

Alglerin Sürdürülebilirlik ve Besin Zenginleştirmedeki Yeri

Algae's Role in Sustainability & Nutrient Enrichment

Sema Anık¹, Vahibe Uluçay Kestane²

Geliş tarihi/Received: 15.09.2024 • Kabul tarihi/Accepted: 16.02.2025

ÖZET

Son yıllarda dünyada gıda üretiminde üst limitlere ulaşılmasına rağmen her 9 kişiden biri yetersiz beslenme ile karşı karşıyadır. İklim değişimi ve nüfus artışı ile durumun daha da kötüleşmesi sürdürülebilir alternatif enerji ve protein kaynaklarına yönelmeyi ihtiyaç haline getirmiştir. Sürdürülebilirlik kavramı, her zaman var olma, geleceğe kalabilme, varlığını devam ettirme olarak açıklanmaktadır. Bir beslenme stratejisi olarak düşünüldüğünde ise düşük çevresel etkiye sahip, protein seçeneklerinin var olduğu yeni alternatif kaynakların arayışı olarak gündeme gelmiştir. Literatürde alternatif protein kaynakları arasında yenilebilir böcekler, yenilebilir alg türleri ve biyoteknolojik yöntemler kullanılarak üretilen sentetik etler bulunmaktadır. Alglerin sucul ortamda doğal olarak yetişebilmeleri, çok uzun zaman güvenli olarak tüketilmeleri, makro ve mikro besin ögesi çeşitliliği ile biyoaktif madde yoğunluğunun yüksek olması, genetik olarak modifiye edilebilmeleri ve ihtiyaç duyulan öğelere göre seçilip çoğaltılabilmeleri gibi nedenlerden dolayı geleceğe yönelik doğal besin alternatifleri arasında yer almaktadır. Bu nedenle günümüzde süt ürünleri, makarna, ekmek vb. tahıl ürünleri gibi insan beslenmesinde sıklıkla tüketilen besinlere çeşitli mikroalg türleri ilave edilerek bu besinlerin makro ve mikro besin ögeleri yönünden zenginleştirilmesi sağlanmaktadır. Mikroalgler sağlıklı bir diyet için yeterince araştırılmamış doğal bir kaynaktır. Bu nedenle yüksek değerli ürünler elde edebilmek için yeni mikroalg suşlarının tanımlanması ve özelliklerinin belirlenmesine ihtiyaç duyulmaktadır. Bu derlemenin amacı, artan dünya nüfusunun gıda ihtiyacını karşılamak için sürdürülebilir ve yenilikçi protein kaynaklarına olan gereksinimi açıklamak ve alglerin sürdürülebilirlik ve besin zenginleştirmede alternatif besin kaynağı olarak kullanılmasının önemini vurgulamaktır.

Anahtar kelimeler: Alg, protein, sürdürülebilirlik, besin zenginleştirme

ABSTRACT

Despite reaching upper limits in food production in recent years, one out of every 9 people in the world faces malnutrition. The worsening of the situation with climate change and population growth has made it necessary to turn to sustainable alternative energy and protein sources. The concept of sustainability is explained as always existing, staying in the future, and continuing to exist. When considered as a nutritional strategy, it has come to the agenda as a search for new alternative sources with low environmental impact and protein options. In the literature alternative protein sources include edible insects, edible algae species and synthetic meats produced using biotechnological methods. Algae are among the natural food alternatives for the future due to the fact that they can grow naturally in aquatic environment, can be consumed safely for a long time, have high macro and micronutrient diversity and bioactive substance density, can be genetically modified, and can be selected and reproduced according to the required elements. For this reason, various microalgae species are

1. **İletişim/Correspondence:** İstanbul Galata Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Fakültesi, İstanbul, Türkiye
E-posta: semaanik_1987@hotmail.com • <https://orcid.org/0000-0002-4932-8862>

2. İstanbul Galata Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Fakültesi, İstanbul, Türkiye
<https://orcid.org/0009-0008-2088-0566>

added to foods that are frequently consumed in human nutrition such as dairy products, pasta, bread, etc. cereal products, and these foods are enriched in terms of macro and micronutrients. Microalgae are an under-researched natural resource for a healthy diet. Therefore, there is a need to identify new microalgae strains and determine their properties to obtain high value products. The aim of this review is to explain the need for sustainable and innovative protein sources to meet the nutritional needs of the growing world population and to emphasise the importance of using algae as an alternative food source for sustainability and food fortification.

Keywords: Algae, protein, sustainability, food fortification

GİRİŞ

Son yıllarda, yüksek enerji ve düşük protein içerikli beslenme tarzı obezite, diyabet, kardiyovasküler hastalıklar, kanser gibi birçok sağlık sorunlarını beraberinde getirmektedir (1). Bununla birlikte takvimler 2050 yılını gösterdiğinde 9.8 milyara ulaşan dünya nüfusunun yanında gıda yetersizliği, küresel ısınma, enerji krizleri ve iklim değişiklikleri gibi sorunların da artacağı düşünülmektedir (2). Ayrıca COVID-19 pandemi dönemi ile gıda krizi daha da artmış ve bu durum tarımsal üretimin öneminin daha çok artması gerektiğini düşündürmüştür. Bu nedenle verimliliği arttırmaya yönelik önlemler ve küresel iklim değişikliğinin oluşturduğu su kıtlığı gibi etkileri azaltıcı adımların geliştirilmesinin gerekliliği anlaşılmıştır. Uygulamaya koyulacak olan tüm faaliyetlerin sürdürülebilir özellikte olması gerekmektedir (3,4). Sürdürülebilirlik için yapılan her hamle; gıda üretimindeki kaynak kullanımını ve paketli ve yüksek enerji içeren gıdaların tüketimini azaltır, biyoçeşitliliği korur ve ayrıca gıda israfını durdurmaya hizmet eder (5).

Gelişmekte olan ülkelerde her yıl 5 yaş altı yaklaşık 5.9 milyon çocuk ölmektedir ve bu ölümlerin %54'ü yetersiz protein alımına bağlı olarak meydana gelmektedir (6). Bu durum alternatif doğal besin kaynaklarına olan ihtiyacı arttırmaktadır (1).

Sağlıklı ve sürdürülebilir sistemler ile üretilmeyen besinler, insanlar ve gezegen için küresel bir risk oluşturmaktadır. Sera gazı emisyonlarını, azot ve fosfor kirliliğini, su, enerji ve arazi kullanımını arttırmakta; biyolojik çeşitliliği azaltmaktadır (7). Hayvansal kaynaklı üretim nedeni ile yaklaşık 97 milyon ton metan gazı yayılmaktadır (8) ve metan gazı, ozon gazı ve karbondioksit ile dünya yüzey

sıcaklığını arttıran, iklim düzensizliklerine yol açan sera gazlarından (9).

Günümüzde protein ihtiyacını gidermek için tercih edilen gıda tüketimine yönelik diyet tercihleri değişmektedir. Birleşmiş Milletler Sürdürülebilir Kalkınma Hedefleri'nin ifade ettiği gibi küresel çapta beslenmeyi daha iyi hale getirmek için sürdürülebilir, besleyici ve tamamlayıcı protein kaynaklarına ihtiyaç vardır (10,11). Bitkisel kaynaklı proteinler, hayvansal kaynaklı proteinlerle kıyaslandığında daha ekonomik ve daha düşük çevresel etkiye sahiptir. Özellikle de COVID-19 pandemi sonrası tüketicilerin farkındalığının artması ile beslenme ve sağlık arasında daha yoğun ilişkiler kurulmuş ve bu durum bitkisel proteinin önemini arttırmıştır (12).

Bu derlemenin amacı, artan dünya nüfusunun gıda ihtiyacını karşılamak için sürdürülebilir ve yenilikçi protein kaynaklarına olan gereksinimi açıklamak ve algerin sürdürülebilirlik ve besin zenginleştirmede alternatif besin kaynağı olarak kullanılmasının önemini vurgulamaktır.

Sürdürülebilirlik ve Besin Zenginleştirmede Alternatif Besin Kaynaklarına Geçiş

Sürdürülebilirlik kavramına 1987 yılında Dünya Çevre ve Kalkınma Komisyonu tarafından çıkarılan "Ortak Geleceğimiz" adlı raporda değinilmiştir. Sürdürülebilirlik kavramı, her zaman var olma, geleceğe kalabilme, varlığını devam ettirme olarak açıklanmaktadır. Gıda ve Tarım Örgütü (FAO), tarafından yapılan tanımda sürdürülebilir beslenme 'biyoçeşitliliğe ve ekosisteme saygılı, insan ve doğal kaynakları optimize eden, koruyucu, kültürel

olarak kabul gören, ulaşılabilir, beslenme açısından yeterli, güvenilir ve sağlıklı beslenme' şeklinde ifade edilirken (13); besin zenginleştirmenin tanımı ise toplumda veya özel bir risk grubunda bulunan yetersizliklerin düzeltilmesi veya önlenmesi hedefi ile besinde doğal olarak bulunan, besinin işlenmesi sırasında kaybedilen bir veya daha fazla besin ögesinin besine yeniden ilave edilmesidir. Besin zenginleştirme işlemlerinin kontrolü Amerika Gıda ve İlaç Dairesi (FDA) tarafından yapılmaktadır ve ilk kez 1900'lü yıllarda başlamıştır (14). Bu noktada alternatif protein kaynağı olarak bitkiler, algler, funguslar, mikroorganizmalar, böcekler ve kültür eti ele alınmıştır (15).

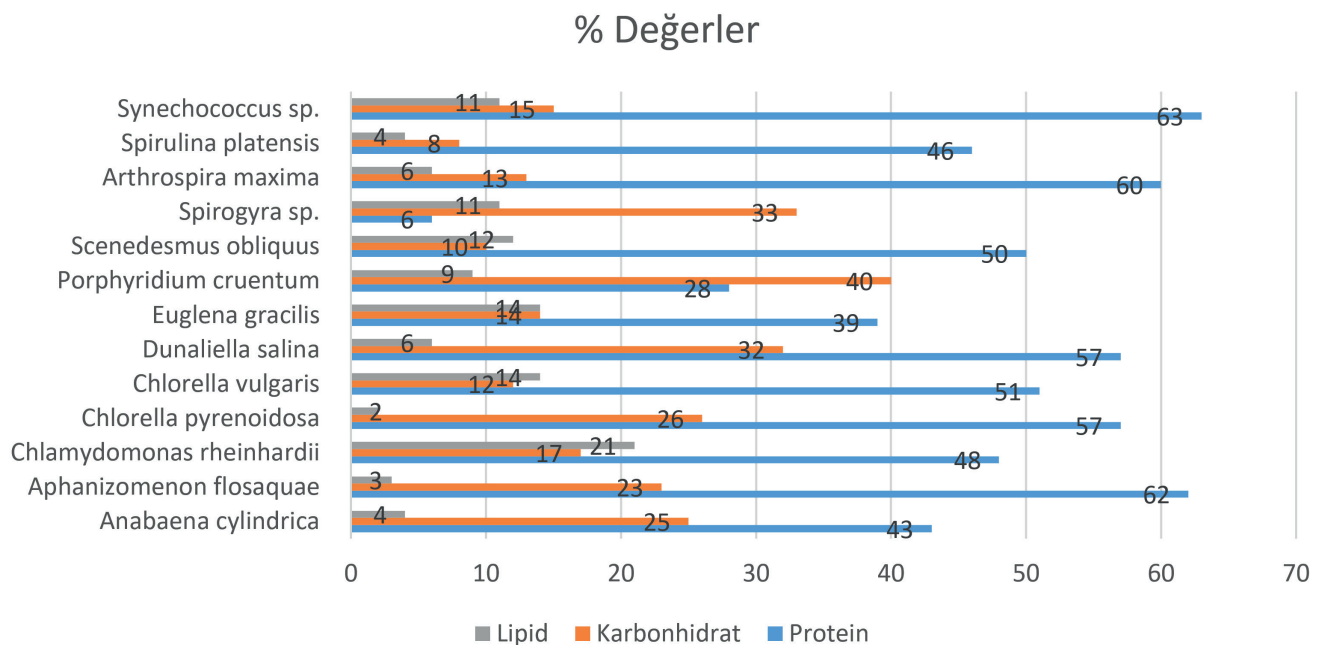
Sürdürülebilir Kaynak Olan Algler ve Besin Değerleri

Alternatif fonksiyonel gıda adayı olan algler, yüksek besin ögesi içeriğine sahiptir ve çevre açısından sürdürülebilir gıda taleplerini karşılayabilecek ürünler arasında yer almaktadır (1,2). Algler makro ve mikro algler olarak ikiye ayrılır. Makroalgler deniz yosunu olarak da bilinmektedir ve çok sayıda canlıya hem besin hem de yaşam alanı sağlar. Dünyada yaklaşık 290 çeşidi bilinmektedir (16). Makroalglerin gerçek anlamda kök, gövde, yaprak farklılaşması

yoktur ve uzunlukları 1-2 cm ile 40-50 m arasında değişiklik gösterir (17,18). Mikroalgler sulak alanlarda fotosentez yapabilen tek hücreli organizmalardır, zengin tür çeşitliliğine sahip, toprak ihtiyacı az, su tüketimleri düşük, deniz suyunda yetiştirilebilen, protein içeriği yüksek sürdürülebilir bir besin olarak bilinmektedir (18,19).

Ökaryotik mikroalglerin en bilinen türleri; Chlorophyta (*Chlorella*, *Dunaliella*, *Haematococcus*, yeşil alg), Rhodophyceae (kırmızı alg, *Porphyridium* türleri), Dinophyta (*C. cohnii*, dinoflagellates), Chrysophyta (*Ochromonas malhamensis*, sarı-kahverengi algler), Bacillariophyta (diatomlar, *Nitzschia laevis*), Rhaphidophyta (*Fibrocapsa japonica*) ve Phaeophyta (kahverengi algler)'dir (17).

Mikro alglerin genel olarak kuru ağırlıklarının %9-50'sini protein, %7-50'sini karbonhidrat, %7-50'sini yağ oluşturmaktadır. Çoğu hayvan ve bitkisel kaynaklar ile büyük yosunlarda yetersiz olan lizin ve metionin gibi esansiyel aminoasitler açısından da zengindir. İnsan beslenmesi için gerekli elzem aminoasitleri karşılaması nedeniyle alternatif bir yüksek kaliteli protein kaynağı olarak değerlendirilmesi mümkündür (20). Bazı alg türlerinin makro besin ögesi içerikleri Şekil 1'de görülürken (21); Tablo 1'de alglerin esansiyel amino asit bileşimleri yer almaktadır (21).



Şekil 1. Bazı alg türlerinin kuru ağırlıklarına göre makro besin ögesi içerikleri (% kuru ağırlık) (21)

Tablo 1. Bazı alg türlerinin esansiyel aminoasit bileşimleri (%) (21)

Alg Türü	<i>Arthrospira platensis</i>	<i>Chlamydomonas reinhardtii</i>	<i>Auxenochlorella protothecoides</i>	<i>Chlorella vulgaris</i>	<i>Dunaliella bardawil</i>	<i>Euglena gracilis</i>
Histidin	2.2	2.3	3	2	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	3.7
Lizin	4.8	6.6	4.9	8.4	7	4.9
Metionin	2.5	2.7	2.1	2.2	2.3	0
Fenilalanin	5.3	5.6	5.5	5	5.8	0.9
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
Valin	7.1	6.5	5.2	5.5	5.8	8

Yapılan araştırmalar ile alglerdeki çözünebilen liflerin fermente olarak asetat, propiyonat ve bütirat gibi kısa zincirli yağ asitleri oluşturduğu, prebiyotik etki göstererek sindirimi iyileştirdiği ve bağışıklık sistemini desteklediği (22), omega-3, omega-6, A, C, D, E, K ve B vitaminleri, demir, kalsiyum, magnezyum minerallerini içerdiği, özellikle de *C. vulgaris*, *C. pyrenoidosa*, *A. platensis*, *A. Maxima*'nın kuru ağırlığının %50-70'inin protein olduğu ve esansiyel aminoasitlerin bulunduğu tespit edilmiştir. Bu durum algler ve hayvanlardan elde edilen protein elverişliliğinin eşdeğer olduğunu düşündürmektedir (23,24).

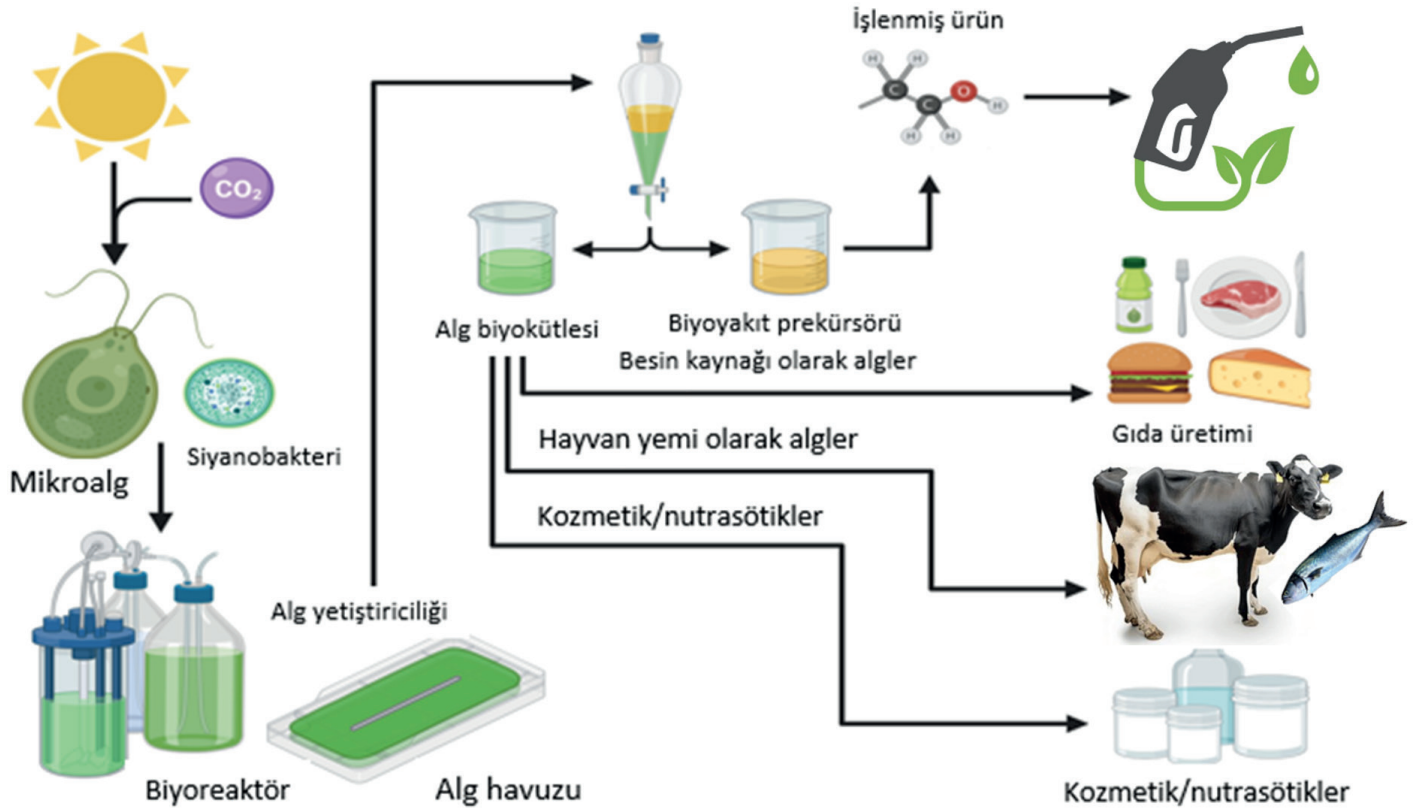
Algler, tek hücre proteini (THP) olarak kullanılabilirliği ile de sürdürülebilirlikte önemli bir yer tutmaktadır. THP, alternatif besin olarak tercih edilen ve kurutulmuş elde edilen hücre topluluğudur. THP insan tüketimine yönelik kırmızı ve beyaz et, denizden elde edilen canlılar, algler, mantarlar, mayalar ve bakteriler gibi birçok farklı mikroorganizmadan elde edilebilmektedir. THP üretiminde kullanılacak mikroorganizmaların protein oranı yüksek olmalı (25) ve kuru madde bazında %60-82 protein içermelidir (26). THP, özellikle hayvan yemlerinde, diyet takviyelerinde, protein açısından zengin gıdaların ikamesi şeklinde kullanılabilir (Şekil 2) (27). Biyolojik atıklar, özellikle gıda atıkları, THP'lere dönüştürülebilir ve çevre dostu ve yenilikçi bir teknoloji olarak önerilmektedir; bu nedenle sürdürülebilirliğe katkı sağlamaktadır (28,29).

Algler ile İlgili Yapılan Araştırmalar

Alglerin özelliklerine dayanarak, Tablo 2'de gıda sektöründe hizmet etmek amacıyla gerçekleştirilen güncel araştırmaların bazıları kronolojik sırayla sunulmuştur.

Alglerin Muhtemel Tehlikeleri

Sucul besin zinciri piramidinin en altında yer alan algler, ağır metalleri biriktirebilmektedir ve mikroalg türünün toksik ve alerjen bileşen durumunun, yetiştirildiği su kütlesinde bulunan mikro kirliticilerden ileri geldiği bildirilmiştir (41). 2023 yılında yapılan bir çalışmada sularda bulunan ağır metal kirliliklerinin temizlenmesi için mikroalglerden yararlanılmıştır. Cooum Nehrinde bulunan ağır metal kirliliğini gidermek için *Chlorella vulgaris*, *Scenedesmus dimorphus* ve *Phormidium sp.* alg türleri kullanılmıştır (42). Bir başka çalışmada *Chlorella vulgaris* ve *Arthrospira platensis* kullanmış, bu alglerin bakır, nikel ve demir gibi ağır metallerin sulardan uzaklaştırılmasında yarar sağladığı bildirilmiştir (43). 2020 yılında yapılmış bir çalışmada *Arthrospira platensis*'in bakır biriktirebildiği ortaya konulmuştur (44). 2021 yılında yapılmış diğer bir çalışmada ise *Chlorella vulgaris* mikroalg türünün kurşun biriktirebildiği gözlenmiştir (45). Tüm bu kirlilikleri gidermek için yapılmış bu çalışmalar göstermektedir ki alglerde ağır metal birikimi olabilmektedir. Ayrıca algler fitotoksinler ve allelokimyasallar üretebilmektedir (46) ve alerji yapma potansiyelleri vardır (47). Yapılan besin alerjisi incelemesinde



Şekil 2. Algin kullanım alanları (27)

Tablo 2. Kronolojik olarak algler ile ilgili yapılmış bazı araştırmalar

Alg adı	Gerçekleştirilen Araştırmalar	Kaynak
<i>Isochrysis galbana</i> ve <i>Nannochloropsis oculata</i>	Bu alg türleri %0.5 ve %1 oranları ile sakızlara doğal yeşil renklendirici olarak eklenmiş, renk, doku ve duyuşal özellikler incelenmiştir. Sakızların rengi hâki ve açık hâki olarak bulunmuştur	Palabıyık ve ark. (30)
<i>Spirulina</i>	Algin farklı konsantrasyonlarının kurabiyelere eklenmesinin kurabiyelerin su içeriği, rengi, sertliği, toplam antioksidan kapasitesi, toplam fenolik içeriği gibi özelliklerindeki değişimlere etkisi incelenmiştir. Depolama süresi boyunca daha sert ve koyu oldukları ama bunun tüketiciler tarafından kabul edilebilir olduğu, toplam antioksidan kapasitesi ve toplam fenolik içeriğinin arttığı bulunmuştur.	Marcinkowska-Lesiak et al. (31)
<i>Nannochloropsis oculata</i>	Bu alg türünün, püskürtmeli kurutucu tekniği ile beyaz çikolata ve sürülebilir beyaz krema bileşimine eklenerek kalite özellikleri ve renk stabilitesi üzerine etkisi incelenmiştir. Mikroalg kullanımının beyaz çikolata ve krema örneklerinin su aktivitesi, nem oranı, sertlik, viskozite ve akış davranışı gibi özelliklerini fazla etkilemediği ancak tat ve genel beğeni düzeyinde bir düşüş olduğu bulunmuştur.	Polat (32)
<i>Spirulina platensis</i> ve <i>Chlorella vulgaris</i>	Bu alglerin, probiyotik beyaz peynir örneklerini zenginleştirmesi incelenmiştir. Bu işlem sonucunda besinsel içeriğın zenginleştirilmesine ilave olarak teknolofonksiyonel özelliklerin de geliştirilebileceği bulunmuştur.	Suna (33)
<i>Spirulina platensis</i>	Algin eklenmesinin ekmek üretimine etkisi incelenmiştir. Bu alg ile üretilen ekmeklerde protein ve toplam fenolik madde miktarının arttığı bulunmuştur.	İlhan ve ark. (34)
<i>Spirulina platensis</i>	Bu algin glutensiz noodle örneklerine ilave edilmesi incelenmiştir. Protein içeriklerinin %73 seviyesine kadar yükseldiği; vitamin, mineral ve aminoasit miktarlarının arttığı bulunmuştur.	Riyad et al. (35)

Tablo 2. Devamı

Alg adı	Gerçekleştirilen Araştırmalar	Kaynak
<i>Nannochloropsis gaditana</i> ve <i>Chlamydomonas sp.</i>	Algler ile glutensiz ekmeklerin zenginleştirilmesi incelenmiştir. Protein, omega-3 çoklu doymamış yağ asitleri ve kül içeriğinin kontrol örneklerine kıyasla daha yüksek olduğu ve yoğun bir yeşil-sarı renk oluşumu meydana geldiği bulunmuştur.	Khemiri et al. (36)
<i>Spirulina platensis</i>	Bu çalışmada, alg tozu (SP) ve algden ultrases destekli ekstraksiyon ile elde edilen protein ekstraktları (SPE) ile zenginleştirilen buğday unlarının ve bu unlarla üretilen ekmeklerin özellikleri incelenmiştir. Ekmek örneklerinin protein sindirilebilirliği %81.86-85.02 arasında değişmiştir. SP-%0.125, SP-%0.5 ve SPE-%0.25 içeren ekmek örneklerinde <i>in vitro</i> mide sindirimi sonrası antioksidan aktivitesinde artış gözlemlenmiştir. Bu alg tozunun besin değerini ve antioksidan kapasitesini artırırken, duyuusal ve fiziksel özelliklerde de iyileşmeler sağladığı bulunmuştur.	Yılmaz ve ark. (37)
<i>Chlorella sorokiniana</i>	Alg, makarnaya eklenerek fitokimyasallar açısından zenginleştirme ve sentetik boyalar kullanılmadan istenilen renk aralığını oluşturma durumları, toplam protein, lipid, klorofil ve karotenoid içeriği üzerindeki etkisi incelenmiştir. Makarna ununun %5'inin mikroalgün kuru biyokütlesiyle değiştirilmesinin, makarna protein içeriğini %15.7±0.50 ve lipid içeriğini %4.1±0.06 oranında artırdığını ve mikroalg eklemesi ile gıda kaynaklı hastalıkların önlenmesine yardımcı olan çoklu doymamış yağ asitleri, klorofil ve karotenoid içeriğinin arttığı bulunmuştur.	Bazarnova et al. (38)
<i>Ulva lactuca</i> , <i>Porphyra tenera</i> ve <i>Undaria pinnatifida</i>	Alglerin makarnaya eklenmesi ile makarnanın besin değerinin nasıl değiştiği incelenmiştir. Makarnaların dayanıklılığı artmış, rengi, kullanılan alg türüne bağlı olarak değişmiştir ve protein içeriği ile çözünür lif miktarının arttığı bulunmuştur.	Ainsa et al. (39)
<i>Spirulina platensis</i>	Bu alg türü kefire farklı oranlarda eklenmiş ve γ -aminobütirik asit (GABA), karnosin, anserin ve 5-hidroksimetilfurfural (HMF) oluşumu incelenmiştir. GABA, karnosin ve HMF değerleri ($p < 0.01$) üzerinde anlamlı etkiye sahip olduğu, anserin üzerinde ise önemli bir etkisinin olmadığı ($p > 0.05$) belirlenmiştir. Kefir örneklerinde saptanan HMF içeriği alg ilavesiyle artmış olmasına rağmen, tüketilebilir limitler içerisinde yer aldığı ortaya konmuştur. Sonuç olarak, alg ilaveli kefir örneklerinin gama aminobütirik asit (GABA) ve karnosin kaynağı olduğu ve fonksiyonel bir ürün olarak üretiminin yapılabileceği bulunmuştur.	Terzioğlu ve ark. (40)

Chlorella vulgaris'in besin alerjisi olarak anafilaksiye, ürtikeryal döküntüye, kan basıncı düşüklüğüne neden olduğu tespit edilmiştir (48). *Chondrus crispus* ve *Palmaria palmata*, besin alerjisi olarak dudak ve dil karıncalanmasına, boğazda sıkışmaya, burun tıkanıklığına neden olmuştur (49). Mikroalg takviyesi kullanan bazı bireylerde diyare, mide bulantısı, karın ağrısı gibi basit gastrointestinal şikâyetler ve deri döküntüsü gibi yan etkiler bildirilmiştir (50). Mikroalgler genellikle toz takviyeler veya haplar şeklinde tüketilir, önerilen günlük doz 1-5 gram arasındadır (23).

SONUÇ VE ÖNERİLER

Yapılan tahminlere göre 2028 yılında mikroalg pazarının yaklaşık 62.000 milyon Amerikan doları olacağı düşünülmektedir (51). Bu durum alglerin

değerini her geçen gün daha da arttırmaktadır. Bu derlemede alglerin içerdiği besin öğeleri, sürdürülebilirlik ve besin zenginleştirmedeki rolleri son 20 yıldaki literatür ele alınarak araştırılmıştır ve var olan verilere dayanarak belirlenen öneriler şu şekildedir; algler çoğunlukla ayran, süt, yoğurt, dondurma, peynir, kurabiye, makarna, tahıl ürünleri, ekmek, erişte, çorba, yeşil çay ve atıştırmalıklara belirli oranlarda ilave edilmiş ve sağlık üzerinde olumlu etkiler yarattığı saptanmıştır. Ülkemizde sulak alanlarda var olan alg türlerinin tespit edilmesi gereklidir. Alg türlerinin ağır metal biriktirme durumları göz önüne alınarak kontrollü su ortamlarında yetiştirilmesi sağlanmalı, mikro ve makro alg türleri ile birlikte tüketilmemesi gereken besin grupları var mı tespit edilmeli, alglerin tüketimine yönelik bir Gıda Tebliği oluşturulmalıdır. İçerdiği besin öğelerinin zenginliği açısından hangi

yaş grubunun ne kadar dozda tüketmesi gerektiği ortaya konulmalıdır. Alerjen olabilme durumları nedeniyle gıda alerji testlerinde algelere de yer verilmelidir. Diyare, konstipasyon, ülser, gastrit, divertikül vb. rahatsızlıklardaki kullanım durumu hakkında geniş örneklem sayısına sahip randomize kontrollü araştırmalar yapılmalıdır. Mikroalgelerin sağlık üzerine olumlu etkileri ve sürdürülebilir bir besin kaynağı potansiyeli olarak düşünülecek olursa, toplumun bu konuda farkındalığının artırılması sürdürülebilirlik hedefleri açısından da büyük önem taşımaktadır.

Yazarlık katkısı • Author contributions: Çalışmanın tasarımı: SA, VUK; İlgili literatürün taranması: SA; Makale taslağının oluşturulması: SA, VUK; İçerik için eleştirel gözden geçirme: VUK; Yayınlanacak versiyonun son onayı: SA, VUK. • **Study design:** SA, VUK; **Literature review:** SA; **Draft preparation:** SA, VUK; **Critical review for content:** VUK; **Final approval of the version to be published:** SA, VUK.

Çıkar çatışması • Conflict of interest: Yazarlar çıkar çatışması olmadığını beyan ederler. • *The authors declare that they have no conflict of interest.*

KAYNAKLAR

- Koyande K, Chew KW, Rambabu K, Tao Y, Chu DT, Show PL. Microalgae: a potential alternative to health supplementation for humans. *Food Sci Hum Wellness*. 2019;8(1):16-24.
- Sasa A, Şentürk F, Üstündağ Y, Erem F. Alglerin gıda veya gıda bileşeni olarak kullanımı ve sağlık üzerine etkileri. *Uluslararası Mühendislik, Tasarım ve Teknoloji Dergisi*. 2020;2(2):97-110.
- Yavuz F. Tarımsal Kuraklık: Öngörüler, Önlemler, Öneriler. *Kriter Dergi*. 2021;5:53. Available from: <https://kriterdergi.com/ekonomi/tarimsalkuraklik-ongoruler-onlemler-oneriler>
- Baydar A, Ünlü M. Farklı Fertigasyon teknikleri ve su kısıntısı koşullarında domates bitkisinin su verim ilişkilerinin belirlenmesi. *Toprak Su Dergisi*. 2020;9(2):116-21.
- Olgun SN, Manısalı E, Çelik F. Sürdürülebilir beslenme ve diyet modelleri. *BANU Sağlık Bilimleri ve Araştırmaları Dergisi*. 2022;4(3):261-71.
- FAO. Dünyada Gıda Güvenliği ve Beslenme Durumu – Ekonomik Yavaşlama ve Gerilemelere Karşı Önlem Alma [Internet]. Available from: <http://www.fao.org/3/ca5249tr/ca5249tr.pdf>
- El SN. Sürdürülebilir Gıda Sistemlerinde Optimum Beslenme Yaklaşımı. *Sürdürülebilir Gıda Sistemleri Üzerine Araştırmalar*. 2022;75.
- FAO. Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü, Hayvansal Üretim İstatistikleri [Internet]. 2023. Available from: www.faostat.com
- Sonwani S, Hussain S, Saxena P. Air pollution and climate change impact on forest ecosystems in Asian region – a review. *Ecosyst Health Sustain*. 2022;8(1):2090448.
- Gephart JA, Davis KE, Emery KA, Leach AM, Galloway JN, Pace ML. The environmental cost of subsistence: optimizing diets to minimize footprints. *Sci Total Environ*. 2016;553:120-7.
- Willett W, Rockström J, Loken B, Springmann M, Lang T, Vermeulen S, et al. Food in the Anthropocene: the EAT–lancet commission on healthy diets from sustainable food systems. *Lancet*. 2019;393:447-92.
- Boukid F. Plant-based meat analogues: from niche to mainstream. *Eur Food Res Technol*. 2021;247(2):297-308.
- Tokay A, Yılmaz C, Bölük S, Boyraz Ö, Bülbül N. Sürdürülebilir beslenme modellerinden Akdeniz diyetinin sürdürülebilirlikteki yeri. *TOGÜ Sağlık Bilimleri Dergisi*. 2022;2(2):187-201.
- Kahyaoğlu F, Demirci B. Zenginleştirilmiş ve güçlendirilmiş gıdaların sağlık üzerine önemi ve çeşitli ülkelerde uygulanması. *Bozok Tıp Derg*. 2019;9(2):164-9.
- Grossmann L, Weiss J. Alternative protein sources as technofunctional food ingredients. *Annu Rev Food Sci Technol*. 2021;12:93-117.
- Akdeniz Koruma Derneği. <https://akdenizkoruma.org.tr/tr/calismalarimiz/denizel-turler/b/makroalgler>. 2022.
- Uzuner S, Haznedar A. Fonksiyonel gıda için sağlıklı takviye: mikroalgler. *Sinop Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*. 2020;5(2):212-26.
- İrkin LC. *Akuakültürde alglerin önemi ve kullanım alanları*. İksad Publishing House; 2020.
- 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*. 2017;245:162-70.
- Baş A, Peksever D, El SN. Sürdürülebilir protein kaynakları: bitki, böcek, yapay et ve tek hücre proteinleri. In: *International Turkic World Congress on Science and Engineering*; 2021.

21. Muslu M, Gökçay GF. Sağlığın desteklenmesi ve sürdürülebilir beslenme için alternatif bir kaynak: alg (yosunlar). *Bandırma Onyedü Eylül Üniversitesi Sağlık Bilimleri ve Araştırmaları Dergisi*. 2020;2(3):221-37.
22. Wells ML, Potin P, Craigie JS, Raven JA, Merchant SS, Helliwell KE, et al. Algae as nutritional and functional food sources: revisiting our understanding. *J Appl Phycol*. 2017;29:949-82.
23. Geada P, Moreira C, Silva M, Nunes R, Madureira L, Rocha CMR, et al. Algal proteins: production strategies and nutritional and functional properties. *Bioresour Technol*. 2021;332:125125.
24. Barkia I, Saari N, Manning SR. Microalgae for high-value products towards human health and nutrition. *Mar Drugs*. 2019;17(5):304.
25. Taşkın A. Geleceğin alternatif gıda kaynakları ve gıda teknolojileri [Yüksek Lisans Tezi]. Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Tekirdağ; 2019.
26. Sharif M, Zafar MH, Aqib AI, Saeed M, Farag MR, Alagawany M. Single cell protein: Sources, mechanism of production, nutritional value and its uses in aquaculture nutrition. *Aquaculture*. 2021;531:735885.
27. Diaz CJ, Douglas KJ, Kang K, Kolarik AL, Malinovski R, Torres-Tiji Y, et al. Developing algae as a sustainable food source. *Front Nutr*. 2023;9:1029841.
28. Matassa S, Boon N, Pikaar I, Verstraete W. Microbial protein: future sustainable food supply route with low environmental footprint. *Microb Biotechnol*. 2016;9:568-75.
29. Dahiya S, Kumar AN, Shanthi Sravan J, Chatterjee S, Sarkar O, Mohan SV. Food waste biorefinery: sustainable strategy for circular bioeconomy. *Bioresour Technol*. 2018;248:2-12.
30. Palabıyık I, Durmaz Y, Öner B, Toker OS, Coksari G, Konar N, et al. Using spray-dried microalgae as a natural coloring agent in chewing gum: effects on color, sensory, and textural properties. *J Appl Phycol*. 2018;30:1031-9.
31. Marcinkowska-Lesiak M, Onopiuk A, Zalewska M, Ciepluch A, Barotti L. The effect of different level of *Spirulina* powder on the chosen quality parameters of shortbread biscuits. *J Food Process Preserv*. 2018;42(3):e13561.
32. Polat DG. *Nannochloropsis oculata* mikroalg türü biyomasının beyaz çikolata ve sürülebilir beyaz kremada kullanımının kalite özelliklerine etkileri [Yüksek Lisans Tezi]. Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Tekirdağ; 2019.
33. Suna G. *Spirulina platensis* ve *Chlorella vulgaris* ile zenginleştirilmiş probiyotik beyaz peynir üretiminin araştırılması [Yüksek Lisans Tezi]. Bursa Uludağ Üniversitesi; 2020.
34. İlhan E, Büyükizgi A, Ermiş E. Mavi-yeşil alg *Spirulina platensis*'in buğday ekmeğinde kimyasal, duyuşal ve antifungal etkisi. *Gıda ve Yem Bilimi Teknolojisi Dergisi*. 2020;(24):22-9.
35. Riyad YM, Naeem MM, Slama S. Evaluation of gluten-free noodles fortified by *Spirulina* algae. *Egypt J Nutr*. 2020;35(1):133-60.
36. Khemiri S, Khelifi N, Nunes MC, Ferreira A, Gouveia L, Smaali I, et al. Microalgae biomass as an additional ingredient of gluten-free bread: dough rheology, texture quality and nutritional properties. *Algal Res*. 2020;50:101998.
37. Yılmaz M. *Spirulina platensis* protein ekstraktları ile zenginleştirilmiş buğday unundan üretilen hamur ve ekmeğin reolojik ve bazı biyoaktif özelliklerinin araştırılması [Yüksek Lisans Tezi]. Aksaray Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Aksaray; 2021.
38. Bazarnova J, Nilova L, Trukhina E, Bernavskaya M, Smyatskaya Y, Aktar T. Use of microalgae biomass for fortification of food products from grain. *Foods*. 2021;10(12):3018.
39. Ainsa A, Honrado A, Marquina P, Beltrán JA, Calanche J. Influence of seaweeds on the quality of pasta as a plant-based innovative food. *Foods*. 2022;11(16):2525.
40. Terzioğlu ME, Edebali E, Bakırcı İ. Alternatif protein kaynağı *Spirulina platensis* ile zenginleştirilen kefirin γ -aminobütirik asit (GABA), karnosin, anserin, 5-hidroksimetilfurfural (HMF) ve indirgen şeker içeriği. *Harran Tarım ve Gıda Bilimleri Dergisi*. 2024;28(1):118-30.
41. Ferreira de Oliveira AP, Bragotto APA. Microalgae-based products: food and public health. *Future Foods*. 2022;6:100157.
42. Amal Raj AR, Mylsamy P, Sivasankar V, Kumar BS, Omine K, Sunitha TG. Heavy metal pollution of river water and eco-friendly remediation using potent microalgal species. *Water Sci Eng*. 2023;17(1):41-50.
43. Musah BI, Wan P, Xu Y, Liang C, Peng L. Contrastive analysis of nickel (II), iron (II), copper (II), and chromium (VI) removal using modified *Chlorella vulgaris* and *Arthrospira platensis platensis*: characterization and recovery studies. *J Environ Chem Eng*. 2022;10(5):108422.
44. Cepoi L, Zinicovscaia I, Rudi L, Chiriac T, Miscu V, Djur S, et al. Growth and heavy metals accumulation by *Arthrospira platensis* biomass from multicomponent copper containing synthetic effluents during repeated cultivation cycles. *Ecol Eng*. 2020;142:105637.
45. Hee CW, Shing WL, Chi CK. Effect of Lead (Pb) exposure towards green microalgae (*Chlorella vulgaris*) on the changes of physicochemical parameters in water. *S Afr J Chem Eng*. 2021;37:252-5.

46. Blossom HE, Markussen B, Daugbjerg N, Krock B, Norlin A, Hansen PJ. The cost of toxicity in microalgae: direct evidence from the Dinoflagellate *Alexandrium*. *Front Microbiol.* 2019;10:1065.
47. Cherry P, O'Hara C, Magee PJ, McSorley EM, Allsopp PJ. Risks and benefits of consuming edible seaweeds. *Nutr Rev.* 2019;77:307-29.
48. Abasszade JH, Rama Raj P, Tinson AJ. Anaphylaxis following enteral exposure to *Chlorella vulgaris*. *BMJ Case Rep.* 2020;13(11):e237054.
49. Thomas I, Siew LQC, Watts TJ, Haque R. Seaweed allergy. *J Allergy Clin Immunol Pract.* 2019;7:714-5.
50. Rzymiski P, Jaśkiewicz M. Microalgal food supplements from the perspective of Polish consumers: patterns of use, adverse events, and beneficial effects. *J Appl Phycol.* 2017;29:1841-50.
51. Bele V, Rajagopal R, Goyette B. Closed loop bioeconomy opportunities through the integration of microalgae cultivation with anaerobic digestion: a critical review. *Bioresour Technol Rep.* 2023;21:101336.