame), *Macrocystis* ve yeşil alglerden *Caulerpa* spp., *Codium* spp. ve *Ulva* spp.' dir [17]. Mikroalglerin gıda olarak kullanılması fikri İkinci Dünya Savaşı'ndan sonra ortaya atılmıştır [18]. Çünkü bu dönemde dünya genelinde açlık, fakirlik ve kaynak sıkıntısı yaşanmaktaydı. Bu sebeple, araştırmacılar sürdürülebilir gıda kaynağı arayışına girmişlerdir. En iyi alternatif olarak algler

görülmüş ve bu dönemde pilot ölçekli olarak laboratuvarlarda çalışılmaya başlanmıştır [18]. Yapılan çalışmalar sonucunda, çok sayıda mikroalg türünün protein, karbonhidrat, lipit ve diğer biyoaktif bileşikler açısından zengin olduğu bildirilmiştir. Örneğin, yüksek protein içeriği nedeniyle *Spirulina* spp., *Chlorella* spp., *Dunaliella* spp. ve *Aphanizomenon* spp. önem kazanmıştır [19].

Alglerin gıda olarak kullanımının yanında gıda katkı maddesi olarak gıda endüstrisinde önemli bir yeri vardır. Alglerden elde edilen polisakkaritler, reçel, içecek ve fırıncılık gibi endüstrilerde kıvam artırıcı ve jelleştirici olarak kullanılmaktadır. Alglerden kıvam artırıcı ve jelleştirici üretimi için pazar büyüklüğü yaklaşık 1 milyar dolardır [20]. Alglerin katkı maddesi olarak kullanımı, doğal renklendirici ve pigment ekstraksiyonu yoluyla gerçekleştirilir. Son yıllarda alglerin gıda sektöründe doğal renklendirici olarak alternatif kullanımı da yaygınlaşmaktadır. Alglerden elde edilen başlıca pigmentler klorofil, fikosiyenin, fikoeritrin, astaksantin, kantaksantin, β -karoten, lutein ve fukoksantindir [21].

ALGLERDEN ÜRETİLEN BİYOAKTİF BİLEŞENLER

Alglerin sürdürülebilir bir kaynak olmasındaki en temel neden, bünyesinde barındırdığı değerli bileşenlerdir. Bu yüksek değerli bileşenler protein, çoklu doymamış yağ asitleri, polisakkarit, pigment, sterol, vitamin ve minerallerdir [19]. Özellikle makroalglerin gıda olarak tüketilmesinin yanı sıra, alglerin gıda takviyesi ve gıda katkı maddesi olarak kullanılması içerdiği biyoaktif bileşenler sayesinde olmuştur. Bu kısımda, bahsedilen biyoaktif bileşenler potansiyel alg kaynaklarıyla birlikte incelenecektir.

Protein

Proteinler beslenmede çok önemli bir yer tutmaktadır. Vücutta yaşamsal fonksiyonlar için gerekli olan temel polimerdir. Alglerin türü ve üreme koşullarına bağlı olarak içerdikleri maddelerin yaklaşık %16-70 oranını protein oluşturmaktadır [22]. Toplam kuru maddenin %50' sinden fazlasını protein oluşturan türler arasında *Spirulina* spp., *Chlorella* spp., *Dunaliella* spp., *Anabeana* spp., *Euglena* spp., *Aphanizomenon* spp., ve *Scenedesmus* spp. yer almaktadır [19, 23]. Yüksek protein içeriği nedeniyle özellikle *Spirulina* spp. ve *Chlorella* spp. cinsleri ön plandadır.

Spirulina spp., çok hücreli ve filamentli bir mavi-yeşil alg türüdür ve içerdiği yüksek oranda protein ile bilinmektedir. *Spirulina* spp. genel olarak kuru bazda ağırlıkça %40-70 arasında protein içerir [23]. *Spirulina* spp.' ya Dünya Sağlık Örgütü (WHO) tarafından 'süper gıda' etiketi verilmiş ve hatta besin özellikleri nedeniyle Ulusal Havacılık ve Uzay İdaresi (NASA) tarafından uzaya gönderilmiştir [24]. Becker' a göre [23], *Spirulina* spp. cinsi içerisinde protein kaynağı olarak öne çıkan iki tür *Spirulina platensis* ve *Spirulina maxima*' dır. Toplam kuru maddede protein içeriği *S. platensis* için %46-63 iken, *S. maxima* için %60-71' dir [23].

Chlorella spp., küçük küresel hücreli bir yeşil alg (*Chlorophyta*)'dir [25]. *Chlorella* spp. içerdiği yüksek protein ve elzem amino asit bileşimi sayesinde son zamanlarda besin takviyesi olarak popülerliği artan bir alg cinsidir [26]. Algal protein üretiminde *Chlorella* cinsi içinde öne çıkan iki tür *C. vulgaris* ve *C. pyrenoidosa*' dir ve toplam kuru maddede protein oranları *C. vulgaris* için %51-58 iken, *C. pyrenoidosa* için %57' dir [23]. Farklı alg kaynakları için toplam kuru maddedeki genel kompozisyonları Tablo 1' de verilmiştir.

Tablo 1. Kuru maddede (%) alglerin genel yapısal kompozisyonu [23]
Table 1. General structural composition of algae in dry matter (%) [23]

Alg	Protein	Karbonhidrat	Yağ
<i>Spirulina platensis</i>	46-63	8-14	4-9
<i>Spirulina maxima</i>	60-71	13-16	6-7
<i>Chlorella vulgaris</i>	51-58	12-17	14-22
<i>Chlorella pyrenoidosa</i>	57	26	2
<i>Dunaliella salina</i>	57	32	6
<i>Scenedesmus obliquus</i>	50-56	10-17	12-14
<i>Anabaena cylindrica</i>	43-56	25-30	4-7

Spirulina ve *Chlorella* cinsleri yüksek protein içerikleri nedeniyle son yıllarda çok popüler hale gelmiştir. Algler, yüksek protein içeriğinin yanında elzem amino asitleri içermekte olup algal proteinlerin standart bitki proteinlerinden daha üstün olduğu ifade edilmektedir [27]. Algler gıda takviyesi olarak kullanılmakta olup, toz, pul ve tablet formları satılmaktadır. Açık sistemlerde en çok yetiştirilen alg türleri *Spirulina* spp. ve *Chlorella* spp. olduğu bildirilmektedir [28]. Algal protein üretimi açısından endüstrileşmenin yüksek olduğu hatta *Spirulina* üretimi açısından yıllık 200 ton kurutulmuş biyokütle üretimine sahip Çin de bir şirket ve *Chlorella* açısından yıllık 400 ton kurutulmuş biyokütle üretimi ile Tayvan da şirket global markette zirveye sahip oldukları

bilinmektedir [29]. Son yıllarda algal protein ve ürün satışı yapan firmaların sayısı artmıştır.

Son yıllarda özellikle ticari verimi arttırmak amacıyla alglerin protein içeriğini yükseltecek üretim stratejileri gündemdedir. Bu stratejiler arasında spesifik her alg türü için optimum sıcaklık, ışık uygulamasının süre ve değeri, karıştırma ve ortamın besin içeriği uygulamaları vardır [30]. Güncel konulardan diğeri ise alglerden protein ekstraksiyonunun ardından proteaz enzimi uygulanmasıyla birlikte biyoaktif peptitlerin elde edilmesi yaklaşımıdır. Bu sayede algal kaynakların fonksiyonelliği artırılmaktadır [31].

Çoklu Doymamış Yağ Asitleri

Algler gerekli koşullar sağlandığında toplam kuru maddesinin yaklaşık %50' sine kadar yağ depolayabilmektedir [28]. Algal lipitler, enerji üretimi için kullanılan 14-20 karbon içeren yağ asitleri ve sağlıklı besin takviyeleri olarak kullanılan 20' den fazla karbon içeren çoklu doymamış yağ asitleri olarak ikiye ayrılabilir [32]. Çoklu doymamış yağ asitlerinin kalp dolaşım hastalıkları, aterosklerozis, koroner kalp hastalıkları ve kanda yüksek lipit içeriği gibi sorunlar üzerinde olumlu etkileri bulunmaktadır ve bu nedenle diyetle alınmaları çok önemlidir [33]. Son yıllarda yapılan çalışmalarda ise alglerden elde edilen çoklu doymamış yağ asitlerinin sahip olduğu bağışıklık biyoaktivitesi sayesinde COVID-19 tedavisinde kullanılabilir potansiyel bir kaynak olduğu gösterilmiştir [34]. Çoklu doymamış yağ asitleri özellikle elzem yağ asitleri olan omega-3 ve omega-6 içermesi sebebiyle çok değerlidir. Elzem yağ asitleri insan vücudunda üretilmeyen ve beslenme yoluyla alınması gereken yağ asitleridir. Omega-6 yağ asitlerinden elzem olan linoleik asit (LA) metabolik reaksiyonlar sonucunda sırasıyla gamma linolenik asit (GLA) ve araşidonik asit (AA)'e dönüşmektedir [35]. Omega-3 yağ asitlerinden elzem olan α -linolenik asit (ALA) ise metabolik reaksiyonlar sonucunda sırayla stearidonik asit (SDA), eikosapentaenoik asit (EPA) ve dokosaheksaenoik asit (DHA)'e dönüşmektedir [28]. Bazı algal yağlar, EPA,

DHA ve GLA ve araşidonik asit (AA) gibi önemli yağ asitlerini içermektedir [36]. Tüm bu sebeplerden dolayı, alglerin çoklu doymamış yağ asiti üretimi konusunda popülerliği artmış ve mikroalgler endüstriyel EPA ve DHA üretimi için en önemli doğal kaynak olarak kabul edilmektedir [37].

Eleren ve Öner' e göre [28], yüksek yağ içeriğine sahip mikroalg cinsleri şöyle sıralanabilir; *Chlorella* spp., *Spirulina* spp., *Dunaliella* spp., *Phaeodactylum* spp., *Scenedesmus* spp., ve *Chlamydomonas* spp.. *Chrysophyceae*, *Xanthophyceae* ve *Eustigmatophyceae* sınıfı bazı algere ait lipitler yüksek oranda EPA içermektedir [33]. *Schizochytrium* spp., *Cryptocodium cohnii*, *Amphidinium* spp., *Prorocentrum triestinum* DHA sentezleyebilirken, *Chlorella minutissima*, *Nannochloropsis* spp., *Porphyridium cruentum*, *Phaeodactylum tricornutum* ve *Isochrysis galbana* EPA sentezleyebilmektedir [38, 39, 40]. *Chrysophyceae*, *Gyrodinium* ve *Cryptocodium* türleri hem EPA hem de DHA kaynağıdır [41]. *Arthrospira* spp. ve *Porphyridium cruentum* ise sırasıyla GLA ve AA kaynağı olarak rapor edilmiştir [42]. *Spirulina platensis*' nin içerdiği yağın yaklaşık %20' si GLA' dır [33]. Diatomlarda temel ÇDYA' nin EPA olduğu bilinmektedir [43]. Bazı algal türler toplam kuru maddede yağ içeriği bilgisi Tablo 1' de verilmiştir. Tablo 2' de ise farklı alglerin içerdiği ÇDYA içeriği toplam yağ asitinin %' si şeklinde özetlenmektedir.

Tablo 2. Farklı alg kaynaklarının ÇDYA içeriği [44]

Table 2. PUFA content of different algal sources [44]

Alg Türü	ÇDYA Çeşidi	ÇDYA İçeriği (Toplam yağ asitinin yüzdesi)
<i>Phaeodactylum tricornutum</i>	EPA	9-57
<i>Cryptocodium cohnii</i>	DHA	36-44
<i>Nannochloropsis</i> spp.	EPA	9-27
<i>Porphyridium</i> spp.	AA	22-35
	EPA	3-27
<i>Schizochytrium</i> spp.	DHA	33-37
<i>Isochrysis galbana</i>	EPA	12-27
	DHA	5-14

Algler içerdiği ÇDYA ile özellikle omega-3 ve omega-6 içeriği ile ilgi görmektedir. Elzem yağ asidi eksikliği konusunda gıda takviyesi olarak önerilmektedir. Balık yağları çoklu doymamış yağ asitlerinin ana kaynağı olarak bilinmesine rağmen balıklar çoklu doymamış yağ asitlerini üretmezler, dışarıdan mikroalg tüketerek bünyelerine katarlar [37]. Balık yağı yüksek oranda omega-3 içermesine rağmen, gıda takviyesi olarak arzu edilmeyen koku ve tada sahip olması nedeniyle kullanımı kısıtlanmaktadır [36]. Bu noktada, algal kaynakların gıda takviyesi olarak tavsiye edilmesi artmıştır. Sadece gıda takviyesi olarak değil, mikroalgler dayalı yeni tasarlanmış ürünlerin geliştirilmesinde omega-3 ve omega-6 kaynağı olarak algler öne çıkmaktadır. Örneğin omega-3 kaynağı olan algal makarna ve pesto formülasyonu geliştirilmiştir [45]. Mikroalglerin üretim hacminin %75' inden fazlası sağlıklı gıda pazarında beslenmeyi arttırmak amacıyla kullanılmaktadır. Omega-3 ve omega-6' nin yeri çok kritiktir ve yükselen bir pazarı temsil etmektedir [39]. DSM' in ekstrakte ettiği algal DHA, ABD' deki tüm bebek

mamalarının %99' unda bulunduğu bilinmektedir [46]. ÇDYA kaynağı olarak endüstriyel olarak kullanılan ilk algler *Cryptocodium cohnii*. *Schizochytrium* spp. ve diatomlar olmuştur [47, 48]. Alglerden çoklu doymamış yağ asitleri (ÇDYA) üretimi endüstriyel olarak gerçekleştirilmekte ve önemli bir pazar değeri taşımaktadır. 2019 yılında küresel omega-3 yağ asitleri pazarı büyüklüğü 2.3 milyar USD olarak değerlendirilmiş ve 2019-2027 döneminde yıllık bileşik büyüme oranı (CAGR) %7.44 olarak tahmin edilmektedir [49]. Mikroalglerden elde edilen yağlar, EPA/DHA pazar hacminin %3' ünü ve değerinin %18' ini oluşturmaktadır ve pazarda ki bu artış eğilimi beklenmektedir [50]. Ticari EPA/DHA üreticilerinin başında DSM/Evonik şirketine bağlı çalışan Martek Biosciences firması gelmektedir [50, 51]. Martek firması, *Cryptocodium cohnii* ve *Schizochytrium* spp. mikroalglerini kullanarak algal DHA yağlarının satışını yapmaktadır [51]. Pazarda algal omega-3 ve omega-6 üretimi yapan şirketler DSM/Evonik, Lonza, Cellana, Algae Biosciences, BASF

ve NPC, SB oils, Source Omega, Qualitas Health ve Fraunhofer olarak sıralanabilir [50]. DSM eski adıyla Martek şirketi bu alanda öncüdür. DSM, besleyici lipitler kapsamında alglerden elde edilen %48 oranında omega-6 içeren life's ARA, DHA kaynağı olarak life's DHA, EPA ve DHA karışımını içeren life's OMEGA ürünlerinin satışını yapmaktadır [52]. FDA, 2001 yılında Martek firmasının, DSM şirketine dahil olmadan, ürettiği algal yağ katkı maddelerini 'grass' (generally recognised as safe/ genel olarak güvenilir zararsız kabul edilen) statüsünde kabul etmiştir [53].

Polisakkarit

Polisakkaritler çok sayıda monosakkarit birimlerinden oluşan karbonhidratlardır. Algal polisakkaritler, gıda sektöründe stabilizatör, emülgatör ve kıvam artırıcı olarak büyük öneme sahip olup, aynı amaçlarla ilaç sektöründe de kullanılmaktadır [36]. Çeşitli alg türlerindeki toplam polisakkarit konsantrasyonları kuru ağırlığın %4-76 arasında değişmektedir [54]. Algal polisakkaritler hücre duvarı polisakkaritleri, depo polisakkaritleri ve yapısal polisakkaritler olarak sınıflandırılabilir [54, 55]. Alglerden elde edilen ve ekonomik açıdan önemli olan polisakkaritler arasında karragenan, aljinat ve agar yer almaktadır [20]. Karragenan yapısına bağlı sülfat grubunun sayısı ve konumuna göre endüstriyel olarak kappa, iyota ve

lambda olmak üzere 3 gruba ayrılmaktadır [56]. Bu sınıflandırma hangi amaç ve fonksiyon için kullanılacağını etkilemekte olup, kappa karragenan sert ve dayanıklı jel formunda, iyota karragenan elastik ve su tutucu jel yapıda, lambda karragenan ise jel özelliği göstermeyen durumlarda kullanılması önerilmektedir [54, 57]. Aljinat, pek çok gıda ürününde kıvam artırıcı, emülgatör ve stabilize edici ajan olarak kullanılmaktadır. Agar, jöleli tatlılar, marshmallow, toffees gibi şekerleme ürünlerinde ve fırınlanmış ürünlerinde dolgu malzemelerinde olduğu gibi birçok alanda jelleştirici olarak kullanılmaktadır [58].

Kırmızı algler, karragenan ve agar kaynağı olarak bilinirken kahverengi algler aljinat kaynağı olarak bilinmektedir [59, 60]. *Chondrus* spp., *Eucaema* spp., *Kappaphycus* spp., *Gigartina* spp., *Hypnea* spp., *Iridaea* spp. kütlece karragenan içeren alg cinsleridir [54]. *Gelidiella* spp., *Gelidiopsis* spp., *Gelidiopsis* spp., *Gelidium* spp., *Gracilaria* spp. ve *Pterocladia* spp. ise agar üretimi için kullanılan cinslerdir [54]. Bakterilerden de aljinat üretilebilmesine rağmen günümüzde ticari olarak tüm aljinat üretimi alglerden yapılmaktadır ve bu alg türleri şöyle sıralanabilir; *Laminaria hiperborea*, *Laminaria digitata*, *Laminaria japonica*, *Macrocystis pyrifera*, *Ascophyllum nodosum*, *Eclonia maxima*, ve *Sargassum* spp. [11, 61].

Tablo 3. Farklı alg cins/türlerinin polisakkarit içerikleri [62]

Table 3. Polysaccharide contents of different algal genus/species [62]

Algal Kaynak	Polisakkarit Tipi	Polisakkarit İçeriği (% toplam kuru maddede)
<i>Laminaria japonica</i>	Aljinat	%30-40
<i>Gracilaria</i> spp.	Agar	%40-50
<i>Eucaema</i> spp.	Karragenan	%40-50
<i>Ascophyllum nodosum</i>	Aljinat	%30-40

Alglerden üretilen polisakkaritler günümüzde ticarileşmiş gıda katkı maddesi haline gelmiştir. Alglerden elde edilen polisakkaritlerin kıvam artırıcı ve jelleştirici olarak reçel, içecek, fırıncılık ürünleri gibi endüstrilerde kullanıldığı bilinmektedir. 2010 yılında, bu üç polisakkaritin yıllık yaklaşık 90 ton ticari üretimi olup 1.016 milyar dolar pazar değerine sahiptir ve büyük oranda gıda endüstrisinde kullanılmaktadır [20].

Alglerden elde edilen polisakkaritler sadece gıda katkı maddesi olarak kullanılmamaktadır. Güncel kaynaklar alglerden elde edilen polisakkaritlerin farmasötik, kozmetik ve beslenme takviyeleri gibi geniş uygulama alanlarına sahip olduğunu teyit etmektedir [63]. Alglerden elde edilen aljinat, agar, karragenan ve ulvan gibi polisakkaritlerin, 3D gıda yazıcılarında potansiyel bir kaynak olarak kullanılabilmesi belirtilmektedir [64]. Sürdürülebilir gıda ambalaj çalışmalarında da incelenen kaynaklardandır [65].

Pigment

Gıdaların satın alınması ve duyu analizlerinde en önemli özelliklerden biri gıdanın rengidir. Çünkü renk fiziksel olarak en dikkat çekici ve ilk izlenimi oluşturan etmendir. Bu nedenlerle gıda sektöründe

renklendiricilerin yeri büyüktür. Doğal ve sentetik olmak üzere iki tip pigment vardır [66]. Sentetik pigmentler kimyasal maddelerin türevi olup, özellikle gıdalarda kullanımı ile ilgili tartışmalar olmaktadır [21]. Hatta, sentetik renklendiricilerin alerjen, tahriş edici ve karsinojen etkiye sahip olması gibi sağlık üzerine negatif etkilerinin olduğu bilinmektedir [67]. Sentetik pigmentlerin bu olumsuz özelliklerinden dolayı doğal pigmentlere talep artmaktadır. Bunun yanında, doğal pigmentler antioksidan ve antitümoral aktiviteleri sayesinde sağlık açısından pozitif etki sağlamaktadır [68]. Yapılan araştırmalar sayesinde alglerin pigment üretimi için uygun bir kaynak olarak görülmesinin üzerine literatür ve ticari anlamda algere olan ilgi bu konuda artmıştır [69].

Klorofil, karotenoid ve fikobilinler doğal pigmentlerin altında değerlendirilir [21]. Fikosiyanin, fikoeritrin, astaksantin, kantaksantin, β -karoten, lutein ve fukoksantin alglerden doğal olarak elde edilen pigmentler olarak bilinmektedir [17, 70]. En iyi β -karotenoid üreticisi *Dunaliella* spp. olarak bilinmektedir [71, 72]. β -karoten dünyada gıda renklendiricisi olarak margarin, peynir, meyve suları, süt ürünleri gibi ürünlerde sarı-turuncu renklerini vermek için en çok kullanılan pigmenttir [71]. β -karotenin gıdalarda

renklendirici olması dışında A vitamini öncüsü ve yüksek antioksidan özelliğine sahip olması nedeniyle sağlık açısından da gıdaların fonksiyonel özelliklerini geliştirmektedir [73]. Astaksantin üretimi yapan alg *Haematococcus* spp. olarak bilinmektedir [71, 72]. Astaksantin pembe renk veren bir pigment olmasının yanında daha çok yüksek antioksidan aktivitesi ile öne çıkmaktadır [74]. Astaksantin, su ürünleri yetiştiriciliğinde ana bir pazar olarak öne çıkar çünkü somon ve alabalık gibi türlerde pigmentasyon kaynağı olarak kullanılır [75]. Fikosiyanin ve fikoeritrin üretimi özellikle *Porphyridium* spp. tarafından üretilmesinin yanında *Spirulina* spp., *Synechococcus* spp., *Phormidium* spp., ve *Nostoc* spp.' den yapılmaktadır [21, 72]. Sakız, jöleler, şekerler ve süt ürünlerinde mavi renk kaynağı olarak fikosiyanin kullanılmaktadır [76].

Chlorella spp. ve *Scenedesmus* spp. cinslerinden lutein pigmenti üretilmektedir [72]. Lutein gıda renklendiricisi, antioksidan ve antiinflamatuvar aktivitesi yanı sıra göz sağlığına faydalı pigment olarak bilinmektedir [77]. Hazır çorba, alkollü ve alkolsüz içecek, bisküvi, sos, kek ve şekerleme endüstrilerinde sıklıkla kullanılan bir pigmenttir [21]. *Undaria* spp. ve *Sargassum* spp. cinslerinden fukoksantin pigmenti üretilmektedir [21]. Fukoksantin pigmenti renklendirici özelliğine ek olarak, antiobesite, antitümör, antidiyabet, antioksidan, antiinflamatuvar ve kardiyovasküler koruyucu gibi etkilerinin bulunduğu tespit edilmiştir [78]. Tablo 4'te farklı alglerin metanol çözgeni ile pigment ekstraksiyonu sonuçları toplam klorofil ve karotenoid cinsinden µg/g alg olarak ifade edilmiştir.

Tablo 4. Farklı alg kaynaklarının µg/g alg olarak pigment içeriği [79]

Table 4. Pigment content of different algal sources in µg/g algae [79]

Alg	Toplam Klorofil (µg/g alg)	Toplam Karotenoid (µg/g alg)
<i>Himanthalia elongata</i>	66.0	2.3
<i>Undaria pinnatifida</i>	352.2	54.6
<i>Laminaria ochroleuca</i>	168.9	27.0
<i>Porphyra</i> spp.	509.7	70.8
<i>Spirulina</i> spp.	10253.0	1263.9

Literatür bilgilerinin yanı sıra günümüzde ticari olarak da alglerden pigment üretimi yapılmaktadır. Algal pigment pazar değerinin 2025 yılına kadar 452.4 milyon USD' e ulaşması beklenmektedir [80]. Ticari üretime örnek olarak, *Spirulina platensis*'ten klorofil a üretimi, *Undaria pinnatifida*'dan fukoksantin üretimi, *Haematococcus* spp.'ten astaksantin üretimi, *Dunaliella* spp.'den β-karoten üretimi verilebilir [81, 82, 83, 84].

Pigmentlerin hem renk verme hem de sağlık etkilerinin gözlemlenmesi için öncelikle algal kaynaktan ekstrakte edilmelidir. Geleneksel yöntemlerin yanında, SC-CO₂ (Süperkritik CO₂ ekstraksiyonu), MAE (Mikrodalga destekli ekstraksiyon), UAE (Ultrason destekli ekstraksiyon) ve EAE (Enzim destekli ekstraksiyon) gibi inovatif ekstraksiyon metotları çalışılmaktadır [85]. Yapılan araştırmalar sonucunda, pigmentlerin gıda renklendiricisi olmanın yanı sıra antioksidan, antimutajen, antiobesite, antitümör, antidiyabet ve antiinflamatuvar etkilere sahip oldukları görülmüş, bu nedenle gıdaların fonksiyonel ve pozitif sağlık etkilerini artırdığı tespit edilmiştir. Örneklerden de açıkça anlaşıldığı üzere, alglerin ve alglerden elde edilen pigmentlerin doğal ve sürdürülebilir gıda renklendiricisi olarak önemi giderek artmaktadır.

Sterol

Sterol, çoğunlukla ökaryotik hücrenin zarlarında bulunan yapısal lipittir [86]. Kolesterol hayvan dokularındaki ana sterol iken, stigmasterol ve ergosterol sırasıyla bitkiler ve mantarlardaki ana sterol bileşenidir [86]. Algler, çeşitli sterollerini içermektedirler ve algal steroller kolesterol, fukosterol, izofukosterol, klionosterol ve stigmasterol olarak sıralanabilir [11]. Yeşil algler izofukokolesterol, kolesterol ve sitosterol; kahverengi algler fukosterol, kolesterol ve brassikasterol; kırmızı algler ise desmosterol, kolesterol, sitosterol ve fukosterol

içermektedir [87]. Dinoflagellatların nispeten küçük bir grubu olan dinotomlar son yıllarda sterol kaynağı olarak araştırma konusu olmuştur [88]. Fitosterollerin antioksidan, antikanser, antidiyabetik, antihipertansif, antiinflamatuvar, hiperkolesterolemik, antifungal ve antibakteriyel gibi çeşitli pozitif biyolojik aktiviteleri olduğu literatürde belirtilmektedir [89]. Alglerden elde edilen fitosteroller arasında özellikle fukosterolün incelendiği ve yapılan çalışmalar sonucunda antioksidan, antiinflamatuvar, kolesterol düşürücü özelliklerinin yanı sıra antidiyabetik, antiobesite, anti-Alzheimer, antiaging, antikanser ve hepatoprotektif etkilerinin olduğu görülmüştür [90]. Sterollerin sağlık üzerindeki olumlu etkilerinden yararlanabilmek için emülsiyon, lipozom, oleojel veya nanolipozom gibi taşıma sistemleri aracılığıyla vücuda alınmalarının önemli olduğu belirtilmektedir [91]. Luo ve ark. [92]' in çalışmasında, fukosterol kaynağı olarak *Turbinaria conoides*, *Himanthalia elongata*, *Undaria pinnatifida*, *Porphyra* spp., *Chondrus crispus*, *Cystoseira* spp. ve *Ulva* spp.; sitosterol kaynağı olarak *Porphyridium cruentum*, *Bigelowiella natans*, *Gymnochlorastellata* ve *Lotharella amoebiformis*; stigmasterol kaynağı olarak ise *Porphyridium cruentum* gösterilmiştir. Farklı türleri içeren çalışmalarda, sterol içeriğinin kuru bazda %6.5'e kadar yükseldiği ve bu değerlerin yaz döneminde en yüksek seviyeye ulaştığı gözlemlenmiştir [93].

Zoosterol yani hayvansal sterol olan kolesterol insanlar tarafından sentezlenebilirken, fitosteroller sentezlenememekte ve dışarıdan alınması gerekmektedir [11, 94]. Eksiklik durumunda gıda takviyesi olarak alınması gerekmektedir. Ticari fitosterol üretimi için ana kaynak yüksek gelişmiş ve doğal olarak bulunan bitkilerdir [95]. Fitosteroller için küresel pazarın 2022 yılında 935 milyon dolara ulaşması beklenmektedir [96]. Hem sterollerin sağlık üzerine pozitif etkilerinin bilinmesi hem de alglerin sterol kaynağı olarak

görülmesi nedeniyle bu konuda yapılan çalışmalar artmaktadır. Kanola, soya ve ayçiçeği gibi ticari fitosterol kaynaklarıyla kıyaslandığında *Porphyridium* spp., *Isochrysis* spp., *Pavlova lutheri* ve *Thalassiosira pseudonana* gibi alglerin mg/g yağ cinsinden daha yüksek fitosterol içeriğine sahip oldukları belirlenmiştir [96]. Alglerin sterol üretiminde sürdürülebilir ve önemli bir kaynak olarak kabul edildiği ifade edilmektedir.

Vitamin ve Mineraller

Vitaminler ve mineraller, vücudumuzun normal olarak gelişmesi ve çalışması için ihtiyaç duyduğu temel maddelerdendir. Vitamin A, D, E, K, C, tiamin, riboflavin, niyasin, piridoksin, folik asit, biyotin, pantotenik asit ve B₁₂ olmak üzere 13 tane elzem vitamin türü vardır ve hepsinin sağlık üzerine spesifik pozitif özellikleri bulunmaktadır [97]. Makromineraler, sodyum, klor, potasyum, kalsiyum, fosfor, magnezyum ve kükürt gibi elementleri içerirken, iz mineralleri demir, çinko, iyot, bakır, selenyum, flor, mangan, krom ve molibden gibi elementlerden oluşmaktadır [98].

Algler, A, B₁, B₂, B₆, B₁₂, C ve E vitaminleri açısından ve potasyum, demir, magnezyum, kalsiyum ve iyot gibi

mineraller açısından oldukça zengindir [15]. *Spirulina* spp., *Chlorella* spp. ve *Dunaliella* spp. cinsleri dünya üzerinde en çok yetiştiriciliği yapılan cinslerdir ve bu üç cins yüksek A vitamini içeriğine sahiptir [99, 100]. İtler ve ark. [11]' nın çalışmasında C ve E vitamini kaynağı olan türler *Dunaliella tertiolecta*, *Nannochloropsis oculata*, *Spirulina platensis*, *Tetraselmis suecica* ve *Euglena gracilis* olarak belirtilmiştir. Askorbik asit bakımından zengin olan ve büyük miktarlarda C vitamini biriken deniz diyatomu *Skeletonema marinoi*. yeni kaynaklar arasına girmektedir [101]. Yeşil, kahverengi ve kırmızı alglerde yüksek miktarda potasyum, kalsiyum ve sodyum içeriği bulunmaktadır [102]. 25 farklı yeşil mikroalg incelendiğinde, *Bracteacoccus minor* ve *Chlorococcum humicola* türlerinin demir, çinko ve kobalt içeriğinin yüksek olduğu görülmüştür [103]. Ticari olarak en çok yetiştiriciliği yapılan *Spirulina* ve *Chlorella* cinslerinin vitamin içerikleri mg ya da µg/100 g kuru maddede olarak Tablo 5'te verilmiştir. Görüldüğü üzere, *Spirulina* spp. E ve tiamin vitamini kaynağı olarak daha zengin iken, *Chlorella* spp. A, C ve niyasin vitamini bakımından daha zengin bir içeriğe sahiptir.

Tablo 5. *Spirulina* ve *Chlorella* cinslerinin 100 g kuru maddede vitamin içeriği [104]

Table 5. Vitamin content of *Spirulina* and *Chlorella* genus in 100 g dry matter [104]

Vitamin Türü	<i>Chlorella</i> spp.	<i>Spirulina</i> spp.
A vitamini	30.77 mg	0.34 mg
C vitamini	10.4 mg	10.1 mg
B ₁ vitamini (Tiamin)	1.7 mg	2.4 mg
B ₂ vitamini (Riboflavin)	4.3 mg	3.7 mg
B ₃ vitamini (Niasin)	23.8 mg	12.8 mg
B ₅ vitamini (Pantotenik asit)	1.1 mg	-
B ₆ vitamini (Piridoksin)	1.4 mg	0.4 mg
B ₉ vitamini (Folik asit)	94 µg	94 µg
E vitamini	1.5 mg	5.0 mg
K vitamini	-	25.5 µg

Alglerden ticari olarak vitamin ve mineral üretildiği konusunda bilgi bulunamamıştır. Algal vitamin ve mineraller gıda takviyesi olarak incelenmektedir. Literatür bilgileri doğrultusunda zengin vitamin ve mineral içeren spesifik alg cinsleri bulunmaktadır. Bu nedenle, doğal ve sürdürülebilir vitamin ve mineral kaynağı olarak algler potansiyele sahiptir.

SONUÇ

Bu çalışmada, gıda sürdürülebilirliğinin önemi ve bu noktada alglerin yeri incelenmiştir. Alglerin sürdürülebilir bir kaynak olmasının en önemli nedeni içerdiği protein, çoklu doymamış yağ asidi, polisakkarit, pigment, sterol, vitamin ve mineraller gibi biyoaktif bileşenlerdir. Günümüzde algal protein, ÇDYA, sterol, vitamin ve mineraller gıda takviyesi olarak, polisakkarit ve pigmentler ise gıda katkı maddesi olarak kullanılmaktadır. *Spirulina* spp., *Chlorella* spp., *Dunaliella* spp., *Cryptocodinium* spp., *Schizochytrium* spp., *Laminaria* spp., *Gracilaria* spp. ve *Undaria* spp.

cinsleri ticari olarak üretimi yapılan alg türlerine örnek olarak verilebilir. Algler son dönemde hem akademik çalışmalarda hem de endüstriyel uygulamalarda popülerliğini arttırmaktadır. Bunun yanı sıra yeni ve sürdürülebilir gıda kaynağı olması ve vegan beslenmeye uygun olması algleri en güncel araştırma konuları arasında tutmaya yetmektedir. Alglerle olan gereksinimin artmasıyla bu alanda endüstriyellemenin giderek artacağı öngörüsünü yapmak doğru olacaktır.

KAYNAKLAR

- [1] Glavič, P., Lukman, R. (2007). Review of sustainability terms and their definitions. *Journal of Cleaner Production*, 15(18), 1875-1885.
- [2] Purvis, B., Mao, Y., Robinson, D. (2019). Three pillars of sustainability: in search of conceptual origins. *Sustainability Science*, 14(3), 681-695.
- [3] Rueda, X., Garrett, R.D., Lambin, E.F. (2017). Corporate investments in supply chain sustainability: Selecting instruments in the agri-

- food industry. *Journal of Cleaner Production*, 142, 2480-2492.
- [4] Brklacich, M., Bryant, C.R., Smit, B. (1991). Review and appraisal of concept of sustainable food production systems. *Environmental Management*, 15(1), 1-14.
- [5] Usmani, M.A., Toppo, K., Nayaka, S., Suseela, M.R., Sheikh, S. (2015). Role of algae in sustainable food, health and nutritional security: An overview. *Uttar Pradesh State Biodiversity Board*, 2015, 83-88.
- [6] Food and Agriculture Organization. (2019). State of Food Insecurity in the World 2019 Report, <http://www.fao.org/3/ca5249tr/ca5249tr.pdf>, Haziran 2020.
- [7] Mariutti, L. R. B., Rebelo, K. S., Bisconsin-Junior, A., de Moraes, J. S., Magnani, M., Maldonado, I. R., & Cazarin, C.B.B. (2021). The use of alternative food sources to improve health and guarantee access and food intake. *Food Research International*, 149, 110709.
- [8] Tan, K., Zhang, H., Li, S., Ma, H., Zheng, H. (2022). Lipid nutritional quality of marine and freshwater bivalves and their aquaculture potential. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 62(25), 6990-7014.
- [9] Grossmann, L., Weiss, J. (2021). Alternative protein sources as technofunctional food ingredients. *Annual Review of Food Science and Technology*, 12, 93-117.
- [10] Thavamani, A., Sferra, T. J., Sankararaman, S. (2020). Meet the meat alternatives: The value of alternative protein sources. *Current Nutrition Reports*, 9, 346-355.
- [11] İlater, I., Akyıl, S., Koç, M., Kaymak-Ertekin, F. (2016). Alglerden elde edilen stabilize edici maddeler. *Akademik Gıda*, 14(3), 315-321.
- [12] Barsanti, L., Gualtieri, P. (2014). *Algae: Anatomy, Biochemistry, and Biotechnology*. Taylor & Francis, Boca Raton.
- [13] Lewin, R., Andersen, R. (2019). Algae. In: *Encyclopædia Britannica*.
- [14] Baweja, P., Sahoo, D. (2015). Classification of Algae. In: *The Algae World Cellular Origin. In Life in Extreme Habitats and Astrobiology*, Edited by D. Sahoo, J. Seckbach, Springer, Dordrecht, pp. 31-55.
- [15] Cebe, A.S. (2010). Alglerin genel özellikleri, kullanım alanları ve eczacılıktaki önemi. *Ankara Üniversitesi Eczacılık Fakültesi Dergisi*, 39(3), 237-264.
- [16] Oğur, S. (2016). Kurutulmuş alglerin besin değeri ve gıda olarak kullanımı. *Su Ürünleri Dergisi*, 33(1), 67-79.
- [17] Borowitzka, M.A. (1998). *Algae As Food*. In *Microbiology of Fermented Foods*, Edited by B.J.B. Wood, Springer, Boston.
- [18] Edwards, M. (2010). *Algae History and Politics*, Cambridge University Press, Cambridge. pp. 205.
- [19] Koyande, A.K., Chew, K.W., Rambabu, K., Tao, Y., Chu, D.T., Show, P.L. (2019). Microalgae: A potential alternative to health supplementation for humans. *Food Science and Human Wellness*, 8(1), 16-24.
- [20] Bixler, H.J., Porse, H. (2011). A decade of change in the seaweed hydrocolloids industry. *Journal of Applied Phycology*, 23, 321-335.
- [21] İlater, I., Akyıl, S., Koç, M., Kaymak-Ertekin, F. (2017). Alglerden elde edilen ve gıdalarda doğal renklendirici olarak kullanılan pigmentler ve fonksiyonel özellikleri. *Türk Tarım-Gıda Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 5(12), 1508-1515.
- [22] Katircioğlu, H., Aksöz, N. (2003). Tek hücre proteini. *Orlab On-Line Mikrobiyoloji Dergisi*, 1(8), 34-49.
- [23] Becker, E.W. (2007). Micro-algae as a source of protein. *Biotechnology Advances*, 25(2), 207-210.
- [24] Khan, Z., Bhadouria, P., Bisen, P.S. (2005). Nutritional and therapeutic potential of Spirulina. *Current Pharmaceutical Biotechnology*, 6(5), 373-379.
- [25] Masojidek, J., Torzillo, G. (2014). Mass cultivation of freshwater microalgae. *Reference Module in Earth Systems and Environmental Sciences*, 2014, 1-13.
- [26] Bleakley, S., Hayes, M. (2017). Algal proteins: extraction, application, and challenges concerning production. *Foods*, 6(5), 33.
- [27] Habib, M.A.B. (2008). Review on culture, production and use of Spirulina as food for humans and feeds for domestic animals and fish. Food and agriculture organization of the united nations.
- [28] Eleren, S.Ç., Öner, B. (2019). Sürdürülebilir ve çevre dostu biyoyakıt hammaddesi: mikroalgler. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 25(3), 304-319.
- [29] Spolaore, P., Joannis-Cassan, C., Duran, E., Isambert, A. (2006). Commercial applications of microalgae. *Journal of Bioscience and Bioengineering*, 101(2), 87-96.
- [30] Geada, P., Moreira, C., Silva, M., Nunes, R., Madureira, L., Rocha, C.M., Teixeira, J.A. (2021). Algal proteins: Production strategies and nutritional and functional properties. *Bioresource Technology*, 332, 125125.
- [31] O'Connor, J., Garcia-Vaquero, M., Meaney, S., Tiwari, B.K. (2022). Bioactive peptides from algae: Traditional and novel generation strategies, structure-function relationships, and bioinformatics as predictive tools for bioactivity. *Marine Drugs*, 20(5), 317.
- [32] Yen, H.W., Hu, I.C., Chen, C.Y., Ho, S.H., Lee, D.J., Chang, J.S. (2013). Microalgae-based biorefinery—from biofuels to natural products. *Bioresource Technology*, 135, 166-174.
- [33] Darcan, S., Sarıgül, N. (2015). Mikroorganizmalardan tek hücre yağları üretimi. *Türk Mikrobiyoloji Cemiyeti Dergisi*, 45(2), 55-67.
- [34] Ziyaei, K., Ataie, Z., Mokhtari, M., Adrah, K., Daneshmehr, M.A. (2022). An insight to the therapeutic potential of algae-derived sulfated polysaccharides and polyunsaturated fatty acids: Focusing on the COVID-19. *International Journal of Biological Macromolecules*, 209, 244-257.
- [35] Kent, L. (2009). Çoklu Doymamış Yağ Asitleri Eldesi: Tepki Yüzey Metodolojisi İle

- Optimizasyonu. Doktora tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, pp. 10-50.
- [36] Akyıl, S., İlter, I., Koç, M., Kaymak-Ertekin, F. (2016). Alglerden elde edilen yüksek değerlikli bileşiklerin biyoaktif/biyolojik uygulama alanları. *Akademik Gıda*, 14(4), 418-423.
- [37] Mishra G. (2015) Polyunsaturated Fatty Acids from Algae. In *The Algae World*, Edited by D. Sahoo, J. Seckbach, Springer, Dordrecht, pp. 57-75.
- [38] Medina, A.R., Grima, E.M., Giménez, A.G., González, M.J.I. (1997). Downstream processing of algal polyunsaturated fatty acids. *Biotechnology Advances*, 16(3), 517-580.
- [39] Kyle, D.J. (2001). The large-scale production and use of a single-cell oil highly enriched in docosahexaenoic acid. *ACS Symposium Series Omega-3 Fatty Acids*, 2, 92-107.
- [40] Bellou, S., Aggelis, G. (2013). Biochemical activities in *Chlorella* sp. and *Nannochloropsis salina* during lipid and sugar synthesis in a lab-scale open ponds simulating reactor. *Journal of Biotechnology*, 164(2), 318-329.
- [41] Makri, A., Bellou, S., Birkou, M., Papatrehas, K., Dolapsakis, N.P., Bokas, D., Papanikolaou, S., Aggelis, G. (2011). Lipid synthesized by microalgae grown in laboratory and industrial-scale bioreactors. *Engineering in Life Sciences*, 11(1), 52-58.
- [42] Cohen, Z., Heimer, Y.M. (1992). Production of Polyunsaturated Fatty Acids (EPA, ARA and GLA) by The Microalgae *Porphyridium* and *Spirulina*. In *Industrial Applications of Single Cell Oils*, Edited by D.J. Kyle, C. Rattledge. CRC Press, New York, pp. 243-273.
- [43] Volkman, J.K. (2003). Sterols in microorganisms. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 60(5), 495-506.
- [44] Robertson, R., Guihéneuf, F., Schmid, M., Stengel, D.B., Fitzgerald, G., Ross, P., Stanton, C. (2013). Algae-derived polyunsaturated fatty acids: implications for human health. *Polyunsaturated Fatty Acids: Sources, Antioxidant Properties and Health Benefits*, 2013, 45-99.
- [45] Pina-Pérez, M.C., Brück, W., Brück, T., Beyrer, M. (2020). Microalgae as Healthy Ingredients for Functional Foods. In *The Role of Alternative and Innovative Food Ingredients and Products in Consumer Wellness*, Edited by C.M. Galanakis, Academic Press, New York, pp. 103-137.
- [46] Rahman, K.M. (2020). Food and High Value Products from Microalgae: Market Opportunities and Challenges. In *Microalgae Biotechnology for Food, Health and High Value Products*, Springer, Singapore, pp. 3-27.
- [47] Harwood, J.L. (2019). Algae: critical sources of very long-chain polyunsaturated fatty acids. *Biomolecules*, 9(11), 708.
- [48] Chen, W., Li, T., Du, S., Chen, H., Wang, Q. (2023). Microalgal polyunsaturated fatty acids: Hotspots and production techniques. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*, 11, 1146881.
- [49] K. Ahuja, K. Mamtani. (2022). EPA/DHA (omega 3) ingredients market and Share Report 2026. <https://www.gminsights.com/industry-analysis/EPA-DHA-omega-3-ingredients-market>
- [50] Van der Voort, M.P., Spruijt, J., Potters, J.I., Elissen, H.J.H. (2017). Socio-Economic Assessment of Algae-Based PUFA Production. The Value Chain from Microalgae to PUFA Chain, Project no: 613303.
- [51] Ansorena, D., Astiasarán, I. (2013). Development Of Nutraceuticals Containing Marine Algae Oils. In *Functional Ingredients from Algae for Foods and Nutraceuticals*, Edited by H.D. González, Woodhead Publishing, Philadelphia, pp. 634-657.
- [52] DSM. (2021). Nutritional Lipids. <https://www.dsm.com/markets/humannutrition/en/products/nutritional-lipids.html>, Mart 2021.
- [53] Harris, R.P. (2006). Omega 3 fatty acids. Novinka Books, New York, pp. 17.
- [54] Kraan, S. (2012). Algal Polysaccharides, Novel Applications and Outlook. In *Carbohydrates-Comprehensive Studies on Glycobiology and Glycotechnology*, Edited by C. Chang, InTech, Rijeka, pp. 65-80.
- [55] Mišurcová, L., Orsavová, J., Ambrožová, J.V. (2014). Algal Polysaccharides and Health. In *Polysaccharides: Bioactivity And Biotechnology*, Edited by K.G. Ramawat, J. Mérillon, Springer, Cham, pp. 95.
- [56] Campo, V.L., Kawano, D.F., da Silva Jr, D.B., Carvalho, I. (2009). Carrageenans: biological properties, chemical modifications and structural analysis—A review. *Carbohydrate polymers*, 77(2), 167-180.
- [57] Ak, İ. (2015). Sucul ortamın ekonomik bitkileri; makro algler. *Dünya Gıda Dergisi*, 12, 88-97.
- [58] Pegg, A.M. (2012). The Application of Natural Hydrocolloids to Foods and Beverages. In *Natural Food Additives, Ingredients and Flavourings*, Woodhead Publishing, Cambridge, pp. 175-196.
- [59] McHugh, D.J. (2003). A guide to the seaweed industry. *FAO Fish Technology*, 441, 1-105.
- [60] Draget, K.I., Smidsrød, O., Skjåk-Bræk, G. (2005). Alginates from algae. *Biopolymers Online: Biology, Chemistry, Biotechnology, Applications*, 6, 22-45.
- [61] Draget, K.I. (2009). Alginates. In *Handbook of Hydrocolloids*, Edited by G.O. Phillips, P.A. Williams, CRC press, Boca Raton, pp. 53-64.
- [62] Gotteland, M., Riveros, K., Gasaly, N., Carcamo, C., Magne, F., Liabeuf, G., Beattie, A., Rosenfeld, S. (2020). The pros and cons of using algal polysaccharides as prebiotics. *Frontiers in Nutrition*, 7, 163-169.
- [63] Patel, A.K., Vadrale, A.P., Singhania, R.R., Michaud, P., Pandey, A., Chen, S.J., Dong, C.D. (2022). Algal polysaccharides: current status and future prospects. *Phytochemistry Reviews*, 1-30.
- [64] Mandal, S., Nagi, G.K., Corcoran, A.A., Agrawal, R., Dubey, M., Hunt, R.W. (2022). Algal polysaccharides for 3D printing: A review. *Carbohydrate Polymers*, 120267.
- [65] Thiviya, P., Gamage, A., Liyanapathirana, A., Makehelwala, M., Dassanayake, R. S.,

- Manamperi, A., Madhujith, T. (2022). Algal polysaccharides: Structure, preparation and applications in food packaging. *Food Chemistry*, 134903.
- [66] Erdal, P., Ökmen, G. (2013). Gıdalarda kullanılan mikrobiyal kaynaklı pigmentler. *Türk Bilimsel Derlemeler Dergisi*, 6(2), 56-68.
- [67] Alam, T., Najam, L., Al-Harrasi, A. (2018). Extraction of natural pigments from marine algae. *Journal of Agricultural and Marine Sciences*, 23(1), 81-91.
- [68] Beutner, S., Bloedorn, B., Frixel, S., Hernández-Blanco, I., Hoffmann, T., Martin, H.D., Schülke, I. (2001). Quantitative effect of antioxidant properties of natural colorants and phytochemicals: carotenoids, flavonoids, phenols and indigoids. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 81(6), 559-568.
- [69] Dufossé, L., Galaup, P., Yaron, A., Arad, S.M., Blanc, P., Murthy, K.N.C., Ravishankar, G.A. (2005). Microorganisms and microalgae as a source of pigment for food use: a scientific oddity or an industrial reality?. *Trends in Food Science & Technology*, 16(9), 389-406.
- [70] Prasanna, R., Sood, A., Suresh, A., Nayak, S., Kaushik, B. (2007). Alg pigmentlerinin biyoloji ve endüstrideki potansiyelleri ve uygulamaları. *Acta Botanica Hungarica*, 49(2), 131-156.
- [71] Çelikel, N., Kınık, Ö., Göncü, S., Kavas, G. (2006). Mikroalglerin gıdalarda renk verici madde (pigment) kaynağı olarak kullanımı. *Türkiye 9. Gıda Kongresi*, Mayıs 24-26, 2006, Bolu, Türkiye, Bildiri Kitabı, pp. 447-450.
- [72] Dring, M.J. (1998). *The Biology of Marine Plants*. Cambridge University Press, Cambridge, pp. 43-76.
- [73] da Costa Cardoso, L.A., Kanno, K.Y.F., Karp, S.G. (2017). Microbial production of carotenoids A review. *African Journal of Biotechnology*, 16(4), 139-146.
- [74] Hu, I.C. (2019). Production of Potential Coproducts from Microalgae. In *Biofuels from Algae*. Elsevier, New York, pp. 345-358.
- [75] Lorenz, R.T., Cysewski, G.R. (2000). Commercial potential for Haematococcus microalgae as a natural source of astaxanthin. *Trends in Biotechnology*, 18(4), 160-167.
- [76] Santiago-Santos, M.C., Ponce-Noyola, T., Olvera-Ramírez, R., Ortega-López, J., Cañizares-Villanueva, R.O. (2004). Extraction and purification of phycocyanin from *Calothrix* sp.. *Process Biochemistry*, 39(12), 2047-2052.
- [77] Buscemi, S., Corleo, D., Di Pace, F., Petroni, M. L., Satriano, A., Marchesini, G. (2018). The effect of lutein on eye and extra-eye health. *Nutrient*, 10(9), 13-21.
- [78] Zhang, H., Tang, Y., Zhang, Y., Zhang, S., Qu, J., Wang, X., Liu, Z. (2015). Fucoxanthin: A promising medicinal and nutritional ingredient. *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine*, 2015, 1-10.
- [79] Osório, C., Machado, S., Peixoto, J., Bessada, S., Pimentel, F.B.C, Alves, R., Oliveira, M.B.P.P. (2020). Pigments content (Chlorophylls, fucoxanthin and phycobiliproteins) of different commercial dried algae. *Separations*, 7(2), 33.
- [80] Patel, A.K., Albarico, F.P.J.B., Perumal, P.K., Vadrale, A.P., Nian, C.T., Chau, H.T.B., ... Singhania, R.R. (2022). Algae as an emerging source of bioactive pigments. *Bioresource Technology*, 351, 126910.
- [81] Scheer, H. (2013). Chlorophylls and Carotenoids. In *Encyclopedia of Biological Chemistry*, Edited by W.J. Lennarz, M.D. Lane, Academic Press, Oxford.
- [82] Pereira, R., Yarish, C. (2009). Mass Production of Marine Macroalgae. In *Encyclopedia Of Ecology and Environmental Management*, Edited by P.P. Calow, John Wiley & Sons, New York, pp. 2236-2247.
- [83] Fung, A., Hamid, N., Lu, J. (2013). Fucoxanthin content and antioxidant properties of *Undaria pinnatifida*. *Food Chemistry*, 136(2), 1055-1062.
- [84] Ambati, R.R., Gogisetty, D., Aswathanarayana, R.G., Ravi, S., Bikkina, P.N., Bo, L., Yuepeng, S. (2019). Industrial potential of carotenoid pigments from microalgae: Current trends and future prospects. *Critical Reviews In Food Science And Nutrition*, 59(12), 1880-1902.
- [85] Cikoš, A.M., Šubarić, D., Roje, M., Babić, J., Jerković, I., Jokić, S. (2022). Recent advances on macroalgal pigments and their biological activities (2016–2021). *Algal Research*, 65, 102748.
- [86] Hazra, S., Ghosh, S., Hazra, B. (2017). Phytochemicals with Antileishmanial Activity: Prospective Drug Targets. In *Studies in Natural Products Chemistry*, Edited by A. Rahman, Elsevier, Amsterdam, pp. 303-336.
- [87] Guedes, A.C., Amaro, H.M., Sousa-Pinto, I., Malcata, F.X. (2019). Algal spent biomass—A pool of applications. In *Biofuels from algae*, Edited by A. Pandey, Elsevier, Amsterdam, pp. 397-433.
- [88] Leblond, J.D., Vandergrift, S.L. (2022). Sterols of the 'dinotom' *Durinskia baltica* (Dinophyceae) are of dinoflagellate origin. *Phycological Research*, 70(1), 35-41.
- [89] Kim, S.K., Van Ta, Q. (2011). Potential Beneficial Effects of Marine Algal Sterols on Human Health. In *Advances in Food and Nutrition Research*, Edited by S.L. Taylor, Academic Press, Burlington, pp. 191-198.
- [90] Hannan, M.A., Sohag, A.A.M., Dash, R., Haque, M.N., Mohibullah, M., Oktaviani, D.F., Moon, I.S. (2020). Phytosterols of marine algae: Insights into the potential health benefits and molecular pharmacology. *Phytomedicine*, 69, 153-201.
- [91] Zhang, R., Han, Y., McClements, D. J., Xu, D., Chen, S. (2022). Production, characterization, delivery, and cholesterol-lowering mechanism of phytosterols: a review. *Journal of agricultural and food chemistry*, 70(8), 2483-2494.
- [92] Luo, X., Su, P., Zhang, W. (2015). Advances in microalgae-derived phytosterols for functional food and pharmaceutical applications. *Marine Drugs*, 13(7), 4231-4254.
- [93] Klein, B., Davis, R. (2023). Algal Biomass Production via Open Pond Algae Farm

- Cultivation: 2022 State of Technology and Future Research (No. NREL/TP-5100-85661). National Renewable Energy Laboratory (NREL), Golden, CO (United States).
- [94] Lopes, G., Sousa, C., Valentao, P., Andrade, P.B. (2013). Sterols in Algae and Health. In *Bioactive Compounds from Marine Foods*, Edited by B. Hernandez-Ledesma, M. Herrero, John Wiley, Chichester, pp.173-191.
- [95] Fernandes, P., Cabral, J.M.S. (2007). Phytosterols: applications and recovery methods. *Bioresource Technology*, 98(12), 2335-2350.
- [96] Randhir, A., Laird, D.W., Maker, G., Trengove, R., Moheimani, N.R. (2020). Microalgae: a potential sustainable commercial source of sterols. *Algal Research*, 46, 101772.
- [97] Combs, G.F., McClung, J.P. (2017). *The Vitamins: Fundamental Aspects In Nutrition and Health*. Academic Press, Amsterdam.
- [98] Mason, J.B. (2007). Vitamins, trace minerals, and other micronutrients. *Cecil Textbook of Medicine* 23, 1626-1639.
- [99] Tang, G., Suter, P.M. (2011). Vitamin A, nutrition, and health values of algae: Spirulina, Chlorella, and Dunaliella. *Journal of Pharmacy and Nutrition Sciences*, 1(2), 111-118.
- [100] Priyadarshani, I., Rath, B. (2012). Commercial and industrial applications of micro algae—A review. *Journal of Algal Biomass Utilization*, 3(4), 89-100.
- [101] Uma, V. S., Usmani, Z., Sharma, M., Diwan, D., Sharma, M., Guo, M., .Gupta, V. K. (2022). Valorisation of algal biomass to value-added metabolites: Emerging trends and opportunities. *Phytochemistry Reviews*, 1-26.
- [102] Wells, M.L., Potin, P., Craigie, J.S., Raven, J.A., Merchant, S.S., Helliwell, K.E., Smith, A.G., Camire, M.E, Brawley, S.H. (2017). Algae as nutritional and functional food sources: revisiting our understanding. *Journal of Applied Phycology*, 29(2), 949-982.
- [103] Santhakumaran, P., Ayyappan, S.M., Ray, J. G. (2020). Nutraceutical applications of twenty-five species of rapid-growing green-microalgae as indicated by their antibacterial, antioxidant and mineral content. *Algal Research*, 47, 101878.
- [104] Andrade, L.M., Andrade, C., Dias, M., Nascimento, C., Mendes, M. (2018). Chlorella and Spirulina microalgae as sources of functional foods. *Nutraceuticals, and Food Supplements*, 6(1), 45-58.
-