



Yenilikçi Gıda Ürünlerinin Geliştirilmesinde Alternatif Bir Kaynak: Mikroalgler

Zeynep NALE*

Bandırma Onyediy Eylül Üniversitesi, Susurluk Meslek Yüksekokulu, Susurluk, Balıkesir, Türkiye.

Anahtar Kelimeler:

Mikroalg,
Protein,
Biyoaktif Bileşenler,
Yenilikçi Gıda
Uygulamaları

Özet

Mikroalgler nüfusun sürdürülebilir bir gıda tedarikine duyduğu gereksinimi karşılayabilecek önemli potansiyele sahip kaynaklardır. Mikroalgler sadece önemli bir protein kaynağı olarak değil, aynı zamanda insan sağlığı üzerine olumlu etkileri bulunan biyoaktif bileşenlerce zengin olmaları açısından da önemlidir. Sahip oldukları antioksidatif, antihipertansif, antikarsinojenik etkiler yenilikçi ve fonksiyonel gıda üretiminde dikkatleri mikroalgere ve özellikle mikroalg bazlı proteinlere çekmiştir. İnsan sağlığı üzerine etkilerini direk inceleyen bilimsel nitelikte bir çalışma olmamakla birlikte şu anda literatürde yapılmış uygulamalar gıda ürününe alg biyokütlesinin tamamen eklenmesi veya belirli bazı bileşenlerin eklenmesi şeklindedir.

Alternative Source for the Development of Innovative Food Products: Microalgae

Keywords:

Microalgae,
Protein,
Bioactive
Compounds,
Innovative Food
Applications

Abstract

Microalgae are resources that have significant potential to meet the population's need for a sustainable food supply. Microalgae are important not only as an important source of protein, but also they are rich in bioactive components that have positive effects on human health. Their antioxidative, antihypertensive, anticarcinogenic effects have drawn attention to microalgae and especially microalgae-based proteins in the production of innovative and functional foods. Although it is not a scientific study that directly examines the effects on human health, the applications in the literature are in the form of adding algae biomass to the food product completely or adding certain components of algae.

1 GİRİŞ

Birleşmiş Milletler'in son yaptığı nüfus tahmini raporuna göre; günümüzde 7.7 milyar olan insan nüfusunun önümüzdeki 30 yıl içerisinde 2 milyar kişi daha artarak 2050 yılına gelindiğinde 9.7 milyar kişiye ulaşması beklenmektedir. Bununla birlikte gün geçtikçe artan bir protein ihtiyacının olduğu yıllar öncesinden üzerinde durulmaya başlanan önemli konulardan biridir [1]. Gıda ve Tarım Örgütü'nün (FAO) son istatistiklerine göre (2015) dünyada 800 milyondan fazla insan açlık çekmektedir. Gelişmekte olan ülkelerdeki yaklaşık 146 milyon çocuk normalin altında ağırlığa sahiptir ve her yıl 5.9 milyon çocuk (günde 16.000 çocuk) beş yaşını göremeden ölmektedir. Bu ölümlerin yarısından çoğu (%54'ü) yetersiz protein alımına bağlı gelişmektedir [2]. Dünya genelinde halen hayvansal kaynaklı protein kaynaklarının tüketim oranlarının bitkisel bazlı protein kaynaklarına oranla daha yüksek seyrettiği belirtilmektedir. Ancak hayvan refahı, çevre koşulları gibi etkenlerin tetiklemesiyle bitkisel bazlı protein tüketim oranlarının arttığı ve 2019 yılında 8 milyar ton olarak gerçekleşen tüketimin 2025 yılında ikiye katlanarak 16.3 milyar tona ulaşmasının öngörüldüğü bildirilmektedir [3].

Yeni gıda teknolojileri ve geliştirilen ürünler sayesinde insanların yeme alışkanlıkları dolayısıyla çevre üzerinde oluşan olumsuz etkilerin azaltılabileceği değerlendirilmektedir. Ayrıca sadece beslenme alışkanlıklarının değiştirilmesiyle dahi çevre üzerindeki olumsuz etkiler azaltılabilecektir [4].

Vejetaryen ve vegan diyetler sağlık, hayvanların ıslahı ve ekolojik sebepler nedeniyle günümüzde artık pek çok ülkede giderek daha popüler hale gelmiş ve bu grupların beslenme şekli ve sağlık üzerine etkileri üzerine birçok

* e-Posta: znale@bandirma.edu.tr

çalışma yapılmıştır. Bununla birlikte Hindistan başta olmak üzere Güneydoğu Asya ülkelerinden gelişmiş birçok ülkeye olan göçlerle özellikle İngiltere başta olmak üzere, Avrupa'da vejetaryenlerin sayısında büyük bir artış görülmüş ve bu bireylerin sağlık durumları birçok araştırmaya konu olmuştur [5]. Rosi ve ark; diyet tipine ek olarak, çeşitli tarzlarda gıda tüketiminin gerçekleşmesi ve bu durumun periyodik gerçekleşebilme sıklığı gibi çevresel etkilerin de bireysel beslenme alışkanlığı üzerinde etkili olduğunu belirtmiştir. Almanya'da yapılmış bir çalışmada beslenme alışkanlığının omnivordan lakto-ovo vejetaryen (diyette bitkisel kaynaklı gıdalar, süt ürünleri ve yumurta yer almaktadır) diyete dönüştürülmesiyle gıda kaynaklı sera gazı emisyonunun 1/3 oranında azalacağı, vegan diyete dönüştürülmesiyle ise yarı yarıya azalacağı belirtilmiştir [6].

2 BESİN BİLEŞENLERİ İÇİN ALTERNATİF BİR KAYNAK: ALGLER

Gıda ve Tarım Örgütünün 2015 yılında yayınladığı raporda da belirttiği üzere; günümüzde gıda ve yem alanında temel protein kaynaklarından biri haline gelen bitkisel protein kaynakları ekim alanlarının genişlemesi, hasat sıklığının değişmesi ve artan verim oranları sayesinde sürekli artış gösteren gıda talebine bir çözüm olarak değerlendirilmektedir. Ancak yine bu uygulamalar toprak bozunması, biyoçeşitliliğin kaybı ormansızlaştırma gibi mevcut çevre problemlerin artarak gelişmesi gibi ciddi sonuçlara da yol açabilir.

Deniz florasının yaklaşık %90-95'ini oluşturan ve çok çeşitli su kaynaklarında rahatlıkla yetişebilen algler fotosentez yoluyla besin üretimi de yapabilen organizmalardır [7]. Yapılarında bulunan fotosentetik pigmentler sayesinde CO₂ ve H₂O'yu kompleks karbonhidratlara çevirebilen algler hem buldukları su ortamında besin miktarının artmasını hem de suda çözülmüş O₂ miktarının artmasını sağlar [8].

Günümüzde alglerin pek çok farklı kullanım alanı mevcuttur. Hayvansal yem, bitkisel gübre, su arıtım süreci, gıda üretiminde kullanılan boyalar ve katkı maddeleri bu alanlar içerisinde öne çıkanlardır. Ayrıca son yıllarda beslenmenin de önemli bir parçası haline gelmiştir. Algler gıda zincirinin önemli bir üretici halkasıdır. Genellikle Güneydoğu Asya ve ada ülkelerinde besin kaynağı olarak kullanılmaları alglerin popüleritesini günden güne artırmaktadır [9]. Çoğunluğu *Phaeophyceae* ve *Phodophyceae* olan pek çok alg türü çok çeşitli coğrafyalarda gıda kaynağı olarak tüketilmektedir [10].

Halihazırda 200.000'den fazla alg türü olduğu bilinmesine rağmen yaklaşık olarak 200 tanesi sanayide uygulama alanı bulmuştur. Biyolojik aktivitesi en yüksek kaynaklar arasında bulunan algler biyoaktif bileşenler açısından çok zengindir. Elde etmesi kolay olan ve yetiştiricilik anlamında büyük potansiyele sahip olan algler protein, aminoasit, vitamin ve çeşitli mineral maddelerin temininde kullanım açısından da büyük avantaja sahiptir [11].

Mikroalgler gelecek vaat eden ve sürdürülebilir nitelikte alternatif bir protein kaynağı olarak değerlendirilmektedir. Ancak mikroalglerin üretim sürecinde oluşabilecek alerjenler, safsızlıklar, tehlikeli yan ürünler gıda güvenliği açısından incelendiğinde alglerin henüz iyi bilinmeyen yönlerindedir [12].

Mikroalglerin; geleneksel olmayan gıda kaynakları arasında önemli bir protein kaynağı olarak belirtilmelerinin en önemli sebebi içerdikleri yüksek orandaki protein ve çeşitli biyoaktif bileşenlerdir. *Arthrospira* (gıda piyasasında daha çok bilinen ismiyle *Spirulina*) ve *Aphanizomenon* (bir tür siyanobakteri) da protein açısından zengin mikroalgler olup binlerce yıldır insan beslenmesinin önemli kısmını oluşturmuştur [13].

Mikroalglerin gıda ve biyokimya uygulamalarında kullanımıyla ilgili 1940'ların başında çeşitli ilerlemeler kaydedilmeye başlanmış olup 1950'li yılların başından itibaren alglere yönelik araştırmalar hız kazanmıştır. Ticari olarak üretimlerine 1960'da Japonya'da *Chlorella* cinsi ile başlanmış ve günümüze kadar çok farklı türde algin üretimi gerçekleştirilmiştir. 1980 yılında sadece Asya'da başta *Chlorella* olmak üzere aylık 1 ton mikroalg üretildiği belirtilmektedir [14].

Algler protein, polisakkarit, lipid, vitamin, mineral, amino asit, yağ asidi, karotenoid gibi bileşenleri yüksek oranda içermeleri sebebiyle ve ürettikleri biyoaktif bileşenler sayesinde gıda olarak ve gıdalarda kullanıma uygun kaynaklar olarak ön plana çıkmaktadır. Mikroalgler; başta protein olmak üzere, eikosapentaenoik asit (EPA) ve dokosaheksaenoik asit (DHA) gibi omega-3 yağ asitleri, β-glukan, vitamin, mineral, β-karoten, astaksantin gibi pigmentler ve önemli biyoaktif bileşikler içermeleri nedeni ile başta gıda endüstrisi olmak üzere çok farklı sektörlerde kullanılmaktadırlar. Kuru biyokütle ağırlıklarına göre ise %9-50 protein ve %7-50 karbonhidrat, %7-50 yağ içerebilmektedirler. Ticari olarak kullanılan en önemli mikroalg türleri *Isochrysis*, *Dunaliella*, *Chaetoceros*, *Chlorella* ve *Spirulina*'dır [15].

Bitkisel temelli protein kaynaklarının toprak ihtiyacı hayvansal kaynaklı protein kaynaklarına kıyasla çok daha azdır, protein kaynağı mikroalg kökenli olursa bu ihtiyaç daha da düşmektedir. Ayrıca Amerikan Gıda ve İlaç

Dairesi'nin yayınladığı Mikroalg kullanılarak biyoyakıt üretimine ilişkin son raporda; mikroalg yetiştirmesinde ekilebilir nitelikte olmayan tarım arazilerinin kullanılabilir olması, mikroalglerin su tüketiminin düşük olması ve deniz suyunda yetiştirilebilir olması, sürdürülebilirliği limitli olan soya ithalatına bir ikame olması mikroalglerle ilgili bahsedilmiş önemli avantajlarından bazılarıdır [16].

Alglerin potansiyel bir besin kaynağı olarak değerlendirilmesindeki temel faktör besinsel bileşimleridir. Protein ve lipid grubu başta olmak üzere vitamin ve mineral miktar(lar)ı ve bileşim(ler)i sağlık üzerine olumlu etkileri de göz önünde bulundurularak dikkate alınması gereken en temel besinsel bileşimlerdir [17]. Protein insan diyetinin temel azıt kaynağı olması ve metabolizmada sentezlenemeyen esansiyel aminoasitlerin (histidin, izolösin, lösin, lizin, metiyonin, fenilalanin, treonin, triptofan, valin) kaynağı olması bakımından çok temel ve kıymetli bir besin grubudur. Bazı alg türleri protein açısından çok zengindir, örneğin *Arthrospira platensis* kuru biyokütle ağırlığında %70 oranında protein içermektedir [18]. Sadece yüksek oranda protein içermekle kalmayıp esansiyel aminoasitler açısından zengin bileşime sahip olmaları da alg türlerini bitkisel kaynaklı genel protein kaynakları karşısında ön plana çıkarmaktadır [19]. Besinsel bileşim açısından çok zengin olduğu bilinen alglerin gıda uygulamalarında kullanılabilirliği için sahip olması gereken bazı izinler bulunmaktadır. Ülkemizde henüz alg üretimi ve gıda ürünlerinde kullanımına ilişkin uygulama sayısı fazla olmadığı için bazı alglerin katkı maddesi olarak kullanımına ilişkin yasal kısıtlar bulunmaktadır. Bu noktada uluslararası geçerliliği olan otoritelerin tanımlamalarını ve limit değerlerini kullanmak önerilebilir. Amerika Gıda ve İlaç İdaresi (FDA) tüm insanların tüketimi için uygun olan organizma, besin, herhangi bir madde veya kimyasala "Genel Olarak Güvenli Kabul Edilir (Generally Regarded as Safe, GRAS)" demektedir. Bilimsel olarak herhangi bir zararı tespit edilmemiş ve/veya insanlar tarafından yıllardır kullanıldığı halde herhangi bir olumsuzluk yaşanmadığı bilinen maddeler GRAS kabul edilmektedir. Bu kapsamda *Arthrospira platensis*, *Chlamydomonas reinhardtii*, *Auxenochlorella protothecoides*, *Chlorella vulgaris*, *Dunaliella bardawil* ve *Euglena gracilis* gibi algler ve alglerden elde edilmiş bazı ürünler GRAS olarak kabul edilmektedir. GRAS kabul edilen algler ve aminoasit bileşimlerine ilişkin bilgilendirme Tablo 1'de yer almaktadır [20].

Tüm bunlarla birlikte tüketim esnasında proteinlerin biyoyararlanımı kavramı önemli hale gelmektedir. Tam bu noktada biyoulaşılabilirlik, biyoyararlanım ve biyoetkinlik kavramlarının açıklanması yararlı olacaktır. Amerikan Gıda ve İlaç Dairesi'nin tanımına göre biyoyararlılık, bir ilaç içinde bulunan aktif bileşenlerin veya tedavi edici maddelerin emilim hızı ve aktivite göstereceği bölgedeki yararlılık derecesidir. Biyoyararlılık, maddenin gastrointestinal sistemden dolaşım sistemine ulaşan kısmıdır. Biyoyararlılık üç aşamadan oluşmaktadır. İlk kısım maddenin gıda matriksinden bağırsak sisteminde salınması (biyoulaşılabilirlik), ikinci kısım besin öğelerinin epitel hücrelerden dolaşım sistemine ulaşması ve son kısım ise karaciğerde besin öğelerinin parçalanması ve metabolize olmasıdır [21]. Biyoerişilebilirlik, mide-bağırsak sisteminde gıda matriksinden serbest hale geçerek, bağırsak emilimi için uygun hale gelen biyolojik fraksiyonu; biyoyararlılık ise, bağırsaktan emildikten sonra vücudun kullanabileceği, kan ve idrarda rastlanabilen, biyolojik etkiye sahip fraksiyonu ifade etmektedir [22]. Son olarak biyoaktivite bir bileşiğin metabolizmadaki fizyolojik yanıtı olarak tanımlanabilir; antioksidatif, antikarsinogenik, antihipertansif etki gibi [23].

Lipitler, hücrelerin vazgeçilmez bileşenlerindedir ve birçok temel molekülün öncüsüdür. Bu nedenle bu besin grubunun uygun bir şekilde alınması, insan beslenmesi için çok önemlidir. Bazı alg çeşitleri kuru biyokütlelerinde yüksek oranda lipid içermektedir. Örneğin *Auxenochlorella protothecoides* yapısında, ağırlığının %70'ine kadar lipid biriktirebilmektedir [24]. Esansiyel aminoasitlerde bahsedilen metabolizmanın toleranssız ihtiyaç duyma durumu α -Linolenik asit ve Linoleik asit gibi yağ asitlerini içeren lipitler için de geçerlidir. Sağlık üzerine olumlu etkileri üzerinde en çok durulan yağ asitleri Dokozaheksaenoik asit (DHA) ve Eikozapentaenoik asit (EPA)'tir [25]. Balıklar bu Omega-3 (ω -3) yağ asitleri açısından zengin gıdalardır çünkü balıklar beslenmelerinin bir parçası olarak alg ve plankton tüketirler, ki aslında söz konusu uzun zincirli yağ asitlerini üreten bu alg ve planktonlardır. *Arthrospira*, *Chlorella*, *Dunaliella*, *Haematococcus*, *Schizochytrium*, *Porphyridium*, *Cryptocodinium* GRAS statüsünde ve ω -3 yağ asitleri açısından zengin bileşime sahip alg türleri arasındadır [26].

Phaeodactylum tricorutum mikroalgi kuru biyokütlesinin %30-40 oranında EPA üretebilmektedir. Benzer şekilde *Schizochytrium sp* türündeki mikroalglerin ise ağırlıklarının yaklaşık %50'sine kadar oranlarda DHA biriktirebildiği belirtilmiştir. Zengin yağ asiti bileşimleri dolayısıyla mikroalglerin balık yağı üretimi için uygun bir bileşen olabileceği de değerlendirilmektedir [27].

Mikroalglerin protein ve lipitlerin yanı sıra vitamin ve mineraller gibi yine insan sağlığı için beslenmede kritik öneme sahip besin bileşenleri açısından değerli olduğu da belirtilmektedir. *Dunaliella tertiolecta* türünün biyokütlesel bileşimi incelendiğinde A, B1, B9 ve E vitamini açısından zengin olduğu belirlenmiştir. Yine sağlık

açısından büyük öneme sahip antioksidanlar (likopen, β -karoten, astaksantin gibi) açısından ve β -glukan gibi polisakkaritler açısından alglerin önemli bir kaynak olduğu belirtilmektedir [28].

Algler protein, lipit, karbonhidrat, vitamin, mineral, amino asit, yağ asidi, karotenoid gibi besin bileşenlerini yüksek oranda içermeleri sebebiyle ve ürettikleri biyoaktif bileşenlerin desteğiyle direk gıda olarak ve/veya gıdalarda kullanıma uygun takviye edici kaynaklar olarak öne çıkmaktadır. Alglerin protein ve lipitlerin yanı sıra karbonhidratlar açısından zengin bir bileşime sahip olduğu pek çok kaynakta ifade edilmektedir. Polisakkaritler ve özellikle oligosakkaritler prebiyotik uygulamalarının artmasıyla sağlık üzerine potansiyel olumlu etkileri açısından umut vaat eden besin bileşenleri olarak günümüzün öne çıkan besin gruplarındandır. Prebiyotik kavramı ilk kez 1995 yılında tanımlanmış olmakla birlikte günümüze değin çeşitli başka tanımlamalar da yapılmıştır. Uluslararası Prebiyotik ve Prebiyotik Bilimsel Derneği'nin 2017 yılında prebiyotik kavramı ile ilgili yaptığı son tanımlama; konağın bağırsak mikrobiyotasında bulunan mikroorganizmaların seçici olarak kullandığı, sağlık üzerinde olumlu etkileri bulunan maddeler şeklindedir. *Arthrospira*, *Chlorella* ve *Nannochloropsis* türüne ait mikroalglerin sadece iyi bir protein kaynağı değil, aynı zamanda önemli bir oligosakkarit ve polisakkarit kaynağı olduğu ve potansiyel prebiyotik kaynağı olarak değerlendirilebilecekleri belirtilmektedir [29].

3 MİKROALG BAZLI ÜRÜNLERİN GIDA PİYASASINDAKİ YERİNİN EKONOMİK AÇIDAN DEĞERLENDİRİLMESİ

Mikroalgler mikroskopik canlılar olup, prokaryotik veya ökaryotik olabilmektedir. Mikroalgler, hızlı bir şekilde çoğalabilmekte ve tek hücreli veya basit çok hücreli yapıları sayesinde olumsuz şartlarda bile yaşayabilmektedir. Su döngüsünde O₂ kaynağı olarak önemli bir yere sahip olan deniz algleri diğer deniz organizmalarına göre daha kolay elde edilebildiği ve yetiştiricilik potansiyeli yüksek olduğu için önemli avantajlara sahiptir. Mikroalgler son zamanlarda verimli topraklara bağımlı olmayan yepyeni tarım üretim potansiyeline sahip doğal bir kaynak olarak görülmektedirler. Ancak mikroalg üretiminde dikkat edilmesi gereken nokta, son ürün olarak ne üretimi yapılacaksa o ürüne uygun bileşimde türün belirlenmesi ve yetiştirilmesidir. Genel olarak bahsedilecek olursa gıda bazlı bir kullanım söz konusu olacaksa polisakkarit, protein ve lipit (özellikle yağ asitleri) bakımından yüksek türler, su arıtımı amaçlı kullanım söz konusu olacaksa kirli bir destinasyondan izole edilmiş türlerin seçimi uygun olacaktır [30].

Tablo 1. GRAS kabul edilen algler ve toplam esansiyel aminoasit bileşimleri (%)

Aminoasit/Alg	<i>Arthrospira platensis</i>	<i>Chlamydomonas reinhardtii</i>	<i>Auxenochlorella protothecoides</i>	<i>Chlorella vulgaris</i>	<i>Dunaliella bardawil</i>	<i>Euglena gracilis</i>
Alanin	9,5	8,8	6,2	7,9	7,3	15,8
Arjinin	7,3	7,2	13,4	6,4	7,3	3,4
Aspartik Asit	11,8	9,7	7,1	9,0	10,4	7,1
Sistein	0,9	Belirtilmemiş	1,6	1,4	1,2	0,2
Glutamik Asit	10,3	11,3	10,3	11,6	12,7	9,5
Glisin	5,7	5,7	5,5	5,8	5,5	7,0
Histidin	2,2	2,3	3,0	2,0	1,8	2,2
İzolösin	6,7	4,4	3,7	3,8	4,2	0,2
Lösin	9,8	9,8	5,6	8,8	11,0	3,7
Lisin	4,8	6,6	4,9	8,4	7,0	4,9
Metiyonin	2,5	2,7	2,1	2,2	2,3	0,0
Fenilalanin	5,3	5,6	5,5	5,0	5,8	0,9
Prolin	4,2	5,6	5,6	4,8	3,3	0,0
Serin	5,1	4,3	5,1	4,1	5,4	10,6
Treonin	6,2	5,1	4,9	4,8	5,4	4,5
Triptofan	0,3	2,8	0,5	2,1	0,7	1,7
Tirozin	5,3	4,3	4,7	3,4	3,7	0,7
Valin	7,1	6,5	5,2	5,5	5,8	8,0

Mikroalg bazlı ürünlerin ticarileştirilmesinde bazı dezavantaj yaratan durumlar bulunmaktadır. Mikroalg alanında faaliyet gösteren işletmeler için en önemli gider kalemi alg hasadıdır. Gerek enerji üretimi gerek besin ya da atıksu arıtımı olsun, mikroalg hasadı toplam maliyetin %20-30 kadarını kapsamaktadır ve bu tutarlar işletme maliyetleri açısından hala ekonomik maliyetler olarak değerlendirilmemektedir [31].

Halihazırda piyasada bulunan mikroalg bazlı ürünler, doğal yaşam alanlarından hasat edilmiş su yosunu ve alglerin büyük ölçekli işletmelerde gelişmiş ve pahalı teknolojiler kullanılarak yüksek değerli besin bileşenlerinin üretildiği ve ayrıştırılıp gıda ürünlerine eklendiği sulu kültür sistemlerinden elde edilmektedir. Ayrıca yeni geliştirilen ürünler için ilgili yasal otoritelerden alınması gereken izinlerle ilgili yükümlülükler bulunmaktadır [32]. Ayrıca mikroalg bazlı ürünler, özellikle gıda ürünleri için, ispatlı bir piyasa talebinin olması önemlidir. Yatırımcılar uzun bir periyoda yayılmış rekabetçiliği yüksek alanlara yatırım yapmak için araştırma yaparlar, fırsat kollarlar. 2016 yılında yayınlanmış bir çalışmada, işletmenin fiziksel büyüklüğünün 100 kat artmasıyla (hektar cinsinden) birlikte alg biyokütlesinin kilogramı başına yetiştirme ve biyo-arıtım masraflarının 10 kat azalacağı belirtilmektedir [33]. Algin türüne ve yetiştirme şartlarına bağlı olarak değişikliğin gösterebilen alg biyokütlesinin bileşimi, gıda ürünlerine dahil edilme sürecinin tanımlayıcı faktörüdür. Farklı yetiştirme şartlarının biyokütle çeşitliliğine etkisini inceleyen pek çok çalışma bulunmaktadır [34]. Pazarlanabilirliğin hesaplanmasında hasat ve drenaj işlemlerinin de birim biyokütlenin maliyeti üzerine etkisi olduğu belirtilmektedir. Bahsi geçen işlemler yetiştirme şartlarını ve üretim yapılan tesisin büyüklüğünü etkilediği için maliyet hesaplamalarında dikkat edilmesi gerekmektedir [35].

Genelde toplam maliyetin %20-40'ı arasında değişen biyo-arıtım masrafları hammadde mikroalg olduğunda ve üretim sürecinde kullanılan ekipmanların teknolojik düzeylerine de bağlı olarak toplam maliyetin %50-60'ı düzeylerine çıkabilmektedir [36].

β -karoten, astaksantin ve fikosiyanın gibi saflık derecesine bağlı olarak fiyatı binlerce euro'ya kadar ulaşabilen ürünlerin yüksek oranlarda seyreden çekicilikleri işletmeler için bu ürünleri cazip kılmaktadır. Ancak bir yandan da gıda takviyesi olarak algler, marketlerde kilogramı başına 40 euro gibi bir piyasa değerinde sunulmaktadır. Böylesi bir senaryoda fonksiyonel bileşikler bakımından zengin mikroalg bazlı ürünler piyasa değeri daha düşük olan gıda takviyeleri için de ekonomik umut olabilirler, yüksek fiyata satılan mikroalg bazlı ürünlerden elde edilen gelir, işletmelerde geliştirilecek yeni yetiştirme ve üretim süreçlerinin kuruluş masraflarını tolere edebilir [37].

Ayrıca ileri sürdürülebilir biyo arıtım sistemleri sayesinde proseslerden daha çok geri kazanım sağlanarak elde edilen ürün sayısı artırılabilir. Bu durum ürün aralığını genişletip proseslerin verimliliğini artırırken işletmenin ekonomik koşullarını iyileştirecektir. ve dolayısıyla kazanılan ekonomik getiri artırılabilir. Örneğin biyo arıtım sistemlerinin geliştirilmesiyle birlikte atık haldeki biyokütle biyo yakıt üretiminde kullanılabilir, bu durum belirli miktardaki biyokütle başına işletme maliyetlerini düşürecektir [38].

Ülkelerin finansal refah düzeyi enerji üretim ve tüketim miktarları üzerinden ifade edilmektedir. Bu kapsamda yenilenebilir enerji kaynakları kullanılarak enerji üretimi popüler bir gündem maddesidir. Biyokütleden enerji eldesi maddi boyutuyla birlikte çevre ve sosyal açılardan da değerlendirildikten sonra gündemi daha yoğun şekilde işgal eder hale gelecektir. Biyokütle olarak mikroalg kullanımı sera gazı emisyon değerinin azaltılması hususunda fosil yakıtların yerini alabilecek en önemli kaynaklardan biridir. Alg bazlı yakıtların ticarileştirilmesi için araştırmalar halen sürmektedir [39].

Mikroalg kalıntılarının anaerobik sindirim sürecinden geçirilerek biyo yakıt eldesinde kullanılması, ilgi çeken maliyet düşürücü tedbirler arasındadır. Elde edilen biyo yakıt; motorlu araçlar için alternatif bir yakıt olarak veya mikroalg yetiştiriciliğinde gübre olarak pek çok farklı uygulamada değerlendirilebilir [40].

4 GIDA TAKVİYELERİNDE YENİ BİR AKIM: BİYOAKTİF BİLEŞENLER

Biyoaktif bileşenler, fizyolojik aktiviteleri etkileyerek sağlık üzerine olumlu etkiler sağlayan ikincil metabolitlerdir. Biyoaktif bileşenler, birincil metabolitler olarak bilinen karbonhidrat, protein ve yağ gibi canlılığın büyüme ve gelişmesi için olmazsa olmaz ana besin kaynakları değildir. Ancak canlılığın zorlu yaşam koşullarına dayanma gücünü artıran bileşenlerdir. Biyoaktif bileşenler gıdalarda genellikle az miktarlarda bulunsalar da sağlık üzerinde ciddi etkilere sahiptirler [41].

Metabolizmaya besin ve enerji sağlamanın yanı sıra gıdalar, sağlık üzerine olumlu etkileri bulunan biyoaktif bileşenlerin vücuda alınmasında araç görevi de görmektedir. Protein ve peptit molekülleri biyolojik ve teknolojik fonksiyonel özellikler gösteren moleküllerin başında gelmektedir. Peptitler 20-30 aminoasitten oluşan ve

gastrointestinal sistemdeki sindirim işlemi veya fermantasyon, olgunlaştırma, pişirme gibi çeşitli teknolojik süreçlerden geçtikten sonra aktif hale geçen metabolizma üzerinde olumlu sağlık etkileri bulunan moleküllerdir [42]. Makro ve mikroalglerden elde edilen bazı peptitlerin muhtemel antioksidatif, antihipertansif, antikarsinogenik, antikoagülant (kan sulandırıcı) immünmodülatör (bağışıklık sisteminin düzenlenmesine yardımcı olma), hepatoprotektif (karaciğerin korunmasına yardımcı olma) etkiye sahip olduğuna dair yapılmış çalışmalar bulunmaktadır [43].

Mikroalg bazlı pek çok biyoaktif bileşen bulunduğu halde gıda uygulamaları arasında en çok ilgi çeken antioksidatif özellikteki bileşenler olmuştur. Gıdalarda bulunan protein ve lipitler ürüne işleme veya depolama süreçlerinde oksidasyon reaksiyonuna yatkın bileşenlerdir. Oksidasyon reaksiyonunda önemli besin bileşenleri bozunurken toksik karakterli yapılar oluşabilir veya düşük molekül ağırlığına sahip müşterinin ürünü kabul edebilirliğini etkileyecek bileşikler oluşabilir. Tüm bunlardan daha vahim olarak oksidasyon reaksiyonu sırasında oluşan bazı toksik karakterli bileşikler tüketici sağlığı üzerinde kanser, damar sertliği, diyabet, koroner kalp hastalıkları, bazı nörolojik hastalıklar gibi tehlikeli kronik hastalıkları tetikleyici etkiye sahip olabilmektedir [44]. Gıda endüstrisinde oksidasyona karşı alınan başlıca tedbirler;

- i. prooksidatif nitelikteki içeriklerin veya antioksidatif sistemleri inhibe edecek maddelerin (serbest yağ asitleri, metaller gibi) miktarının azaltılması,
- ii. gıdaların direkt ışıktan korunması,
- iii. ürünle havanın temasının engellenmesi (havanın ambalaj materyalinden tahliye edilmesi, ambalajın içine oksijen tutucu ajanların eklenmesi gibi),
- iv. gıda ürününe antioksidan maddelerin eklenmesi olarak belirtilebilir [45].

Gıda endüstrisinde 1970'li yıllardan itibaren sıklıkla kullanılan kimyasal antioksidanların başında Bütildihidroksianisol (BHA) ve Butil Hidroksi Toluen (BHT), Etilendiamin tetraasetik asit (EDTA) gelmektedir. Kimyasal antioksidanların kullanımı ve kullanım miktarlarının kontrolü yasalarla denetlenmiş olsa dahi sağlık üzerine bazı olumsuz etkilerin gözlemlendiği ve raporlandığı belirtilmektedir. Tüketici birlikleri kimyasal antioksidanların sentetik ve sağlıksız olduğunu ve "doğal" antioksidanların tercih edilmesinin daha doğru olduğunu belirtmektedir. Gıda endüstrisi zamanın güncel tüketici taleplerini takip edip dikkate almalı, teknolojisini ve ürün yelpazesini bu taleplere göre evirmelidir. Özellikle birçok Avrupa Birliği ülkesinde çok popüler hale gelen "clean label (gıda ürünlerinde olabildiğince etikette belirtilmesi zorunlu olmayan doğal bileşenlerin kullanılması)" bilinciyle birlikte sentetik (kimyasal) antioksidanların kullanımını azaltmak, mümkünse hiç kullanmamak gibi tedbirlerin zamanında alınması tüketicilerin gözünde ürünlerin cazibesini artıracaktır. Antioksidatif karakterde doğal bileşen olarak peptitlerin kullanımı oksidasyonu engelleyerek veya reaksiyonun tamamlanma süresini geciktirerek ürünlerin raf ömrünün uzatılması konusunda yardımcı olmaktadır. Gıda endüstrisinde kullanılabilecek ve mikroalglerden türetilmiş antioksidatif karakterde peptitlerin geliştirilmesine yönelik çalışmalar devam etmektedir [46].

5 GIDA-MİKROALG İŞBİRLİĞİNE YÖNELİK ÇALIŞMALAR

Gıdalara eklendiği zaman geniş bir kabul görmesi ve düzenli olarak tüketilmesiyle birlikte nüfusun çoğunluğunun biyoaktif bileşen tüketmesi imkan dahilindedir. Mikroalg bazlı proteinlerin gıdalarda kullanımına ilişkin büyük gelişmeler henüz kat edilmiş olmamakla birlikte, genel olarak alg türevli bileşenlerin veya direkt alg biyo kütlelerinin gıda takviyesi olarak kullanımı günümüz inovatif gıda uygulamaları arasında yer almaktadır. Bazı mikroalg türlerinin gıda emülsiyonlarına eklenmesiyle birlikte ürünün teknolojik ve fonksiyonel özelliklerinin geliştiği, bunlara ek olarak antioksidatif özellik kazandığı belirten çalışmalar bulunmaktadır [47]. Mikroalg bazlı bileşenlerin gıda emülsiyonlarına dahil edilmesinde jellerin önemli bir taşıyıcı materyal olduğu belirtilmektedir. Birkaç mikroalg çeşidi jel formunda gıda emülsiyonlarına eklenerek son ürünün yapısal özelliklerini geliştirmeye ve çoklu doymamış yağ asidi miktarını artırmaya yönelik yapılmış pek çok çalışma literatürde yer almaktadır [48,49].

Biyoaktif bileşenlerce zengin bir gıda ürünü geliştirmek için süt ve ürünleri mikroalglerle çalışmak için sıklıkla tercih edilen matrislerdendir. *Arthrospira* türleri ilave edilerek geliştirilmiş yoğurtta ve fermente süt ürünlerinde ürüne eklenen mikroalgin probiyotik bakterilerin gelişimini desteklediğini belirten pek çok çalışma bulunmaktadır. *Chlorella* türü mikroalgler eklenerek biyoaktif özellikleri geliştirilmiş peynir ve yoğurt üzerine pek çok başarılı örneğin bulunduğu belirten literatür bilgisi mevcuttur [50].

Spirulina platensis katkısının Kareish peynirinin fizyokimyasal özellikleri, biyoaktif bileşenleri ve antioksidan kapasitesi üzerine yapılan bir çalışmada peynire farklı oranlarda *Spirulina platensis* eklenmesinin peynir örneklerinde protein ve β -karoten miktarını artırdığı, antioksidan kapasiteyi geliştirdiği belirtilmektedir [51]. *Spirulina platensis*'in laktik asit bakterilerinin büyüme ortamına ilave edildiğinde, ortamdaki nitrojeni tüketerek

karbonhidrat ve diğer bazı maddeleri salgıladığı, bu şekilde laktik asit bakterilerinin gelişimini teşvik ederek prebiyotik etki gösterdiği, *Chlorella pyrenoidosa*'nın ise *Candida albicans* ve *Listeria monocytogenes*'in gelişimini engellediği ifade edilmektedir [52]. *Bifidobacterium animalis ssp. lactis* BB12 ve *Lactobacillus acidophilus* LA-5 probiyotik suşları ile üretilen probiyotik fermente süt ürününde *Spirulina platensis* ilavesinin mikroorganizmaların canlılığı üzerine etkisinin incelendiği bir çalışmada, geliştirilen probiyotik karakterde süt ürününe *Spirulina platensis* takviyesi yapılmasının, tüm depolama süresi boyunca starter bakterilerin hayatta kalması üzerinde faydalı bir etkiye sahip olduğu belirtilmiştir [53]. Probiyotik nitelikte ve *Spirulina platensis* takviyesiyle üretilmiş ayrandaki *Streptococcus thermophilus*, *Lactobacillus delbrueckii spp. bulgaricus*, *Lactobacillus acidophilus* ve *Bifidobacterium lactis* mikroorganizmalarının gelişimi üzerine eklenen mikrolagin etkisi incelenmiş ve sonuç olarak *Spirulina* takviyesinin probiyotik bakterilerin canlılığını ve ayranın besinsel bileşimini geliştirici etkide bulunduğu ifade edilmiştir [54].

Kabul edilebilirliğin yüksek oluşu, ürünlerin çok yönlü oluşu, nakliye şartlarının kolay olmasının bir sonucu olarak tüketim şartlarının elverişli oluşu, tekstürel ve görünüş özellikleri, bisküvi ve kurabiye gibi tahıl ürünlerinin mikroalg bazlı gıda bileşenleriyle uygulamalar yapılabilecek ilgili gruplar arasında yer almasını sağlamaktadır. *Chlorella vulgaris* kurabiyelerde renklendirme ajanı, besinsel ve antioksidan kapasiteyi geliştirici takviye olarak halihazırda kullanılmaktadır [55]. *Isochrysis galbana* tahıl grubu besinlerde ω -3 yağ asidi miktarının artmasını ve dolayısıyla gıda ürününün sağlık üzerine etkisini geliştirmek amacıyla özellikle bisküvilerde kullanılan bir mikroalgdir [56]. *Spirulina platensis*'in bütün olarak veya biyokütleden ekstrakte edilen fikosiyanın pigmentinin kurabiye üretiminde kullanılarak ürünün protein ve lif miktarının artması, sağlık üzerine olumlu etkilerinin geliştirilmesi sağlanabilmektedir [57]. *Spirulina platensis*, *Chlorella vulgaris*, *Tetraselmis suecica* ve *Phaeodactylum tricornutum* karışımları eklenerek kurabiyelerin antioksidan kapasitesi, protein miktarı, besinsel bileşimi ve sağlık üzerine potansiyel olumlu etkileri geliştirilebileceği belirtilmektedir [58]. Yine kurabiye üretiminde *Haematococcus pluvialis* mikroalgi kullanılarak ürünün antioksidan kapasitesi artırılırken glisemik indeksi düşürülebilir [59]. Kurabiye ve bisküviler kadar geniş tüketim oranına sahip başka bir tahıl ürünü de ekmektir. Mikroalg eklemesiyle ekmeklerin besinsel özelliklerinin gelişmesinin sağlanması birkaç yıldır uygulanmaktadır. Beyaz undan üretilen ekmeklerde protein takviyesi olarak *Dunaliella* ve *Spirulina* cinsi mikroalglerin kullanımının önerildiği çalışmalar bulunmaktadır [60]. *Spirulina* takviyesi yapılmış ekmeklerde protein miktarı ve esansiyel aminoasit miktarının *Spirulina* eklenmeden üretilen ekmeklere kıyasla daha yüksek bulunduğu belirtilmektedir [61]. *Chlorella vulgaris* ve *Arthrospira maxima* mikroalgleri ile takviye edilmiş makarnalarda yapılan bir çalışmada, mikroalg eklenmiş makarnaların besinsel bileşiminin zenginleştiği ve duyu analizlerde mikroalg ilavesinin ürünün kabul edilirliliği üzerinde olumsuz etkisi olmadığı belirtilmiştir [62]. Makarna ve alg ile yapılan başka bir çalışmada *Isochrysis galbana* ve *Diacronema vlkianum* mikroalgleri takviye edilerek üretilmiş makarnalarda ω -3 yağ asitleri miktarı ile antioksidan kapasitenin arttığı ancak mikroalg miktarı artırıldıkça protein miktarındaki artışla birlikte proteinlerin sindirilebilirliğinde düşme gerçekleştiği belirtilmektedir [63]. Makarnanın besinsel bileşimini zenginleştirmek için mikroalg takviyesinin etkisinin belirlenmesi amacıyla yapılan bir çalışmada ürün formülasyonuna %3 oranında *Dunaliella salina* tozu eklenmiştir, ölçümler sonucunda mikroalg konsantrasyonun düşük olmasıyla bağlantılı olarak sadece mineral miktarı değerlerinde istatistiksel olarak önemli bir artış ölçülmüştür [64].

Zengin besinsel bileşimlerine rağmen mikroalg kullanımını kısıtlayan bazı durumlar bulunmaktadır. Örneğin antioksidan bileşen açısından çok zengin olduğu halde renk ve aroma üzerindeki duyu olumsuzlukları sebebiyle *Chlorella* ve *Spirulina* gıda uygulamalarında düşük miktarda kullanılabilir. Son üründe meydana gelen yeşil renk mikroalg kullanımını kısıtlayan önemli parametrelerdendir. Makarna gibi farklı renk alternatifleriyle pazarlanan ürünlerde ise renk bir problem olmaktan çıkmakta ancak balıgımsı koku duyu kaliteyi olumsuz etkilemektedir [65].

Katkı maddelerinin gıda ürünlerinde uygulanabilirliğini emülsifiye etme yeteneği, köpürme özelliği, jelleşme, su ve yağ emme kapasitesi gibi tekno-fonksiyonel özellikleri belirler. Bazı mikroalg proteinlerinin bahsi geçen fonksiyonel özelliklere sahip olduğunu belirten çalışmalar bulunmakla birlikte bu konudaki bilinirlikleri azdır. Yapılan bir çalışmada emülsiyonlarda mikroalg kullanımıyla birlikte yağ yüzdesinde bir düşme gözleendiği, mikroalgin potansiyel bir yağ taklitçisi (fat mimetic) gibi davrandığı, ancak emülsiyon stabilitesinin bitkisel proteinler kullanılırsa zarar görmediği belirtilmiştir [66].

6 SONUÇ

Nüfusun gıda ihtiyacının karşılanmasında mikroalglerin sürdürülebilir çözüm önerisi olduğu açıktır. Mikroalglerin besinsel zengin bileşimi yenilikçi ve fonksiyonel nitelikte gıda üretimlerinde alg bazlı üretimlere odaklanılmasını sağlamıştır. Yüksek miktardaki protein ve zengin aminoasit bileşiminin yanında içerdiği biyoaktif bileşenler sayesinde mikroalgler, gıda endüstrisinin sıklıkla işbirliği yaptığı önemli bir kaynaktır.

Sürdürülebilir gıda konusunda gelecek vaad eden alternatif bir kaynak olmakla birlikte mikroalglerle ilgili alerjen etki veya üretim sürecinde meydana gelebilecek yan ürünlerin henüz tam bilinmiyor oluşu güvenli gıda üretimi açısından çözüm bekleyen konulardır. Önümüzdeki birkaç yıl içerisinde akademik çalışmaların artmasıyla birlikte mikroalg üretim sürecinin tüm basamaklarının açıklanması ve bu esnada işletme maliyetlerinin düşürülmesine yönelik tedbirlerin hayata geçirilmesiyle birlikte gıda-mikroalg işbirliğinin marketlerde karşımıza daha çok çıkacağı kuvvetle muhtemel olarak değerlendirilmektedir.

Kaynakça

- [1] United Nations Department of Economic and Social Affairs. World Population Prospects 2019: Highlights (2019). Çevrimiçi Erişim Linki: <https://www.un.org/development/desa/publications/world-population-prospects-2019-highlights.html#:~:text=World%20Population%20Prospects%202019%3A%20Highlights,-17%20June%202019&text=The%20world's%20population%20is%20expected,United%20Nations%20report%20launched%20today.> (Erişim Tarihi, 10.02.2021).
- [2] Dünyada Gıda Güvenliği ve Beslenme Durumu – Ekonomik Yavaşlama ve Gerilemelere Karşı Önlem Alma. Çevrimiçi Erişim Linki: <http://www.fao.org/3/ca5249tr/ca5249tr.pdf> (Erişim Tarihi: 10.02.2021)
- [3] Profeta, A., Baune, M. C., Smetana, S., Bornkessel, S., Broucke, K., Royen, G., Enneking, U., Weiss, J., Heinz, V., Hieke, S., Terjung, N. “Preferences of German consumers for meat products blended with plant-based proteins”. Sustainability, 13(650),2021
- [4] Smetana, S., Mathys, A., Knoch, A, Heinz V. “Meat alternatives: life cycle assessment of most known meat substitutes”. Int J Life Cycle Assess. 20:1254–67, 2015
- [5] Özcan, T., Baysal, S. “Vejetaryen beslenme ve sağlık üzerine etkileri”. U. Ü. Ziraat Fakültesi Dergisi, Cilt 30, Sayı 2, 101-116, 2016.
- [6] Rosi, A., Mena, P., Pellegrini, N., Turrone, S., Neviani, E., Ferrocino, I. vd. “Environmental impact of omnivorous, ovo-lacto-vegetarian, and vegan diet”. Sci Rep. 7:6105, 2017.
- [7] El-Sheekh, M. M., Osman, M.E.H., Dyab, M.A., Amer, M.S. “Production and characterization of antimicrobial active substance from the Cyanobacterium Nostoc muscorum”. Environmental Toxicology and Pharmacology 21(1): 42–50, 2006.
- [8] Oğur, S. “Kurutulmuş alglerin besin değeri ve gıda olarak kullanımı”. Su Ürünleri Dergisi, 3(1): 67-79, 2016.
- [9] Ünver Alçay, A., Bostan, K., Dinçel, E., Varlık, C. “Alglerin insan gıdası olarak kullanımı”. Aydın Gastronomy, 1(1): 47-59, 2017.
- [10] MacArtain, P., Gill, C.I.R., Mariel Brooks, M., Campbell, R., Rowland, I.R. “Nutritional Value of Edible Seaweeds”. Nutrition Reviews, 65(12) :535–543, 2007.
- [11] Sasa, A., Şentürk, F., Üstündağ, Y., Erem, F. “Alglerin Gıda veya Gıda Bileşeni Olarak Kullanımı ve Sağlık Üzerine Etkileri”. 2(2):97-110, 2020.
- [12] Spiegel, M., Noordam, M.Y., Fels-Klerx, H.J. “Safety of novel protein sources (insects, microalgae, seaweed, duckweed, and rapeseed) and legislative aspects for their application in food and feed production”. Compr Rev Food Sci Food Saf. 12:662–78, 2013.
- [13] Abbas, O. T., Mohammed, A. J., Al-Hussieny, A. A. “The ability to use *Spirulina* sp. as food for common carp fish (*Cyprinus Carpio* L. 1758)”. Plant Archives Vol. 20, Supplement 1, pp. 532-535, 2020.
- [14] Yüksel, Ç. “Farklı oksidatif stres ortamlarında mikroalglerde bulunan karotenoidlerin analizi”. Yüksek Lisans Tezi, Uludağ Üniversitesi Kimya Anabilim Dalı, Bursa, 2018.
- [15] Sankaran, R., Show, P.L., Cheng, Y.S., Tao, Y., Ao, X., Nguyen T.D.P., Quyen, D.V. “Integration process for protein extraction from microalgae using liquid biphasic electric flotation (LBEF) system”. Molecular Biotechnology, 60: 749-776, 2018
- [16] Smetana S, Sandmann M, Rohn S, Pleissner, D, Heinz V. “Autotrophic and heterotrophic microalgae and cyanobacteria cultivation for food and feed: life cycle assessment”. Bioresour Technol. 245:162–70, 2017.
- [17] Spiegel, M., Noordam, M.Y., Fels-Klerx, H.J. “Safety of novel protein sources (insects, microalgae, seaweed, duckweed, and rapeseed) and legislative aspects for their application in food and feed production”. Compr Rev Food Sci Food Saf. 12:662–78, 2013.

- [18] Szabo, N. J., Matulka, R.A., Chan, T. “Safety evaluation of whole Algalin protein (WAP) from *Chlorella protothecoides*” Food Chem. Toxicol., 59, pp. 34-45, 2013.
- [19] Matsuda, F., Hayashi, M., Kondo, A. “Comparative profiling analysis of central metabolites in *Euglena gracilis* under various cultivation conditions” Biosci. Biotechnol. Biochem., 75, pp. 2253-2256, 2011.
- [20] Torres-Tiji, Y., Fields, F. J., Stephen P. Mayfield, S. P. “Microalgae as a future food source”. Biotechnology Advances Volume 41, July–August, 107536, 2020.
- [21] Arslan, M. 2015. Diyetimizde yer alan bazı sebzelerdeki fenolik bileşiklerin in vitro sindirim uygulaması ile biyoyararlılıklarının belirlenmesi. Celal Bayar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Manisa, 2015.
- [22] Giritlioğlu, N., Yıldız, E., Gürbüz, O. “Kombu Çayı Üretiminde Kapari Tomurcuklarının (*Capparis spp.*) Kullanımının Fenolikler, Antioksidant Kapasite ve Biyoerişilebilirliğe Etkisi”. Akademik Gıda 18(4) 390-401, 2020.
- [23] Carbonell-Capella, J.M., Buniowska, M., Barba, F.J., Esteve, M.J., Frigola, A. “Analytical methods for determining bioavailability and bioaccessibility of bioactive compounds from fruits and vegetables: a review”. Compr Rev Food Sci Food Saf. 13:155–71, 2014.
- [24] Griffiths, M.J., Harrison, S.T.L. “Lipid productivity as a key characteristic for choosing algal species for biodiesel production” J. Appl. Phycol., 21, pp. 493-507, 2009.
- [25] Swanson, D., Block, R., Mousa, S.A. “Omega-3 fatty acids EPA and DHA: health benefits throughout life” Adv. Nutr., 3, pp. 1-7, 2012.
- [26] Garcia, J.L., de Vicente, M., Galan, B. “Microalgae, old sustainable food and fashion nutraceuticals”. Microbial Biotechnology. 10:1017–24, 2017.
- [27] Wang, Z.T., Ullrich, N., Joo, S., Waffenschmidt, S., Goodenough, U. “Algal lipid bodies: stress induction, purification, and biochemical characterization in wild-type and Starchless *Chlamydomonas reinhardtii*” Eukaryot. Cell, 8, pp. 1856-1868, 2009.
- [28] Koller, M., Muhr, A., Braunegg, G. “Microalgae as versatile cellular factories for valued products”. Algal Res., 6, pp. 52-63, 2014.
- [29] 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. “Algae as nutritional and functional food sources: revisiting our understanding”. Journal of Applied Phycology 29:949–82, 2017.
- [30] Elcik, H., Çakmakçı, M. “Mikroalg üretimi ve mikroalglerden biyoyakıt eldesi”. Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 32(3): 795-820, 2017.
- [31] Şişman-Aydın, G. “Mikroalg Teknolojisi ve Çevresel Kullanımı”. Harran Üniversitesi Mühendislik Dergisi, 4(1): 81- 92, 2019.
- [32] Smetana S, Sandmann M, Rohn S, Pleissner, D, Heinz V. “Autotrophic and heterotrophic microalgae and cyanobacteria cultivation for food and feed: life cycle assessment”. Bioresour Technol. 245:162–70, 2017.
- [33] Ruiz, J., Olivieri, G., de Vree, J., Bosma, R., Willems, P., Reith, J.H., Eppink, M. H. M., Kleinegris, D. M. M., Wijffels, R. H., Barbosa, M. J. “Towards industrial products from microalgae”. Energy & Environmental Science.9:3036–43, 2016
- [34] Chacón-Lee, T.L., González-Mariño, G.E. “Microalgae for “healthy” food possibilities and challenges”. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety. 9:655, 2010
- [35] Brennan L, Owende P. “Biofuels from microalgae—a review of technologies for production, processing, and extractions of biofuels and co-products”. Renew Sust Energy Rev. 14:557–77, 2008.
- [36] Lam, G.P., Vermuë, M.H., Eppink, M.H.M., Wijffels, R.H., van den Berg, C. “Multi-product microalgae biorefineries: from concept towards reality”. Trends in Biotechnology 36:216–27, 2018.
- [37] Sharma, N., Sharma, P. “Industrial and biotechnological applications of algae: a review”. Journal of Advances in Plant Biology. 1:1–26, 2017.
- [38] Christenson L, Sims R. “Production and harvesting of microalgae for wastewater treatment, biofuels, and bioproducts”. Biotechnology Advances 29:686–702, 2011.
- [39] Chisti Y., Yan J. “Energy from algae: Current status and future trends: Algal biofuels – A status report”, Appl. Energy, 88 (10), 3277-3279, 2011.

- [40] Caporgno, M.P., Bengoa, C. “Anaerobic digestion of microalgae: the benefits of digesting microalgae waste”. *Current Biochemical Engineering Special Issue Biomethane* 3:210–22, 2016.
- [41] Gupta, S., Gupta, C., Garg, A.P., Prakash, D. “Probiotic efficiency of blue green algae on probiotics microorganisms”. *Journal of Microbiology and Experimentation*, 4(4): 00120, 2017.
- [42] Kent, M., Welladsen, H.M., Mangott, A., Li, Y. “Nutritional evaluation of Australian microalgae as potential human health supplements”. *PLoS ONE*. 10:e0118985, 2015.
- [43] Lauritano, C., Andersen, J.H., Hansen, E., Albrigtsen, M., Escalera, L., Esposito, F., Helland, K., Hanssen, K., Romano, G., Ianora, A. “Bioactivity screening of microalgae for antioxidant, anti-inflammatory, anticancer, anti-diabetes, and antibacterial activities”. *Frontiers in Marine Science* 3:68, 2016.
- [44] Admassu, H., Abdalbasit, M., Gasmalla, A., Yang, R., Zhao, W. “Bioactive peptides derived from seaweed protein and their health benefits: antihypertensive, antioxidant, and antidiabetic properties”. *Journal of Food Science* 83:6–16, 2017.
- [45] Choe, E., Min, D.B. “Mechanisms of antioxidants in the oxidation of foods”. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety* 8:345–58, 2009.
- [46] Asioli, D., Aschemann-Witzel, J., Caputo, V., Vecchio, R., Annunziata, A., Næs, T., Varela, P. “Making sense of the “clean label” trends: a review of consumer food choice behaviour and discussion of industry implications”. *Food Research International* 99:58–71, 2017.
- [47] Raymundo, A., Gouveia, L., Batista, A.P., Empis, J., Sousa, I. “Fat mimetic capacity of *Chlorella vulgaris* biomass in oil-in-water food emulsions stabilised by pea protein”. *Food Research International* 38:961–65, 2005.
- [48] Beheshtipour, H., Mortazavian, A.M., Mohammadi, R., Sohrabvandi, S., Khosravi-Darani, K. “Supplementation of *Spirulina platensis* and *Chlorella vulgaris* algae into probiotic fermented milks”. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety* 12:144–54, 2013.
- [49] Batista, A.P., Nunes, M.C., Fradinho, P., Gouveia, L., Sousa, I., Raymundo, A., Franco, J. “Novel foods with microalgal ingredients-effect of gel setting conditions on the linear viscoelasticity of *Spirulina and Haematococcus* gels”. *Journal of Food Engineering* 110:182–9, 2012.
- [50] Jeon, J.K. “Effect of *Chlorella* addition on the quality of processed cheese” *Journal of the Korean Society of Food Science and Nutrition* 35:373–7, 2006.
- [51] Darwish, A. “Physicochemical properties, bioactive compounds and antioxidant activity of kareish cheese fortified with *Spirulina platensis*”. *World Journal of Dairy & Food Sciences* 12 (2): 71-78, 2017.
- [52] Gupta, S., Gupta, C., Garg, A.P., Prakash, D. “Probiotic efficiency of blue green algae on probiotics microorganisms”. *Journal of Microbiology and Experimentation*, 4(4): 00120, 2017.
- [53] Mocanu, G.D., Botez, E., Nistor, O.V., Andronoiu, D.G., Vlăsceanu, G. “Influence of *Spirulina platensis* biomass over some starter culture of Lactic Bacteria”. *Journal of Agroalimentary Processes and Technologies*, 19(4), 474-479, 2013.
- [54] Çeleklia, A., Alslibib, Z. A., Bozkurt, H. “Influence of incorporated *Spirulina platensis* on the growth of microflora and physicochemical properties of ayran as a functional food”. *Algal Research* 44 (2019) 101710, 2019.
- [55] Gouveia, L., Batista, A.P., Miranda, A., Empis, J., Raymundo, A. “*Chlorella vulgaris* biomass used as coloring source in traditional butter cookies”. *Innovative Food Science & Emerging Technologies* 8:433–6, 2007.
- [56] Gouveia, L., Coutinho, C., Mendonça, E., Batista, A.P., Sousa, I., Bandarra, N.M., Raymundo, A. “Functional biscuits with PUFA- ω 3 from *Isochrysis galbana*”. *Journal of the Science of Food Agriculture* 88:891–6, 2008.
- [57] Singh, P., Singh, R., Jha, A., Rasane, P., Gautam, A.K. “Optimization of a process for high fibre and high protein biscuit”. *Journal of Food Science and Technology* 52:1394–403, 2015.
- [58] Batista, A.P., Niccolai, A., Fradinho, P., Fragoso, S., Bursic, I., Rodolfi, L., Biondi, N., Tredici, M. R., Sousa, I., Raymundo, A. “Microalgae biomass as an alternative ingredient in cookies: sensory, physical and chemical properties, antioxidant activity and in vitro digestibility”. *Algal Research* 26:161–71, 2017.

- [59] Mofasser Hossain, A.K.M., Brennan, M.A., Mason, S.L., Guo, X., Zeng, X.A., Brennan, C.S. “The effect of astaxanthin-rich microalgae ‘*Haematococcus pluvialis*’ and wholemeal flours incorporation in improving the physical and functional properties of cookies”. *Foods* (2017) 6:57–67, 2017.
- [60] Ak B, Avşaroğlu E, Işık O, Özyurt G, Kafkas E, Etyemez M, Uslu, L. “Nutritional and physicochemical characteristics of bread enriched with microalgae *Spirulina platensis*”. *International Journal of Engineering Research and Application* 6:30–8, 2016.
- [61] Figueira, F.D.S., Crizel, T.D.M., Silva, C.R., Sallas-Mellado, M.D.L.M.S. “Elaboration of gluten-free bread enriched with the microalgae *Spirulina platensis*”. *Brazilian Journal of Food Technology* 14:308–16, 2011.
- [62] Fradique, M., Batista, A., Nunes, M., Gouveia, L., Bandarra, N., Raymundo, A. “Incorporation of *Chlorella vulgaris* and *Spirulina maxima* biomass on pasta products. Part 1: preparation and evaluation”. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 90:1656–64, 2010.
- [63] Fradique, M., Batista, A.P., Nunes, M.C., Gouveia, L., Bandarra, N.M., Raymundo, A. “*Isochrysis galbana* and *Diacronema vlkianum* biomass incorporation in pasta products as PUFA’s source”. *LWT - Food Science and Technology* 50:312–9, 2013.
- [64] El-Baz, F.K., Abdo, S.M., Hussein, A.M.S. “Microalgae *Dunaliella salina* for use as food supplement to improve pasta quality”. *International Journal of Pharmaceutical Sciences Review and Research* 46:45–51, 2017.
- [65] Gouveia, L., Raymundo, A., Batista, A.P., Sousa, I., Empis, J. “*Chlorella vulgaris* and *Haematococcus pluvialis* biomass as colouring and antioxidant in food emulsions”. *European Food Research and Technology* 222:362–7, 2006.
- [66] Ursu, A.V., Marcati, A., Sayd, T., Sante-Lhoutellier, V., Djelveh, G., Michaud, P. “Extraction, fractionation and functional properties of proteins from the microalgae *Chlorella vulgaris*”. *Bioresource Technology* 157:134–9, 2014.