

Interreg



Co-funded by
the European Union

NEXT Black Sea Basin



MAKROALG GÜNCEL EĞİLİMLER VE FIRSATLAR ANALİZİ RAPORU



**Makroalg Patlamaları İçin Araştırma, Temizleme
Metodolojileri, Ekonomik Değerlendirme ve Pilot Uygulama**

MACRO CLEAN – BSB00584



İSTANBUL – 2026

Interreg



Co-funded by
the European Union

NEXT Black Sea Basin



MAKROALG GÜNCEL EĞİLİMLER VE FIRSATLAR ANALİZ RAPORU

Makroalg Patlamaları İçin Araştırma, Temizleme
Metodolojileri, Ekonomik Değerlendirme ve Pilot
Uygulama

MACRO CLEAN – BSB00584



KÜLTÜR YAYINLARI

İSTANBUL 2026

Faaliyet 1.12
Makroalg Odaklı Girişimler İçin
Girişimcilik Programı

Proje Koordinatörü

Elif Kahraman

Marmara Belediyeler Birliği

E-mail: info@macroclean.org

İletişim Sorumlusu

İrem Selen

Marmara Belediyeler Birliği

Proje Websitesi: <https://www.macroclean.org/>

Bu belge, Interreg NEXT Karadeniz Havzası Programı tarafından finanse edilen MACRO CLEAN Projesinin (Makroalg Patlamaları İçin Araştırma, Temizleme Metodolojileri, Ekonomik Değerlendirme ve Pilot Uygulama) faaliyetlerine dayanmaktadır.

Sorumlu Yazarlar / İletişim:

Hakan Arca

Dr. Ş. Naci Adalılar

Yayın Tarihi: Ocak 2026

Yayın No: 177

ISBN: 978-625-8164-32-9



Marmara Belediyeler Birliği Kültür Yayınları
Yayınevi Sertifika No: 15668
Sarıdemir Mah. Ragıp Gümüşpala Cad. No:10
Eminönü-Fatih-İstanbul
+90 212 402 19 00
info@mbb.gov.tr
www.marmara.gov.tr
www.mbbkulturyayinlari.com

Bu belgenin içeriğinden yazar(lar) sorumludur. Bu belgenin içeriği, Avrupa Birliği'nin resmî görüşünü yansıtmak zorunda değildir. Kaynak belirtilmek ve yapılan değişiklikler açıkça gösterilmek kaydıyla çoğaltılmasına izin verilmektedir.

ÖZET

MACRO CLEAN Projesi kapsamında yürütülen Aktivite 1.12 – Makroalg Odaklı Girişimcilik Programı çalışmasının bir faaliyeti olarak hazırlanmış olan bu rapor, Karadeniz Havzası'nda makroalgelere dayalı ekonomik fırsatları, güncel eğilimleri ve sektörel dönüşümü çok boyutlu bir çerçevede ele almaktadır. Çalışma; akademi, özel sektör, yatırımcılar ve kamu kurumlarıyla yapılan yarı yapılandırılmış görüşmelere dayanarak, makroalg temelli ürünlerin mevcut durumu ile gelecekteki potansiyelini bütüncül biçimde ortaya koymaktadır.

Makroalgeler dünya genelinde gıda, yem, gübre, biyoplastik, biyoteknoloji ve kozmetik gibi geniş bir yelpazede değerlendirilen stratejik bir biyokütledir. Küresel ölçekte hızla büyüyen bu sektör; sürdürülebilirlik, karbon tutma kapasitesi, alternatif protein kaynakları ve döngüsel ekonomi gibi mega trendler tarafından şekillenmektedir. Türkiye biyolojik çeşitliliği, iklim koşulları ve geniş kıyı şeridi sayesinde yüksek bir üretim potansiyeline sahip olmasına rağmen, sektör henüz erken aşamada.

Bu araştırma, Türkiye'de makroalg ekosisteminin temel zorluklarını ve fırsatlarını ortaya koymuştur. Görüşmeler; yetiştiricilik eksikliğini, mevzuat boşluklarını, yüksek yatırım maliyetlerini, teknoloji ve altyapı sınırlılıklarını ve yerli hammadde tedarik sorununu sektörün önündeki en kritik engeller olarak işaret etmektedir. Buna karşın, hızla artan akademik ilgi, Ar-Ge çalışmalarındaki çeşitlilik, gübre ve biyoplastik alanındaki ticari girişimler ve Avrupa Birliği fonlarının sağladığı iş birliği imkanları güçlü bir ivme yaratmaktadır.

Özellikle Karadeniz'de gözlenen makroalg birikimleri, hem çevresel bir problem hem de ekonomik bir fırsat olarak değerlendirilmekte; gübre, biyoplastik ve biyoteknoloji uygulamaları için önemli bir hammadde potansiyeli sunmaktadır. Ekosistemdeki paydaşlar, sürdürülebilir bir değer zinciri oluşturulabilmesi için kültür yoluyla yetiştiriciliğe geçilmesini, tonajlı ve güvenilir hammadde kaynağının yalnızca bu şekilde sağlanabileceğini vurgulamaktadır.

Rapor, Türkiye'de makroalg temelli ürünler için gelişmekte olan bir girişimcilik ve yatırım alanı bulunduğunu göstermektedir. Ancak yatırımcıların uzun Ar-Ge döngülerine karşı temkinli olduğu, kavram kanıtı (PoC) eksikliğinin girişimlerin finansmana erişimini zorlaştırdığı ve sektörün büyümesi için regülasyon, teşvik ve altyapı alanlarında kamu desteğinin kritik olduğu görülmektedir.

Sonuç olarak, bu çalışma Türkiye'nin makroalg ekosistemine ilişkin kapsamlı bir fotoğraf sunmakta; mevcut durumu, karşılaşılan zorlukları, uluslararası eğilimleri ve geleceğe yönelik gelişim alanlarını bütüncül bir yaklaşımla ortaya koymaktadır. Elde edilen bulgular; politika yapıcılar, araştırmacılar, girişimciler ve yatırımcılar için stratejik bir rehber niteliği taşıyarak, makroalgelerin Karadeniz Havzası'nda sürdürülebilir ekonomik değere dönüştürülmesi yolunda önemli bir referans oluşturacaktır.

KISALTMALAR

AB	Avrupa Birliği
ABD	Amerika Birleşik Devletleri
AK	Avrupa Komisyonu
APAC	Asya Pasifik
Ar-Ge	Araştırma ve Geliştirme
CAGR	Yıllık Büyüme Oranı
CMIA	Çin Mikroalg Endüstrisi Birliği
CO ₂	Karbondioksit
ÇED	Çevresel Etki Değerlendirmeleri
EIF	Avrupa Yatırım Fonu
EPS	Ekzopolisakkarit
FAO	Gıda ve Tarım Örgütü
FDA	ABD Gıda ve İlaç İdaresi
GRAS	Genel Olarak Güvenli Olarak Tanınan
IMTA	Entegre Multitrofik Akuakültür
KOBİ	Küçük ve Orta Boy İşletme
KOSGEB	Küçük ve Orta Ölçekli İşletmeleri Geliştirme ve Destekleme İdaresi Başkanlığı
N	Azot
NDRC	Çin Halk Cumhuriyeti Ulusal Kalkınma ve Reform Komisyonu
NOAA	Ulusal Okyanus ve Atmosfer İdaresi
P	Fosfor
PBR	Fotobiyoreaktör
SKA	Sürdürülebilir Kalkınma Amaçları
STK	Sivil Toplum Kuruluşu
TÜBİTAK	Türkiye Bilimsel ve Teknoloji Araştırma Kurumu
VOC	Uçucu Organik Bileşik
WHO	Dünya Sağlık Örgütü

İÇİNDEKİLER

ÖZET	5
KISALTMALAR	6
GİRİŞ	9
BÖLÜM I - Küresel Piyasa Büyüklüğü Ve Dinamikleri	11
1.1. Piyasa Segmentasyonu ve Bölgesel Hakimiyet	14
1.2. Küresel Ticari Makroalg Piyasaları	19
1.2.1. Küresel Ticari Makroalg Pazarı Tahminleri (2024–2034)	19
1.3. Piyasa Hareketliliği ve Fiyat Dalgalanmaları	20
1.4. Teknolojik Sınırlamalar	20
1.5. Piyasaya İlişkin SWOT Analizi	21
1.5.1. Fırsatlar	21
1.5.2. Pazar Genişlemesi	22
1.5.3. Devlet Destekleri	22
1.5.4. Teknolojik Gelişmeler	22
1.6. Makroalg Değer Zinciri ve Temel Uygulamalar	23
1.6.1. Ticari ve Endüstriyel Uygulamalar	23
1.7. Yetiştiricilik ve Teknolojik Gelişmeler	25
1.7.1. Biyoteknoloji ve Genetik İyileştirme	26
1.7.2. Biyolojik Rafineri ve İşleme	26
1.8. Makroalg ve Mavi Ekonomi	26
1.8.1. Mavi Ekonomi	26
1.8.2. İklim Değişikliğiyle Mücadele için Mavi Karbon Potansiyeli	28
1.8.3. Biyoremediasyon ve Su Kalitesini İyileştirme	28
1.8.4. Ekolojik Hizmetler ve Restorasyon	28
BÖLÜM II - Karşılaştırmalı Analiz: Küresel Liderler Ve Türkiye	29
2.1. Önde Gelen Ülkelerde Politikalar ve Destek Mekanizmaları	30
2.1.1. Çin Halk Cumhuriyeti	31
2.1.2. Japonya	32
2.1.3. Norveç	32
2.1.4. Amerika Birleşik Devletleri	32
BÖLÜM III - Türkiye'de ve Bazı Ekosistemlerde Makroalg Sektörünün Mevcut Durumu	34
3.1. Araştırma ve Geliştirme (Ar-Ge) Ortamı	34
3.2. Politika ve Yasal Çerçeve	34
3.3. Mevcut Üretim ve Ticari Faaliyetlere Yönelik Engeller	34
3.3.1. Çin Halk Cumhuriyeti Makroalg Sektörü	36
3.3.2. Karadeniz Havzası	36
3.3.3. Beyaz Deniz (Rusya)	39

BÖLÜM IV - Fırsatlar, Tavsiyeler ve Yatırım Analizi	41
4.1. Türkiye İçin Stratejik Fırsatlar ve SWOT Analizi	41
4.1.1. Güçlü Yönler / Fırsatlar	41
4.1.2. Zayıf Yönler / Engeller	41
4.1.3. Türkiye’de Yatırımcı ve Girişimci Potansiyeli	41
4.2. Genel Perspektifte Makroalg Yetiştiriciliğinin Katkıları	44
4.3. Alglerden Yakıt Elde Etme Prosedürünün Önündeki Engeller	46
BÖLÜM V - Makroalg Sektörü Yatırım Ortamı ve Finansal Analiz	49
5.1. Küresel Yatırım Eğilimleri	49
5.2. Başlıca Uluslararası Yatırımcıların Profilleri	49
5.3. Potansiyel Türk Yatırımcılar	49
BÖLÜM VI - Makroalg Bazlı Ürünlerin Potansiyel Kullanım Alanları ile İlgili Görüşler	52
SONUÇ VE ÖNGÖRÜLER	67
KAYNAKÇA	68

GİRİŞ

Makroalgler, küresel ölçekte hem ekolojik hem de ekonomik açıdan stratejik bir kaynak olarak öne çıkmaktadır. Ötrofikasyonun hızla arttığı, iklim krizi etkilerinin belirginleştiği ve denizel ekosistemlerde biyokütle dalgalanmalarının yaygınlaştığı bir dönemde, makroalglerin sürdürülebilir biçimde değerlendirilmesi hem çevresel hem de ekonomik açıdan kritik hâle gelmiştir. Bu bağlamda Karadeniz Havzası'nda yer alan üç ülkenin — Türkiye, Gürcistan ve Bulgaristan — ortak çabalarıyla yürütülen MACRO CLEAN Projesi, Karadeniz Havzası'nda makroalglerin araştırılması, temizlenmesi, ekonomiye kazandırılması ve pilot uygulamaların geliştirilmesi amacıyla tasarlanmış çok ortaklı bir girişimdir. Proje kapsamında, makroalglerin sürdürülebilir ve etkin bir şekilde toplanması, değerlendirilmesi ve ekonomik olarak katma değere dönüştürülmesi için kapsamlı bir çerçeve oluşturulmuştur.

Bu rapor, makroalg sektöründeki mevcut eğilimleri, pazar yapısını, ticarileşme engellerini ve geleceğe yönelik fırsatları bütüncül bir bakış açısıyla analiz etmek amacıyla hazırlanmıştır. Çalışmanın yöntemi, hem akademik literatür taramasını hem de çok paydaşlı derinlemesine görüşmeleri içeren karma bir araştırma tasarımına dayanmaktadır. Görüşmeci seçimi, maksimum çeşitlilik yaklaşımı ile yapılmış; sektörde farklı roller üstlenen aktörlerin tamamına erişilmiştir: makroalglerle doğrudan çalışan akademisyenler, makroalg temelli ürün üreten, hammadde tedarik eden, biyoteknoloji geliştiren veya ithalat/ihracat yapan firmalar, tedarik zinciri aktörleri, yatırımcılar, kamu kurumları, belediyeler, çevre yönetimi şirketleri ve Ar-Ge laboratuvarları. Böylece sektörün değer zincirinin tüm halkaları temsil edilmiş ve karşılaştırılabilir veri üretilmiştir.

Uluslararası literatür ve sektörel pazar araştırmaları, makroalg tabanlı ürünlerin dünya genelinde hızla büyüyen bir ekonomik alan haline geldiğini göstermektedir. 2023 yılı itibarıyla küresel ticari makroalg pazarı 17–18 milyar dolar seviyesine ulaşmış; 2030 yılına kadar 30 milyar doların üzerine çıkacağı öngörülmektedir. Üretimin yaklaşık %95'i Asya-Pasifik bölgesinde gerçekleşmekte olup Avrupa'da özellikle biyoplastik, biyostimülan, gübre, fonksiyonel gıda ve kozmetik sektörlerinde artan talep dikkat çekmektedir. Türkiye ve Karadeniz Havzası ise henüz erken aşamada bir pazar yapısına sahiptir; ancak ham maddenin doğal bolluğu, üniversitelerde artan Ar-Ge faaliyetleri ve bölgesel işbirlikleri sayesinde yüksek potansiyelli fakat düşük ticarileşme oranına sahip bir konumda bulunmaktadır. Uluslararası raporlar, bölgede ekonomik değer zincirinin gelişmesinin Ar-Ge yatırımları, mevzuat düzenlemeleri ve yerel yönetim kapasitesinin güçlendirilmesiyle hızlanacağını vurgulamaktadır.

Bu çerçevede rapor; küresel eğilimleri, sektörel ihtiyaçları, paydaş analizlerini ve makroalg temelli ürünlerde geleceğe yönelik öngörülerini sunmaktadır. Bulgular, hem bölgesel politika geliştirme süreçlerine hem de makroalglerin ekonomik açıdan değerlendirilmesine yönelik yeni girişimlere katkı sağlamayı amaçlamaktadır.

Bu çalışmanın oluşumuna katkı veren tüm uzmanlara, akademisyenlere, sektör temsilcilerine ve yatırımcılara teşekkür ederiz. Görüşmeler sırasında paylaştıkları bilgi, deneyim ve

değerlendirmeler, Karadeniz Havzası ve Türkiye’de makroalg ekosisteminin geleceğine ışık tutan kıymetli bir kaynak haline gelmiştir.

Bu raporun içeriği tamamen yazarların sorumluluğundadır. Raporla ifade edilen görüşler, Avrupa Birliği’nin resmi görüşlerini yansıtmak zorunda değildir. Kaynak gösterilmek ve yapılan değişiklikler belirtilmek koşuluyla çoğaltılabilir.

BÖLÜM I

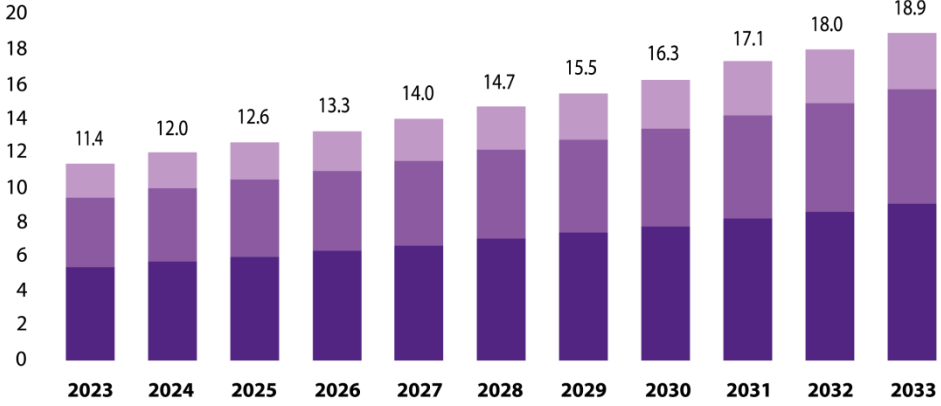
Küresel Piyasa Büyüklüğü ve Dinamikleri

Makroalg sektörü, son yıllarda dikkat çekici bir büyüme sergileyerek küresel ekonomide kendine önemli bir yer edinmiştir. 2024 yılı itibarıyla küresel ticari deniz yosunu pazarının değeri, farklı raporlarda farklı rakamlarla ifade edilmekle birlikte, önemli bir büyüklüğe işaret etmektedir. Bir rapora göre, 2024 yılında pazarın değeri yaklaşık 12,7 milyar ABD dolarıdır ve 2034 yılına kadar %6'lık bir bileşik yıllık büyüme oranı (CAGR) ile 22,82 milyar ABD dolarına ulaşması beklenmektedir. Başka bir piyasa analizi ise, pazar büyüklüğünün 2023'te 17.14 milyar ABD doları, 2024'te ise 18.39 milyar ABD doları olduğunu ve 2032'ye kadar %8.20'lik bir CAGR ile 34.56 milyar ABD dolarına yükseleceğini öngörmektedir. Bu rakamlar arasındaki farklılık, sektörün henüz olgunlaşmamış ve veri toplama yöntemlerinin tam olarak standartlaşmamış olmasından kaynaklanan bir durumdur. Bu, sektörün yeni ve dinamik yapısının bir göstergesidir.

Şekil 1: Küresel Ticari Makroalg Pazarı Tahminleri (2023–2033)

Global Macroalgae Market

Size, by Type, 2023-2033 (USD Billion)



The Market will Grow
At the CAGR of:

5.2%

The Forecasted Market
Size for 2033 in USD:

\$18.9B

market.us
ONE STOP SHOP FOR THE REPORTS

Kaynak: Fortune Business Insights, 2024

Piyasa büyümesini destekleyen temel faktörler, küresel ölçekte belirgin hale gelmiştir. Çevre bilincinin artması ve sürdürülebilir ürünlere olan tüketici talebinin yükselmesi, makroalg yetiştiriciliğinin benimsenmesinde ana itici güçlerdendir. Makroalg, hızlı büyüyen, besin açısından zengin ve karbondioksit emilimi yaparak oksijen üreten bir organizma olarak sürdürülebilir bir kaynak olarak görülmektedir. Veganlık ve bitki bazlı ürünlere olan ilginin artması da, makroalgleri protein, vitamin ve mineral açısından zengin bir alternatif olarak öne çıkarmaktadır. Pazarın bu trendlere yanıt verdiği gözlemlenmektedir.

Deniz yosununun gıda olarak kullanımı Japonya'da dördüncü yüzyıla, Çin'de ise altıncı yüzyıla kadar uzanmaktadır. Bugün bu iki ülke ve Kore Cumhuriyeti, gıda olarak deniz yosununun en

büyük tüketicileridir ve ihtiyaçları, dünya çapında yılda 6.000.000 ton yaş deniz yosunu hasat eden ve yaklaşık beş milyar ABD Doları değerinde bir endüstrinin temelini oluşturmaktadır.

Son elli yılda artan talep, ihtiyaçların doğal (yabani) stoklardan karşılanma kabiliyetini aşmıştır. Bu algilerin yaşam döngüleri üzerine yapılan araştırmalar, şu anda pazarın talebinin yüzde 90'ından fazlasını üreten yetiştirme endüstrilerinin gelişmesine yol açmıştır.

Amerika Birleşik Devletleri'nde (ABD), *H. pluvialis* türünden elde edilen astaksantine sınırlı kullanımlar için izin verilmektedir; ABD Food and Drug Association (FDA), *Haematococcus* yosun ununa hayvan yemlerinde (örneğin somon yemi) renklendirici olarak izin vermektedir, ancak *H. pluvialis* biyokütlesi veya oleoresinin doğrudan insan tüketimi için GRAS (Genel Olarak Güvenli Olarak Tanınan) statüsü vermemiştir. Aynı şekilde, gıda bağlamında *Porphyridium* türleri için de GRAS onayı veya bildirim kamuya açık değildir. Bununla birlikte, *H. pluvialis* ve *P. cruentum* türleri de dahil olmak üzere *Porphyridium* türleri, sırasıyla astaksantin ve fitoeritrin gibi pigment ekstraksiyonu gibi spesifik kullanımlar için FDA tarafından GRAS olarak kabul edilen grubun bir parçası olarak literatürde belirtilmiştir. Sıçanlarda yapılan akut ve subkronik toksisite çalışmaları, *H. Pluvialis* biyokütlesinin ve astaksantin bakımından zengin ekstraktların iyi tolere edildiğini, LD50 değerlerinin 12 g/kg bw'yi aştığını ve 90 gün boyunca %20'ye kadar diyet seviyelerinde hematoloji veya histopatoloji üzerinde önemli bir olumsuz etki olmadığını göstermektedir (örneğin, LD50 > 5000 mg/kg; hafif renal pigment değişiklikleri toksikolojik olarak ilgili değildir). Sucul modellerde, *ekzopolisakkarit* (EPS) ekstraktları, 96 saat boyunca %15'e kadar maruziyetlerde zebra balığı embriyo deneylerinde ölüm veya gelişimsel anormalliklere neden olmamıştır.

Gıdaların in vitro sitotoksosite deneyleri, çok yüksek konsantrasyonlardaki spesifik asitlendirilmiş preparatlar hariç, çoğu EPS fraksiyonundan düşük sitotoksosite göstermiştir. Yüksek potansiyellerine ve sayısız faydalarına rağmen, makroalglerin gıda bileşeni olarak kabul edilmesi, genellikle "balıksı" veya "deniz yosunlu" olarak tanımlanan güçlü tatlar ve kokular gibi istenmeyen duyuşal özellikleri nedeniyle hala sınırlıdır. Bu olumsuz özellikler büyük ölçüde makroalglerin yaşam döngüsü sırasında farklı metabolik yollarla üretilen aldehitler ve ketonlar da dahil olmak üzere uçucu organik bileşiklere (VOC'ler) bağlanmaktadır. Daha geniş çapta benimsenme ve tüketici kabulünü kolaylaştırmak için, makroalgler duyuşal çekiciliklerini artıracak ve onları gıda uygulamaları için uygun mahsul alternatifleri olarak konumlandırarak iyileştirmelerden geçmelidir. Bu nedenle, makroalglerin duyuşal profilini etkili bir şekilde modüle eden ve geliştiren stratejiler çok önemlidir. Mikrobiyal fermentasyon, toksik kalıntılar oluşturmadan çeşitli gıda hammaddelerini dönüştürmek ve geliştirmek için umut verici bir yaklaşım olarak ortaya çıkmıştır.

Çin, yaklaşık beş milyon ton ile en büyük yenilebilir deniz yosunu üreticisidir ve bunun büyük bir kısmı okyanusta asılı ipler üzerinde yetiştirilen yüzlerce hektarlık *Laminaria japonica* türünden üretilen kombu içindir. Kore Cumhuriyeti üç farklı türden yaklaşık 800.000 ton yetiştirmektedir ve bunun yaklaşık yüzde 50'si Çin'deki *Laminaria* türüne benzer bir şekilde yetiştirilen *Undaria pinnatifida* türünden üretilen wakame içindir. Japon üretimi 600.000 ton civarındadır ve bunun yüzde 75'i *Porphyra* türlerinden üretilen nori içindir; bu yüksek değerli

bir üründür, tonu 2.800 ABD\$ olan kombu ve 6.900 ABD\$ olan wakame ile karşılaştırıldığında tonu yaklaşık 16.000 ABD\$'dir.

2023 yılında, kırmızı makroalgler %48,9'dan fazla pay alarak baskın bir pazar konumuna sahip olmuştur. Bu segment, hem gıda endüstrisinde hem de biyoteknolojik sektörlerde yaygın uygulamalardan faydalanmaktadır. Kırmızı makroalg, yüksek besin içeriği nedeniyle değerlidir ve talebini artıran çok sayıda sağlık ve zindelik ürününde önemli bir bileşendir.

Tarım ve su ürünleri yetiştiriciliğinde çok yönlü kullanımıyla bilinen yeşil makroalg, pazarın önemli bir bölümünü oluşturmaktadır. Su arıtmada ve biyo-gübre olarak oynadığı rol, pazardaki istikrarlı varlığını desteklemektedir. Sürdürülebilir tarım uygulamalarına artan ilgi, bu segmentin sürekli büyümesini desteklemektedir.

Genellikle aljinat ve hayvan yemi üretiminde kullanılan kahverengi makroalgler de makroalg pazarının önemli bir bölümünü oluşturmaktadır. Nemlendirici özellikleri nedeniyle kozmetik endüstrisinde, özellikle de cilt bakım ürünlerinde uygulanması, pazar payının korunmasına yardımcı olmaktadır. Bu segment, çeşitli tüketim malları sektörlerinde doğal bileşenlerin kullanımının artmasından kaynaklanmaktadır (USA Market Analysis).

Aljinat, agar ve karragenan deniz yosunlarından elde edilen koyulaştırıcı ve jelleştirici maddelerdir ve bu üç madde deniz yosunlarının endüstriyel kullanımının ana temelini oluşturmaktadır. Bu hidrokolloidlerin kaynağı olarak deniz yosunları, kırmızı bir deniz yosunundan sıcak su ile ekstrakte edilen agarın jelleştirici özelliklerinin ilk kez Japonya'da keşfedildiği 1658 yılına kadar uzanmaktadır. Bir başka kırmızı deniz yosunu olan İrlanda Yosunu özütleri karragenan içerir ve on dokuzuncu yüzyılda kıvam arttırıcı maddeler olarak popüler hale gelmiş ancak aljinat içeren kahverengi deniz yosunu özütlerinin ticari olarak üretilmesi ve kıvam arttırıcı ve jelleştirici maddeler olarak satılması 1930'lara kadar gerçekleşmemiştir. Deniz yosunu özütlerinin endüstriyel kullanımı İkinci Dünya Savaşı'ndan sonra hızla artmış ancak bazen hammadde bulunabilirliği ile sınırlı kalmıştır.

Günümüzde yaklaşık 1.000.000 ton ıslak deniz yosunu hasat edilmekte ve yukarıdaki üç hidrokolloidi üretmek için çıkarılmaktadır. Toplam değeri 585.000.000 ABD Doları olan 55.000 ton hidrokolloid üretilmektedir.

Aljinat üretimi (213 milyon ABD\$), tamamı doğadan toplanan kahverengi deniz yosunlarından elde edilmektedir; kahverengi deniz yosunlarının yetiştirilmesi, endüstriyel kullanıma hammadde sağlamak için çok pahalıdır.

Agar üretimi (132 milyon ABD\$) esas olarak iki tür kırmızı deniz yosunundan elde edilmektedir; bunlardan biri 1960-70'lerden beri yetiştirilmektedir, ancak 1990'dan beri çok daha büyük ölçekte yetiştirilmektedir ve bu da agar endüstrisinin genişlemesine olanak sağlamıştır.

Karragenan üretimi (240 milyon ABD\$) başlangıçta yabani deniz yosunlarına, özellikle de sınırlı bir kaynak tabanına sahip soğuk sularda yetişen küçük bir alg olan İrlanda Yosunu'na bağlıydı. Ancak Gıda ve Tarım Örgütü (FAO) verilerine göre 1970'lerin başından bu yana, düşük işçilik maliyetleri ile sıcak su ülkelerinde başarıyla yetiştirilen diğer karragenan içeren

deniz yosunlarının mevcudiyeti nedeniyle endüstri hızla genişlemiştir. Günümüzde İrlanda Yosunu ve Güney Amerika'dan gelen diğer bazı yabancı türler için hala küçük bir talep olmasına rağmen, karragenan üretimi için kullanılan deniz yosunlarının çoğu yetiştiricilikten gelmektedir (McHugh, D. J.,2003).

1960'larda Norveç, kurutulmuş ve toz haline getirilmiş kahverengi deniz yosunundan yapılan ve hayvan yemine katkı maddesi olarak kullanılan deniz yosunu unu üretimine öncülük etmiştir. Kurutma işlemi genellikle petrolle çalışan fırınlarda yapıldığından maliyetler ham petrol fiyatlarından etkilenmektedir. Yılda yaklaşık 50.000 ton ıslak deniz yosunu hasat edilerek 10.000 ton deniz yosunu unu elde edilmekte ve bu un beş milyon ABD dolarına satılmaktadır. Deniz yosunlarından elde edilen endüstriyel ürünlerin toplam değeri 590 milyon ABD dolarıdır. Deniz yosunu endüstrisinden elde edilen tüm ürünlerin toplam değerinin 5,6 milyar ABD doları olduğu tahmin edilmektedir.

1.1.Piyasa Segmentasyonu ve Bölgesel Hakimiyet

2023 yılında kırmızı ekili makroalgler %67,6'dan fazla pay alarak baskın bir pazar konumuna sahip olmuştur. Bu segment, yüksek kaliteli ve tutarlı verim sağlayan kontrollü yetiştirme yöntemlerinden önemli ölçüde faydalanmaktadır. Arzın güvenilirliği ve ürün özelliklerindeki tekdüzellik, ilaç ve nutrasötikler gibi sektörlerle hitap ederek güçlü pazar talebini artırmaktadır.

Doğrudan deniz ortamlarından toplanan doğal makroalgler, pazarın önemli bir bölümünü temsil etmektedir. Özellikle organik ve modifiye edilmemiş özellikleri nedeniyle değerlidir, bu da onu organik gıda ve doğal kozmetik sektörleri gibi doğal ürünlere öncelik veren pazarlarda popüler hale getirmektedir. Bununla birlikte, sürdürülebilirlik ve çevresel etki konusundaki endişeler, pazar genişlemesini ekolojik hususlarla dengeleyerek büyüme potansiyelini ılımlı hale getirmektedir.

2023 yılında, kurutulmuş kırmızı makroalgler %38,9'dan fazla pay alarak baskın bir pazar konumuna sahip olmuştur. Bu form, uzun raf ömrü ve taşıma kolaylığı nedeniyle tercih edilmekte ve küresel dağıtım için son derece uygun hale gelmektedir. Çeşitli mutfak ve endüstriyel uygulamalardaki çok yönlülüğü, pazar cazibesini daha da artırmaktadır.

Ham makroalg, tazeliği ve minimum işleme tabi tutulması nedeniyle tercih edilen niş bir pazardır. Bu form, hasat alanlarına yakınlığın çiftlikten sofraya hızlı kullanımı desteklediği bölgesel pazarlarda, özellikle de kıyı topluluklarının mutfak geleneklerinde popülerdir.

Toz makroalg, sağlık takviyeleri ve smoothie'lere entegrasyonu ve kolaylığı nedeniyle ilgi görmektedir. İnce, çok yönlü formatı, günlük diyetlere kolayca dahil edilmesine olanak tanıyarak tüketici tabanını genişletmektedir.

Makroalglerden elde edilen sıvı özleri kozmetik ve farmasötik formülasyonlarda giderek daha fazla kullanılmaktadır. Bu form, yüksek etkili çözümlere odaklanan ürün geliştiricileri için cazip olan yaşlanma karşıtı özellikler gibi işlevsel faydalar sunan konsantre besin maddeleri ve bileşikler açısından değerlidir.

2023 yılında, gıda ve içecek sektörü makroalg endüstrisinde %44,2'den fazla pay alarak baskın bir pazar konumuna sahip olmuştur. Bu segment, deniz yosununun besin açısından zengin, lezzetli bir bileşen olarak dünya çapında diyetlerde artan popülaritesi nedeniyle gelişmektedir. Uygulama alanı günlük yemeklerden lüks yemeklere kadar uzanmakta, bu da erişimini ve pazar penetrasyonunu artırmaktadır.

Tarım, makroalgleri öncelikle biyogübre ve toprak düzenleyici olarak kullanmaktadır. Makroalglerin organik içeriği toprak verimliliğini ve bitki sağlığını artırarak organik ve sürdürülebilir tarım uygulamaları arasında benimsenmesini sağlar. Çevre bilinci arttıkça bu uygulama da büyümektedir.

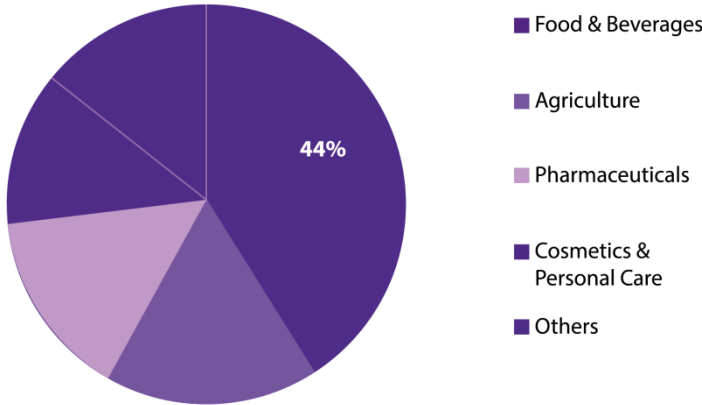
İlaç sektöründe makroalgler, sağlığı geliştirici özelliklere sahip biyoaktif bileşikleri nedeniyle değer görmektedir. Bu segment, alglerin antiviral ve antikanser aktiviteleri de dahil olmak üzere terapötik potansiyelinden yararlanmakta ve bu da onu kritik bir araştırma ve ürün geliştirme alanı haline getirmektedir.

Kozmetik ve kişisel bakım endüstrileri, nemlendirici, yaşlanmayı geciktirici ve cildi besleyici faydaları için makroalg özlerini kullanmaktadır. Doğal ve sürdürülebilir güzellik ürünlerine yönelik eğilim, makroalglerin cilt bakım formülasyonlarında önemli bir bileşen olarak kullanılmasıyla bu segmenti güçlendirmektedir.

Şekil 2: Küresel Makroalg Pazarı (2023)

Global Macroalgae Market

Share, by Application, 2023 (%)



Kaynak: Fortune Business Insights,2024



Deniz yosununu temel bir gıda olarak değerlendirmenin en büyük zorluğu, deniz yosunu gıda ürünlerini milyarlarca insan için erişilebilir, cazip ve ucuz hale getirmektir. Dahası, bu geniş tüketici kitlesinin deniz yosunu bazı gıdaların besinsel açıdan düzenli olarak tükettikleri diğer gıdalarla karşılaştırılabilir olduğu konusunda kafa karışıklığı yaşamasını önlemek de zordur (Forster & Radulovich, 2015). Herhangi bir yeni gıda ürününün toplum tarafından ve dünya çapında kabul görmesi zaman almaktadır ve burada deniz yosunu dünyanın birçok bölgesi için tamamen yeni bir gıda bileşenidir. Bu nedenle, diğer birincil tarımsal gıda ürünleri gibi

ölçekli kültür sistemlerinde, farklı yapay malzemeler sağlam bir alt tabaka oluşturur. Bu malzemelerin en büyük kısmı, bozulmaya karşı çok dayanıklı olan sentetik polimerlerin bir kombinasyonundan oluşur.

Kültür sistemlerinin bakımı doğru şekilde yapılmazsa, israf edilen ve kaybolan malzemelerden kaynaklanan deniz kirliliği meydana gelebilir (Campbell vd., 2019). Ayrıca deniz ekosisteminin besin ağlarındaki plastik seviyesini de artırır (Andrady, 2011; Derraik, 2002). Deniz yosunları ve diğer organizmalar arasındaki güneş ışığı rekabeti, deniz suyu yüzeyinde deniz yosunu yetiştiriciliği ototrofik türlerle altta yatan ekosistemleri gölgeleyebileceğinden, deniz yosunu çiftliklerinin bir başka kritik sorunu olabilir (Campbell vd., 2019). Çoğunlukla basit yapılara dayanan mevcut deniz yosunu yetiştirme teknolojisi, yalnızca nispeten korunaklı bölgelerde kullanılabilen ve tarım sektörünü potansiyel alanının bir kısmıyla sınırlamaktadır (Duarte vd., 2017). Okyanus sularının ısınması, fizyolojik stres nedeniyle fukoid kanopileri azaltabilir, sıcak okyanus sularının otçullarından gelen ekstra baskılar (Harley vd., 2012), fırtınalar ve siklonlar ve azalan besin kaynağı (Callaway vd., 2012) deniz yosunu yetiştiriciliği fırsatını potansiyel olarak azaltabilir. Egzotik deniz yosunu türlerini getirerek deniz yosunu yetiştiriciliğini genişletmenin potansiyel sonuçları da dikkate alınmalıdır (McLaughlan vd., 2014). Deniz çayırı tarlaları karbon tutumu için sıcak noktalar ve bu nedenle karbondan arındırılan ekosistemler için önemlidir (Duarte vd., 2005, 2013; Fourqurean vd., 2012). Komşu deniz yosunu çiftliklerinin operasyonlarından kaynaklanan insan rahatsızlıklarına karşı hassastırlar, bu da mekanik hasarlara ve gölgelemeye neden olur (Waycott vd., 2009). Denizcilik gibi kıyı alanının diğer kullanıcılarıyla olumsuz etkileşimlerden kaçınmak ve deniz yosunu yetiştiriciliğinden kaynaklanan çevresel etkileri sınırlamak için, çiftlik kurulmadan önce mekansal planlama yapılması zorunludur. Çin'deki en büyük zorluklar arasında uygun bir alan için diğer kullanımlarla rekabet etmek ve sağlıklı bir kâr sağlamak yer almaktadır (Duarte vd., 2017). Gerçekten de, deniz yosunu yetiştiriciliğinin iklim değişikliğinin azaltılması ve adaptasyonuna katkısını artırmak için deniz yosunu çıktılarında sürekli büyümeye ihtiyaç vardır. Ancak deniz yosunu üretiminin artması piyasa fiyatlarını düşürebilir ve çiftçileri bu faaliyete katılmaktan caydırabilir (Duarte vd., 2017).

Karbon yakalama ve depolama ile eş zamanlı olarak biyoenerji veya biyoyakıt üretimi için yoğun deniz yosunu yetiştiriciliği önerilen stratejilerden biridir. Bu strateji temelde cazip ve araştırma konusu olmayı hak eden bir strateji olsa da, uygulama zorlukları mevcuttur. Örneğin, çok büyük miktarda deniz alanına ihtiyaç duyulmaktadır ve stratejinin enerji üretme ve karbon yakalama ikiz hedeflerini yerine getirme konusundaki uygulanabilirliği sorgulanmaktadır (Melara vd., 2020). Onlarca yıllık araştırmalara rağmen, deniz yosunu bazlı biyoyakıtlar henüz pazara ulaşmamış ve üretimlerinin ticari olarak uygulanabilir olduğu kanıtlanmamıştır (Raven, 2017). Yapılan çalışmalarda okyanus asitlenmesi durumunda, sadece karbon alım tekniğinin okyanus asitlenmesine deniz yosunu tepkilerinin bir göstergesi olarak kullanılamayacağı (Britton vd.,2019) kanıtlanmıştır. Ayrıca, CO₂'nin azaltılması için deniz yosunu ağaçlandırmasının etkinliği kesinlikle gezegensel geri bildirimlerden etkilenecek ve iklim değişikliğini azaltma önlemlerindeki rolü hakkında endişeleri artıracaktır (Bach vd., 2021).

Kadınların deniz yosunu yetiştiriciliğine katılımı konusundaki temel zorluk, teknik bilgi eksikliğidir. Yapılan bir saha çalışmasında Zanzibar'da deniz yosunu yetiştiren kadınlar incelenmiş ve kadınların yüzmeye bilmediği ve teknelere erişemediği tespit edilmiştir (Hedberg vd., 2018). Sonuç olarak, kadınlar tarafından yapılan deniz yosunu tarımı çok sığ su bölgeleriyle sınırlı kalmaktadır. Erkek çiftçiler her gün çalışabilirken, kadınların faaliyetleri sadece gelgitte çalışmakla sınırlıdır, bu da haftada 3-5 gün olabilir (Fröcklin vd., 2014). Kadınlar deniz yosunu çiftliklerinin kurulmasında önemli bir rol oynayamamaktadır. Bu konuyla ilgili tespit edilen en önemli faktör; bambuları yerleştirmek, ipleri bağlamak ve tüm yapıyı inşa etmek için çok fazla çalışma ve güç gerektirdiği yönünde bulgulardır.

Kadınların çoğu ulaşım için tekne kullanamamaktadır. Bu nedenden dolayı kadınlar ulaşım için para ödemek ve çiftlik kurulumu ve hasat sırasında erkeklere bağımlı olmak zorunda kalmaktadır. Önceki çalışmalar, kadın çiftçilerin yaptıkları iş nedeniyle çeşitli sağlık sorunlarıyla karşılaştıklarını göstermiştir (Vestling & Forsberg, 2018).

Deniz yosunları, iklim değişikliğinin azaltılması ve kadınların güçlendirilmesindeki ek rolleri ile mevcut küresel gıda güvenliğinin hayati bir bileşeni olarak kabul edilmektedir. Son zamanlarda yapılan bazı araştırmalar, basit kültür yöntemi, etkileyici besin bileşimi ve küresel iklim değişikliğini azaltma ve uyum stratejilerine katkısı nedeniyle deniz yosunu yetiştiriciliğini karasal tarıma alternatif olarak göstermektedir. Deniz yosunu endüstrisinin, ekonomik satın alma güçlerini artırarak, sosyal güçlenmeyi geliştirerek ve yoksulluğu azaltma çabalarına katkıda bulunarak çoğu çiftçiye, özellikle de kadınlara yardımcı olması beklenmektedir. Deniz yosunu yetiştiriciliği teknolojisi son birkaç on yılda önemli ölçüde ilerlemiş olsa da, sürdürülebilir üretim teknolojilerinin, çeşitlendirilmiş kullanım alanlarının ve toplumsal kabulün aşılması önünde hala önemli engeller bulunmaktadır.

Yetiştiricilik söz konusu olduğunda, ilk adım uygun türlerin ve kıyı sularındaki uygun kültür alanlarının dikkatli bir şekilde seçilmesini içermeli ve böylece maksimum fayda ile uygun bir maliyetle sürdürülebilir üretim sağlanmalıdır. Çiftçileri tarım sistemine katılmaya motive edecek bir piyasa fiyatının korunması da gereklidir. İnsan tüketimine yönelik deniz yosunu türlerinin ve bunlardan elde edilen ürünlerin kalitesini iyileştirmek için gerekli düzenlemelerin yapılması zorunludur. Sağlıklı bir beslenme için günlük deniz yosunu veya deniz yosunu ürünleri alımının belirlenmesi de çok önemlidir. Sürdürülebilir bir deniz yosunu yetiştiriciliği endüstrisi geliştirmek için, deniz yosunu üreten ve kullanan uluslar ve ülkeler arasında işbirliği ve koordinasyonu geliştirmek çok önemlidir.

Ekonomik açıdan uygulanabilir, çevresel açıdan zararsız ve sosyal açıdan kabul edilebilir deniz yosunu yetiştirme teknolojileri için en iyi yönetim uygulamaları geliştirilmeli ve ulusal ve uluslararası kuruluşlar tarafından tropikal ve subtropikal ülkeler arasında yaygınlaştırılmalıdır. Bu besleyici sucul gıdaların sağlıklı bir gezegen ve insan nüfusuna katkısını sağlamak için bu gecikmeden yapılmalıdır.

1.2. Küresel Ticari Makroalg Piyasaları

Piyasa, tür, form ve coğrafi konuma göre farklı segmentlere ayrılmaktadır.

- **Coğrafi Dağılım:** Asya-Pasifik bölgesi, 2023 yılında %77,07'lik pazar payı ile ticari deniz yosunu pazarında tartışmasız bir şekilde lider konumdadır (Fortune Business Insights, 2024). Çin, elverişli iklim koşulları sayesinde makroalg üretim ve satışında piyasayı yukarı çeken başlıca ülkelerdendir. Kuzey Amerika, özellikle ABD pazarı, yıllık %6,5'lik bir yıllık büyüme oranı (CAGR) ile önemli bir büyüme sergilemektedir ve bu büyüme, mutfaklarda makroalg tüketiminin artması ve bitki bazlı ürün talebi ile ilişkilidir. Avrupa pazarı da istikrarlı bir büyüme göstermektedir (Fortune Business Insights, 2024).
- **Ürün Türü:** Makroalg türleri arasında kırmızı deniz yosunu segmenti, yüksek protein ve vitamin içeriği gibi fonksiyonel özellikleri sayesinde piyasada baskın bir konuma sahiptir. 2024 yılında 5,41 milyar ABD doları değerinde olan bu segmentin %6,5'lik CAGR ile büyüyeceği tahmin edilmektedir.
- **Form:** Makroalgler en yaygın olarak pul (flake) formunda kullanılmaktadır. Bu segmentin 2024 yılı piyasa değeri 4,86 milyar ABD dolarıdır ve %6,8'lik bir CAGR ile büyümesi beklenmektedir.

COVID-19 pandemisi, ilk başta hammaddelere olan talebin azalması ve fiyatların düşmesi nedeniyle piyasada kısa süreli bir yavaşlamaya neden olmuştur. Ancak, Dünya Sağlık Örgütü'nün (WHO) makroalgın sağlık faydalarına dikkat çekmesiyle birlikte, pandemi sonrası dönemde bileşik yıllık büyüme oranının artmasıyla pazarın toparlandığı ve yeniden ivme kazandığı belirtilmektedir. Bu durum, makroalglerin sağlık ve beslenme alanındaki stratejik önemini göstermektedir.

1.2.1. Küresel Ticari Makroalg Pazarı Tahminleri (2024–2034)

Makroalg pazarı, sürdürülebilir ve çevre dostu ürünlere yönelik artan talepten önemli ölçüde etkilenmektedir. Son yıllarda tüketicilerin sağlık ve çevre konusunda daha bilinçli hale gelmesi, yiyecek ve içeceklerde doğal içeriklerin kullanımında artışa yol açmıştır.

Gıda ve Tarım Örgütü (FAO) tarafından hazırlanan bir rapora göre, küresel deniz yosunu pazarı 2020 yılında yaklaşık 14 milyar dolar değerindeydi ve 2025 yılına kadar yaklaşık %8,1'lik bir yıllık bileşik büyüme oranı ile büyüyerek yaklaşık 21 milyar dolara ulaşacağı tahmin edilmektedir. Bu büyüme büyük ölçüde vitaminler, mineraller ve antioksidanlar açısından zengin besleyici bir gıda kaynağı olarak makroalglerin artan popülaritesinden kaynaklanmaktadır.

Makroalgler, özellikle *spirulina* ve *klorella* gibi çeşitler, sağlığa faydaları ile ünlüdür. Çalışmalar, bu alglerin protein açısından zengin olduğunu ve kuru ağırlığa göre %70'e kadar protein içerdiğini göstermektedir. Bitki bazlı diyetlere ve fonksiyonel gıdalara artan ilgi, talebi daha da artırmaktadır. Bu eğilim makroalgler için çok önemlidir çünkü atıştırmalıklar, takviyeler ve içecekler de dahil olmak üzere çeşitli ürünlere dahil edilmektedirler.

Tablo 1: Küresel Ticari Makroalg Pazarı Tahminleri (2024–2034)

Piyasa Özelliği	Detay
Küresel Piyasa Büyüklüğü (2024)	12,7 milyar ABD Doları
Küresel Piyasa Büyüklüğü (2032)	18,39 milyar ABD Doları
Tahmini Piyasa Değeri (2024)	22,82 milyar ABD Doları
Tahmini Piyasa Değeri (2032)	34,56 milyar ABD Doları
Küresel CAGR (2024-2032)	%6
Küresel CAGR (2024-2034)	%8,20
Asya-Pasifik Pazar Payı (2023)	%77,07
Kırmızı Deniz Yosunu Segmenti (2024)	5,41 milyar ABD Doları
Pul (Flake) Segmenti (2024)	4,86 milyar ABD Doları

Kaynak: Fortune Business Insights, 2024

1.3. Piyasa Hareketliliği ve Fiyat Dalgalanmaları

Fiyatın dalgalı seyretmesi de kritik bir konudur. Makroalg piyasası, yetiştirme koşullarını ve verimi etkileyebilen iklim değişikliği gibi faktörler nedeniyle dalgalanmalara açık olabilir. Örneğin, Uluslararası Deniz Yosunu Birliği'nin bir raporunda, elverişsiz hava koşullarının deniz yosunu hasadında önemli düşüslere yol açarak fiyatların yükselmesine neden olabileceği belirtilmiştir. 2020 yılında, COVID-19 salgınının neden olduğu tedarik zinciri aksaklıkları nedeniyle kurutulmuş deniz yosununun fiyatı %30'a varan keskin bir artış yaşadı ve pazarın kırılganlığını bir kez daha merkez noktaya getirdi.

1.4. Teknolojik Sınırlamalar

Yetiştirme ve işlemedeki teknolojik sınırlamalar pazarın büyümesini engelleyebilir. Gelişmeler kaydedilirken, birçok üretici hala verimli veya sürdürülebilir olmayabilecek geleneksel yöntemlere güvenmektedir. Örneğin, makroalg yetiştiriciliği için hektar başına verim, kullanılan yetiştirme tekniklerine bağlı olarak 5 ile 20 ton arasında önemli ölçüde değişebilir.

Verimsiz uygulamalar kârlılığı engelleyebilir ve artan talebi karşılamak için operasyonları ölçeklendirmeyi zorlaştırabilir.

1.5. Piyasaya İlişkin SWOT Analizi

1.5.1. Fırsatlar

a. Sürdürülebilir Gıda Üretimi

Makroalg pazarı için en önemli büyüme fırsatlarından biri, sürdürülebilir gıda üretimindeki potansiyel rolünde yatmaktadır. Küresel nüfus arttıkça ve besleyici gıdalara olan talep yükseldikçe, makroalgler uygulanabilir bir çözüm sunmaktadır. Birleşmiş Milletler'e göre, dünya nüfusunun 2050 yılına kadar yaklaşık 9,7 milyara ulaşacağı ve bunun da gıda talebinde %70'lik bir artışa yol açacağı öngörülmektedir. Makroalgler temel besinler açısından zengin olduğundan, atıştırmalıklardan sağlık takviyelerine kadar çeşitli gıda ürünlerinde değerli bir bileşen olarak kullanılmaktadır.

b. Artan Sağlık Bilinci

Tüketiciler arasında sağlık ve zindelik konusunda artan farkındalık, fonksiyonel gıdalara olan talebi artırmaktadır. Yüksek vitamin, mineral ve antioksidan içeriğiyle bilinen makroalglerin sağlığa faydaları giderek daha fazla kabul görmektedir. WHO tarafından hazırlanan rapor, deniz yosunu tüketiminin, özellikle çeşitli gıda kaynaklarına sınırlı erişimi olan bölgelerde daha iyi beslenmeye katkıda bulunabileceğini göstermektedir. Tüketiciler daha sağlıklı beslenme seçenekleri aradıkça, makroalg bazlı ürünler pazarının önemli ölçüde genişlemesi beklenmektedir.

c. Devlet Desteği ve Girişimleri

Hükümet girişimleri de makroalg endüstrisinin büyümesini desteklemektedir. Birçok ülkede hükümetler iklim değişikliği ve çevresel bozulmayla mücadele etmek için sürdürülebilir tarım uygulamalarını teşvik etmektedir. Örneğin, Avrupa Birliği tarafından hazırlanan Yeşil Mutabakat (Green Deal) (NOAA Fisheries, 2024) sürdürülebilir deniz kaynaklarının önemini vurgulayarak yosun yetiştiriciliğine yatırım yapılmasını teşvik etmektedir.

AB, 2027 yılına kadar sürdürülebilir su ürünleri yetiştiriciliğini teşvik etmek için 1 milyar avro'ya kadar kaynak ayırmayı planlamaktadır ve bunun bir kısmının makroalg sektörüne fayda sağlaması beklenmektedir. Bu tür girişimler, sektörün büyümesini sağlayacak finansman ve kaynakları sağlayabilir.

d. Yenilikçi Uygulamalar

Makroalg uygulamalarındaki inovasyonlar bir başka büyüme yolu sunmaktadır. Gıda ve içeceklerin ötesinde, makroalgler kozmetik, biyoyakıtlar ve biyoplastikler de dahil olmak üzere çeşitli sektörlerde araştırılmaktadır. Biyoplastikler için küresel pazarın 2026 yılına kadar 44,5 milyar dolara ulaşacağı tahmin edilmektedir ve makroalgler geleneksel petrol bazlı plastiklere sürdürülebilir bir alternatif olarak hizmet etmektedir. Çevre dostu malzemelere yönelik bu eğilim, tüketicilerin sürdürülebilir ürünlere yönelik talebiyle örtüşmekte ve makroalg pazarı için önemli bir fırsat yaratmaktadır.

e. İklim Değişikliğinin Azaltılması

Makroalglerin iklim değişikliğinin azaltılmasındaki rolü de büyüme beklentileri sunmaktadır. Makroalg yetiştiriciliği önemli miktarda karbondioksiti tutarak küresel ısınmayla mücadele çabalarına katkıda bulunabilir. Dünya Bankası tarafından yapılan araştırmaya göre, deniz yosunu yetiştiriciliği yılda 1,5 milyar tona kadar karbondioksiti tutabilir. Bu karbon tutma potansiyeli, makroalglerin sürdürülebilirlik profilini geliştirmekle kalmayıp, aynı zamanda iklim hedeflerine ulaşmak isteyen çevre odaklı kuruluşların ve hükümetlerin yatırımlarını da çekmektedir.

1.5.2. Pazar Genişlemesi

Batı'da genişleyen pazarlar büyüme fırsatlarını daha da artırmaktadır. Avrupa ve Kuzey Amerika'da bitki bazlı diyetlerin artan popülaritesi, deniz yosunu ürünlerine yönelik talebin artmasına yol açmaktadır. ABD'de yenilebilir deniz yosunu pazarının yılda %10 büyüyerek, 2025 yılına kadar yaklaşık 2 milyar dolara ulaşması beklenmektedir. Makroalg pazarındaki önemli bir eğilim, bitki bazlı diyetlerin artan popülaritesidir. Tüketiciler sağlık konusunda daha bilinçli ve çevreye duyarlı hale geldikçe, sürdürülebilir gıda kaynakları arayışları da artmaktadır. Makroalgler, özellikle de deniz yosunları, bitki bazlı ürünlerde hem lezzeti hem de sağlık faydalarını artıracak besin açısından yoğun bileşenler olarak kabul edilmektedir. Makroalgler vitaminler, mineraller ve antioksidanlar açısından zengindir. Örneğin, nori gibi kırmızı makroalgler, vegan diyetlerinde genellikle eksik olan yüksek düzeyde B12 vitamini içerir. Bu beslenme profili, fonksiyonel gıdalara yönelik artan taleple uyumludur.

International Journal of Food Science tarafından hazırlanan bir rapora göre, deniz yosunu tüketmek bağırsak sağlığını iyileştirebilir ve bağışıklık sistemini güçlendirebilir. Bu farkındalık, daha fazla üreticiyi ürünlerine makroalg dahil etmeye itmektir.

1.5.3. Devlet Destekleri

Hükümetler, sürdürülebilirlik hedeflerinin bir parçası olarak makroalg yetiştiriciliğini ve tüketimini aktif bir şekilde teşvik etmektedir. Yeşil Mutabakat iklim hedeflerine ulaşmada deniz kaynaklarının önemini vurgulamaktadır. AB, makroalg yetiştiriciliğine odaklanarak sürdürülebilir su ürünleri yetiştiriciliğine 1 milyar avro yatırım yapmayı planlamaktadır. Bu girişim yerel üretimi teşvik etmeyi, ithal ürünlere bağımlılığı azaltmayı ve gıda güvenliğini artırmayı amaçlamaktadır.

1.5.4. Teknolojik Gelişmeler

Teknolojideki son gelişmeler makroalg yetiştirme ve işleme verimliliğini artırmaktadır. Otomatik hasat ve geliştirilmiş akuakültür teknikleri gibi yenilikler, yüksek kaliteli makroalglerin geniş ölçekte üretilmesini kolaylaştırmaktadır. Örneğin, Güney Kaliforniya Üniversitesi ile Norveçli Ocean Farming şirketi arasındaki bir ortaklık, verimi %50'ye kadar artıracak sürdürülebilir tarım uygulamaları geliştirmeyi amaçlamaktadır. Bu gelişmeler sadece makroalg yetiştiriciliğinin ekonomik uygulanabilirliğini artırmakla kalmıyor, aynı zamanda çevresel etkileri de azaltmaktadır.

Bir başka trend de çevre dostu ambalaj çözümlerinde makroalg kullanımının artmasıdır. Plastik kirliliği küresel bir sorun haline geldikçe, şirketler biyolojik olarak parçalanabilen alternatiflere yönelmektedirler. Makroalg türevi malzemeler, geleneksel plastiklere sürdürülebilir bir alternatif sunarak çevreye duyarlı tüketicilere hitap etmektedir.

Makroalglerin kozmetik endüstrisinde kullanımı da giderek artıyor. Birçok kozmetik şirketi, nemlendirici ve yaşlanmayı geciktirici özellikleri nedeniyle formülasyonlarına deniz yosunu özlerini dahil etmektedir. Bu eğilim makroalg tedarikçileri için kazançlı bir fırsat sunmaktadır.

1.6. Makroalg Değer Zinciri ve Temel Uygulamalar

1.6.1. Ticari ve Endüstriyel Uygulamalar

Makroalgler, besin değerleri, biyolojik olarak aktif bileşikleri ve hızlı büyümeleri sayesinde yalnızca gıda sektöründe değil, birçok farklı endüstride de stratejik bir kaynak haline gelmiştir. Bu durum, makroalgün çok yönlü bir biyolojik rafineri platformu olarak görülmesine olanak tanımaktadır.

a. Gıda ve İçecek Sektörü

Makroalgler, dünya genelinde, özellikle Asya mutfaklarında, doğrudan tüketim için uzun süredir kullanılmaktadır. Nori (*Porphyra spp.*), wakame (*Undaria pinnatifida*) ve kombu (*Laminaria japonica*) gibi türler, suşi, salata, sos ve baharat gibi ürünlerin ana bileşenleridir. Geleneksel kullanımın ötesinde, makroalgler artık fonksiyonel gıdalar ve bitki bazlı alternatifler için zengin bir kaynak olarak değerlendirilmektedir. Makroalgler, insan beslenmesi için elzem olan protein, lif, vitamin, mineral ve çoklu doymamış yağ asitleri (PUFA) açısından zengindir. Bu besin bileşenleri sayesinde, vegan ve vejetaryen diyetlerin artan popülaritesiyle birlikte, bitki bazlı protein alternatifleri geliştirmek için yoğun olarak kullanılmaktadır.

Makroalgün gıda sektöründeki en büyük endüstriyel kullanımlarından biri, hidrokolloidlerin (agar, aljinat ve karragenan) üretimidir. Bu maddeler, dondurma, reçel ve fırın ürünleri gibi çeşitli gıdalarda jelleştirme, koyulaştırma, stabilizasyon ve emülsifiye etme amaçlı doğal katkı maddesi olarak kullanılmaktadır.

b. Hayvan Yemi ve Su Ürünleri Yetiştiriciliği

Makroalgler, geleneksel balık unu ve balık yağına sürdürülebilir bir alternatif olarak hayvan yemi sektöründe giderek daha fazla önem kazanmaktadır. Bu ürünler, hayvan beslenmesi için esansiyel olan omega-3 yağ asitlerini sağlamakta, böylece balıkçılığa olan bağımlılığı azaltmaktadır. Norveç'te 1960'larda öncülüğü yapılan deniz yosunu ununun hayvan yemine katkı maddesi olarak kullanımı, sektördeki yenilikçi uygulamalara örnek teşkil etmektedir. Ayrıca, bazı deniz yosunu türlerinin hayvan yemine %1 oranında katılmasıyla sığırların metan emisyonlarının azaltıldığına yönelik çalışmalar bulunmaktadır. Bu özellik, sektörü iklim değişikliğiyle mücadelede de önemli bir konuma getirmektedir.

c. Biyogübreler ve Biyostimülanlar

Makroalg özleri, zengin makro ve mikro besin içerikleri sayesinde biyolojik gübre ve toprak düzenleyici olarak tarımda kullanılmaktadır. Bu maddeler, toprağın fizikokimyasal özelliklerini iyileştirmekte ve faydalı mikrobiyal aktiviteyi teşvik etmektedir. Makroalg bazlı biyostimülanlar, mahsullerin büyümesini hızlandırmakta, kuraklık ve tuzluluk gibi abiyotik stres koşullarına karşı toleranslarını artırmakta ve besin alımını iyileştirmektedir. Türkiye'de Mersin Üniversitesinde yapılan bir proje, yerel makroalg türlerinden biyogübre üretimi ve marul bitkisi üzerindeki etkisini inceleyerek bu alandaki yerli potansiyeli ortaya koymaktadır. Bu tür yerli ve doğal gübrelerin kullanımı, artan girdi maliyetlerine karşı ekonomik bir çözüm sunarken, organik tarım uygulamalarını da desteklemektedir.

d. Yüksek Değerli Uygulamalar

Makroalglerin en yüksek katma değere sahip olduğu alanlar, ilaç ve kozmetik gibi endüstrilerdir.

- **İlaç ve Nutrasötikler:** Makroalgler, antioksidan, antikanser, antimikrobiyal ve antidiabetik özelliklere sahip biyoaktif bileşikler içermektedir. Bu bileşikler, sentetik ilaçlara doğal ve sürdürülebilir bir alternatif olarak görülmekte, çeşitli hastalıkların tedavisi veya kontrolünde potansiyel göstermektedir. Karragenan oligosakkaritleri gibi bazı bileşikler, antikanserojenik aktivite sergilemekte ve geleneksel ilaçlarla sinerjik etkiler yaratabilmektedir.
- **Kozmetik:** Doğal, biyo-uyumlu ve yenilenebilir makroalg bileşikleri, cilt bakım ürünlerinde giderek popülerlik kazanmaktadır. Nemlendiriciler, yaşlanma karşıtı ürünler, cilt beyazlatıcılar ve saç bakım ürünlerinde kullanılmaktadırlar (Commercial Seaweed Market Size, 2024).
- Çeşitli hamur, un veya pudra şeklinde hazırlanmış olan alg materyalleri kalsiyum, magnezyum, sodyum, potasyum gibi mineraller, demir, bakır, çinko ve mangan gibi iz elementler ve vitaminler nedeniyle talasoterapi merkezlerinde de tercih edilmektedir (Turan, 2007). Agarın jel oluşturma özelliği, elatinden yaklaşık 10 kat daha fazladır ve bu özelliği ile mikrobiyolojik çalışmalarda ve ilaç sanayinde oldukça fazla kullanılmaktadır (Yılsay vd., 2001).
- Yüksek ölçüde su tutma özellikleri nedeniyle sülfamit karışımı süspansiyonların yapımında da kullanılmaktadır (Güner & Aysel, 2006).
- Agar jelleri ayrıca parfümlü kol altı kremleri, güneş kremleri ve çinko oksit veya penisilin içeren dermatolojik kremler gibi çeşitli ürünlerde de değerlendirilmektedir.
- Kremler içinde kullanılan aljinatların cilt üzerinde çabuk buharlaşma etkisinden dolayı deriye bir ferahlık ve rahatlama hissi verdiği yapılan çalışmalarda da belirtilmiştir

Bu çok yönlü uygulamalar, makroalgin sadece birincil bir ürün değil, aynı zamanda birden fazla değerli ürünün elde edilebileceği entegre bir biyolojik rafineri için bir hammadde

olduğunu göstermektedir. Bu yaklaşım, hammaddenin tamamının değerlendirildiği ve sıfır atık hedefine ulaşıldığı bir döngüsel ekonomi modeliyle uyumludur (Adarshan vd.,2023).

Tablo 2: Başlıca Makroalg Metabolitleri ve Endüstriyel Uygulamaları

Metabolit Sınıfı	Başlıca Kaynaklar	Başlıca Endüstriyel Uygulamalar
Polisakkaritler	<i>Rhodophyta</i> (kırmızı alg), <i>Phaeophyceae</i> (kahverengi alg)	Gıda (kıvam arttırıcı, jelleştirici), ilaç (ilaç taşıyıcı), biyoteknoloji, biyoyakıt
Proteinler	Çeşitli türler, özellikle kırmızı algler	Gıda (bitki bazlı protein), hayvan yemi, nutrasiyon
Fenolik Bileşikler	<i>Phaeophyceae</i> (kahverengi alg)	Antioksidan, antikanser, antimikrobiyal, kozmetik (yaşlanma karşıtı)
Pigmentler (karotenoidler, fikosiyeninler)	Çeşitli türler	Gıda renklendiricileri (doğal), kozmetik, nutrisyon (sağlık takviyesi)
Mineraller ve Vitaminler	Çeşitli türler	Gıda (besin takviyesi), hayvan yemi, biyogübre

1.7.Yetiştiricilik ve Teknolojik Gelişmeler

Makroalg sektörü, geleneksel hasat yöntemlerinden modern su ürünleri yetiştiriciliği tekniklerine doğru bir evrim geçirmektedir. Bu evrim, verimliliği artırmayı, maliyetleri düşürmeyi ve çevresel sürdürülebilirliği sağlamayı hedeflemektedir.

Modern Yetiştiricilik Teknikleri

- **3D Okyanus Yetiştiriciliği:** Karada tarım için gereken alan ve tatlı su kaynaklarına ihtiyaç duymadan, deniz suyunun tüm su kolonunu kullanarak geniş ölçekte üretim yapmayı sağlayan bir tekniktir. Uzun hatlara askıya alınan deniz yosunları, ilkbaharda hasat edilmeden önce 10 metre veya daha fazla uzayabilmektedir. Bu yöntem, küçük bir alandan büyük miktarlarda verim elde edilmesine olanak tanır.

- **Entegre Multitrofik Akuakültür (IMTA):** Bu yaklaşım, balık, kabuklu deniz ürünleri ve makroalg gibi farklı türlerin birlikte yetiştirilmesini içerir. Makroalgler, diğer türlerin atıklarından kaynaklanan fazla besinleri (azot ve fosfor) emerek su kalitesini iyileştirir ve böylece ekosistemin sürdürülebilirliğini artırır. Bu entegre sistem, ekonomik karlılığı artırırken çevresel faydalar da sağlamaktadır.

1.7.1 Biyoteknoloji ve Genetik İyileştirme

Makroalg sektörünün uzun vadeli büyümesi için genetik iyileştirme büyük önem taşımaktadır. Ancak, bu alandaki teknolojik gelişimin durumu, mikroalglerin aksine henüz başlangıç aşamasındadır. Mikroalglerde, CRISPR/Cas gibi gen düzenleme araçları, lipid ve pigment içeriği gibi endüstriyel olarak önemli özelliklerin iyileştirilmesi için başarılı bir şekilde kullanılmaktadır. Buna karşın, makroalgler için bu araçların uygulanması henüz yeterince araştırılmamıştır ve mevcut veriler, makroalglerdeki endüstriyel özelliklerin genetik mühendisliği yoluyla nasıl iyileştirildiğine dair detaylı bilgi sunmamaktadır.

Günümüzde makroalglerde genetik iyileştirme için kullanılan temel yöntem, geleneksel seçici ıslah ve yabancı popülasyonlardan faydalı özelliklere sahip homojen suşların oluşturulmasıdır. Bu durum, makroalg yetiştiriciliğinin sürdürülebilir büyümesi için kritik bir teknolojik boşluk olduğunu göstermektedir. Bu boşluk, sektörün gelecek potansiyelini maksimize etmek için biyoteknoloji ve genetik araştırmalara yönelik yatırımların önemini ortaya koymaktadır.

1.7.2. Biyolojik Rafineri ve İşleme

Makroalgün ekonomik değerini artırmak için biyolojik rafineri süreçlerinin geliştirilmesi kritik bir öneme sahiptir. Bu süreçler, biyokütlenin farklı bileşenlerini (protein, karbonhidrat, yağlar vb.) ayrı ayrı elde ederek, sıfır atık ilkesiyle birden fazla değerli ürün üretmeyi amaçlamaktadır.

Ancak, makroalg işleme süreçleri önemli zorluklar içermektedir. Hasat edilen biyokütlenin kurutulması, enerji yoğun bir işlemdir ve çevresel etkileri ile maliyetleri artırmaktadır. Bu zorluğa yanıt olarak, makroalgün kurutulmadan işlenmesini sağlayan "ıslak yol" gibi yeni özütleme teknikleri üzerinde araştırmalar yapılmaktadır. Bu yenilikler, üretim maliyetlerini düşürme ve endüstrinin çevresel ayak izini azaltma potansiyeli sunmaktadır.

1.8. Makroalg ve Mavi Ekonomi

Makroalg sektörü, ekonomik potansiyelinin yanı sıra, "mavi ekonomi" kavramı altında ele alınan bir dizi çevresel ve sosyal fayda da sunmaktadır. Bu faydalar, makroalg yetiştiriciliğini yalnızca bir endüstriyel faaliyetten öte, gezegenin sağlığına katkıda bulunan stratejik bir alan haline getirmektedir.

1.8.1. Mavi Ekonomi

21. yüzyıldan bu yana "*Mavi Ekonomi*" kavramı giderek daha popüler hale gelmiştir. Uluslararası toplum, mavi ekonominin üç ekonomik formu kapsadığına inanmaktadır:

- Küresel su kriziyle başa çıkma ekonomisi (McGlade vd., 2012)

- Yenilikçi kalkınma ekonomisi (Pauli, 2009)
- Deniz ekonomisinin geliştirilmesi (Behnam, 2012).

Akademik araştırmalar, mavi ekonomi literatürünün sürdürülebilir kalkınma, ekosistem hizmetleri, yönetim ve sektörel dönüşüm etrafında şekillendiğini ortaya koymaktadır. Bu çerçevede, mavi ekonomi modellerinin amacının kaynakları kıtlıktan bolluğa kaydırmak ve çevresel sorunlara neden olan mevcut üretim-tüketim kalıplarıyla mücadele etmek olduğu ortaya konulmuştur (Kathijotes, 2013). Kıyısız alanlardaki mavi büyümeyi desteklemek amacıyla, ekosistem hizmeti yaklaşımına dayalı yönetim araçlarının geliştirilmesi önerilmiştir (Mulazzani vd., 2016). Benzer şekilde, denizcilik sektöründe uzun vadeli sürdürülebilir mavi büyümenin iş birliği, kapsayıcılık ve güven temelli yönetim modelleri ile sağlanabileceği belirtilmiştir (Soma vd., 2018). Mavi büyümenin mekânsal boyutuna odaklanan çalışmalar ise, denizcilik endüstrisinin büyümesinin potansiyel sınırlarını ortaya koyarak planlama ve alan tahsisinin stratejik önemini vurgulamaktadır (Van den Burg vd., 2019).

Yönetim ve yönetim literatüründe ise sürdürülebilir kalkınma yaklaşımı temel alınmaktadır. Bu kapsamda, sürdürülebilir deniz yönetimini değerlendirmeye yönelik kavramsal bir çerçeve geliştirilmiştir (Keen vd., 2018). Ayrıca, mavi büyümeyi teşvik etmek ve Sürdürülebilir Kalkınma Amaçları'na ulaşmak için paydaşlar arasında ortak çabaların gerekliliğini vurgulayan bir mavi büyüme yönetim modeli önerilmiştir (Sarker vd., 2018).

Paydaşların rolünü inceleyen çalışmalar, sürdürülebilir kalkınmada kapsayıcı yönetim mekanizmalarının önemini tartışmaktadır (Howard, 2018). Mavi ekonomi ile ekosistem yönetimi arasındaki yakınsama ise özellikle ekosistem muhasebesi yaklaşımıyla ilişkilendirilmekte ve mavi büyümenin ekolojik temellerine dikkat çekilmektedir (Häyhä & Franzese, 2014; Lillebø vd., 2017). Mavi ekonomi, deniz ekosistemi ile okyanus ve kıyı bölgesi ekonomik sistemi arasında genel bir planlama ve koordineli bir gelişmeyi vurgular. Yukarıdaki özellikleri göz önünde bulundurarak mavi ekonomiyi, kıyı ve deniz kaynaklarını kullanan ve koruyan sürdürülebilir üretim, hizmet ve diğer tüm ilgili faaliyetler olarak tanımlıyoruz. Bunu yaparken özel sektör/sanayiden araştırma ve geliştirmeye, STK'lardan hükümet politikalarına kadar ekonomideki tüm sektörleri ilgilendiren pek çok zorluk bulunmaktadır. Yukarıda bahsedilen karmaşıklık hem fırsatlar hem de engeller sunmaktadır.

8 Haziran 2018 tarihinde Yangtze Nehri Deltası bölgesindeki çeşitli deniz sanayi parkları ve üsleri bölgesel stratejik işbirliğini hayata geçirmek üzere anlaşmalar imzaladı. Yangtze Nehri Deltası'ndaki denizcilik endüstrilerinin stratejik işbirliği Nantong, Zhoushan, Shanghai, Pudong ve Ningbo'daki beş park ve üssü içermektedir.

Bu parkların ve üslerin kurulmasının iki ana odağı vardır:

- Endüstriyel iş birliğini arttırmak, ihtiyaca dayalı seçimleri kolaylaştırmak için endüstriyel projeleri ve kaynakları kapsamlı bir şekilde yönetmek, proje uygulamalarına rehberlik etmek için hizmet işlevleri oluşturmak, bölge içinde deniz endüstrisinin düzenli transferini ve kümelenme gelişimini teşvik etmek;
- Bilimsel yenilik ve yetenekler arasındaki iş birliğini derinleştirmek, kolejleri ve kurumları, bilimsel enstitüleri ve işletmeleri teknoloji transferi için ortak araştırma ve

geliştirme kurumları ve ortak merkezler kurmaya teşvik etmek, deniz yeteneklerini tanıtımda iletişim ve entegrasyon sağlamak, yetenekleri eğitmek ve yetiştirmek için ortak mekanizma oluşturmak ve yetenekleri tanımada ortak kriterler oluşturmak (Çin Devlet Konseyi, 2014).

1.8.2. İklim Değişikliğiyle Mücadele için "Mavi Karbon" Potansiyeli

Makroalgler, karbondioksiti okyanustan emme konusunda son derece etkilidir. Yalnızca biyokütle bazında, karbon depolama yetenekleriyle bilinen deniz çayırları, mangrovar ve tuzlu bataklıkların toplamından daha fazla sera gazı emebilmektedirler. Bu özelliği, makroalg çiftliklerinin okyanus asitlenmesi gibi yerel iklim etkileriyle mücadeleye yardımcı olabileceği anlamına gelmektedir. "Mavi Karbon" terimi, mangrovar, deniz çayırları ve tuzlu bataklıklar için geçerli olmakla birlikte, bu terim giderek makroalgleri de kapsayacak şekilde genişlemektedir, çünkü makroalglerin de küresel iklim hedeflerine önemli katkılar sağlayabileceği kabul edilmektedir.

1.8.3. Biyoremediasyon ve Su Kalitesini İyileştirme

Makroalgler, büyüme süreçlerinde azot ve fosfor gibi fazla besinleri bünyelerine alarak su kalitesini iyileştirme yeteneğine sahiptirler. Bu besinler, fazla miktarda bulunduğu okyanusun oksijen seviyesini düşüren zararlı alg patlamalarına neden olabilmektedir. Makroalg çiftlikleri, bu besin seviyelerini yakındaki sularda düşürerek "ölü bölgelerin" oluşumunu önlemeye yardımcı olabilir.

Makroalgler aynı zamanda ağır metaller ve diğer kıyı kirleticilerini de bir sünger gibi emebilirler. Bu amaçla yetiştirilen makroalgler ticari ürün olarak tüketilmemeli, yalnızca ekosistem sağlığını iyileştirme amacıyla kullanılmalıdır. Bu çiftlikler, özellikle sanayi atıklarıyla kirlenmiş kıyı bölgelerinde biyoremediasyon (biyolojik yollarla temizleme) projeleri için büyük bir potansiyel sunmaktadır.

1.8.4. Ekolojik Hizmetler ve Restorasyon

Makroalgler, deniz canlıları için yaşam alanı ve besin kaynağı görevi görerek önemli ekolojik rollere sahiptirler. Küresel olarak azalan doğal kelp ormanlarını restore etmek için "restorasyon akuakültürü" adı verilen bir yaklaşım da benimsenmektedir. Bu yaklaşımda makroalg yetiştiriciliği, ticari balıklar ve diğer deniz canlıları için barınma ve beslenme ortamı oluşturmak amacıyla kullanılmaktadır.

Bu çevresel faydalar, makroalg sektörüne olan ilgiyi temel emtia pazarının ötesine taşımaktadır. Okyanus tabanlı çözümler genellikle ekosistemleri restore etme, karbonu ayrıştırma ve istihdam yaratma gibi birden fazla fayda sağlamaktadır. Bu katmanlı değer yaklaşımı, finansal getirilerin yanı sıra çevresel ve sosyal etkiyi de ölçen, mavi ekonomiye odaklanan yeni yatırımcıları çekmektedir. Bu durum, makroalg sektörünü uzun vadeli ve sürdürülebilir bir yatırım alanı olarak konumlandırmaktadır.

BÖLÜM-II

Karşılaştırmalı Analiz: Küresel Liderler ve Türkiye

Makroalg sektörü, son yıllarda dikkat çekici bir büyüme sergileyerek küresel ekonomide kendine önemli bir yer edinmiştir. 2024 yılı itibarıyla küresel ticari deniz yosunu pazarının değeri, farklı raporlarda farklı rakamlarla ifade edilmekle birlikte, önemli bir büyüklüğe işaret etmektedir. Bir rapora göre, 2024 yılında pazarın değeri yaklaşık 12,7 milyar ABD dolarıdır ve 2034 yılına kadar %6'lık bir bileşik CAGR ile 22,82 milyar ABD dolarına ulaşması beklenmektedir.

Başka bir piyasa analizi ise, pazar büyüklüğünün 2023'te 17,14 milyar ABD doları, 2024'te ise 18,39 milyar ABD doları olduğunu ve 2032'ye kadar %8,20'lik bir CAGR ile 34,56 milyar ABD dolarına yükseleceğini öngörmektedir. Bu rakamlar arasındaki farklılık, sektörün henüz olgunlaşmamış ve veri toplama yöntemlerinin tam olarak standartlaşmamış olmasından kaynaklanan bir durumdur. Bu, sektörün yeni ve dinamik yapısının bir göstergesidir. Dünya Bankası'nın yeni raporuna göre, gelişmekte olan küresel deniz yosunu pazarının 2030 yılına kadar 11,8 milyar dolara kadar büyüme potansiyeli bulunuyor. Bu parasal değer, deniz yosununun karbonu emme, deniz biyoçeşitliliğini sürdürme, kadınlara istihdam sağlama ve değer zincirlerinin kilidini açma becerisiyle birlikte gelmektedir.

Küresel Deniz Yosunu Yeni ve Gelişmekte Olan Pazarlar Raporu 2023, yeni yüksek büyüme potansiyeline sahip deniz yosunu pazarı uygulamaları için ticari fırsatları analiz ediyor. Rapor, girişimcilere, yatırımcılara ve politika yapıcılara deniz yosunu sektörünün hem şimdi hem de gelecekte potansiyelini gerçekleştirmesini sağlamak için içgörüler sunuyor. Günümüzde, yetiştirilen deniz yosununun çoğu doğrudan insan tüketimi veya su ürünleri yetiştiriciliğinde taze yem olarak kullanılmaktadır. Gelecekte, deniz yosunu ürünleri tekstil ve plastik gibi sektörlerde fosil yakıtların yerini alabilir, karbonu hapsedebilir ve hassas kıyı toplulukları için gelir sağlayabilir. Mevcut pazar, yetiştirilen deniz yosununun %98'ini üreten birkaç Asya ülkesinin hakimiyetinde olduğundan, birçok bölgede büyük büyüme fırsatları bulunmaktadır.

Rapor, yerleşik sektörlerin dışında en büyük pazar fırsatlarına sahip, nispeten yeni ve gelişmekte olan on deniz yosunu uygulamasına odaklanmaktadır. Kısa vadede, biyostimülanlar, hayvan yemi, evcil hayvan mamaları ve metan azaltıcı katkı maddeleri de dahil olmak üzere en umut verici yeni pazarların 2030 yılına kadar 4,4 milyar dolara ulaşması öngörülmektedir.

Besin takviyeleri, alternatif proteinler, biyoplastikler ve kumaşlar gibi orta vadeli fırsatların potansiyel değeri 6 milyar dolara ulaşabilir. İlaçlar ve inşaat malzemeleri için uzun vadeli gelişmekte olan pazarların 1,4 milyar dolara ulaşması öngörülmüyor, ancak önemli düzenleyici zorluklar ve yüksek ürün geliştirme maliyetleri de varlığını sürdürmektedir.

Makroalg pazarı çeşitli bölgelerde önemli bir büyüme yaşamakta olup, Asya Pasifik (APAC) 4,9 milyar ABD doları değerindeki küresel pazar payının yaklaşık %43'ünü oluşturarak baskın bölge olarak ortaya çıkmaktadır. Bu önemli pazar varlığı, sağlık yararları ve sürdürülebilir

uygulamalar konusunda artan tüketici bilincinin etkisiyle makroalglerin gıda, ilaç ve biyoyakıtlarda artan kullanımına bağlanabilir.

Kuzey Amerika'da, doğal gıda katkı maddelerine yönelik artan talep ve alg bazlı biyoteknolojiye yönelik artan yatırımlar nedeniyle pazarın genişlemesi beklenmektedir. Kuzey Amerika makroalg pazarının 2025 yılına kadar %9,3'lük bir YBBO ile 1,8 milyar ABD dolarına ulaşacağı tahmin edilmektedir. Avrupa, makroalglerden elde edilen biyoplastikler ve biyogübreler için güçlü bir pazar ile karakterize edilerek, yakın bir şekilde takip etmektedir.

Orta Doğu ve Afrika'da, pazar henüz gelişmemiş olsa da, sürdürülebilir tarım uygulamalarına doğru kayda değer bir kayma vardır ve bu da makroalg uygulamalarına olan ilginin artmasına neden olmaktadır. Latin Amerika'da, özellikle makroalg yetiştiriciliğinin yerel ekonomiyeye entegre edildiği Brezilya ve Şili gibi ülkelerde büyümeye tanık olmaktadır.

2.1. Önde Gelen Ülkelerde Politikalar ve Destek Mekanizmaları

Makroalg sektörünün küresel liderleri, bu alanı stratejik bir ulusal öncelik olarak ele almaktadırlar. Her bir ülkenin yaklaşımı, kendi ekonomik, sosyal ve çevresel hedeflerine göre şekillenmektedir.

Çin, Filipinler, Endonezya, Japonya ve Kore gibi Asya ülkeleri, makroalglerin dünya çapında ticari amaçlarla etkin bir şekilde kitlesel olarak yetiştirildiği önde gelen bölgeler arasındadır. *Undaria*, *Pyropia*, *Gracilaria*, *Euchematoids*, *Saccharina* gibi beş ana türün hakim olduğu deniz yosunu verimliliği 2000 yılında 10,6 milyon tondan 2020 yılında 35 milyon tona yükselmiştir. Hem *Phaeophyceae* (3,1-16,4 milyon ton) hem de *Rhodophyta* yetiştiriciliği genişlerken (1-18,3 milyon ton), *Chlorophyta* deniz yosunu üretimi azalmıştır (3,1-1,7milyon ton). Küresel makroalg üretiminin %95'inden fazlası *Laminaria saccharina* (%35,4), *Kappaphycus Euchemata* (%33,5), *Gracilaria* (%10,5), *Porphyra pyropia* (%8,6) ve *Undaria* (%7,4) tarafından gerçekleştirilmiştir. Avrupa'nın deniz yosunu üretimi 287.033 tona ulaşarak 2019 yılında küresel toplamın yaklaşık %0,8'ine katkıda bulunmuştur.

Dünya Bankası'nın gelişmekte olan 10 deniz yosunu pazarına ilişkin yeni bir analizine göre, deniz yosununun gelişme potansiyeli 2030 yılına kadar 11,8 milyar dolara ulaşabilir. Bu tahmine rağmen, deniz yosunu işindeki ekstra değer çoğu henüz kullanılmamıştır. Mevcut pazarlarının ötesinde güçlü bir gelişme potansiyeline sahiptir. Dünya Bankası'nın 2016 yılında yayınladığı bir rapora göre, deniz yosunu yetiştiriciliğinin yılda %14 oranında artırılması, 2050 yılına kadar 500 milyon ton kuru ağırlık ve gıda arzında, gelir yaratmada ve yaşam kalitesinde %10'luk bir artış sağlayacaktır. Deniz yosunu yetiştiriciliği, Doğu ve Güneydoğu Asya'nın baskın olduğu sınırlı ülkelere odaklanmaktadır.

Doğu Asya ülkelerinde deniz yosunlarının toplanması ve insan gıdası ve ilaç olarak kullanılması en az 1500 yıl öncesine dayanmaktadır. Doğu Asya'da modern deniz yosunu yetiştiriciliği Kore, Japonya ve Çin'de 1950'lerden 1970'lere kadar kurulmuştur. O zamandan beri hızla genişlemiş ve deniz yosunu çiftlikleri dünya çapında diğer bölgelerde de popülerlik kazanmıştır. Asya dışındaki ülkeler 2020 yılında toplam yetiştirilen deniz yosunu hacminin %2'sinden azını üretmiştir. Bununla birlikte, dünyanın diğer bölgelerinde deniz yosunu

üretimini ölçeklendirilmesi için görünüm umut vericidir. Doğu ve Güneydoğu Asya ülkeleri dünyadaki çiftlik deniz yosunlarının çoğunu üretmeye devam etmektedir; Çin, Endonezya, Filipinler, Kuzey ve Güney Kore, Japonya ve Malezya toplam üretimin yaklaşık %98'ine katkıda bulunmaktadır. 2019 yılında 98 ülke makroalg (909 milyon ABD doları) ve hidrokolloid (1,74 milyar ABD doları) ihraç ederek 2,65 milyar ABD doları kazanmıştır. Birleşmiş Milletler Comtrade Veri Tabanına göre, 2019 yılında makroalg ve ürünlerinin ihracatı Tablo 3'te gösterildiği gibi karla sonuçlanmıştır.

Tablo 3. Deniz Yosunu ve Deniz Yosunu Bazlı Hidrokolloidlerin İhracatı, 2019

Ülkeler	Milyon Dolar
Çin	578
Endonezya	329
Kore Cumhuriyeti	320
Filipinler	252
Şili	209
İspanya	145
Fransa	124
ABD	102
Almanya	82
Birleşik Krallık	78

Kaynak: Birleşmiş Milletler Comtrade Veri Tabanı, 2019

2.1.1. Çin Halk Cumhuriyeti

Çin, makroalg yetiştiriciliğinde mutlak bir liderdir ve bu alandaki hakimiyeti, uzun vadeli ve entegre devlet politikalarından kaynaklanmaktadır. Gıda güvenliğini sağlama ve deniz kaynaklarını koruma hedefleri doğrultusunda, Çin liderleri hem kara hem de deniz kaynaklarını kullanmanın önemini vurgulamaktadır.

- **Deniz Çiftliği (Marine Ranching) Stratejisi:** Çin, denizleri yönetilen su altı çiftliklerine dönüştüren "deniz çiftliği" kavramına öncülük etmektedir. Bu kavram, geleneksel su ürünleri yetiştiriciliğinin ötesine geçerek, deniz biyoçeşitliliğini restore etmeyi amaçlayan ekosistemler oluşturmaktadır. 2024 yılında, tek bir şehir olan Shanwei, bu tür sekiz deniz çiftliğinin inşası için 279 milyon ABD dolarından fazla yatırım yapmıştır.
- **Mavi Karbon Politikaları:** Çin, 2060 yılına kadar karbon nötr olma hedefini desteklemek için "mavi karbon" potansiyelini öne çıkarmıştır. Hükümet, makroalg yetiştiriciliği gibi mavi karbon projelerini teşvik etmek için çeşitli finansal destek mekanizmaları oluşturmakta ve özel sermayenin katılımını desteklemektedir.

2.1.2. Japonya

Japonya'da makroalg kullanımı, dördüncü yüzyıla kadar uzanan köklü bir geçmişe sahiptir. Japonya'nın politikaları, sektörü yalnızca ekonomik bir faaliyet olarak değil, aynı zamanda kültürel mirasın ve ekosistem sağlığının bir parçası olarak görmektedir.

- **Restorasyon ve Koruma:** Japonya Su Ürünleri Ajansı, azalan deniz yosunu yataklarını (isoyake) restore etmek için politikalar uygulamaktadır. Balıkçıların kendileri tarafından deniz yosunu yatağı restorasyonunu planlamalarını ve uygulamalarını sağlamak için rehberler yayımlanmıştır. Bu çalışmalar, yeni teknolojilerin (örneğin insansız hava araçları veya dronlar) deniz yosunu yataklarının durumunu izlemek için kullanıldığı halka açık bir sübvansiyon sistemi ile desteklenmektedir.

2.1.3. Norveç

Norveç, su ürünleri yetiştiriciliği (özellikle somon) alanında küresel bir liderdir ve makroalg sektörünü bu mevcut altyapıya entegre etmektedir.

- **Entegre Politika Yaklaşımı:** Norveç parlamentosu, su ürünleri yetiştiriciliği politikalarında "*makroalg yetiştiriciliği de dahil olmak üzere düşük trofik akuakültürün ölçeğini artırma*" yönünde önlemleri açıkça desteklemektedir. Bu politika, balık çiftçiliğinin çevresel etkisini azaltmayı ve dairesel bir ekonomi stratejisi geliştirmeyi amaçlayan yeni "Çevre Teknolojisi Programı" gibi teşviklerle bütünleşmiştir.

2.1.4. Amerika Birleşik Devletleri

ABD'nin makroalg sektörü henüz gelişim aşamasında olmakla birlikte, en hızlı büyüyen akuakültür sektörlerinden biridir.

- **Ar-Ge ve Altyapı Desteği:** Ulusal Okyanus ve Atmosfer İdaresi (NOAA) gibi hükümet kurumları, makroalg yetiştiriciliğinin ekonomik ve çevresel olarak sürdürülebilir bir şekilde genişlemesini sağlamak için yerleşim gereklilikleri, tasarımlar ve en iyi yönetim uygulamaları üzerine araştırmalar yürüterek sektörü desteklemektedir.

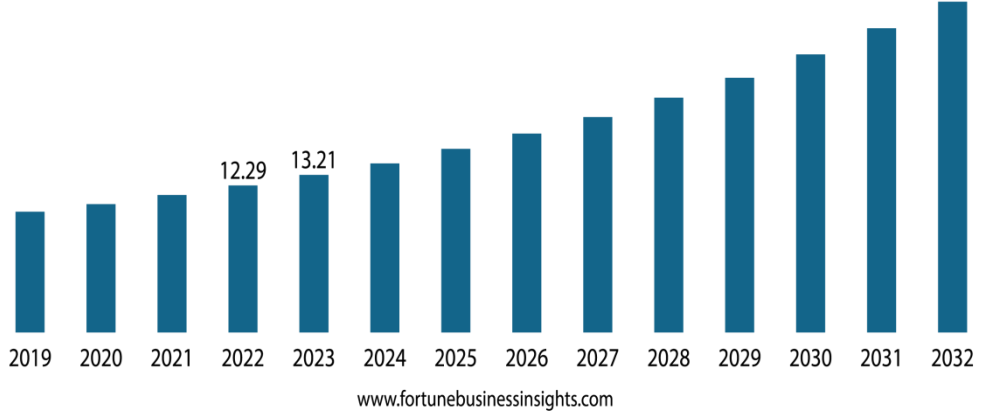
Deniz yosunu pazarının potansiyelini tam olarak gerçekleştirebilmek için, sektörün birkaç temel sorunun üstesinden gelmesi gerekecektir. En büyük zorluk, hacim, arz tutarlılığı ve kalitesindeki kısıtlamalar nedeniyle deniz yosununun bulunabilirliğidir. Deniz yosununun daha fazla uygulama alanı geliştirildikçe, fiyatlandırma ve düzenleyici engeller de ortaya çıkabilir.

Bu zorluklara rağmen, deniz yosunu yetiştiriciliğinin iklim ve çevre üzerindeki faydaları, potansiyel gelişmekte olan pazarların büyümesini hızlandırmaya yardımcı olacaktır. "Yeşil" ürünlere olan ilgi artmaya devam ederken, birçok ürün geliştiricisi kar elde etmek için sürdürülebilirlik primlerine güvendiğini ifade etmiştir.

Küresel kaynakların giderek daha fazla tükendiği bir dönemde, hem hızla yenilenebilen hem de ekosistemlerin yenilenmesine potansiyel olarak katkıda bulunabilen deniz yosunu gibi kaynaklardan dünyanın en iyi şekilde yararlanması özellikle önemlidir.

Şekil 3: Asya Pasifik Ticari Deniz Yosunu Pazarı Büyüklüğü, 2019–2032

Asia Pacific Commercial Seaweed Market Size, 2019-2032 (USD Billion)



Kaynak: Fortune Business Insights, 2024

BÖLÜM III

Türkiye'de ve Bazı Ekosistemlerde Makroalg Sektörünün Mevcut Durumu

Türkiye, uzun kıyı şeridi, coğrafi konumu ve biyoçeşitlilik potansiyeliyle makroalg yetiştiriciliği için uygun bir zemine sahiptir. Ancak, bu potansiyel henüz büyük ölçekli ticari faaliyete dönüşmüş değildir.

3.1. Araştırma ve Geliştirme (Ar-Ge) Ortamı

Türkiye'de makroalgler üzerine akademik düzeyde çalışmalar yürütülmektedir. Özellikle Çanakkale gibi jeomorfolojik ve tuzluluk farklılıklarına sahip bölgelerin, ekonomik değeri olan birçok alg türü için yetiştiricilik imkanı sunduğu belirtilmektedir. Bu çalışmalara örnek olarak, Mersin Körfezi'nde doğal olarak bulunan bazı makroalg türlerinden fermantasyon yöntemiyle biyogübre üretimi üzerine yürütülen proje gösterilebilir. Bu proje, makroalglerin organik tarım uygulamalarında kullanım potansiyelini araştırmaktadır. Hükümet düzeyinde de sektöre yönelik bir ilgi olduğu görülmektedir. Tarım ve Orman Bakanlığı, FAO iş birliğiyle "Su Ürünleri Yetiştiriciliğinde Karnivor Balıklar İçin Alternatif Yemler ve Makroalg Yetiştiriciliği" konulu bir çalıştay düzenlemiştir. Bu etkinlik, yem endüstrisi, akademisyenler ve politika yapımcılar gibi farklı paydaşları bir araya getirerek sektörün geleceğini tartışmıştır.

3.2. Politika ve Yasal Çerçeve

Türkiye'de su ürünleri yetiştiriciliği için izinler, çevresel hassasiyetler ve turizm sektörü gibi faktörler dikkate alınarak verilmektedir. Mevzuat, özellikle çevrenin korunmasına yönelik yüksek standartlara sahiptir. Genel su ürünleri yönetmelikleri, avcılık ve işleme tesisleri için belirli kurallar ve izinler içermektedir.

Ar-Ge alanında da destek mekanizmaları mevcuttur. Türkiye Bilimsel ve Teknoloji Araştırma Kurumu (TÜBİTAK), KOBİ'lere yönelik proje bazlı destekler sunmaktadır. Tarım ve Orman Bakanlığının Kırsal Kalkınma Yatırımlarının Desteklenmesi Programı kapsamında makine ve ekipman alımlarına %50'ye varan hibe destekleri sağlanmaktadır. Bu destekler, potansiyel olarak makroalg yetiştiriciliği için gerekli altyapı yatırımlarını teşvik edebilir.

3.3. Mevcut Üretim ve Ticari Faaliyetlere Yönelik Engeller

Türkiye'de makroalg sektörünün gelişimi, akademi ve politika yapımında artan ilgiye rağmen, büyük ölçekli ticari üretime henüz başlamamıştır. Ülkedeki mevcut projeler, oldukça küçük ölçeklidir ve lokal düzeyde kalmıştır. Örneğin, Seydikemer'de takviye edici gıda elde etmek için kurulan bir yosun serası bulunmaktadır. Benzer şekilde, Yalova'da toplanan yosunlar, belediye tarafından gübreye dönüştürülerek seralarda kullanılmaktadır. Bu durum, Türkiye'de makroalg potansiyelini büyük ölçekli ticarileşmeye taşıyacak bir bilgi-eylem boşluğunun bulunduğunu ortaya koymaktadır. Küresel liderlerin aksine, Türkiye'de sektöre yönelik somut, entegre ve uzun vadeli bir ulusal strateji henüz tam olarak tanımlanmamıştır. Bu durum, akademik çalışmalar, politika hedefleri ve ticari uygulamalar arasında köprü kurma ihtiyacını göstermektedir.

**Tablo 4: Makroalg Sektörünün Karşılaştırmalı Genel Değerlendirmesi:
Türkiye vs. Küresel Liderler**

Kriter	Çin	Japonya	Norveç	Türkiye
Piyasa Durumu	Küresel lider. Baskın üretici ve tüketici.	Geleneksel tüketici ve endüstriyel kullanımda öncü.	Akuakültür sektörünün bir parçası olarak gelişen pazar.	Gelişmekte olan pazar. Ticari üretim henüz başlamadı.
Yetiştirme Yöntemi	Deniz çiftlikleri (marine ranching), yoğun üretim.	Geleneksel ve modern yöntemler, restorasyon odaklı.	Düşük trofik akuakültürün bir parçası olarak entegre sistemler.	Akademik projeler, küçük ölçekli seralar.
Temel İtici Güçler	Gıda güvenliği, "mavi karbon", ulusal kalkınma planları.	Köklü gelenekler, "isoyake" restorasyonu, çevresel koruma.	Su ürünleri yetiştiriciliğinin sürdürülebilirliği, çevre teknolojisi.	Akademik ilgi, yüksek girdi maliyetlerine doğal çözüm arayışı (gübre).
Politika Odaklanması	Spesifik ve entegre devlet politikaları, finansal destek.	Restorasyon ve izleme için devlet sübvansiyonları.	Akuakültür politikalarına entegrasyon, teknoloji teşvikleri.	Genel su ürünleri mevzuatı, proje bazlı Ar-Ge destekleri.
Önemli Başarılar	Büyük ölçekli üretim, deniz çiftlikleri inşası.	Azalan deniz yosunu yataklarının restorasyonu.	Makroalglerin balık yetiştiriciliğine entegrasyonu.	Akademik araştırmalar ve pilot projeler.
Temel Eksiklikler	Kıyı kirliliği, yasal mevzuattaki eksiklikler.	-	-	Büyük ölçekli üretimin olmaması, özel bir ulusal stratejinin eksikliği.

3.3.1. Çin Halk Cumhuriyeti Makroalg Sektörü

Tüm dünyada olduğu gibi Çin'de de hem mevcut hem de yeni mikroalg ve makroalg ürünlerine, hem mevcut insan besin ürünleri gibi yüksek değerli özel ürünlere hem de yemler ve yakıtlar gibi daha düşük değerli emtialara yönelik artan bir ilgi ve yoğun Ar-Ge çalışmaları devam etmektedir. Bu ilgi, fosil yakıtlardan, özellikle de kömürle çalışan enerji santrallerinden kaynaklanan CO₂ salınımını azaltmaya yönelik ulusal hedeflerin yanı sıra susuz elde edilebilir, yeşil enerji ve ürünlere olan talepten kaynaklanmaktadır.

Bu arada, Çin alg endüstrisinin şu anda karşı karşıya olduğu daha acil sorunlar, alg gıdaların sağlıklı olup olmadığına ilişkin kamuoyu algıları ve hem yerel hem de uluslararası pazarları sınırlayan yüksek üretim maliyetleridir.

3.3.2. Karadeniz Havzası

Karadeniz, deniz faaliyetleri, tarım ve sanayi gibi insan kaynaklı faaliyetler nedeniyle ağır bir şekilde kirlenmiştir ve bu durum, suyun rejimini ve özelliklerini etkilemektedir (Novac vd., 2020; Shypotilova vd., 2021). Bu faaliyetler, sivil ve endüstriyel nesnelerin tahrip olmasına yol açarak Ukrayna'da, özellikle Karadeniz havzasının suyollarında çevre kirliliğine neden olmaktadır (Shchiptsov & Goncharov, 2023).

Karadeniz'deki kirleticilerin önemi büyüktür ve denizcilik faaliyetleriyle ilgili deniz çöplerinin önemli bir kısmı buradan kaynaklanmaktadır (Novac vd., 2020). Ayrıca, Karadeniz'in zayıf su değişimi ve yetersiz dikey sirkülasyonu kirlilik sorununu daha da kötüleştirmektedir (Novac vd., 2020). Karadeniz'in kirliliği, ekosistemi ve su kalitesi üzerinde ciddi etkilere sahiptir. Örneğin, Ukrayna'daki silahlı çatışmalar nedeniyle sivil ve endüstriyel nesnelerin tahrip edilmesi, Karadeniz havzasında çevre kirliliğine yol açmıştır (Shchiptsov & Goncharov, 2023). Ayrıca, Karadeniz'e akan 107 nehirden kaynaklanan besin maddeleri, mikroplastikler, *Cryptosporidium* ve triklosan gibi noktasal kaynaklı emisyonların gelecekte artması beklenmektedir, bu da kirliliği en aza indirmek için koordineli uluslararası çabaların gerekliliğini vurgulamaktadır (Strokal vd., 2023).

Trabzon, Samsun ve Zonguldak gibi Karadeniz'e kıyısı olan Türkiye illeri, başta tarım ve sanayi olmak üzere, bölgedeki kirliliğe önemli ölçüde katkıda bulunmaktadır (Akkoyunlu, 2018). Su için etkili izleme ve kalite kontrol stratejileri ile kirleticilerin etkisini azaltmak için yenilikçi teknolojilerin uygulanması, deniz ortamının korunması için gereklidir. Karadeniz'in kirliliğinin giderilmesi, çevreye duyarlı öneriler ve stratejiler geliştirilmesi, etkili izleme ve kalite kontrol stratejileri oluşturulması ve kirleticilerin etkisini azaltmak için yenilikçi teknolojilerin uygulanması gibi çok yönlü bir yaklaşım gerektirir (Shypotilova vd., 2021; Shchiptsov & Goncharov, 2023). Ayrıca, gelişmiş atık su arıtma, ekonomi ve kirlilik arasındaki ödünleşmeleri en aza indirebilir ve risk değerlendirmesi, bölgedeki biyolojik tehlike sorunlarının etkilerini sınırlamada çok önemlidir (Strokal vd., 2023; Ratã & Rusu, 2020).

Karadeniz'deki makroalgler, özellikle yeşil ve kahverengi türler, ilaç, kozmetik, doku mühendisliği, yara pansumanı ve ilaç dağıtım sistemleri gibi çeşitli endüstrilerde potansiyel uygulamaları nedeniyle önemli bir öneme sahiptir (Sirbu vd., 2020; Cadar vd., 2022; Roşioru

2024). Bu algler, antioksidan ve antibakteriyel aktiviteye sahip polifenoller gibi biyoaktif bileşikler açısından zengindir. *Ulva lactuca* ve diğer makroalg türleri *Gongolaria barbata* türünün biyokimyasal bileşimi, kullanım potansiyellerini etkileyen çevresel koşullar ve fizyolojik durumdan etkilenir (Cadar vd., 2022; Roşioru, 2024). Örneğin, *Ulva lactuca* türünün toplam polifenol içeriği ve antioksidan kapasitesi, ekstraksiyon yöntemine ve deniz ortamının özel koşullarına bağlı olarak değişebilir (Cadar vd., 2022). Karadeniz'de *Ulva lactuca* ve eskiden *Cystoseira barbata* olarak bilinen *Gongolaria barbata* türünün dağılımı ve bolluğu, kıyı ortamı değişiklikleri ve turizm gelişimi gibi antropolojik tehditler dahil olmak üzere çeşitli faktörlerden etkilenir. *Ulva lactuca* türünün genetik çeşitlilik çalışmaları da gelgit bölgesinde değişiklikler olduğunu göstermiş ve koruma çabalarının gerekliliğini vurgulamıştır (Hayati & Rahly, 2024). *Ulva lactuca* ve *Gongolaria (Cystoseira) barbata* biyokütlesinin biyoaktif maddelerin ekstraksiyonu için kullanımı, deniz ekosisteminin durumuyla bağlantılı olan bileşiklerin saflığına bağlıdır (Sirbu vd., 2020; Cadar vd., 2022; Roşioru 2024). Antioksidan aktiviteye sahip bileşiklerin basitleştirilmiş profilleri, yarı kantitatif testler kullanılarak oluşturulabilir ve bu da numune toplama yeri ve zamanının dikkate alınmasının önemini vurgulamaktadır. *Ulva lactuca* (Sirbu vd., 2020; Cadar vd., 2022) ve *Gongolaria barbata* (Roşioru, 2024) gibi diğer makroalg türlerinin değerlendirme potansiyeli, biyokimyasal özellikleri nedeniyle yüksektir ve bu da onları biyoteknolojik uygulamalar için uygun hale getirir.

Hâlihazırda Rusya'nın güney denizlerinde yaşayan makroalglerin (*Charales* hariç) tür listesi, özellikle Karadeniz'de 362 tür, Azak Denizi'nde 46 tür ve Hazar Denizi'nde 70 tür olmak üzere 478 tür içermektedir. Tür listesi 30 yıl önce elde edilen verilere kıyasla yaklaşık %30 oranında artmıştır (çoğu Karadeniz'de kayıtlı 96 tür).

Sıcak su Akdeniz ve tropikal kökenli yeşil ve kırmızı makroalgler (*Ceramium*, *Polysiphonia*, *Laurencia*, *Ulva* ve *Chaetomorpha*) ve kahverengi algler (*Sargassum* ve *Cytoseira*) başlıca istilacıdır. Günümüzde en fazla tür çeşitliliği Karadeniz'in Kırım ve Türkiye kıyılarında bulunmaktadır ve Türkiye kıyılarının tür listesi Karadeniz'in incelenen diğer tüm bölgelerinden önemli ölçüde farklılık göstermektedir. Sıcak su kompleksine ait alglerin sayısı 1990-2000'li yıllarda Karadeniz'de en fazla artış gösteren türlerdir; boreal-tropikal ve subtropikal kökenli türler baskındır. Bununla birlikte, Azak Denizi ve Hazar Denizi'nde böyle bir eğilim gözlenmemiştir, ancak acı su yeşil alglerinin yaşam alanlarının genişlediği kaydedilmiştir.

Karadeniz, Akdeniz'den yarı izole edilmiş, düşük tuzluluk oranına sahip bir havzadır ve hidrolojisi ve fitobentos konsantrasyonu aynı bölgedeki diğer denizlerden farklıdır. Toksik elementler (ve nüklidler) havadaki kirleticiler, nehirler, petrol kirliliği veya endüstriyel atıkların denize doğrudan deşarjı yoluyla taşınmaktadır. Eser elementler, Tuna ve diğer nehirlerden gelen deniz suyu akıntıları yoluyla taşınmaktadır. Kıyı bölgesindeki ekolojik koşullar çok çeşitlidir ve bu da alglerdeki element konsantrasyonunun tür, coğrafi konum, mevsim gibi birçok faktöre bağlı olarak değişmesine neden olur.

Yeşil makroalgler çeşitli coğrafi bölgelerde deniz kirliliğini izlemek için yaygın olarak kullanılmaktadır. Yeşil algler Bulgaristan'ın Karadeniz kıyılarında yaygın olarak bulunmaktadır ve bazıları (*Ulva rigida*, *Enteromorpha intestinalis*, *Cladophora vagabunda*) neredeyse tüm bölgelerde görülebilmektedir, bu nedenle farklı coğrafi bölgelerdeki kirletici

konsantrasyonlarının karşılaştırmalı değerlendirmesi için uygundur. Yeşil makroalg türleri Karadeniz'de ve komşu denizlerdeki diğer deniz ortamlarında biyo-indikatör olarak kullanılmıştır. Karadeniz yeşil alg türlerindeki eser element konsantrasyonları araştırmacılar tarafından belirlenmiştir ancak Bulgaristan'ın Karadeniz kıyı bölgesindeki ağır ve toksik metallerle ilgili veriler az ve yetersizdir.

Makroalg yetiştiriciliği, Karadeniz'in sığ ve korunaklı kıyı bölgelerinde, özellikle Türkiye, Romanya, Bulgaristan ve Gürcistan'ın bazı kıyılarında büyük bir potansiyele sahiptir.

Makroalgler, denize dikey veya yatay olarak yerleştirilen halatlara ve ağlara tutunarak büyütülür. *Ulva* ve *Enteromorpha* gibi hızlı büyüyen türler, besin maddesi içeriği yüksek Karadeniz kıyı sularından faydalanarak kolayca yetiştirilebilir. Özellikle *Cystoseira* gibi türlerin doğal olarak yoğun olduğu bölgelerde, ekosisteme zarar vermeyecek kontrollü hasat yöntemleri uygulanabilir. Bu türler yüksek iyot ve alg asitleri içeriğiyle önemlidir.

Deniz ortamlarında yaygın olarak görülen eser element kirliliği sorunu, özellikle turizm faaliyetleri de dahil olmak üzere insan kaynaklı faaliyetlerin önemli miktarda toksik metal (Bat vd., 2009) salmasına neden olması nedeniyle, on yıllardır kamuoyunda büyük endişe yaratmaktadır (Signa vd., 2020). Endüstriyel süreçlerden, tarımsal akışlardan ve kentsel atık su deşarjlarından kaynaklanan bu kirleticiler, Karadeniz ekosisteminin hassas dengesini bozmaktadır (Bat vd., 2018) ve hem deniz biyotasını hem de insan sağlığını önemli ölçüde tehdit etmektedir (Bat ve Arıcı, 2018). Karadeniz, öncelikle nehirler yoluyla önemli miktarda karasal kirlenme almaktadır. Buna ek olarak, kıyıları boyunca deniz taşımacılığı, endüstriyel faaliyetler ve belediye kanalizasyonlarından da kirlenme gelmektedir (Bat vd., 2018). Sonuç olarak, *Ulva* ve *Gongolaria* gibi makroalgleri (eski adıyla *Cystoseira* türleri) kullanan biyomonitörleme çalışmaları, ağır metallerin biyolojik birikiminin boyutunu değerlendirmek için çok önemlidir (Bat vd., 2021; Nunes vd., 2023) ve bu hassas bölgedeki ekolojik etkilerini anlamak için çok önemlidir (Neshovska vd., 2021; Rakib vd., 2021).

Çok sayıda çalışma, makroalglerin sabit yapısı ve yüksek biyobirikim kapasitesi nedeniyle ağır metal kirliliğinin etkili biyoindikatörleri olarak etkinliğini ortaya koymuştur (Bat vd., 2021; Rakib vd., 2021). Bu özellik, makroalglerin uzun süreler boyunca çevrelerindeki su ortamlarındaki ağır metal konsantrasyonlarını yansıtma ve onları çevre izleme için değerli araçlar haline getirir (Rakib vd., 2021). Özellikle, kahverengi makroalgler yüksek sorpsiyon kapasitesine sahiptir, bu da çevredeki önemli miktarda kirleticiyi entegre edip konsantre etmelerini sağlar ve metal kirliliğini izlemek için özellikle yararlı olmalarını sağlar (Aboal vd., 2022). Bu biyobirikim süreci, düşük çevresel konsantrasyonlarda bile su kolonundan metallerin alınmasını ve tutulmasını kolaylaştıran fizyolojik mekanizmaları tarafından yönlendirilir (Bat vd., 2021; Nunes vd., 2023). Sonuç olarak, bu organizmalardaki metal konsantrasyonlarının analizi, deniz ekosistemindeki kirleticilerin biyoyararlanımı ve ekolojik etkisini doğru bir şekilde temsil edebilir (Aboal vd., 2022).

Özellikle *Ulva* cinsi, kurşunu biriktirme konusunda olağanüstü kapasitesiyle bilinir ve çevresindeki ortamdan bin kat daha fazla kurşun konsantre eder, bu da bu metal için çevresel bir biyoindikatör olarak yararlılığını vurgular (Filippini vd., 2020). Tersine, *Cystoseira spp.*,

hidrodinamik ve epifitlerin varlığı gibi faktörlerin etkisiyle değişen ağır metal biyobirikim kapasiteleri sergilemiştir (Nunes vd., 2023). *Chlorophyta* ve *Phaeophyta* dahil olmak üzere farklı makroalg türleri arasında ağır metal birikiminde görülen türler arası değişkenlik, doğrudan karşılaştırmaları daha da karmaşık hale getirmekte ve çevresel kirliliği doğru bir şekilde yansıtmak için türe özgü analizler yapılmasını gerektirmektedir (Peng vd., 2022; Nunes vd., 2023). Bu değişkenlik, farklı makroalglerin çeşitli metallere farklı afiniteler sergilemesi nedeniyle biyomonitörizasyon çalışmaları için uygun türlerin seçilmesinin önemini vurgulamaktadır (Bat vd., 2009).

Bu bulguların daha ayrıntılı analizi, kirleticilerin uzamsal dağılımını ve her türün belirli ağır metaller için biyoidikatör olarak etkinliğini aydınlatarak, Karadeniz'in güneyindeki kirlilik modellerinin daha ayrıntılı bir şekilde anlaşılmasına katkıda bulunur. Bu karşılaştırmalı değerlendirme, farklı makroalglerin farklı metaller için çeşitli biyobirikim afiniteleri sergileyebildiğinden, biyomonitörizasyon programlarında türe özgü hususların dikkate alınması gerektiğini vurgulamaktadır (Rakib vd., 2021).

Sıcaklık ve tuzluluk gibi çevresel faktörlerin, makroalglerdeki ağır metallerin biyobirikim oranlarını önemli ölçüde etkileyebileceğini de belirtmek önemlidir (Signa vd., 2020). Ayrıca, yüzey alanı ve büyüme oranları gibi alglerin morfofizyolojik özellikleri, metal biyobirikiminde alg türünün kendisinden daha önemli bir rol oynayabilir (Rakib vd., 2021). Dahası, bu fizikokimyasal ve biyolojik faktörlerin etkisi, deniz makroalglerinde metal alımı ve tutulması üzerindeki etkileşimli etkilerini tam olarak anlamak için daha fazla araştırma yapılmasını gerektirmektedir, böylece sağlam biyomonitörler olarak kullanılabilirlikleri iyileştirilebilir. İleri araştırmalar, tek tek çevresel değişkenlerin ve alg özelliklerinin metal birikimi üzerindeki etkisini izole etmek için kontrollü deney ortamlarına odaklanmalıdır.

3.3.3. Beyaz Deniz (Rusya)

Kandalaksha Körfezi'nin Kolvitsa girişi, Beyaz Deniz'in az çalışılmış bir bölümüdür. 15-21 Temmuz 2016 tarihleri arasında intertidal ve subtidal (dalış ekipmanı kullanılarak) bölgelerde gerçekleştirilmiştir. Elli makroalg türü bulunmuştur: 9 tür *Chlorophyta*, 18 tür *Phaeophyceae* ve 23 tür *Rhodophyta*. *Choreocolax polysiphoniae* ve *Coccotylus hartzii* türünün Kandalaksha Körfezi'ndeki ilk kayıtları rapor edilmiştir (Mikhaylova vd.,2017).

Kolvitsa girişindeki kırmızı alg bölgesi 7 ila 17-18 m derinliklere kadar uzanmaktadır. Kırmızı alg kuşağında yüksek tür zenginliğine sahip zonasyon ve fitosenozlar ele alınmıştır. *Odonthalia dentata* topluluğu 7-8 m derinlikte yaşamaktadır ve ortalama biyokütleri 282,1 ± 37,6 g/m² olan 31 tür deniz yosunu içermektedir; vejetasyon yüksekliği 20 cm'dir; *Coccotylus truncatus* ve *Polysiphonia stricta* subdominanttır.

C. truncatus topluluğu 8-9 ila 11-12 m derinliklerde yaşar ve ortalama biyokütleri 157,4 ± 92,2 g/m² olan 35 tür deniz yosunu içerir; vejetasyon yüksekliği 10 cm'dir; *P. stricta*, *O. dentata* ve *Phycodrys rubens* subdominanttır. *C. truncatus* ve *P. rubens* topluluğu 11-12 ila 14-15 m derinliklerde yaşamaktadır ve ortalama biyokütleri 41,9 ± 1,1 g/m² olan 26 tür deniz yosunu içermektedir; vejetasyon yüksekliği 5-6 cm'dir; *Euthora cristata* alt baskındır. Az sayıda kırmızı kortikal kalkerli alg türü 15 ila 18 m derinliklerde yaşamaktadır. Otuz iki epifitik

alg bulunmuştur. *Polysiphonia stricta* türünün dik yaprakları üzerindeki ikincil tutunmalar, bazifitlere bağlanmak için özel bir adaptasyon olarak tespit edilmiştir. Epifitlerin çoğu başlıca üç tür üzerinde yetişmektedir. *C. truncatus*, epifitlerinin biyokütlesinin aynı toplulukta zemindeki deniz yosunlarınıninkine karşılaştırılabilir olması nedeniyle, fotik bölgenin alt kısmındaki fitosenoz içinde konsorsiyum oluşturan bir tür olarak düşünülebilir.

BÖLÜM IV

Fırsatlar, Tavsiyeler ve Yatırım Analizi

4.1. Türkiye İçin Stratejik Fırsatlar ve SWOT Analizi

4.1.1. Güçlü Yönler / Fırsatlar

- **Deniz kıyılarının genişliği & biyolojik çeşitlilik** — Ege, Akdeniz, Karadeniz kıyıları; farklı yosun/makroalg türlerini barındırma potansiyeli.
- **İklim & doğal kaynaklar** — tuzlu su ortamlarına erişim, güneş, sıcaklık uygunluğu gibi biyolojik üretime elverişli iklimsel etmenler.
- **Mevcut biyoteknoloji/akademi altyapısı** — üniversitelerde biyoloji, deniz biyolojisi, biyoteknoloji bölümleri, laboratuvarlar; araştırma projeleri var.
- **İlgi artışı / kamu farkındalığı** — çevre kirliliği, mikroplastik, sürdürülebilirliğe dair farkındalık; “deniz yosunları ekonomiye kazandırılınsın” gibi söylemler yükselmekte.
- **Girişimcilik ekosistemi & hibeler** — TÜBİTAK, Kalkınma Ajansları, Sanayi/Bilim Teknoloji Bakanlığı gibi kurumların Ar-Ge ve sürdürülebilir teknolojilere destek verme eğilimi.

4.1.2. Zayıf Yönler / Engeller

- **Yatırım eksikliği / erken aşama finansman kısıtları** — Yurt dışında alg/seaweed odaklı bir startup mı yoksa Türkiye’de mi benzer bir yatırım örneği olduğu konusunda sınırlı bilgi. Görülen girişimler ya prototip ya da küçük ölçekli.
- **Üretim maliyetleri & ölçek ekonomisi** — üretilen prototipler/hammadde bazı çözümler pahalı çıkıyor; seri üretim, kurutma/işleme/erişim maliyetleri yüksek.
- **Teknoloji & altyapı eksikliği** — kontrollü çiftlikler (açık deniz / yaklaştırılmış çevre), ekstraksiyon teknolojileri, kalite standartları gibi konularda deneyim sınırlı.
- **Regülasyon & izin süreçleri belirsizliği** — denizalanı izinleri, çevresel etki değerlendirmeleri (ÇED), biyolojik çeşitlilik koruma kuralları, kullanım izinleri gibi mevzuatlar karmaşık olabiliyor.
- **Pazar & talep belirsizliği** — tüketici bilinci, endüstri talebi, hammadde temini ve lojistik gibi konular net değil; hangi ürün tipine (gıda, kozmetik, tarım, yem, biyomateryaller) yönelinirse yönelin, pazar stratejisinin kurulması gerekiyor.
- **Uzmanlık bilgisi eksikliği** — uluslararası deneyim, teknoloji transferi, ulusal-uluslararası standartların bilinmesi, kalite kontrol metodolojileri.

4.1.3. Türkiye’de Yatırımcı ve Girişimci Potansiyeli

Türkiye’de alg yetiştiriciliği ve su sektöre yapılan yatırımlar son dönemde hız kazanmıştır. Sektörde son dönemlerde artan sayıda üretim alanı ve bu yönde faaliyet gösteren bazı girişimler faaliyetlerine hız vermiş almış oldukları yabancı sermayeler ile farklı sektörlerle yönelik çalışmalarda bulunmuşlardır.

Tablo 5: Türkiye'deki En Önemli Makroalg Girişimleri

Girişim	Açıklama
SeaWean	Türkiye merkezli, deniz yosunu ekstraktları üreten bir girişim. Şirket "küresel lider adaylığı" vurgusu yapıyor
Palgae	Tarım örtüleri için yosun içeriği olan biyolojik malzeme: alg bazlı ürün prototipi geliştiriyor.
Kybele's Garden	Kybele's Garden pazarda hem bir teknoloji hem de ürün sağlayıcısıdır.

Türkiye'de makroalg / deniz yosunu / alg biyoteknolojisi alanında:

- **Mevcut Fırsatlar:** Doğal kaynaklar, iklim, bilimsel altyapı, sürdürülebilirlik temelli kamu politikasının yönelimi gibi avantajlar,
- **Mevcut Eksiklikler:** Yatırım miktarı, teknoloji kapasitesi, ölçek, regülasyon netliği, pazarda talep & iş modeli kanıtı,
- **Potansiyel İlk Yatırımcı Roller:** Kamu kurumları (TÜBİTAK, Kalkınma Ajansları), özel sermaye + sürdürülebilirlik odaklı melek yatırımcı ağları, endüstriyel şirket iş birlikleri (kozmetik, tarım, gıda sanayisi) olarak sayılabilir.

Güçlü Yönler

- **Coğrafi ve Ekolojik Çeşitlilik:** Türkiye, farklı deniz ekosistemleri ve Çanakkale gibi özel tuzluluk farklılıkları olan bölgeleriyle makroalg yetiştiriciliği için elverişli bir konumdadır (Scispace.com, 2024).
- **Gelişmiş Su Ürünleri Yetiştiriciliği Sektörü:** Mevcut ve hızla büyüyen su ürünleri yetiştiriciliği altyapısı, makroalg yetiştiriciliğinin entegre edilerek (IMTA) büyümesi için sağlam bir temel oluşturmaktadır (TÜDAV, 2020).
- **Akademik ve Kurumsal İlgisi:** Makroalgler üzerine üniversitelerde ve Tarım ve Orman Bakanlığı gibi kurumlarda devam eden çalışmalar ve düzenlenen çalıştaylar, sektör için bir bilgi ve ilgi tabanının var olduğunu göstermektedir (Mersin Üniversitesi Bilgi İşlem Daire Başkanlığı, 2020).
- Makroalglerin ithalat-ihracat dinamikleri de önemli etkenlerdir. Çin, Endonezya ve Güney Kore gibi büyük üreticiler Kuzey Amerika ve Avrupa'daki pazarlara büyük miktarlarda makroalg tedarik etmektedir.
- 2020 yılında küresel deniz yosunu ihracat değeri yaklaşık 11 milyar dolardı ve bunun önemli bir kısmı Asya ülkelerinden geliyordu. Batı pazarlarında deniz yosunu bazlı ürünlere olan talep arttıkça, bu ülkeler üretim kapasitelerini artırıyor ve bu da ihracatta daha fazla büyümeye neden olmaktadır.

Zayıf Yönler

- **Ticari Üretimin Eksikliği:** Akademik ve pilot projelerin varlığına rağmen, Türkiye'de makroalglerin büyük ölçekli ticari yetiştiriciliği henüz başlamamıştır.
- **Yüksek Maliyetler ve Altyapı Eksikliği:** Küresel ölçekte bir sorun olan yüksek yetiştirme ve operasyonel maliyetler, Türkiye'de de sektöre giriş için bir engel teşkil

etmektedir. Büyük ölçekli deniz çiftlikleri için gerekli altyapı ve ekipmanlar henüz yaygın değildir.

- **Spesifik Yasal Çerçeve Yokluğu:** Su ürünleri için genel bir mevzuat mevcut olsa da, makroalg yetiştiriciliğine özgü ve teşvik edici politikaların eksikliği, sektörün hızlı büyümesini engelleyebilmektedir.

Fırsatlar

- **Küresel Pazarda Artan Talep:** Makroalgler için gıda, ilaç ve kozmetik gibi yüksek değerli ürünlere yönelik küresel talebin hızla artması, Türkiye için önemli bir ihracat potansiyeli yaratmaktadır (Seaweed Market Share and Statistics, 2024).
- **Mavi Ekonomi ve Sürdürülebilirlik Odaklı Yatırımlar:** Sektörün iklim değişikliğiyle mücadele (mavi karbon) ve çevresel restorasyona katkı sunması, bu alana yatırım yapan ve finansal getiriyle çevresel etkiyi birleştiren yeni fonları ve yatırımcıları çekmektedir.
- **Tarım Sektörüne Entegrasyon:** Gübre fiyatlarındaki artışlar ve organik tarıma yönelik eğilimler, makroalg bazlı biyogübre ve biyostimülanlar için yerel bir pazar oluşturma fırsatı sunmaktadır (Mersin Üniversitesi Bilgi İşlem Daire Başkanlığı, 2024).
- Sürdürülebilir akuakültür ve deniz kaynakları yönetimini teşvik eden hükümet girişimleri de makroalg pazarını desteklemektedir. AB 2021 yılında, okyanus kaynaklarının sürdürülebilir kullanımını desteklemeyi ve deniz yosunu yetiştiriciliğini teşvik etmeyi amaçlayan "Mavi Ekonomi" stratejisini başlattı. Bu girişim, AB'nin dögüsel bir ekonomiye ulaşma hedefiyle uyumludur ve makroalg yetiştiriciliğine yönelik yatırımları teşvik etmektedir.
- Ayrıca, Güney Kore ve Japonya gibi ülkeler, deniz yosunu hasadını ve işlenmesini destekleyen düzenlemeleri hayata geçirerek, deniz yosununun gıda güvenliği ve çevresel sorunlara çözüm getirme potansiyelinin farkına varmışlardır.
- Yenilikçi yetiştirme ve işleme teknikleri için araştırma ve geliştirmeye yapılan yatırımlar makroalg üretiminin verimliliğini artırmaktadır. Otomatik hasat sistemleri ve gelişmiş besin yönetimi gibi su ürünleri yetiştiriciliğindeki yenilikler, makroalg yetiştiriciliğini daha sürdürülebilir ve karlı hale getirmektedir. Bu da üreticiler için yeni fırsatlar yaratmakta ve pazarın genişlemesine katkıda bulunmaktadır.

Tehditler

- **Çevresel Kirlilik:** Endüstriyel atıklardan kaynaklanan su kirliliği, makroalg yetiştiriciliğinin maliyetini artırmakta ve ürün kalitesini olumsuz etkilemektedir.
- **Sentetik Alternatiflerden Kaynaklanan Rekabet:** Bazı sektörlerde makroalg bazlı ürünlerin yerine laboratuvarında üretilen sentetik bileşenlerin tercih edilmesi potansiyel bir tehdittir.
- **Sürdürülemez Hasat Riski:** Kontrolsüz veya aşırı yabancı hasat, biyoçeşitlilik kaybına ve ekosistemde bozulmalara yol açabilmektedir.
- Düzenleyici zorluklar da pazarın büyümesini engellemektedir. Farklı ülkeler makroalglerin hasadı ve işlenmesine ilişkin farklı düzenlemelere sahiptir ve bu da

uluslararası ticareti zorlaştırabilir. Örneğin, Avrupa Birliği'nde, Deniz Stratejisi Çerçeve Direktifi kapsamındaki katı kurallar, deniz kaynaklarının sürdürülebilir kullanımını sağlamayı amaçlamaktadır.

- Düzenlemelere uymak üreticiler için maliyetli ve zaman alıcı olabilir. Bu standartları karşılamının getirdiği maliyetler, küçük şirketlerin pazara girmesini engelleyerek sektörün genel büyümesini sınırlandırabilir.
- Makroalg pazarı için önemli kısıtlayıcı faktörlerden biri, yetiştirme ve hasat ile ilgili çevresel zorluklardır. Potansiyel faydalarına rağmen endüstri, ekolojik etkileri konusunda incelemelerle karşı karşıyadır. Örneğin, yabancı makroalglerin aşırı hasadı biyoçeşitlilik kaybına yol açabilir.
- Gıda ve Tarım Örgütüne göre, küresel deniz yosunu üretiminin yaklaşık %20'si yabancı hasattan elde edilmektedir ve bu da sürdürülebilirlik ve ekosistem sağlığı ile ilgili endişeleri artırmaktadır. Sürdürülebilir olmayan uygulamalar deniz habitatlarını bozabilir ve yerel balıkçılığı etkileyerek makroalg sektörünün uzun vadede yaşayabilirliğini baltalayabilir.
- Bir diğer önemli kısıtlama ise sentetik alternatiflerin yarattığı rekabettir. Biyo-bazlı ürünlere olan talep arttıkça, birçok endüstri makroalgler için sentetik ikameleri de araştırıyor. Örneğin, gıda sektöründe bazı üreticiler, doğal deniz yosunlarının özelliklerini taklit edebilen ve sürdürülebilirlikle ilgili endişeleri olmayan laboratuvarda üretilmiş bileşenleri tercih ediyor.

Yukarıda belirtilen analiz, Türkiye'nin güçlü yönlerini ve küresel fırsatları bir araya getirecek stratejik bir yol haritasına ihtiyacı olduğunu göstermektedir. Sektör, mevcut su ürünleri altyapısını kullanarak IMTA gibi sürdürülebilir yöntemlerle genişleyebilir ve yüksek değerli ürünlere odaklanarak maliyet zorluklarının üstesinden gelebilir.

4.2. Genel Perspektifte Makroalg Yetiştiriciliğinin Katkıları

İnsan nüfusu artarken BM Sürdürülebilir Kalkınma Amaçlarına (SKA) zamanında ve ölçekte ulaşmak, gerekli dönüşümsel değişimi sağlamak için yeni, potansiyel olarak yıkıcı stratejiler gerektirmektedir. Özellikle, minimum ekilebilir arazi, su ve enerji gereksinimi ile sürdürülebilir bir şekilde yetiştirilebilen, karada ve denizde yetiştirilen insanlar ve hayvanlar için net sağlıklı gıda üretimini, sürdürülebilir ve uygun maliyetli enerjiyi destekleyen ve biyolojik çeşitlilik ve çevre üzerinde olumsuz değil olumlu etkiler yaratırken çevreye zararsız sürdürülebilir malzemeler sağlayan yeni biyolojik kaynakların tanımlanmasına ihtiyaç vardır.

Deniz yosunu yetiştiriciliği, SKA'larının gerçekleştirilmesine önemli ölçüde katkıda bulunabilecek uygulanabilir ve sürdürülebilir bir su ürünleri yetiştiriciliği yöntemidir. Yoksulluğun ortadan kaldırılması, gıda güvenliği, iklim eylemi ve sürdürülebilir tüketim ve üretim ile ilgili SKA'larını karşılama potansiyeline sahiptir. Deniz yosunu yetiştiriciliği, çeşitli SKA'ların ilerletilmesinde doğrudan fayda sağlayan çok sayıda ekosistem hizmeti üretmektedir. Çevre dostu deniz yosunu yetiştiriciliğine yatırım yapmak, yoksul ve hassas durumdaki insanların üretken kaynaklara erişimini, kadınların gıda üretimi ve tüketimine katılımını, erkekler ve kadınlar için insana yakışır işlerin yaratılmasında serbest girişimciliği,

yerel ekonomik büyümeyi ve kıyadaki yoksul ve hassas durumdaki toplulukların güçlenmesini sağlayabilir.

Halihazırda, deniz yosunu yetiştiriciliği esas olarak Asya ülkelerinde yoğunlaşmıştır ve başka yerlerde asgari düzeyde faaliyet göstermektedir (Araújo vd., 2019; Araújo vd., 2021; Buschmann vd., 2017; Hughes vd., 2012). AB sularında deniz yosunu yetiştirmek, Yeşil Mutabakat (COM(2019) 640 final), Karbon Nötrlüğü (EC, 2019), Çiftlikten Çatala (COM(2020) 381 final) ve yaklaşan Doğa Restorasyon Yasası (COM(2022) 304 final) gibi kapsamlı politika girişimlerinde belirtildiği gibi AB'nin iddialı çevresel hedeflerine ulaşmasına yardımcı olabilir. Şu anda AB'deki deniz yosunu üretiminin %99'u yabancı hasada dayanırken, küresel ölçekte üretimin %99'unun yetiştiricilikten geldiği tersi bir eğilim söz konusudur (Vazquez-Calderon vd., 2022).

Bu hususlar göz önüne alındığında, Avrupa Komisyonu (AK) deniz bölgelerinde deniz yosunu yetiştiriciliğini teşvik etmektedir (COM(2021) 236 final). Bununla birlikte, Avrupa sularında bu faaliyetin potansiyeli hakkında temel bilgiler hala eksiktir. Kasım 2022'de AK, alg endüstrisinin artan AB talebini karşılayabilecek esnek, sürdürülebilir ve rejeneratif bir sektör haline gelmesini teşvik etmek için çeşitli zorlukların altını çizmiş ve eylemler önermiştir (EU Algae Initiative COM (2022) 592 final). Belirlenen temel sorunlar arasında, AB deniz bölgelerindeki büyüme potansiyeline ilişkin bilimsel anlayış eksikliği nedeniyle engellenen yüksek üretim maliyetleri ve düşük ölçekli üretim yer almaktadır (Araújo vd., 2019; COM (2021) final, van den Burg vd., 2016).

Deniz yosunu yetiştirme kapasitesi, farklı türlerin büyüme oranlarını düzenleyen çevresel faktörlere bağlıdır. Yetiştiricilik potansiyelini ölçmek için AB deniz bölgelerinin çevresel özelliklerinin detaylı bir şekilde incelenmesi gerekmektedir. Bugüne kadar AB sularında deniz yosunu yetiştirme potansiyeli üzerine yapılan çalışmalar sınırlıdır. İsveç'in batı kıyısında, Skagerrak'ta 150 km'lik kıyı şeridinde yayılan bir alanda deniz yosunu yetiştiriciliği potansiyelini değerlendirme çalışması yapılmıştır (Thomas vd., 2019).

Potansiyel büyüme oranlarını ve besin maddesi giderme kapasitelerini hesaplamak için modellenmiş çevresel verileri kullanarak Baltık Denizi'nde deniz yosunu yetiştiriciliği potansiyelini konulu bir dizi (Kotta vd., 2022), araştırma gerçekleştirilmiştir. Benzer bir model tabanlı yaklaşım daha önce Hollanda ve Birleşik Krallık sularındaki mevcut deniz yosunu tesislerinin potansiyel çevresel etkilerini belirlemek için kullanılmıştır (TÜDAV, 2020).

Bununla birlikte, deniz yosunu yetiştiriciliği potansiyeline ilişkin AB çapında tam değerlendirmeler hala eksiktir. AB, deniz bölgelerindeki çevresel koşulların ve bunların değişkenliğinin anlaşılmasını artırmak için izleme ve araştırmaya büyük ölçüde yatırım yapmıştır. Ancak mevcut veriler, denizdeki çevresel değişkenlerin kapsamlı bir resmini (mekansal ve zamansal değişkenlik dahil) sunmak için hala yetersizdir. Bu izleme çabalarına ek olarak AB, AB sularındaki çevresel değişkenlerin geniş bir tanımını sağlayabilecek sayısal modeller geliştirme konusunda ilerleme kaydetmiştir.

4.3. Alglerden Yakıt Elde Etme Prosedürünün Önündeki Engeller

Çeşitli pilot ölçekli tesislerde algal ham petrol üretimi gerçekleştirilmiştir, ancak algal yakıtların petrol yakıtlarını anlamlı bir şekilde ikame etmek için yeterli miktarda üretilip üretilmeyeceği büyük ölçüde göz ardı edilmiştir. Algal yakıtların ticarileştirilmesinin önündeki kısıtlamaların anlaşılması ve gelecekte ticarileştirilmesi için ele alınması gerekmektedir.

Alglerden elde edilen yakıtlar petrolden elde edilen yakıtlara kıyasla pahalıdır, ancak bu durum değişebilir. Ne yazık ki, gelişmiş üretim ekonomisi çevresel açıdan sürdürülebilir bir üretim ya da büyük ölçekli fizibilite için yeterli değildir. Algal yakıtların üretimi için diğer temel kaynaklarla birlikte düşük maliyetli konsantre karbondioksit kaynağı gereklidir. Konsantre karbondioksitin yetersizliği, algal yakıtların önemli ölçüde üretilmesinin önündeki en büyük engeldir. Üretimin sürdürülebilirliği, alg kültürü için gerekli olan fosfor ve azot besin maddelerini neredeyse tamamen geri dönüştürme yeteneğinin geliştirilmesini gerektirir. Alg yakıtlarının üretimini destekleyecek bir nitrojen biyofiksasyon yeteneğinin geliştirilmesi önemli bir uzun vadeli hedef olmalıdır. Yeterince büyük ölçekte, sınırlı tatlı su kaynağı, deniz algleri kullanılsa bile üretim için önemli bir sınırlama oluşturacaktır.

Alg yakıtında net bir pozitif enerji dengesi elde etmek için yağın çıkarılmasından sonra kalan alg biyokütlesinden enerji geri kazanımına yönelik süreçler gereklidir. Alg yakıtlarının yaygın kullanımı için yakın vadeli görünüm iç açıcı görünmemektedir, ancak havacılık gibi niş uygulamalar için yakıtlar orta vadede olası olabilir. Akaryakıt üretimini artırmak ve geri kazanımını kolaylaştırmak için mikroalglerin genetik ve metabolik mühendisliği, algal yakıtların ticarileştirilmesi için gereklidir. Alglerin uzun vadede gelişmiş fotosentetik verimlilik için genetik olarak modifiye edilmesi gerekecektir.

Algler, güneş ışığını biyokimyasal enerjiye dönüştürmede karasal bitkilerden daha verimlidir (Stephenson vd., 2011). Yeşil mikroalgler, C3 kara bitkileriyle aynı temel fotosentetik mekanizmayı paylaşmaktadır. Normal atmosferde yetişen C3 bitkilerinde maksimum fotosentez verimliliğinin %4,6 olduğu tahmin edilmektedir (Zhu vd., 2008), yani alınan toplam güneş enerjisinin %4,6'sı biyokütle enerjisine dönüştürülebilir. Uygulamada, yıllık ortalama verimlilik genellikle %2,4'ü geçmez (Zhu vd., 2008). Buna karşılık, açık havada karbondioksit takviyeli bir kültürde büyüyen algler için yıllık ortalama fotosentetik verimlilik >%5 olarak gözlemlenmiş ve yabani tip türler için olası maksimum %8,3 olarak tahmin edilmiştir (Chisti, 2012).

Potansiyel olarak algler birkaç farklı biçimde yakıt sağlayabilir (Kröger & Müller-Langer, 2012). Yanma için alg biyokütlesi; doğrudan yanma için veya dizel, benzin ve jet yakıtı (kerosen) gibi diğer ulaşım yakıtlarının üretiminde kullanılmak üzere alg ham petrolü (Lestari vd, 2009); biyokütlenin anaerobik sindirimi yoluyla biyogaz (Zamalloa vd., 2011; Markou vd., 2013); biyohidrojen; alglerden elde edilen karbonhidratların fermantasyonu yoluyla biyoetanol (Matsumoto vd., 2003, Ho vd., 2013); ve doğrudan alg fotosentezi yoluyla üretilen biyoetanol (Williams, 2009; Lü vd., 2011).

Alglerin sağlayabileceği farklı yakıt biçimleri arasında, sıvı taşıma yakıtları yapmak için alg yağı, birçok şirket tarafından ticarileştirme çabaları da dahil olmak üzere en çok ilgi odağıdır. Alglerden sıvı yakıtları ticarileştirmeye çalışan birkaç şirketten çoğu fotosentetik yolla üretilen yağlara odaklanmıştır. Diğerleri ise karbondioksit ve suyu fotosentetik olarak doğrudan kullanılabilir yakıtlara dönüştürmeye çalışmaktadır. Örneğin, Algenol Biofuels genetiği değiştirilmiş alglerde karbondioksitten doğrudan biyoetanol üretimi geliştirmektedir ve Joule Unlimited, Inc. (www.jouleunlimited.com) diğer yakıtları üretmek için benzer bir yaklaşım benimsemektedir. Fotosentetik yolun aksine, Solazyme, Inc. yağ bakımından zengin algler yetiştirmek için bitkilerden elde edilen şekerleri kullanmaktadır.

Birçok alg yağ biriktirir (Banerjee vd., 2002; Chisti, 2007; Griffiths & Harrison, 2009; Griffiths vd., 2012). Alg biyokütlesinin yağ içeriği genellikle besin eksikliği olan bir kültür aşaması ya da stres yaratan başka bir aşama, besin açısından yeterli büyüme aşamasını takip ederse büyük ölçüde artar (Illman vd., 2000; Rodolfi vd., 2009; Mazzuca Sobczuk & Chisti, 2010; Griffiths vd., 2012; Dillschneider vd., 2013). En azından bazı durumlarda, fazla karbon sağlanırsa azot açısından yeterli bir ortamda da yağ birikir (Fan vd., 2012).

Alg yağı çeşitli bileşenler içerir: trigliseritlere ek olarak, yağ terpenoid hidrokarbonlar (Banerjee vd., 2002), polar lipitler, oksijen içeren nontrigliserit karotenoid yağlar ve klorofiller içerebilir. Tüm bu bileşikler enerji ve karbon açısından zengindir. Algal ham petrol yaklaşık $35.800 \text{ kJ.kg}^{-1}$ enerji içeriğine veya petrolde bulunan ortalama enerjinin yaklaşık %80'ine sahiptir (Chisti, 2012). Algal ham petrol, çeşitli ulaşım yakıtları üretmek için petrolün potansiyel bir ikamesidir (Journal of Biotechnology, 2013).

Algal ham yağı uzun zincirli çoklu doymamış yağ asitleri bakımından zengin olma eğilimindedir (Belarbi vd., 2000; Ward & Singh, 2005, Guschina & Harwood, 2006; Harwood & Guschina, 2009; Nichols vd., 2010) ve sonuç olarak biyodizel üretimi için diğer bazı bitkisel yağlar kadar uygun olmayabilir (Knothe, 2011; Stansell vd., 2012). Bununla birlikte, alg yağı başarılı bir şekilde petrolden elde edilen eşdeğer yakıtlardan ayırt edilemeyen benzin, dizel ve kerosen yakıtlarına dönüştürülmüştür (Chisti, 2012). Alglerden elde edilen sıvı yakıtlar testlerde üstün performans göstermiştir (Johnson & Wen, 2009; Haik vd., 2010; Babich vd., 2011; Haik vd., 2011; Chen vd., 2012; Khan vd., 2012); bu nedenle, alg taşıma yakıtları şu anda uygun fiyatlı olmasa da kanıtlanmış bir teknolojidir.

Ticarileştirme telaşı içinde, alg yakıtlarının büyük ölçekli üretiminin önündeki ciddi engeller göz ardı edilmiştir. Alglerden yakıt elde etme prosedürünün ticari ölçekte önündeki engeller, temelde yüksek operasyonel enerji girdisi (hasat ve kurutma), yüksek yatırım maliyeti (Fotobiyoreaktörler (PBR) ve işleme tesisleri) ve düşük maliyetli biyokütle veriminin sürdürülebilir şekilde elde edilememesinden kaynaklanmaktadır. Bu teknolojinin geleceği, yüksek değerli alg yan ürünlerinin satışı yoluyla yakıt maliyetini sübvans eden biyodizel rafinerisi modeline ve genetik mühendisliği ile verimli yağ üreten alg türlerinin geliştirilmesine bağlıdır. Ancak, bu zorluklar çözülmeden alg biyoyakıtları küresel enerji piyasasında petrol ile rekabet edebilecek duruma gelemeyecektir.

Alg çiftliklerinin (özellikle kapalı PBR sistemlerinin) kurulması için gereken ilk sermaye yatırımı, geleneksel tarım veya fosil yakıt tesislerine kıyasla çok yüksektir. PBR'ler, karmaşık boru sistemleri, pompalar, sensörler ve ısı/pH kontrol üniteleri gerektirir. Alglerin büyümesi için büyük miktarda azot (N) ve fosfor (P) gerekir. Bu kimyasal besinlerin temini, alglerin yakıt üretimi için rekabetçi bir maliyetle yetiştirilmesini zorlaştıran önemli bir işletme maliyetidir. Atık sulardan besin geri kazanımı potansiyeli bu maliyeti düşürebilir, ancak bu süreç de ek yatırım gerektirir. Buna ek olarak sürekli izleme, hasat, ekstraksiyon ve işleme aşamaları için kalifiye teknik personel ve yüksek bakım maliyetleri gereklidir. Alg hücrelerindeki yağ çıkarmak için karmaşık ve maliyetli yöntemler kullanılır:

Hücre Parçalama (Lisiz): Alg hücrelerinin sağlam duvarları (özellikle sert selüloz duvarlı türler), içindeki yağ serbest bırakmak için mekanik (bilyalı değirmenler, sonikasyon) veya kimyasal (solventler) yöntemlerle parçalanmalıdır. Bu aşamalar, yüksek enerji ve solvent geri kazanım maliyetleri yaratır.

Transesterifikasyon: Çıkarılan ham alg yağı, motorlarda kullanılabilir biyo-dizele dönüştürülmek için metanol ve katalizörler kullanılarak işlenir (transesterifikasyon). Bu kimyasal sürecin verimliliği ve maliyeti, nihai yakıtın fiyatını doğrudan etkiler. Alg biyokütlesinin sadece yakıt olarak kullanılması, alglerin maliyet/fayda dengesini bozmaktadır. Alglerin ton başına maliyeti, petrolün ton başına maliyetiyle rekabet edemeyecek kadar yüksektir. Bu maliyeti dengelemek için "Biyodizel Rafinerisi Konsepti" (Biorefinery Concept) benimsenmelidir.

Bu yaklaşım, yağın çıkarılmasından sonra kalan proteinler, karbonhidratlar ve pigmentler gibi yüksek değerli bileşiklerin (gıda takviyeleri, kozmetikler, hayvan yemi) ayrıştırılıp pazarlanmasıdır. Yalnızca bu ek gelir, biyoyakıtın maliyetini petrolle rekabet edebilir seviyelere çekebilir. Ancak, bu ek işleme adımları da karmaşıklığı ve ilk yatırım maliyetini artırır.

BÖLÜM V

Makroalg Sektörü Yatırım Ortamı ve Finansal Analiz

Makroalg sektörüne yapılan yatırımlar, küresel ölçekte "mavi ekonomi" ve "biyoteknoloji" ana başlıkları altında giderek artmaktadır. Türkiye'de bu alana özgü bir yatırım ekosistemi henüz oluşmamış olsa da, mevcut fonların odak alanları makroalg projeleri için potansiyel fırsatlar sunmaktadır.

5.1. Küresel Yatırım Eğilimleri

Son beş yılda, makroalg sektörüne yapılan girişim sermayesi yatırımları, 2022-2024 yılları arasında 112-118 milyon ABD doları arasında istikrarlı bir seviyeyi korumuştur. Bu yatırımlar, erken aşama inovasyondan, piyasaya hazır çözümlerin ticarileştirilmesine ve ölçeklendirilmesine doğru bir kayma göstermektedir. Yatırımların coğrafi dağılımı, hala Kuzey Amerika ve Avrupa'da yoğunlaşmaktadır, ancak Asya'daki yükseliş dikkat çekicidir.

5.2. Başlıca Uluslararası Yatırımcıların Profilleri

Hatch Blue & Blue Revolution Fund: Bu İrlanda merkezli fon, sürdürülebilir akuakültür, rejeneratif çiftçilik ve "mavi karbon" çözümleri gibi alanlara odaklanmış küresel bir firmadır. Blue Revolution Fund'ın yatırım stratejisi, "rejeneratif deniz yosunu ve çift kabuklu yetiştiriciliği" gibi projelere yatırım yapmayı açıkça içermektedir. Avrupa Yatırım Fonu (EIF) ve The Nature Conservancy gibi ortaklarıyla birlikte, finansal getiri ile çevresel etkiyi birleştiren bir yatırım yaklaşımını benimsemektedir.

Diğer Uluslararası Şirketler: Sektörde doğrudan yatırımcı olmasalar da, makroalg bazlı ürünler kullanan büyük şirketler, potansiyel iş ortakları olarak öne çıkmaktadır. **Corbion**, hayvan yemi için sürdürülebilir bir Omega-3 kaynağı olan AlgaPrime™ DHA'yı üretmektedir. **BASF**, Acadian Plant Health™ ile ortaklık kurarak deniz yosunu özlerinden elde edilen biyostimülanları tarım ürünleri portföyüne eklemiştir. **DSM-Firmenich** ise gıda ve nutrasötik ürünlerde karragenan gibi makroalg türevlerini kullanmaktadır.

5.3. Potansiyel Türk Yatırımcılar

Türkiye'de makroalg sektörüne özel olarak odaklanmış bir girişim sermayesi fonu bulunmamaktadır. Bu durum, yerel girişimlerin yatırımcı çekebilmek için iş modellerini daha geniş yatırım alanlarıyla uyumlu hale getirmesini gerektirmektedir. Aşağıda, makroalg projelerine yatırım yapabilecek potansiyel yerli yatırımcılar listelenmektedir.

- **Girişim Sermayesi Fonları:**
 - **Boğaziçi Ventures:** "Derin teknoloji" ve "sürdürülebilir inovasyon" odaklı bir fon olarak, biyoteknoloji ve tarım teknolojileri alanında makroalg projeleriyle ilgilenilir.
 - **Revo Capital:** Teknoloji odaklı B2B ve B2C girişimlerine yatırım yapan bu fon, özellikle akuakültür ve gıda teknolojileri alanındaki yenilikçi makroalg uygulamalarını değerlendirebilir.

- **Diffusion Capital Partners (DCP):** Yalnızca "derin teknoloji" ve "karmaşık sorunları çözen" girişimlere yatırım yapma misyonuyla, makroalg biyoteknolojisi ve biyolojik rafineri projeleri için uygun bir adaydır (BaseTemplates,2025).
- **Kurumsal Fonlar ve Holding Şirketleri:**
 - **TEB Portföy Sağlık ve Biyoteknoloji Değişken Fonu (TBE):** Fonun sağlık ve biyoteknoloji alanındaki yerli ve yabancı şirketlere yatırım yapma stratejisi, makroalglerin ilaç ve nutrasötik uygulamalarına odaklanan girişimler için bir finansman kaynağı olabileceğini göstermektedir (TEB Portföy, 2025).
- **Diğer Yatırımcılar:** KPMG raporunda yer alan, fintech ve gıda teknolojisi gibi alanlara yatırım yapan fonlar (Kings Research,2025) ve Alarko Ventures gibi holding şirketlerinin girişim sermayesi kolları (BaseTemplates, 2025) makroalg sektöründeki yenilikçi iş modellerine ilgi gösterebilirler.
- **Kamu ve Kalkınma Finansmanı:**
 - **İstanbul Venture Capital Initiative (iVCI):** EIF desteğiyle kurulan bu fon, Türkiye'de girişim sermayesi ekosisteminin gelişimine katkıda bulunmuştur. Bu tür uluslararası destekli fonlar, "mavi ekonomi" alanındaki projeler için gelecekteki finansman kanalları olabilir.

Eğer bir yatırımcı Türkiye'de alg / makroalg alanına yatırım yapmayı düşünüyorsa, aşağıdaki alanlara odaklanması bu süreci hızlandıracaktır:

Tablo 6: Yatırımcıların Odaklanacakları Alanlar

Alan	Neden Potansiyeli Yüksek / Gerekliliği Unsurlar
Kültivasyon / çiftlik altyapısı (deniz / kontrollü sistemler)	Kaliteli hammadde sağlanması için; kontrollü kültür maliyetleri düşürülebilir; tür seçimleri; mevsimsellik sorunları yönetilmeli.
Ekstraksiyon / işleme teknolojileri	Aktif bileşen izolasyonu (polisakkaritler, polifenoller vs.), kirleticiden arındırma, stabil ürün formuna getirme. Bu aşama yatırım gerektiren teknolojik uzmanlık bilgisi ve tesisler gerektirir.
Üründen pazara (go-to-market) stratejileri	İlk ürünler: kozmetik içerikleri, tarım biyostimülanları, gıda katkıları olabilir. Ambalaj / biyomateryal gibi alanlar yüksek teknik bariyer ve tüketicinin kabulü gerektirir.
Destekleyici kurumsal + kamu iş birlikleri	AR-GE hibeleri, üniversite-sanayi iş birlikleri, deniz araştırma kurumlarının katkısı; regülasyon destekleri; deniz kıyısı izinleri; çevre etki izinleri gibi altyapı.
Sürdürülebilirlik & sertifikasyon	Çevresel etkisi, karbon ayak izi, biyolojik çeşitlilik üzerindeki etkiler, ürün güvenliği/temizlik gibi konular yatırım kararını etkiler.
Pazar bilinci & farkındalık	Yerel tüketicinin ve endüstrinin sürdürülebilir alg ürünlerine, biyomalzeme alternatiflerine aşinalığı artırılmalı; markalaşma, eğitim, iletişim önemli.

Tablo 7: Mavi Ekonomi Alanında Seçilmiş Uluslararası ve Türk Yatırımcılar

Yatırımcı	Ülke	Odak Alanı	İlgili Sektörler	Açıklama
Hatch Blue	İrlanda	Sürdürülebilir Akuakültür	Rejeneratif akuakültür, akuakültür teknolojileri, "mavi karbon", alternatif deniz ürünleri.	"Mavi ekonomi" alanında küresel olarak en aktif firmalardan biridir. Makroalg projelerini açıkça desteklemektedir.
Blue Revolution Fund	İrlanda	Erken Aşama Akuakültür	Akuakültür, "mavi karbon", deniz yosunu ve çift kabuklu çiftlikleri.	Hatch Blue tarafından yönetilen fon, çevresel ve sosyal etki hedefleriyle yatırım yapar.
Boğaziçi Ventures	Türkiye	İnovatif Girişimler	Derin teknoloji, yapay zeka, finansal teknolojiler, tarım teknolojileri.	Türkiye'deki derin teknoloji girişimlerine odaklanır, akuakültür veya biyoteknoloji projelerine ilgi duyabilir.
Revo Capital	Türkiye	Teknoloji Girişimleri	B2B bulut, yapay zeka, siber güvenlik, finansal teknolojiler.	Türkiye, Doğu Avrupa ve Baltıklar'da teknolojiye dayalı girişimlere yatırım yapar.
Diffusion Capital Partners	Türkiye	Derin Teknoloji	Yaşam bilimleri, tarım teknolojileri, enerji ve çevre.	Teknoloji yoğun ve karmaşık problemleri çözen startaplara yatırım yapar. Makroalg biyoteknolojisi projeleri için uygun bir profildir.
TEB Portföy	Türkiye	Biyoteknoloji Fonları	Sağlık ve biyoteknoloji endüstrisi.	Makroalglerin ilaç ve nutrasötik uygulamalarına odaklanan projeler için potansiyel bir finansman kaynağı olabilir.

BÖLÜM VI

Makroalg Bazlı Ürünlerin Potansiyel Kullanım Alanları ile İlgili Görüşler

Deniz yosunu olarak da adlandırılan makroalgler, çok hücreli, suda yaşayan fotosentetik organizmalardır. Okyanuslarda, özellikle kıyı bölgelerinde bol miktarda bulunurlar; burada kayalara ve diğer katı yüzeylere tutunabilir veya serbest yaşayan formlar olarak var olabilirler. Deniz ortamındaki önemli fotosentetik organizmalardan biri olan makroalgler, özellikle gıda ve ilaç üretimi olmak üzere çeşitli alanlarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Geniş dağılımları, kolay erişilebilirlikleri ve karbon yoğunlaştırma mekanizması yoluyla karbondioksiti sabitlemedeki yüksek verimlilikleri göz önüne alındığında, bol miktarda besin veya metabolit üretebilirler.

Dahası, makroalgler atık su arıtımında azot ve fosfor bazlı maddeleri özümseyerek yüksek seviyelerde biyoaktif madde biriktirebilirler. Bu inceleme, esas olarak makroalglerin dağılım özelliklerini ve gıda, ilaç ve çevre iyileştirme alanındaki benzersiz biyoaktif uygulamalarını ele almaktadır. İşlevsel bileşenleri ve biyoaktif maddeleri gıda üretimi ve/veya ilaç geliştirmede faydalıdır. Makroalglerin atık su ve atık gaz arıtımı ile birlikte kaynak kullanımı, biyoaktif madde üretimi için sürdürülebilir bir yol sağlayacaktır.

Konu ile ilgili olarak görüşlerine başvurduğumuz biyostimülan üretiminde hammadde olarak değerlendirmeye yönelik Ar-Ge projeleri yürüten **Technical University of Munich Öğretim Görevlisi Dr. Merve Kaya**; Avrupa'da alglerin özellikle balık yemi, gübre gibi alanlarda birçok ürünün içine bir şekilde katıldığını ve bu türlü bir karışımda yer alacak olan alglerin ekstraksiyonun en önemli faktörlerden biri olduğunu vurgulamıştır. Dr. Merve Kaya başta Kanada, Çin, Japonya ve Tayland olmak üzere farklı ülkelerden bu türlü ürünlerin ticari olarak piyasaya sürüldüğünü ve ticarileşme sürecinde sektörlerde uygun ekstraksiyon yapılabildiği takdirde müşteri potansiyelinin söz konusu sektörlerde yüksek olduğunu belirtmektedir. Türkiye piyasası incelendiğinde Türkiye'de makroalg sektörü henüz başlangıç aşamasında olsa da hızlı bir ilgi artışı olduğu görülmektedir. Üniversitelerdeki araştırmalar ve küçük ölçekli girişimler sayesinde farkındalık yükselmektedir. Bu farkındalık değişiminin tabanında ise sürdürülebilirlik ve karbon ayak izinin azaltılması ile sağlık ve fonksiyonel gıdalara olan ilginin artması paralelinde döngüsel ekonomi ve biyoplastiklere yönelimdeki yükseliş trendi olduğunu söylemek mümkündür.

Türkiye'de makroalg sektörünün henüz başlangıç aşamasında olsa da yükseliş trendinde olduğunu belirten Dr. Merve Kaya, alglere yönelik olarak hızlı bir ilgi artışı olduğunu ve üniversitelerdeki araştırmalar ve küçük ölçekli girişimler sayesinde farkındalığın yükseldiğini belirtmektedir. Bu alandaki gelişmeleri tetikleyen küresel mega trendlerin başında sürdürülebilirlik ve karbon ayak izinin azaltılması ve döngüsel ekonomi ve biyoplastiklere yönelim gibi faktörlerin yanında sağlık ve fonksiyonel gıdalara olan ilginin artmasının da yer aldığını belirten Dr. Merve Kaya; Türkiye'nin bu sektörde sahip olduğu güçlü yönleri zengin kıyı ekosistemleri, üniversitelerde aktif araştırma grupları, genç girişimcilik ekosistemi olarak belirtmektedir. Düzenlemelerde netlik eksikliği (örneğin organik gübre yönetmeliğinde henüz alg bazlı biyostimülanlar net değildir) yatırımcı ilgisinin sınırlı olması gibi hususların sektörün

zayıf noktaları olduğunu vurgulayan Dr. Merve Kaya, yapmakta olduğu çalışmalarda özellikle kahverengi alglerden (*Laminaria*, *Sargassum*) polisakkarit ekstraksiyonu üzerine çalıştıklarını belirtmiştir.

Kahverengi alglerden elde edilen alginatların (tohum kaplama endüstrisinde kullanımındaki artış) nispeten daha yüksek ticari potansiyeli olduğunu vurgulayan Dr. Merve Kaya; Türkiye’de algler ile ilgili yapılan çalışmalar ile ilgili olarak Türkiye’de oldukça iyi bir akademik bilgi birikimi olduğunu ve özellikle Ege ve Karadeniz kıyılarında araştırma projeleri yürütüldüğü ancak uluslararası ölçekte ticarileşmiş ürün sayısının henüz düşük olduğunu vurgulamaktadır. Türkiye’de çıkarılan yayın sayısı bakımından nitelik ve nicelik açısından güçlü olursa da, patent ve girişime dönüşme oranında yeterli seviyenin henüz yakalanmadığını belirten Dr. Merve Kaya, mevzuat, yatırım, girişimcilik veya kamu politikaları açısından bu alanın önünü açacak adımları; girişimcilere Ar-Ge teşvikleri, pilot üretim tesisleri için kamu destekleri ve üniversite-sanayi iş birliğinin artırılması olarak sıralamaktadır.

Özellikle genç araştırmacıların girişimcilik fikrine daha açık olduğunu, alg bazlı biyo-malzeme ve fonksiyonel gıda startuplarına ilgi gösterdiklerini belirten Dr. Merve Kaya, Türkiye’den çıkan yeni nesil biyoteknoloji girişimlerinin Avrupa pazarına açılma potansiyelini gerekli zemin sağlanırsa yüksek katma değerli başarılar elde edebilecekleri şeklinde değerlendirmiştir. Makroalg temelli ürünlerin Türkiye’de niş bir araştırma alanından çıkarak daha geniş bir ticari ekosisteme dönüşmesinin muhtemel olacağını vurgulayan Dr. Merve Kaya, özellikle sürdürülebilir ambalaj, hayvan yemi ve fonksiyonel gıda ürünleri alanında hızlı büyüme görülebileceğini ve aynı zamanda, kamu politikalarının da bu dönüşümü destekleyeceğini belirtmiştir.

Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi Biyoloji Bölümü Öğretim Görevlisi Gülay Karagülle’ye göre mikro ve makro ölçekte alg sektörünün gelişimi, yarattığı katma değere bağlı olarak son 5 yılda hız kazanmıştır. Bu gelişimin somut kanıtının ise gerek TÜBİTAK gerekse bakanlığın bu konuda destekler vermesi olduğunu belirtmektedir. Karagülle’ye göre her ne kadar iklim krizi sektörü olumsuz olarak etkilese de Türkiye’de bunların üretimine uygun iklim olmasının önemli bir avantajı vardır. Ancak bu alanda çok fazla akademisyen olmaması ve birçok yan ürün ya da reaktör gibi kullanılacak makinelerin yurt dışından gelmesi gibi bazı dezavantajlı noktalar sektörün gelişiminin hızını yavaşlatmaktadır. Gülay Karagülle *Gracilaria dura*, *Sargassum acinarium* gibi çeşitlerin özellikle fonksiyonel gıda da çok değerli olduğunu belirtmiş ve sektörün bu alanda gelişeceğini düşündüğünü söylemiştir. Teknokent bünyesinde kurmuş olduğu şirket ile üretim yapan Karagülle’ye göre bu alanda çok fazla çalışan akademisyen olmaması ve çalışmaların multi disiplinler yapılmaması nedeniyle ortaya çıkan çıktıların uluslararası örneklerine göre zayıf kaldığı görülmektedir. Özellikle kozmetik alanında ürün çeşitliliğinin artacağı ve gıda takviyelerinde yoğun kullanılacağını belirten Karagülle özellikle mikroalg tarafında atık su arıtma konusunda da sektörün büyüyeceğini öngördüğünü belirtmiştir. Girişimcilik ve kamu politikaları alanında yaşanan en büyük sıkıntının mevzuattan ziyade yatırım sorunları olduğunu belirten Gülay Karagülle, öncelikli olarak destek mekanizmalarının güçlendirilmesi gerektiğini düşündüğünü belirtmektedir.

Uzmanlık alanı bakteriyoloji, böceklerle mücadele, bitki hastalıkları ile mücadele olan ve bu nedenle ağırlıklı olarak mikrobiyal gübre ve biyopestisit üretimine yönelik çalışmalar yapan **Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Bitki Koruma Bölümü Öğretim Üyesi Prof. Dr. Recep Kotan** ise Türkiye'ye dışarıdan ciddi bir deniz yosunu girişi olduğunu ve bu yosunların tarımda kullanılan diğer gübrelere katılarak kullanıldığını belirtmektedir. Kotan'a göre, sürdürülebilirlik ve iklim krizi gibi faktörler ile tetiklenen bu sektörde fazla ürün toplanmamakta ve bu yönde Ege Bölgesi ile sınırlı olmak üzere yetiştiriciliğin de çok az olduğunu akıldan çıkarmamak gereklidir. Ayrıca; Kotan'a göre Çin örneği önemli bir örnek olarak ele alınmalıdır. Bu ülkede 261 bin ton doğadan toplanmakta ama kültür yoluyla üretilen 14 milyon tona yakın bir alg kapasitesi söz konusu olmaktadır. Kendilerinin yaptıkları çalışmalarda genellikle *Clodielle* ve *Spirulina* türlerinin kullanıldığını belirten Kotan, bu türlerden genellikle mikrobiyal gübre ve biyopeptisit üretildiğini belirtmektedir. Türkiye'deki bilimsel üretim ve projeler, uluslararası düzeyle kıyaslandığında bilimsel araştırma boyutunda eksik tarafımızın olmadığını ancak Türkiye'nin ürün çıkarma, patent alma, sanayiye entegre etme gibi konularda çok geride olduğunu belirten Kotan'a göre, özellikle peptisitler konusundaki mevzuat ürünlere ruhsat alınması kısmında zorlayıcı olmaktadır. Makroalg sektörünün önümüzdeki 5–10 yıl içinde, sürdürülebilirlik ve iklim krizi konularının gündeme sık sık gelmesi sebebi gelişeceğini ve organik tarımın daha çok artacağını vurgulayan Prof. Dr. Recep Kotan; bu artışın mikrobiyal gübre ve biyopestisitlerle olacağını vurgulamaktadır.

Akademik anlamda çok farklı projelerde hem mikroalg hem de makroalgler ile çalışmalar gerçekleştiren **İstanbul Gelişim Üniversitesi Mimarlık Bölümü Öğretim Üyesi Dr. Nevzat Ömer Saatçioğlu** ise, alglerin genel olarak ilk kullanım amacı olan arıtma işlevinde özellikle büyükşehir belediyeleri tarafında yaygın olarak kullanılmaya başlandığını ancak gıda, inşaat, malzeme, kompost, enerji üretimi, gibi sektörlerde aynı gelişmenin henüz görülmediğini ve özellikle inşaat sektörünün hantal ve tutucu yapısı nedeniyle fikirlerin uygulama aşamasına geçişini geciktirdiğini belirtmektedir. Algler ile ilgili gelişmeleri tetikleyen küresel mega trendler ile ilgili olarak şehir ölçeğinde yapılabilecek uygulamaların, suyun arıtılması, havanın temizlenmesi, enerji üretimi bakımından çok değerli ve çok potansiyelli olduğunu belirten Dr. Nevzat Ömer Saatçioğlu; bina-mimarlık ölçeğinde verim-ilk yatırım maliyeti gibi kıstaslardan uygulamanın zorlaştığını belirtmiştir. Saatçioğlu'na göre; uygulama esasında üst ölçekten tüm şehrin altyapısı adım adım dönüştürülmeli ve çok yönlü kazanımlar yerel olarak elde edilmelidir. Bu yönde yapılacak olan çalışmalar neticesinde denizlerin, örneğin Marmara Denizi'nin kanalizasyon atıklarının aktığı ve toplandığı bir yer olarak kullanılması bu yöntemle engellenebilecektir. Genel uygulama kapsamında bütüncül planlamanın etap etap şehir ve bölge özeline indirgenmesi gerektiğini belirten Saatçioğlu; bu yönde yapılacak olan yatırımın karşılığının fazlası ile geri döneceğini belirtmektedir. Türkiye'nin bu sektörde sahip olduğu güçlü ve zayıf yönleri de değerlendiren Dr. Nevzat Ömer Saatçioğlu; bütüncül üst ölçek planlama eksikliği, genel olarak algin potansiyelinin bilinmemesi ve yeterli sayıda teknik elemanın olmaması gibi unsurların bazı dezavantajlar yarattığını belirtmektedir. Yurt dışında artan kullanım ve ölçekli uygulamaların Türkiye 'de belediyelerin ilgisini çektiğini ve yerel küçük ölçekli deneysel-gözlemsel-uygulama havuzları oluşturulduğunu belirten Saatçioğlu; doğru yönlendirmeler neticesinde özellikle ilaç ve kozmetik alanlarında alglerin ticari

değerinin yüksek olacağını belirtmektedir. Kent ölçeğinde ise ilk yatırım ve işletme maliyetlerinin yüksek olma ihtimaline karşın arıtma ve enerji üretiminin kazançlı olabileceğini belirtmektedir.

Türkiye'deki bilimsel üretim ve projelerin sınırlı ve küçük ölçekli çalışmalar olduğunu ve büyük ölçekli ve multidisipliner araştırma projelerine ihtiyaç olduğunu belirten Saatçioğlu; bu yönde yapılabilecek olan çalışmalar kapsamında büyük arıtma sistemleri altyapısı ve yatırımlarının önemli bir kısmının Avrupa Birliği Araştırma ve Uygulama fonlarından karşılanabileceğini vurgulamıştır. Ama bunun için de plan, proje ve araştırma faaliyetlerinin, kamu, üniversite ve belediye işbirlikleri gerçekleştirilebileceğini eklemiştir.

Saatçioğlu'na göre özellikle kompost, enerji üretimi ve atık su arıtım alanı başta olmak üzere alg üretim tesislerinin kurulmasıyla, farklı sektörlerde, farklı kullanım olanaklarına bağlı ve farklı işlevler için farklılaşan "hammade" üretimi gerçekleştirilebilecektir. Saatçioğlu'na göre özellikle alg temelli arıtma teknolojileri, atık su arıtımı, hava kalitesinin iyileştirilmesi ve biyoenerji üretimini aynı ekosistemde birleştiren yüksek potansiyelli bir çözüm olarak karşımıza çıkmakta ve bu yaklaşım karbon ayak izini azaltarak; denizlerin, nehirlerin ve yeraltı su kaynaklarının atık su yükünü düşürmekte ve arıtılmış suyun yeniden kullanımını mümkün kılmaktadır. Bu süreçte oluşan alg biyokütlesi kompostta dönüştürülebilir ve biyogaz/biyoyakıtı çevrilerek enerji üretiminde değerlendirilebilecektir. Toplumsal ve çevresel getiriler dikkate alındığında, bu sistemlerin belediyeler tarafından yaygın biçimde uygulanması ve ilgili mevzuatta zorunlu hale getirilmesi gerekir.

Gıda sektörüne yönelik çalışmalar yürüten ve hem mikro hem de makro alglerle fonksiyonel gıdalar üretilmesi üzerine çalışan **Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi Biyoloji Bölümü Öğretim Üyesi Doç. Dr. Murat Telli**; algler üzerine çalışan şirketlerin sayısının son 5 yılda oldukça arttığını ancak bu şirketlerin büyük bir kısmının küçük işletmeler ya da start-uplar olduğunu ve bu sektörde faaliyet gösteren büyük firmaların esnek ve multidisipliner ekipler kurması gerektiğini belirterek küçük firmaların bu çalışmalarını yürütecek sermayeleri olmadığını ve bu yüzden de start-uplarla büyük firmalar arasında iş birliğinin mutlaka kurulması gerektiğini belirtmektedir. Bu alandaki gelişmeleri tetikleyen küresel mega trendlerle ilgili olarak ise karbon emisyonu olaylarından sonra alglere gösterilen ilginin arttığını 1 gramlık kuru ağırlık algin 5 gram kadar CO₂ tuttuğunu ve bu yüzden alglerin çözüm olarak birinci sırada geldiğini belirtmektedir. Türkiye'de uygulamaya konulan yeni çıkan teşviklerin sektörü olumlu yönde etkilediğini belirten Telli; Türkiye'deki iklim yapısının özellikle çeşit yetiştirilmesi konusunda uygun olduğunun altını çizmiş sektörün zayıf yönlerinin başında çalışan kişi sayısının az olması faktörü olduğunu belirtmiştir. Doç. Dr. Murat Telli'ye göre özellikle birçok yan ürün ya da reaktör gibi kullanılacak makinelerin yurt dışından gelmekte ve bu husus maliyetler açısından olumsuzluk olarak algılanmasına karşın rekabetin azlığı açısından da bu bir avantaj olarak değerlendirilmelidir. Sektörün bir diğer zayıf yönü de yatırımcıların Ar-Ge'ye dayalı yatırım kavramını bilmemeleridir. Telli'ye göre *Spirulina* ve *Chlorella* türleri özellikle gıda, medikal ve kozmetik alanlarında sektöründe ön plana çıkmaktadır.

Türkiye’deki bilimsel üretim ve projeler, uluslararası düzeyle kıyaslandığında, alanda çok fazla çalışan akademisyen olmadığını belirten Telli, çalışmalar multi-disipliner yapılmadığı için uluslararası örneklerine göre zayıf kaldığını vurgulamaktadır. Makroalg sektörüne önümüzdeki 5–10 yıl içinde daha çok talep geleceğine inandığını belirten Telli; ürünlerin son tüketici tarafından tanındığını ve talepteki muhtemel artışa bağlı olarak yatırım ekosisteminin de gelişeceğini ve aynı zamanda karbon emisyonu vergilerinin bu alanın gelişmesini sağlayacağını belirtmiştir.

Sinop Üniversitesi Su Ürünleri Fakültesinde görev yapan Prof. Dr. Levent Bat, Sinop kıyılarında yayılış gösteren makroalg türlerinin teşhisi ve ekolojik stokiyometrisi üzerine çalışmalar yürütmekte ve Sinop kıyılarında bulunan baskın makroalglerdeki ağır metal miktarlarını tespit edilmesi ve bu türlerin biyomonitör olarak kullanılabilirliğini araştırması konularında çalışmalarda bulunmuştur. Kahverengi alglerden *Cystoseira* ve yeşil alglerden *Ulva* (deniz marulu) türleri üzerine çalışmalar yürütmektedir. Bu çalışmalar; alg dokularında biriken ağır metal konsantrasyonlarının, buldukları ortamdaki su ve sedimandaki metal konsantrasyonlarıyla karşılaştırılması, biyomonitör olarak kullanılabilirlikleri ile gübre ve biyoplastik denemeleri üzerinedir. Bat’a göre; projelerin ve akademik çalışmaların yapılması, Türkiye’de var olan makroalglerin değerlendirilmesi konusunda önem taşımaktadır. Bu bağlamda, MACRO CLEAN Projesi de oldukça önemlidir. Çünkü makroalglerin farklı kullanım alanlarına yönelik olup (gübre ve biyoplastik), sektörel gelişime katkı sağlayacaktır. Türkiye potansiyeli olan bir ülkedir. Özel sektör ve kamu kuruluşları arasında işbirlikleri, var olan potansiyeli arttırmak için şarttır. Sadece yenilebilir algler konusunda toplumsal bir önyargı vardır. Görüntüsü, kokusu, dini inanışlar gibi sebeplerden dolayı insanlar tüketmeyi çok tercih etmemektedir. Bu konuda, çalışmalar mevcut olsa da yenilebilir makroalglerin pazarlanmasına ve yaygınlaşmasına engel olmaktadır. Makroalgler, önemli karbon yutaklarıdır. Fotosentez yoluyla yüksek miktarda karbondioksiti tutarlar. İklim değişikliğiyle mücadelede doğal bir çözüm sunarlar. Bu özellikleriyle, küresel ölçekte karbon emisyonlarının azaltılmasında rol alırlar. Makroalgler hızla büyüyen ve gelişen organizmalardır. Hızla büyümeleri sonucunda ötrofikasyon sorununa neden olmaktadır. Toplanan makroalglerin biyoplastik, gübre ve biyoyakıt gibi ürünlere dönüştürülmesi günümüzde öne çıkan yenilikçi yaklaşımlardan biridir. Algler doğal, sağlıklı, fonksiyonel ve yenilikçi gıdalar olarak da değerlendirilmektedir. Yüksek vitamin, mineral ve protein içerikleri sayesinde özellikle gıda ve kozmetik sektörlerinde tercih edilen değerli hammaddeler arasındadır.

Prof. Dr. Levent Bat’a göre; günümüzde çevre dostu ürünlere yönelim vardır. Dünya nüfusunun büyümesiyle birlikte, fosil kaynakların hızla tükenmesi söz konusudur. Makroalglerin düşük maliyeti, sürdürülebilir üretim için ideal hammadde olarak tercih edilme sebebidir. Türkiye’nin üç tarafının denizlerle çevrili olması, kıyı bölgeleri boyunca farklı makroalg türlerinin bulunmasına olanak sağlamaktadır. Gelişen teknoloji ve çevre dostu ürünlere artan yönelim sayesinde, özel ve kamu kuruluşları makroalglerin potansiyel kullanım alanlarına yönelik çalışmalarını yoğunlaştırmıştır. Akademik araştırmalar ise daha çok tür teşhisi, ekolojik özellikler ve biyoteknolojik uygulamalar üzerine odaklanmaktadır. Karbon

yutakları, alternatif besin kaynağı olma potansiyeli ve çevre dostu ürünlerde kullanılabilirliği, Türkiye'nin bu sektörde sahip olduğu güçlü yönleridir.

Makroalglerin ürüne dönüştürülmesi akademik araştırma düzeyinde kalmıştır. Ticari ölçekte değildir. Yaygınlaştırılması için güçlü sanayi yatırımları ve ileri teknoloji gereklidir. Ancak Türkiye'de gerekli yatırım ve teknolojiler yoktur. Düzenleyici uygulamalar bulunmamaktadır. Mevzuatlar ve bilgilendirme çalışmaları Türkiye'nin bu sektörde sahip olduğu zayıf yönler olup, gerekli düzenlemeler ve toplumun bilinçlendirilmesiyle geliştirilebilir.

Biyoteknoloji, çevresel uygulamalar veya ilaç, kozmetik alanlarında daha yüksek ticari potansiyeli olan ürünler ile ilgili olarak yapılan akademik çalışmalar sonucunda, kırmızı alg türlerinin agar ve karajen üretiminde temel kaynak olduğu ve bu nedenle özellikle jel kıvam verici olarak tercih edildiği bilinmektedir. Kahverengi alglerin daha çok biyoplastik, biyoyakıt ve gübre üretiminde kullanıldığı, yeşil alglerin ise yüksek protein, vitamin ve mineral içerikleri sayesinde fonksiyonel gıda ve yem katkısı olarak değerlendirildiği söylenebilir. Türkiye'de makroalg alanındaki bilimsel üretimler ve projeler artıyor olsa da, ağırlıklı olarak ekolojik izleme, taksonomi gibi konulara yoğunlaşmaktadır. Fransa'da, Yeni Zelanda'da ve Asya ülkelerinde makroalglerle ilgili birtakım regülasyonlar mevcuttur. Türkiye'de makroalg içeriklerine dair herhangi belirlenen bir standardizasyon yoktur.

Prof. Dr. Levent Bat; Türkiye'de deniz yosunu yetiştiriciliğinin istatistiksel olarak yerleşik bir alt sektör olmadığını makroalg üretiminin neredeyse tamamının Asya ülkeleri tarafından yapıldığını ve ticarileşme konusunda da Türkiye'nin Norveç, Fransa, İspanya gibi ülkelerin oldukça gerisinde olduğunu belirtmektedir. Mevzuat, yatırım, girişimcilik veya kamu politikaları açısından bu alanın önünü açmaya adına:

- Değerlendirilebilecek olan makroalg türleri listelenebilir (Örneğin Centre d'Étude et de Valorisation des Algues (CEVA) 25 makroalg türü regülasyonlara sahiptir).
- Kıyı alanlarında yosun yetiştiriciliği zonları ayrılabilir.
- TÜBİTAK, KOSGEB gibi ulusal fon ve teşvik programları açılabilir.
- AB fonlarına katılım desteklenebilir.
- Kredi destekleri verilebilir.
- Kamu-özel sektör işbirliği projeleri teşvik edilebilir.
- Üniversitelerde eğitim ve araştırma kapasitesi artırılabilir.
- Tüketiciler için farkındalık çalışmaları, yaygınlaştırmalar yapılabilir.

Ekibi ile pilot çalışmalar yürütmekte olduğunu belirten Levent Bat, gübre denemelerinin (katı, sıvı ve kompost olarak) üniversitenin bahçesindeki serada yetiştirilen çilek ve marul bitkileri üzerinde uygulanacağını ve bu yönde çilek ve marulun, kolay yetiştirilebilen ve kısa sürede sonuç alınabilecek türler olarak seçildiğini belirtmiş ve ön biyoplastik çalışmalarının da devam ettiğini eklemiştir.

Gelecek ile ilgili projeksiyonlarında, önümüzdeki 5–10 yılın pilot uygulamalar açısından öne çıktığını vurgulamıştır. Bat'a göre Sinop, mavi ekonomi ve mavi büyüme kapsamında bölgesel

bir üretim merkezi olarak değerlendirilebilecek ve mevzuat ve yatırım destekleri sağlandığı takdirde, sektör 10 yıl içerisinde önemli bir endüstri haline gelebilecektir.

Sonuç olarak; Makroalgler mavi ekonomi için önemlidir. Sağlık, ekolojik ve ekonomik olarak potansiyelleri yüksektir. Makroalgler çevre dostu ürünler olmasıyla birlikte, karbon tutma, su kalitesini iyileştirme ve ekosistem hizmetleri açısından da önemlidir. Kullanım alanları geniştir. Bu yüzden öncelikle standardizasyon geliştirilmelidir. Mevzuatlarda makroalg konusu mutlaka değerlendirilmelidir. Fonlar, teşvikler ile girişimcilik desteklenmelidir. Pilot çalışmalar arttırılarak, bölgesel kalkınma için Türkiye üretim yeri olarak değerlendirilmelidir.

Görüşlerine başvuru, özellikle yem sanayine yönelik alg tabanlı bilimsel araştırmaların üretime geçişi üzerine danışmanlık veren **PETIMORE firması kurucu ortağı Emre Yakup Aysan**; balık yemleri konusunda renk ve tat verici olarak alglerin kullanıldığını, artık besleme değeri olarak da kullanılmasına yönelik çalışmalar olduğunu ve bu yöndeki çalışmaların geliştirilmesinin en önemli nedeninin iklim krizi olduğunu belirtmiştir. Türkiye'nin endüstrileşmesinin çok geç olduğu için birçok ülkeden toprak ve su yapısının daha temiz olduğunu ve bu sayede de birçok türü henüz kaybetmemiş olduğunu belirten Yakup; Türkiye'nin iklim koşullarının birçok türün yetiştirilmesi için çok uygun olduğunu belirtmektedir. PETIMORE firmasının temelde danışmanlık hizmetleri verdiğini ve bu yüzden tedarik ile ilgili bir sorun yaşamadığını belirten Emre Yakup Aysan, ürün üretenler açısından en büyük sorunun lojistik olduğunu ve ürünlerin Uzakdoğu'dan ya da Kanada'dan geldiğini ve bu sürecin hem daha fazla karbon izi hem de daha yüksek maliyet getirdiğini belirtmektedir. Sektörün hem yem hem de insan gıdası alanlarında büyüme potansiyeli olduğunu vurgulamış, henüz çok büyük endüstriyel model oluşturan üretim tesisleri olmamasına karşın önümüzdeki beş yıl içerisinde tesis sayısının artacağını ve bu alanlarda potansiyelini yükselteceğini belirtmiştir.

Mikroalglerle yosun bazlı plastik hammaddesi geliştiren, temelde biyoplastik granüllerini üreten ve ürünleri toz halinde satan, makroalgleri de bu işlemde uyumlaştırıcı ajan olarak kullanan **PALGAE firması kurucu ortağı Eylül Er'e** göre pazar son yıllarda büyüme kaydetmektedir. Bu büyümenin altında yatan en önemli faktör ise iklim krizidir. Endüstriye yetecek kadar yoğun bir yosun olmadığını belirten Eylül Er'e göre kültür yetiştiriciliğine başlanması gerekliliği güncelliğini korumaktadır. Türkiye'nin en güçlü yönü de aslında ikliminin birçok türü yetiştirmeye uygun olmasıdır. Yosunların Vietnam'dan getirildiğini belirten Eylül Er, en büyük sorunlarının lojistikten kaynaklı karbon emisyonları olduğunu belirtmiştir. Granül şeklinde gönderimlerde sertifikasyon sorunları çıkabildiğini belirten Eylül Er, makroalg bazlı ürünlerde gelecekte büyüme potansiyeli gördüğü yeni alanları; kozmetik, doğal pigmentasyon kullanımlarında, tekstil boyası, gıda boyası gibi alanlar olarak belirtmektedir.

Çalışmaları esnasında Marmara Üniversitesi, İstanbul Üniversitesi, Boğaziçi Üniversitesi, Porto Üniversitesi ile çalıştıklarını belirten Eylül Er, makroalg sektöründe önümüzdeki 5-10 yıl içinde kullanımların daha fazla artacağını ve yosun bazlı biyoplastiklerin artışının olacağını düşündüğünü söylemiştir.

Alglerin gıda model uygulaması üzerine çalışan **Biorld Kimya kurucu ortağı Faruk Tamtürk** ise 2017'den beri bu alanda çalıştıklarını ve son 3 yıldır bu konuda ciddi bir startup artışı olduğunu, özellikle omega 3 ve protein konusunda çok büyük bir gelişme yaşandığını belirtmiştir. Aslında balıklardan elde edilen ürünlerin çok fazla ağır metal yükü taşıdığını ancak bu konu da makroalglerin önemli bir omega 3 kaynağı olduğunu belirtmiştir. Bu alandaki gelişmeleri tetikleyen küresel mega trendler arasında karbon tutma ve dönüştürme özelliklerinin ilk sıralarda geldiğini belirten Tamtürk'e göre Türkiye, üretim için çok iyi iklim şartlarına sahip ve insan kaynağı açısından güçlü bir ülkedir. Bu yüzden de bu konuda çekim merkezi haline gelme potansiyeline sahiptir. Ancak bu özelliğin gerçekleşmesi, alglerin toplanması ile değil yetiştirilmesi sayesinde olacaktır. Tedarik zincirinde karşılaştıkları başlıca zorluğu, lojistik olarak özetleyen Faruk Tamtürk; mevzuat ve yasal düzenlemeler konusunda alg ile ilgili sorun olmadığını ancak gıda üretimi sürecinde algden üretmeye yönelik bir mevzuat bulunmadığını belirtmektedir. Ürünün ana özelliklerinin yazılmadığını ve normal gıda takviyesi gibi piyasaya sürüldüğünü vurgulamıştır. Tamtürk, makroalg bazlı ürünlerde gıda sektöründe gelecekte büyüme potansiyeli gördüğünü, özellikle vegan gıda alanında da büyüme yaşanacağına inandığını belirtmektedir. Makroalglerin önümüzdeki 5-10 yıl içinde yaşanacak gelişmeler paralelinde, medikal alanlardan, kozmetiğe ve gıdaya kadar birçok sektörde kullanılacağını düşündüğünü belirten Faruk Tamtürk; yeni türlerle çalışmalar yapıldıkça ve buna uygun mevzuatlar oldukça (Uzak Doğu ve AB bunu yapıyor) çok daha fazla hayatımızın içinde yer alacağını vurgulamıştır.

Uluslararası geçerli gübre analizleri yapan, laboratuvarı olan ve kimyevi gübre, organik gübre, organo mineral gübre, bitki düzenleyiciler, toprak şartlandırıcılar üreten **Ufuk Tarım kurucu ortağı Dr. Halim Aydın**; Türkiye'de algler konusunda bir yönetmelik bulunmadığını ve bu yüzden de tescil sorunu olduğunu, ürünün tescillenirse organik gübre olarak tescillendiğini belirtmiştir. Bu tescilin alglerin biyoyararlılığını göstermediğini ve bu yüzden de alg tabanlı ürünlerin gerçek değerinin ortaya çıkmadığını vurgulamıştır. İklim krizi, organik tarımın yükselişi gibi faktörler nedeniyle sektörde pozitif yönde gelişmeler ortaya çıktığını söyleyen Aydın; Türkiye'de Bakanlığın genelde piyasanın isteklerine göre hareket ettiğini ve bu yüzden biyoyararlılığı yüksek bir ürünü araştırıp getirtmediğini ve üretimini talep etmediğini ve bu görevin genellikle özel sektör tarafından üstlenildiğini belirtmektedir. Mevzuat ve yasal düzenlemeler konusunda bazı düzenlemelerin yapılması gerektiğini belirten Aydın, alglerin ve alglerden üretilen ürünlerin organik gübre ile aynı sınıfta olmamaları gerektiğini belirtmiştir. Alglerin tarım sektöründe önümüzdeki 5-10 yıl içerisinde oldukça fazla talep göreceğini, çünkü tarımda artan verimliliğe karşın, ürünlerin nitelik problemleri olduğunu söyleyen Aydın, bu nitelikleri sağlayacak organik kaynaklara yönelmesi ve her makroalg türünün farklı nitelikler sağlamasından dolayı bu farklı niteliklerin araştırılıp, tescillenerek pazara sunulması gerektiğinin üzerinde durmuştur.

Çeşitli makro ve mikro yosunları bir araya getirerek, fermantasyon teknolojisi ile işleyerek, gıda, tarım ve kozmetik sektörüne yönelik yüksek katma değere sahip çeşitli hammadde ve ürünler geliştiren **Kybele's Garden isimli şirketin Ar-Ge sorumlusu Mehmet Can Sucu** ise bu konuda Türkiye'de en çok kabul gören sektörün gübre sektörü olduğunu ve neredeyse her

gübre firmasının bu konuda ürünü olduğunu belirterek bu alandaki gelişmeleri tetikleyen küresel mega trendlerin başında iklim krizi ve sürdürülebilirliğin geldiğini belirtmiştir. Sucu'ya göre; halihazırda gübre sektöründe oturmuş pazar bulunmakta ancak gıda alanında özellikle kültürel sebeplerden dolayı sektörün yapısı oldukça zayıf gözükmektedir. Tedarik zincirinde karşılaştıkları başlıca zorlukları, yerelde tedarikçi olmaması, yurt dışından hammadde getirmenin maliyetinin yüksek olması ve sürdürülebilir bir proses ortaya koyarken karbon emisyonlarının fazla olması olarak yorumlayan Sucu, mevzuat ve yasal düzenlemeler konusunda karşılaşılan sorunların temelde son ürün geliştiriciler, özellikle gıda tarafında, regülasyon sorunları olarak ortaya çıktığını belirtmektedir. Makroalg bazlı ürünlerde gelecekte büyüme potansiyeli görülen alanları tarım sektörü, gıda sektörü ve kozmetik sektörü olarak sıralayan Sucu, önümüzdeki 10 yıl içinde pazarın gelişeceğini, yeni türlerle çalışmaların başlayacağına ve özellikle biyoteknoloji alanında yaygın kullanımlar oluşacağını beklediğini belirtmiştir. Ürün geliştirme konusunda regülasyon düzenlemeleri yapılması gerektiğini ve sadece regüle ürünlerle çalışınca yeni ürün geliştirmenin zor olduğunu belirten Sucu, diğer türlerle çalışabilmek için regülasyonların olması gerektiğini ve izin süreçlerinin 1,5-2 yılı bulmasının ürünün ticarileşmesini geciktirdiğini belirtmiştir.

Mikroalgler ile çalışarak alg yetiştiren ve *Chlorella*, *Scenedesmus* gibi türleri önce atık su arıtmada kullanan ve sonrasında da biyoyakıt, biyoplastik gibi malzemeler üreten ve atık su arıtımı karbon yakalama ve bunların Ar-Ge'si konusunda hizmet veren **Algio şirketi kurucu ortağı Selen Şenal** ise makroalg temelli ürünlerin 5 yıl önce sadece gıda alanında bağlayıcı olarak düşünüldüğünü, ancak artık gıda da bile fonksiyonel gıdalar konuşulurken, kozmetik, su arıtma, biyoplastik, gübre gibi sektörlerde kullanımın başladığını ve bu alanlarda firmaların da oluştuğunu söylemiştir. Türkiye'de algler ile uğraşan kişilerin Avrupa'daki gibi çok olmadığını vurgulayan Şenal, genellikle akademisyenlerin kurdukları startupların bu yönde faaliyetleri olduğunu altını çizmektedir. Karbon yakalama, depolama dönüştürmenin alg pazarını özellikle Avrupa'da büyüttüğünü belirten Şenal, bunun temelinde sürdürülebilirlik ve iklim krizi olduğunu vurgulamaktadır. Türkiye'de alg üretim hacminin yok denecek kadar az olduğunu belirten Şenal, Türkiye'de reaktör üretiminin de çok fazla olmadığını, tedarikçi sayısının az olduğunu, hammadde tedariklerinin genelde üniversitelere bağlı olduğunu ancak üniversitelerin bu ürünleri ticari kullanım için vermediğini belirtmektedir. Algin kendisi ile ilgili mevzuat açısından engel olmadığını ancak algden üretilen ürünlerle ilgili mevzuat eksiklikleri olduğunu belirten Şenal, biyoyakıt ve biyoplastik gibi alanların popülerliğini koruduğuna ancak ürünün tıptaki değerinin yeni anlaşıldığına dikkat çekmektedir. Şenal'a göre, bitkisel bazlı proteinler, vegan gıda konusunda gelecekte aktif bir nitelik taşıyacaktır. Makroalg sektörü önümüzdeki 5-10 yıl içinde özellikle havacılık yakıtlarına ve vegan proteinlere yönelecek ve sınırdaki karbon uygulamaları alg sektörünü geliştirecektir.

Çukurova Üniversitesi Su Ürünleri Fakültesi Deniz Bilimleri Ana Bilim Dalı Öğretim Üyesi Prof Dr. Oya Işık, çalışmalarının odak noktasının algal yağlar ve alg pigmentasyonu olduğunu belirterek, makroalgler ile ilgili çalışmalar gün geçtikçe artmakta olduğunu ve birçok yerden stok kültür talepleri olduğu söylemiştir. Akademik olarak çok çalışma olmasına rağmen büyük

hacimli üretimlerin yok denecek kadar az olduğunu ve yalnızca toplama alternatifinin ise ticari düşünmeyi zorlaştırdığını özellikle vurgulamıştır.

Işık'a göre, gelişmeleri tetikleyen küresel mega trendlerin arasında sürdürülebilirliğin başı çektiği alg sektöründe Türkiye'de ciddi yatırımlar olması gerekirken yatırım yapan sayısı oldukça azdır. Yatırım ortamında yaşanan zorluklara karşın ülkemiz ikliminin birçok alg türünü yetiştirmeye uygun olması yurtiçi piyasayı ilginç kılmaktadır. Gıda, balık yemi, gıda takviyesi ve gübre sektörlerinde yüksek ticari potansiyel olduğunu vurgulayan Işık, bilimsel projeler bazında Türkiye'nin güçlü olduğunu ve bu yönde çok iyi araştırmalar olduğunu belirtmektedir. Mevzuat, yatırım, girişimcilik veya kamu politikaları açısından bu alanın önünü açacak en önemli gelişmenin yatırım imkânının artırılması olduğunu belirten Prof Dr. Oya Işık, 20 yıl öncesine kadar alglere talebin bile olmadığını ancak artık tüketiciden ciddi talep olduğunu ve bu yüzden gelecekte talebin daha çok artacağını düşündüğünü belirtmiştir. İlerleyen dönemlerde özellikle karbon yutakları açısından da alglere yönelmek dışında bir şans kalmayacağını belirten Prof Dr. Oya Işık, sektörde yaşanacak olan gelişmelere bağlı olarak destek mekanizmalarının artırılması gerektiğini belirtmektedir.

Türkiye'de kitlesel fonlama alanında faaliyet gösteren **Fon Angels Genel Müdürü Mustafa Şipka**'ya göre alg sektörünün niş yapısı sektördeki oyuncu sayısını sınırlı olarak belirlemektedir. Sürdürülebilirlik ve karbon sıfır gibi unsurların bu alandaki gelişmeleri tetikleyen küresel mega trendlerin başında geldiğini belirten Şipka; kendilerine konu ile ilgili herhangi bir girişim başvurusu olmadığını mevzuat açısından fikir aşamasında bile fonlama yapabildiklerini belirtmektedir. Bu tarz girişimlerde çok uzun Ar-Ge süreçleri olduğunu ve bu yüzden ürünün yaşam döngüsünü beşe bölüp, son aşamaya gelmesini beklemeden, ara ürünlerle piyasaya çıkmaları gerektiğini belirtmektedir. Bu alanda yatırım yapılabilir bir girişimin sahip olması gereken en kritik özellikler ile ilgili olarak ürünün belli kurumlarla birlikte PoC yaparak geliştirildiği durumlarda yatırımcıya en azından güven verebileceğini vurgulamış ancak Türkiye'de yatırımcıların uzun Ar-Ge süreçlerini beklemediğini de belirtmiştir. Önümüzdeki 5 yıl içinde makroalg temelli girişimlerin yatırım açısından potansiyelinin, talebin yükselmesine bağlı olarak, yatırım şansını arttıracığının altını çizmiştir.

Atık yönetim şirketi olarak faaliyet gösteren ve 500 km'lik bir kıyı şeridinde hem kara hem de deniz tarafında temizlik yapan **İSTAÇ A.Ş. Ar-Ge Şefi Mehmet Gençosmanoğulları** ise Ar-Ge bazında çok gelişmiş projeler olduğunu ancak alglerin toplanması ve ayrıştırılması için büyük yatırımlar gerektiğini ve bu noktada İSTAÇ'ın toplanan alglerin değerlendirilmesi yönünde Ar-Ge projeleri hazırladığını belirtmiştir. Algler ile ilgili gelişmeleri tetikleyen küresel mega trendlerin başında iklim değişikliği olduğunu belirten Gençosmanoğulları hem karbon emisyonları hem de deniz kirliliği açısından kötüye bir gidiş olduğunu vurgulamıştır. Türkiye'de çalışan bilim adamlarının sayısı ve niteliğindeki artış, farkındalıkların oluşması, konuyla ilgili teşviklerin çoğalması gibi olumlu ve güçlü yanların yanında algleri organize etmenin ve toplamanın maliyetli olması ve bu maliyetler nedeniyle büyük firmaların yatırıma uzak durmalarının da sektör açısından zayıf bir tablo oluşturduğunu belirtmektedir. Bu noktada, İSTAÇ'ın aslında makroalgden ürün üreten değil, bunları toplayan bir kuruluş olarak faaliyet gösterdiğine dikkat çeken Mehmet Gençosmanoğulları, İSTAÇ'ın bu noktada en

önemli hammadde tedarikçisi olma potansiyelinin olduğunu söylemiştir. Ancak toplarken birkaç türün karışımı şeklinde toplandığını ve ayrıştırmanın da çok maliyetli olduğunu eklemiştir.

Ara ara toplanan algleri ürüne dönüştürmek için Ar-Ge projeleri hazırladıklarını belirten Mehmet Gençosmanoğulları, karşılaştıkları en büyük sıkıntının uzun bir sahil şeridinde bakılması ve yaygın bir kirlilik olduğu için toplama ve taşımanın zorluğu olduğunu belirtmektedir. İlerleyen dönemlerde geleceğe vadeden sektörler incelendiğinde gıda ve kozmetik alanında önemli bir potansiyel olduğu yönünde görüşlere karşın kendileri tarafından toplanan alglerin deniz kirliliği nedeniyle bu alanlarda kullanılabileceğini düşünmediklerini belirtmiştir. Yıldız Teknik Üniversitesi ile makroalglerin biyogaza dönüştürülmesi ve makroalglerin gübre olarak kullanılabilmesi üzerine çalışmalar yapıldığını belirten Gençosmanoğulları, malzeme verme konusunda da birçok üniversite projesine destek olduklarını eklemiştir. Makroalg sektöründe önümüzdeki 5–10 yıl içinde yaşanacak olan olası gelişmeleri “Sektör mutlaka gelişecektir. Biz atık sektöründe olduğumuz için aslında diğer sektörlerdeki gidişatı bilmiyoruz ama bizim açımızdan denizlerin kirliliği dolayısıyla atık miktarı büyüyor. Bu yüzden eninde sonunda bunları değerlendirecek bir tesisleşmeye gitmek zorundayız.” şeklinde özetleyen Gençosmanoğulları, yapılması gerekenleri;

- Kıyısı olan il belediyelerinin tesisleşmeye gitmesi konusunda otoritelerin yönlendirmeler yapması,
- Belediyelerin bu konuda yeterli tesis ve bilgiye sahip olmamasından dolayı, alglerin bertaraf yerine ileri dönüşüme katılabilmesi için otoritelerin ürüne dönüşmesi konusunda destek vermesi,
- Kültür yetiştiriciliği alanlarının oluşturulması, şeklinde özetlemektedir.

Mavi ekonominin bir kolu olan makroalgler konusunda yatırım yapan yatırımcıların sayısı fazla değildir. Bu bağlamda; Hollanda merkezli Rubio Risk Yatırım Fonu'nun temel amacı küresel sorunlara ölçeklenebilir ve sistemik çözümler üretmek için dünyayı değiştiren girişimcilerle ortaklık kurmaktır. **Rubio'nun ortaklarından Edward van der Hout** Rubio'da, çevresel etki ve ticari getirinin keşiştiği noktada ölçeklenebilir çözümler geliştiren erken aşama, misyon odaklı kuruculara yatırım yapıldığını söylemiştir. Algler, sürdürülebilir gıda sistemlerine ve karbon tasarruflu bileşen üretimine katkıda bulunabileceğinden, geçmişte alg/makroalglerle ilgili girişimleri, özellikle düşük CO₂'li alg yetiştirme teknolojisi geliştiren Arborea'yı desteklediklerini ve yatırımcı olarak üstlendikleri rolün uygulamalı; sermaye, yönetim, etki ölçümü ve ticari ölçeklendirme desteği olarak özetlenebileceğini belirtmektedir. Hout'a göre Türkiye'de uzun kıyı şeridi, bazı bölgelerde mevcut akuakültür uzmanlık bilgisi ve artan akademik ilgi vardır ancak makroalg ticari değer zincirleri Kuzeybatı Avrupa/Asya'ya kıyasla yeni gelişmektedir. Umut verici pilot projeler ve akademik çalışmalar sektörde olumlu bir hareketlendirme getirmesine karşın henüz dikey olarak entegre olmuş, ticari ölçekli deniz yosunu oyuncularının sayısı azdır. Gıda bileşenleri, kozmetik ve çevresel iyileştirme alanlarında aktif deneyler beklenmektedir, ancak üretim ölçeği ve tutarlı tedarik ana darboğazlar olmaya devam etmektedir.

Bu alanında gelişmesinde sürdürülebilirlik ve dögüsel biyoekonomi (düşük arazi kullanımı, düşük tatlı su mahsulleri); doğaya dayalı karbon giderme ve mavi karbon anlatıları; alternatif proteinlere ve sürdürülebilir bileşen tedarikine olan talep; tedarik zincirlerini karbonsuzlaştırmaya yönelik düzenleyici ve kurumsal taahhütler ve yeni biyomalzemelere (biyoplastikler, tekstil ürünleri, yem katkı maddeleri) olan ilgi rol oynayan faktörlerdir.

Makroalg tabanlı bir girişime yatırım tecrübesi ile ilgili olarak Rubio'nun alglerle ilgili teknolojiye (Arborea) yatırım yaptığını ve açık bir teknoloji farklılaşması, savunulabilir fikri mülkiyet veya sistem tasarımı, güçlü kurucu ekipler ve ölçülebilir etkinin olduğu makroalg yatırımlarına açık olmaya devam ettiklerini belirtmiş ve bu fırsatları, ürün-pazar uyumu ve ölçeklenebilir etkiye odaklanarak vaka bazında değerlendirdiklerini vurgulamıştır.

Hout'a göre; temel riskler:

- Değişken deniz koşullarında biyoloji ve yetiştiriciliğin güvenilir bir şekilde ölçeklendirilmesi;
- Birim ekonomisini etkileyen tedarik zinciri ve mevsimsel değişkenlik;
- Deniz çiftlikleri için düzenleme ve izin gecikmeleri;
- Ürün-pazar riski (elde edilen ürün fiyat/kalite açısından rekabet edebilir mi);
- Verim dalgalanmasına neden olabilecek çevresel riskler (hastalık, fırtınalar, ötrofikasyon) olarak sayılabilir.

"Bu alanda yatırım yapılabilir girişimler için kritik başarı faktörleri nelerdir?" sorusuna "sağlam ve kanıtlanabilir yetiştirme teknolojisi veya benzersiz fikri mülkiyet portföyü (Intellectual Property – IP), ödeme yapan müşterilerle erken pazar doğrulaması, ölçeklenebilir ve uygun maliyetli hasat/işleme ve denetlenebilir ölçülebilir çevresel etki ölçümleri, öngörülebilir, yıl boyunca tedarik için net bir yol haritası" şeklinde yanıt veren Hout; yaptığı değerlendirmede; "ben iyimser ama pragmatığım, özellikle yüksek değerli segmentler (kozmetikler, nutrasötikler, özel bileşenler) ve işleme ve lojistik geliştikçe B2B girdiler (yem katkı maddeleri, biyopolimerler) için bir pilot dalga ve birkaç ölçeklenebilir ticari kazanç bekliyorum ama emtialaştırılmış düşük marjlı ürünlerin, büyük maliyet düşüşleri gerçekleşmediği sürece karlı bir şekilde ölçeklendirilmesinin daha zor olacağını düşünüyorum" şeklinde yorumlamıştır.

Bu bağlamda; önümüzdeki 10 yıl içerisinde makroalg sektöründe küçük pilot projelerden daha az sayıda ancak daha büyük ticari operasyonlara geçiş beklenmektedir. Değeri yakalamak ve maliyeti düşürmek için dikey entegrasyon daha yaygın hale gelecektir. Daha iyi yetiştirme yöntemleri (tür seçimi, kontrollü ortamlar), gelişmiş hasat ve işleme teknolojileri, otomasyon, biyoişlemedeki ilerlemeler, yüksek değerli bileşiklerin daha verimli bir şekilde çıkarılmasını sağlayacaktır. Gıda ve yem ötesinde nutrasötikler, kozmetikler, biyoplastikler, biyogübre, karbon kredileri/offsetler ve muhtemelen yapı malzemesi olarak kullanım açısından bir büyüme oluşması muhtemeldir. Sektörle ilgili olarak makroalg bazlı ürünlerin daha standart bir şekilde düzenlenmesi (gıda/yem güvenliği, sürdürülebilir tarım uygulamaları), için sertifikasyon programları, izlenebilirlik yaygınlaşacak hatta gerekli hale gelecektir. Maliyet eğrileri iyileştikçe yatırımcı ilgisinin artması; daha fazla karma finansman,

kamu-özel sektör ortaklıkları, muhtemelen destekleyici politika teşvikleri, karbon finansmanı yeni bir gelir akışı sağlayacaktır.

Makroalgler ile ilgili olarak uygulanması beklenen politikalar arasında makroalg yetiştirme, işleme ve ürün onayları için açık, tutarlı ve kolaylaştırılmış izin süreçlerinin oluşturulması, yetiştirme ve işleme tesislerine ortak yatırım ve özel yatırımın riskini azaltmak için karma finansman araçları ile pilottan ticariye ölçek büyütmenin desteklenmesi, ticarileştirmeyi hızlandırmak için Ar-Ge, üniversite-sanayi işbirliği ve uygulamalı tanıtım projelerini finanse etmek, başı çekmektedir. Ayrıca, pazara erişimi sağlamak için ulusal ve uluslararası sürdürülebilirlik standartları, izlenebilirlik sistemleri ve kalite sertifikaları geliştirmek de uygulanacak politikalar arasında yer almaktadır.

Aqua Spark İş Geliştirme Sorumlusu Stephanie Rakels'a göre; Türkiye ilginç bir ülke. Güçlü temelleri var - kıyı erişimi, yerel mutfak deniz yosunu bilgisi ve aktif deniz bilimi toplulukları var - ancak ticari deniz yosunu sektörü Norveç, Japonya veya Endonezya gibi pazarlarla karşılaştırıldığında henüz bilinmiyor. Gelecek vaat eden pilot çiftlikler, araştırma projeleri ve bazı küçük işleyiciler bulunmakta ancak büyük ölçekli yetiştiricilik, daha yüksek değerli ürün zincirlerine dikey entegrasyon ve tutarlı endüstriyel işleme kapasitesi hala sınırlı. Pazar bilinci ve endüstriyel talep artmakta ancak gelişmelerin çoğu hala pilot veya erken ticari aşamada.

Bu alanda sürdürülebilirlik ve döngüsel biyoekonomi, düşük girdili biyokütle ve doğaya olumlu çözümler için talep oluşturmakta ayrıca, deniz yosununun kıyı esnekliği ve potansiyel karbon kredilerindeki rolü de (ölçüm/doğrulama gelişmekte olsa da) sektörün gelişmesine olanak sağlamaktadır. Geviş getiren hayvanlarda metanı azaltmak ve su ürünlerinde sınırlı balık ununun yerini almak için deniz yosununun yem bileşeni (veya yem katkı maddesi) olarak kullanılması da sektördeki talebi tetikleyen unsurlardan biridir. Türkiye'nin sahip olduğu Ege, Marmara ve Akdeniz'deki kıyı çeşitliliği; yerleşik bir deniz ürünleri endüstrisi ve lojistik altyapısının uygunluğu bu alandaki en önemli avantajlar olarak yorumlanmaktadır. Verimi etkileyen fırtınalar, haşereler, hastalıklar ve mevsimsellik, tutarlı, kaliteli biyokütle temin edememe veya büyük ölçekte işleyememe, yeni ürün kategorileri için belirsiz veya zayıf talep ve ham biyokütle için fiyat dalgalanması gibi unsurlar makroalg girişimlerine yatırım yaparken en önemli riskler olarak öngörülmektedir.

Bu alanda yatırım yapılabilecek girişimler için kritik başarı faktörleri arasında su ürünleri yetiştiriciliği operasyonları, işleme/mühendislik, düzenleme ve ticari becerilere sahip iyi bir ekibin varlığı, tekrarlanabilir, esnek yetiştiricilik protokolleri ve çoğaltma yöntemlerinin uygulanması kurutma/işleme ve izlenebilirlik için tedarik zinciri çözümlerinin uygulanması belirgin bir nitelik taşımaktadır. Önümüzdeki beş yıl içinde makroalg girişimlerinin yatırım potansiyelini yüksek potansiyelli ancak düzensiz olarak yorumlamak mümkündür. Belirli ürün segmentlerine (endüstriyel yem katkı maddeleri, belirli nutrasötik özler ve büyük ölçekli yem veya biyopolimer öncü tedariki) yönelik üretim yapan şirketler güvenilir verim ve maliyet düşüşlerini kanıtlayabilirlerse bu sektöre yatırım yapmak cazibesini koruyacaktır. Kazananlar, hem çiftçiliği hem de işlemeyi kontrol edenler veya gıda/hayvan yemi şirketleriyle uzun vadeli işbirliği sağlayanlar olacaktır. Düzenleyici açıklık ve kanıtlanmış ürün etkinliği (örneğin, çiftlik hayvanlarında tutarlı metan azaltımı, ölçülebilir yem faydaları) yatırımı hızlandıracaktır.

Tutarlı tedarik, maliyet rekabetçiliği ve kanıtlanmış nihai pazarlar ortaya koyduğunda sektör büyük ölçekte yatırım yapılabilir hale gelecektir. Makroalgler mavi biyoekonominin temel direklerinden biri haline gelecektir, ancak başarı, kuluçkahanelerden işlemeye kadar sağlam değer zincirlerinin oluşturulmasına ve politika yapımcıların çiftlikler ve yeni ürün onayları için elverişli çerçeveler oluşturmasına bağlı olacaktır.

Sektörün güçlenmesi adına politika yapımcılar makroalgleri iklim eylemini, sürdürülebilir gıda sistemlerini ve bölgesel ekonomik kalkınmayı destekleyen üçlü bir kazanç sektörü olarak görmelidir; ancak bu potansiyeli ortaya çıkarmak için önceden netlik, altyapı ve yatırım gerekmektedir.

Sea6'den Nelson Vadassery'a göre Türkiye, hem Akdeniz hem de Karadeniz'de uzun kıyı şeridi gibi çok elverişli bir coğrafyaya ve artan akademik ilgiye sahiptir. Bununla birlikte, sektör büyük ölçüde yeni gelişmekte ve endüstriyel olmaktan ziyade araştırma odaklı olmaya devam etmektedir. Umut vaat eden pilot uygulamalar ve niş ticari ürünler mevcut ancak geniş ölçekli mekanize tarım, entegre işleme ve olgun değer zincirleri henüz yaygın olarak kurulmamıştır. Makroalg sektörünün gelişmesinde küresel sürdürülebilirlik ve iklim gündemi (doğaya dayalı karbon çözümleri dahil), alternatif protein ve sürdürülebilir gıda kaynakları arayışı, döngüsel biyoekonomi ve yenilenebilir kimyasallara/biyoplastiklere duyulan ihtiyaç ve rejeneratif tarım (toprak sağlığı ürünleri ve biyo-uyarıcılar) gibi birçok mega trend talebi hızlandırmaktadır.

Çevresel, sosyal ve yönetişimsel kriterler ile iklim finansmanı akışları, sermayeyi giderek artan biçimde okyanus temelli çözümlere yönlendirmektedir. Sea6'nın birincil stratejisi, esas olarak harici bir yatırımcı olarak hareket etmek yerine, tarım teknolojisinden ürün geliştirmeye kadar dikey olarak entegre bir kapasite oluşturmak olmuştur. Bununla birlikte, ekosistemin desteklemesi halinde Türkiye de dahil olmak üzere, yerel ortakların ve politika koşullarının sürdürülebilir ölçeği mümkün kıldığı pazarlarda stratejik ortaklıklara veya ortak girişimlere açık olmaya devam etmektedir. Makroalgere yatırım yaparken karşılaşılan en önemli riskleri; ölçek büyütme riski (pilot sonuçların düşük maliyetli, yüksek hacimli üretime dönüştürülmesi), tedarik zinciri güvenilirliği (tutarlı biyokütle kalitesi ve hacimleri), düzenleyici belirsizlik (okyanus çiftlikleri için izinler ve ürün standartları) ve pazarda benimsenme (fiyat rekabeti ve müşterinin mevcut alternatiflere karşı kabulü) olarak özetlemek mümkündür. Önümüzdeki beş yıl içinde makroalg girişimlerinin yatırım potansiyelini değerlendirdiğinde yatırım görünümünün cazip olduğu ve hızlandığı, tarımsal girdilere (biyo-uyarıcılar), alternatif gıda/yem bileşenlerine ve biyomalzemelere yönelik yatırımcı ilgisinin artmasını beklendiğini söylemek mümkündür. Önümüzdeki 5-10 yıllık dönemde mekanize okyanus çiftçiliğinin yaygın olarak benimsenmesi, makroalg bazlı biyo-uyarıcılarının, yem bileşenlerinin ve alternatif protein girdilerinin yaygınlaşması ve alglerden biyomalzemelerin ve biyoplastiklerin olgunlaşması ve daha fazla uzmanlaşmış girişim ve entegre oyuncunun iş birliği yaptığını ve düzenleyici ve pazar yollarının açık olduğu yerlerde sermaye akışının arttığını görmek mümkündür. Sektörün gelişmesi adına kanun yapımcıların, düzenleyici açıklığa (izin ve ürün standartları), pilot ölçek büyütme riskini azaltmak için hedeflenen kamu finansmanına ve teşviklere ve endüstri-akademi-yatırımcı iş birliğini

geliştiren programlara öncelik vermelidir. Doğru politika çerçevesi ile Türkiye, Akdeniz makroalg ekonomisinde hızla bölgesel bir lider haline gelebilir.

Mirova Enerji Dönüşümü / Sürdürülebilir Okyanus Fonu Yatırım Analisti Théophile AUGUSTIN'e göre deniz yosunu yenilenebilir, hızlı büyür ve rahatsız edici çiçeklenmeleri (örneğin *Sargassum*) değerlendirebilmektedir ve yatırımcılar döngüsellik ve düşük karbonlu girdileri ödüllendirmektedir. Mavi karbon ve doğa bazlı tutuma olan ilgi alıcı talebini arttırmakta ve gıda maddesi, su ürünleri yemi bileşeni ve metan azaltıcı sığır yemi olarak deniz yosunu büyük adreslenebilir pazarlar yaratmaktadır. Mirova (Sürdürülebilir Okyanus Fonu aracılığıyla), *Sargassum* türlerini biyomalzemelere dönüştüren bir şirket olan Carbonwave'de bir tura liderlik etmiştir. Makroalg girişimlerine yatırım yaparken en önemli riskler ölçeklendirme ve işleme riskidir. Makroalg girişimlerinin bazı alanlarda nişten ana akıma geçiş yaptığı görülmektedir. Bu alanlar arasında sürdürülebilir tarım (biyogübreler, toprak iyileştiriciler), gıda ve beslenme (fonksiyonel bileşenler), kozmetik ve eczacılık ürünleri (biyoaktifler) gelmektedir. Algere yönelik startup ekosistemi, özellikle güçlü deniz bilimleri yeteneklerine ve destekleyici politika ortamlarına sahip bölgelerde gelişecektir.

Girişim sermayesi, özellikle ;

- Metan azaltıcı hayvan yemi,
- Biyolojik olarak parçalanabilen ambalajlar,
- Fonksiyonel gıda bileşenleri gibi uygulamalarda bunu takip edecektir:

Sektörün küresel anlamda gelişme kaydedilmesi amacıyla akademi-sanayi işbirliğini teşvik etmek: diğer bir ifadeyle ortak araştırma, staj ve ticarileştirme yollarının teşvik edilmesi ve deniz biyoteknolojisi eğitiminin teşvik edilmesi şarttır.

SONUÇ VE ÖNGÖRÜLER

Makroalg sektörü, küresel ölçekte çevresel ve ekonomik faydaları birleştiren, dinamik ve umut vaat eden bir alandır. Piyasa verileri, önümüzdeki on yıl içinde pazarın önemli ölçüde büyüyeceğini açıkça göstermektedir. Bu büyüme, yalnızca geleneksel gıda tüketiminden değil, aynı zamanda hayvancılıkta metan emisyonlarının azaltılması, çevresel restorasyon ve yüksek değerli biyoteknoloji ürünleri gibi yenilikçi uygulamalardan da kaynaklanmaktadır. Bu durum, makroalgün birincil bir emtiadan, entegre biyolojik rafineri yaklaşımları için çok yönlü bir hammaddeye dönüştüğünü göstermektedir. Küresel liderler (Çin, Japonya, Norveç) bu fırsatı, gıda güvenliği, çevresel koruma ve su ürünleri yetiştiriciliğinin sürdürülebilirliği gibi kendi ulusal hedeflerine uygun spesifik politikalarla desteklemektedir. Bu ülkeler, makroalg yetiştiriciliğini desteklemek için yasal çerçeveler, Ar-Ge fonları ve teşvik mekanizmaları geliştirmişlerdir. Türkiye'nin ve Karadeniz Havzası'nın makroalg sektörü, coğrafi avantajlarına, mevcut su ürünleri yetiştiriciliği altyapısına ve artan akademik ilgiye rağmen, henüz büyük ölçekli ticari faaliyete geçmemiştir. Sektör, küçük ölçekli pilot projeler ve akademik çalışmalarla sınırlı kalmıştır. Bu durum bilimsel bilgiyi ticari üretime dönüştürecek bir bilgi-eylem boşluğunun varlığını göstermektedir. Bu boşluğu kapatmak ve sektörün potansiyelini tam olarak gerçekleştirmek için aşağıdaki stratejik adımların atılması gerekmektedir:

Entegre Bir Makroalg Stratejisi Oluşturulması: Makroalg yetiştiriciliğini desteklemek için Çin'in "deniz çiftliği" veya Norveç'in "düşük trofik akuakültür" stratejilerine benzer, net bir yol haritası belirlenmelidir. Bu strateji, yasal düzenlemeleri basitleştirmeli, çevresel sürdürülebilirliği güvence altına almalı ve yatırımcılara güven vermelidir.

Yüksek Katma Değerli Ürünlere Odaklanma: Yüksek üretim maliyetleri göz önüne alındığında, başlangıçta gıda ürünlerinin yanı sıra, daha yüksek marjlı biyostimülanlar, nutrasötikler ve kozmetik bileşenleri gibi ürünlere odaklanmak, sektörün ekonomik sürdürülebilirliği için kritik öneme sahiptir.

Teknoloji ve İnovasyonun Teşvik Edilmesi: Genetik iyileştirme ve maliyet-etkin biyolojik rafineri süreçleri üzerine yapılan Ar-Ge çalışmaları, verimi ve karlılığı artırmak için merkezi bir rol oynamalıdır. Kamu-özel sektör iş birlikleri, pilot tesisler ve teknoloji transfer programları bu alanda ivme kazandırabilir.

Stratejik Yatırımcıların Çekilmesi: Sektörde faaliyet gösterecek girişimler, kendilerini yalnızca bir "deniz yosunu çiftliği" olarak değil, aynı zamanda bir "derin teknoloji" veya "mavi biyoteknoloji" şirketi olarak konumlandırmalıdır. Bu yaklaşım, yerel girişim sermayesi fonlarının mevcut yatırım odaklarıyla daha iyi uyum sağlayarak finansman bulma şansını artırabilir. Hatch Blue gibi uluslararası fonlarla ortaklıklar kurulması, hem sermaye hem de küresel bilgi birikimine erişim sağlayabilir.

Sonuç olarak, makroalg sektörü, yalnızca ekonomik bir fırsat değil, aynı zamanda gıda güvenliğini artırma, çevreyi koruma ve iklim değişikliğiyle mücadele etme gibi hedeflere katkıda bulunabilecek stratejik bir alandır. Bu potansiyelin harekete geçirilmesi, ancak çok paydaşlı, iyi tanımlanmış ve ileriye dönük bir strateji ile mümkün olacaktır.

KAYNAKÇA

1. Aboal, J. R., Pacín, C., García-Seoane, R., Varela, Z., González, A. G., & Fernández, J. Á. (2022). Global decrease in heavy metal concentrations in brown algae in the last 90 years. *Journal of Hazardous Materials*, 445,130511. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2022.130511>
2. Akkoyunlu, A. (2018). Land-based pollution on the Black Sea along the Turkish shoreline. *J. Mar. Sci. Res. Dev*, 8, 248. <https://doi.org/10.4172/2155-9910.1000248>
3. Bat, L., Gökkurt, O., Sezgin, M., Üstün, F., & Şahin, F. (2009). Evaluation of the Black Sea Land Based Sources of Pollution the Coastal Region of Turkey. *The Open Marine Biology Journal*, 3(1), 112. <https://doi.org/10.2174/1874450800903010112>
4. Bat L, Öztekin A, Şahin F, Arıcı E, Özсандıkçı U. (2018). An overview of the Black Sea pollution in Turkey. *MedFAR.*, 1(2): 67-86.
5. Bat L, Arıcı E. (2018). Chapter 5. Heavy Metal Levels in Fish, Molluscs, and Crustacea From Turkish Seas and Potential Risk of Human Health. In: Holban AM, Grumezescu AM. (Eds.) *Handbook of Food Bioengineering, Volume 13, Food Quality: Balancing Health and Disease*. Elsevier, Academic Press, ISBN: 978-0-12-811442-1, pp. 159-196. <http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-12-811442-1.00005-5>
6. Bat L, Arıcı E, Öztekin A. (2021). Threats to Quality in the Coasts of the Black Sea: Heavy Metal Pollution of Seawater, Sediment, Macro-Algae and Seagrass. In: Shit P.K., Adhikary P.P., Sengupta D. (eds) *Spatial Modeling and Assessment of Environmental Contaminants. Environmental Challenges and Solutions*. Springer, Cham. pp. 289-325. https://doi.org/10.1007/978-3-030-63422-3_18
7. Cadar, E., Negreanu-Pirjol, T., & Negreanu-Pirjol, B. S. (2022). Antioxidant and antibacterial potential of *Ulva lactuca* species from Romanian Black Sea Coast. *European Journal of Natural Sciences and Medicine*, 5(1), 27-39.
8. Chasani, A. R., Febrianti, M. W., & Rifqi, M. S. (2025). Phenetic Diversity and Relationships of Sea Lettuce (*Ulva* spp.) on the Southern Coast of Gunungkidul Yogyakarta Indonesia. *International Journal of Marine Engineering Innovation and Research*, 10(1). <https://doi.org/10.12962/j25481479.v10i1.4746>
9. Hayati, R. & Rahly, F. (2024). Genetic diversity of *Ulva lactuca* from the intertidal zone in Ulee Lheue beach Aceh, Indonesia. *Jurnal Natural*. <https://doi.org/10.24815/jn.v24i1.33972>
10. Roşioru, D. (2024). Biochemical characterization and exploitation possibilities of *Gongolaria barbata* (Stackhouse) Kuntze 1891 from the Black Sea coast. *Annals of the Academy of Romanian Scientists Series on Biological Sciences*, 13 (1), 41-52.
11. Sirbu, R., Negreanu-Pirjol, T., Mirea, M., & Negreanu-Pirjol, B. S. (2020). Bioactive compounds from three green algae species along Romanian Black Sea coast with therapeutically properties. *European Journal of Natural Sciences and Medicine*, 3(1), 87-106.
12. Filippini, M., Baldisserotto, A., Menotta, S., Fedrizzi, G., Rubini, S., Gigliotti, D., Valpiani, G., Buzzi, R., Manfredini, S., & Vertuani, S. (2020). Heavy metals and potential risks in edible seaweed on the market in Italy. *Chemosphere*, 263, 127983. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.127983>
13. Neshovska, H., Manev, I., & Kirov, V. (2021). Heavy metal levels in water, brown algae (*Cystoseira barbata*), and eelgrass (*Zostera marina*) from the Southern Black Sea coast of Bulgaria. *International Journal of Veterinary Sciences and Animal Husbandry*, 6(1), 15. <https://doi.org/10.22271/veterinary.2021.v6.i1a.317>
14. Nunes, N., Ferraz, S., Venuleo, M., Barros, A. I. R. N. A., & Carvalho, M. Â. A. P. de. (2023). From a heavy metal perspective, is macroalgal biomass from Madeira Archipelago and Gran Canaria Island of eastern Atlantic safe for the development of blue bioeconomy products? *Journal of Applied Phycology*, 36(2), 811. <https://doi.org/10.1007/s10811-023-03146-1>
15. Novac, V., Moraru, L., Gasparotti, C., & Rusu, E. (2020). Black sea marine litter pollution related to naval operations. In *E3S Web of Conferences*, 180, 04018. EDP Sciences. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202018004018>

16. Peng, Z., Guo, Z., Wang, Z., Zhang, R., Wu, Q., Gao, H., Wang, Y., Shen, Z., Lek, S., & Xiao, J. (2022). Species-specific bioaccumulation and health risk assessment of heavy metal in seaweeds in tropic coasts of South China Sea. *The Science of The Total Environment*, 832, 155031. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.155031>
17. Ratã, V. & Rusu, L. (2020). Ballast water pollution risk assessment in the Black Sea. *Mechanical Testing and Diagnosis*, 10(4), 35-40. <https://doi.org/10.35219/MTD.2020.4.05>
18. Rakib, Md. R. J., Jolly, Y. N., Dioses-Salinas, D. C., Pizarro-Ortega, C. I., De-la-Torre, G. E., Khandaker, M. U., Alsubaie, A. S., Almalki, A. S. A., & Bradley, D. A. (2021). Macroalgae in biomonitoring of metal pollution in the Bay of Bengal coastal waters of Cox's Bazar and surrounding areas. *Scientific Reports*, 11(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-021-99750-7>
19. Shypotilova, O., Kozhanov, A., Lohinova, L., & Lohinov, O. (2021). The problem of the Black Sea pollution in Odessa region of Ukraine. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 915 (1), <https://doi.org/10.1088/1755-1315/915/1/012008>
20. Signa, G., Andolina, C., Tomasello, A., Mazzola, A., & Vizzini, S. (2020). $\delta^{15}\text{N}$ in deployed macroalgae as a tool to monitor nutrient input driven by tourism activities in Mediterranean islands. *Marine Pollution Bulletin*, 159, 111504. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2020.111504>
21. Shchiptsov, O. A. & Goncharov, O.Yu. (2023). European research project on the state of pollution in the Black Sea «Black Sea SIERRA»: mission and participation of Ukrainian oceanographers. *Geofizicheskiy Zhurnal*. <https://doi.org/10.24028/gj.v45i6.293315>
22. Türker Gülen, AKIN, İlnur VESTMENT POTENTIAL OF MACROALGAE CULTURE IN ÇANAkkALE, TURKEY | Türker | Proceedings of the International scientific and practical conference “Bulgaria of regions”, erişim tarihi Eylül 14, 2025, <https://science.uard.bg/index.php/regions/article/view/659>
23. Global Market Analysis, 2024 <https://market.us/report/macroalgae-market/>
24. Commercial Seaweed Market Share and Statistics - 2034 - Fact.MR, Accessed August 22, 2025, <https://www.factmr.com/report/4493/commercial-seaweed-market>
25. Commercial Seaweed Market Size, Share | Forecast [2032], Accessed August 22, 2025, <https://www.fortunebusinessinsights.com/industry-reports/commercial-seaweed-market-100077>
26. Farmed Seaweed | Industries - WWF, Accessed September 14, 2025, <https://www.worldwildlife.org/industries/farmed-seaweed>
27. Mikyalova T, Species composition and structure of macrophytobenthos in the lower part of the photic zone of the Kolvitsa inlet (Kandalaksha Bay, White Sea), 2017
28. Macroalgae Market Size, Share | CAGR of 5.2%, Accessed September 16, 2025, <https://market.us/report/macroalgae-market/>
29. Seaweed Aquaculture - NOAA Fisheries, Accessed September 16, 2025, <https://www.fisheries.noaa.gov/national/aquaculture/seaweed-aquaculture>
30. The seaweed Industry - An overview, Accessed September 14, 2025, <https://www.fao.org/4/y3550e/y3550e02.htm>
31. Marine Algae - Department of Energy, Accessed September 14, 2025, <https://www.energy.gov/sites/prod/files/2019/03/f61/Chapter%205.pdf>
32. Understanding Macroalgae: A Comprehensive Exploration of Nutraceutical, Pharmaceutical, and Omics Dimensions - PMC - PubMed Central, Accessed September 14, 2025, <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC10780804/>
33. Recent developments in biorefining of macroalgae metabolites and ..., Accessed September 14, 2025, https://www.researchgate.net/publication/360212308_Recent_developments_in_biorefining_of_macroalgae_metabolites_and_their_industrial_applications_-_A_circular_economy_approach
34. Innovative Processing and Industrial Applications of Seaweed - MDPI, Accessed September, 2025, <https://www.mdpi.com/2673-9410/5/1/10>

35. AlgaPrime™ DHA Algae Omega-3 - Corbion, Accessed September 14, 2025, <https://www.corbion.com/products/algae-ingredients-products/algaprimedha>
36. Algae for Omega-3 DHA | Sustainable Aquaculture Ingredients - Corbion, Accessed September 14, 2025, <https://www.corbion.com/markets/algae-ingredients/aquaculture>
37. Role of Seaweeds for Improving Soil Fertility and Crop Development to Address Global Food Insecurity - MDPI, Accessed September 14, 2025, <https://www.mdpi.com/2673-7655/5/3/29>
38. BioSolutions by BASF enable healthy plants naturally, Accessed September 14, 2025, <https://agriculture.basf.com/global/en/business-areas/crop-protection-and-seeds/BioSolutions>
39. Acadian Plant Health™ | North America | Home, Accessed September 10, 2025, <https://acadianplanthealth-na.com/>
40. The ultimate, proven seaweed extract for horticulture growers - Acadian Plant Health, Accessed September, 2025, <https://acadianplanthealth-na.com/products/acadian/>
41. Denizden Tarlaya: Makroalglerden Organik Gübre Üretimi ile Tarıma Yeni Bir Soluk! (2020) - MERSİN ÜNİVERSİTESİ Bilgi İşlem Daire Başkanlığı, Accessed September 10, 2025, <https://bidb.mersin.edu.tr/haberler/390527/denizden-tarlaya-makroalglerden-organik-gubre-uretimi-ile-tarima-yeni-bir-soluk>
42. Denizden Tarlaya: Makroalglerden Organik Gübre Üretimi ile Tarıma Yeni Bir Soluk! - Mersin Üniversitesi -, Accessed September 11, 2025, <https://www.mersin.edu.tr/haberler/390527/denizden-tarlaya-makroalglerden-organik-gubre-uretimi-ile-tarima-yeni-bir-soluk>
43. Haberler - Denizden Tarlaya: Makroalglerden Organik Gübre Üretimi ile Tarıma Yeni Bir Soluk! (2016) - Mersin Üniversitesi, Accessed September 11, 2025, <https://finans22.mersin.edu.tr/haberler/390527/denizden-tarlaya-makroalglerden-organik-gubre-uretimi-ile-tarima-yeni-bir-soluk>
44. pmc.ncbi.nlm.nih.gov, Accessed September 14, 2025, <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC9658329/>
45. SWOT analysis of seaweeds processing using ILs. - ResearchGate, Accessed September 19, 2025, https://www.researchgate.net/figure/SWOT-analysis-of-seaweeds-processing-using-ILs_fig4_341705855
46. Macroalgae Farming Boosts Sustainable Growth in Latin America - Mexico Business News, Accessed September 19, 2025, <https://mexicobusiness.news/agribusiness/news/macroalgae-farming-boosts-sustainable-growth-latin-america>
47. New center to advance use of seaweed in the global economy - Berkeley News, Accessed September 19, 2025, <https://news.berkeley.edu/2024/10/02/new-center-to-advance-use-of-seaweed-in-the-global-economy/>
48. CRISPR-based bioengineering in microalgae for production of industrially important biomolecules - Frontiers, Accessed September 19, 2025, <https://www.frontiersin.org/journals/bioengineering-and-biotechnology/articles/10.3389/fbioe.2023.1267826/full>
49. A CRISPR/Cas9 system adapted for gene editing in marine algae, erişim tarihi Eylül 19, 2025, <https://www.vliz.be/imisdocs/publications/ocrd/289639.pdf>
50. Tipping Points in Seaweed Genetic Engineering: Scaling Up Opportunities in the Next Decade - PMC - PubMed Central, Accessed September 14, 2025, <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC4052329/>
51. Genetic improvement of macroalgae: Status to date and needs for the future - ResearchGate, Accessed September 6, 2025, https://www.researchgate.net/publication/233990142_Genetic_improvement_of_macroalgae_Status_to_date_and_needs_for_the_future
52. A Comparison of Multiple Macroalgae Cultivation Systems and End-Use Strategies of Saccharina latissima and Gracilaria tikvahiae Based on Techno-Economic Analysis and Life Cycle

- Assessment - MDPI, Accessed September 6, 2025, <https://www.mdpi.com/2071-1050/15/15/12072>
53. Using macroalgae to address UN Sustainable Development goals through CO2 remediation and improvement of the aquaculture environment, Accessed September 7, 2025, <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/26388081.2022.2025617>
 54. EU-China Blue Carbon Project, Accessed September 6, 2025, <https://ocean-climate.org/wp-content/uploads/2025/06/EU-China-Blue-Carbon-Project.pdf>
 55. books.rsc.org, Accessed September 6, 2025, <https://books.rsc.org/books/edited-volume/2250/chapter/8237456/Marine-Macroalgae-Sustainable-Practices-and#:~:text=Many%20species%20of%20brown%20macroalgae,nutrient%20cycling%20in%20marine%20ecosystems.>
 56. Riding the Blue Wave: The Rise of Ocean-Focused Venture Capital - Environment Next, Accessed September 6, 2025, <https://environmentnext.org/riding-the-blue-wave-the-rise-of-ocean-focused-venture-capital/>
 57. Blue Revolution Fund | ISIF, Accessed September 14, 2025, <https://isif.ie/portfolio/blue-revolution-fund>
 58. Blue Revolution Fund Raises \$93 Million for Aquaculture Investment - Environment Grants, Accessed September 6, 2025, <https://www.topenvironmentgrants.com/NewsItem/558201/452/Blue+Revolution+Fund+Raises+%2493+Million+for+Aquaculture+Investment>
 59. China expands marine ranching to boost food security - Global Times, Accessed September 8, 2025, <https://www.globaltimes.cn/page/202503/1330175.shtml>
 60. Marine Ranching: China's Blue Solution for Food Security, Accessed September 14, 2025, https://bcas.edpsciences.org/articles/bcas/full_html/2024/01/bcas2024016/bcas2024016.html
 61. Blue carbon governance for carbon neutrality in China: Policy evaluation and perspectives - PMC - PubMed Central, Accessed September 8, 2025, <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC10568102/>
 62. Full article: Reconceptualising seaweed cultivation in China: climate law and policy implications - Taylor & Francis Online, Accessed September 10, 2025, <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/17583004.2024.2349941>
 63. Guidelines for Conservation and Restoration of Seaweed Beds, Accessed September 10, 2025, https://www.jfa.maff.go.jp/j/gyoko_gyozyo/g_zyoho_bako/attach/pdf/mobahozen_sozo_isoya_ketaisaku-3.pdf
 64. Norwegian lawmakers reach agreement on aquaculture policy; core rules to remain in place for now | Intrafish, Accessed September 10, 2025, <https://www.intrafish.com/salmon/norwegian-lawmakers-reach-agreement-on-aquaculture-policy-core-rules-to-remain-in-place-for-now/2-1-1829620>
 65. Scispace.com, Accessed September 10, 2025, <https://scispace.com/pdf/investment-potential-of-macroalgae-culture-in-canakkale-46fwefpcfu.pdf>
 66. News; FAO İle Tarım ve Orman Bakanlığı İşbirliğiyle Balıklar İçin Alternatif Yemler ve Makro Alg Yetiştiriciliği Çalıştayı Düzenlendi., Accessed September, 2025, <https://www.tarimorman.gov.tr/BSGM/Haber/247/Fao-Ile-Tarim-Ve-Orman-Bakanligi-Isbirligiyle-Baliklar-Icin-Alternatif-Yemler-Ve-Makro-Alg-Yetistiriciligi-Calistayi-Duzenlendi>
 67. Tarım Orman Bakanlığı Belgeler Arşivi, Ülkemizde su ürünleri yetiştiriciliği, mevzuatı ve alan belirleme çalışmaları 03.04.2019, Accessed September, 2025, <https://www.tarimorman.gov.tr/SYGM/Belgeler/Su%20Kalitesi%20H%C4%B0E%20Haber%202019/%C3%9Ckmizde%20Su%20C3%9Cr%C3%BCnleri%20Yeti%C5%9Ftiricili%C4%9Fi,%20Mevzuat%C4%B1%20ve%20Alan%20Belirleme%20C3%87al%C4%B1%C5%9Fmalar%C4%B1.pdf>
 68. SU ÜRÜNLERİ YÖNETMELİĞİ - Trabzon İl Tarım ve Orman Müdürlüğü, Accessed September 14, 2025, <https://trabzon.tarimorman.gov.tr/Belgeler/BSU/SU%20C3%9Cr%C3%9CNLER%C4%B0%20Y%C3%96NETMEL%C4%B0%C4%9E%C4%B0.doc>

69. 1501 - TÜBİTAK Sanayi Ar-Ge Projeleri Destekleme Programı, Accessed September 14, 2025, <https://tubitak.gov.tr/tr/destekler/sanayi/ulusal-destek-programlari/1501-tubitak-sanayi-ar-ge-projeleri-destekleme-programi>
70. Tarım ve Orman Bakanlığı Hibelerine Nasıl Başvurulur? (2024 Yılı KKYDP % 50 Hibeli Desteklemeler) - YouTube, Accessed September 14, 2025, <https://www.youtube.com/watch?v=hljQ8MuE-kw>
71. Tarımda 41 Makine ve Ekipmana % 50 Hibe Desteği - Ulusal Hububat Konseyi, Accessed September 10, 2025, <https://www.uhk.org.tr/tr/tarimda-41-makine-ve-ekipmana-50-hibe-destegi/>
72. Seydikemer Türkiye'nin İlk Ve Tek Yosun Serası Demirler'de - YouTube, Accessed September 10, 2025, https://www.youtube.com/watch?v=UO36_LhVm3A
73. Sahilden Toplanan Yosunlar Gübreye Dönüştürülüyor - YouTube, Accessed September 14, 2025, <https://www.youtube.com/watch?v=IfcnFB4-pjA>
74. China's 'Seaweed Capital' Xiapu county begins annual harvest_ News_ Fujian Provincial People's Government, Accessed September 11, 2025, http://fujian.gov.cn/english/news/202504/t20250422_6903589.htm
75. Marine Aquaculture in Turkey: advancements and management - TÜDAV, Accessed September 14, 2025, https://tudav.org/wp-content/uploads/2020/12/Marine_Aquaculture_in_Turkey_2020_low.pdf
76. Algae Startups Investment Trends - Net Zero Insights, Accessed September 11, 2025, <https://netzeroinsights.com/resources/algae-startups-investment-trends/>
77. Hatch Blue Accessed September 14, 2025, <https://www.hatch.blue/>
78. EIF supports Blue Revolution Fund in boosting sustainable aquaculture investments backed by the InvestEU programme, Accessed September 10, 2025, <https://www.eif.org/InvestEU/news/2024/eif-supports-blue-revolution-fund-in-boosting-sustainable-aquaculture-investments-backed-by-the-investeu-programme.htm>
79. Top 10 Companies Influencing the Algae Protein Market in 2025 - Kings Research, Accessed September 10, 2025, <https://www.kingsresearch.com/blog/top-10-algae-protein-companies-2025>
80. Plant-based cream cheese | DSM-Firmenich, Accessed September 4, 2025, <https://www.dsm-firmenich.com/en/businesses/taste-texture-health/news-events/downloads/event-downloads/plant-based-cream-cheese.html>
81. Top 9 VC Investors in Turkey in 2025 - BaseTemplates, Accessed September 4, 2025, <https://www.basetemplates.com/investors/top-9-vc-investors-in-turkey>
82. Boğaziçi Ventures - Girişim Sermayesi Yatırım Şirketi, Accessed September 4, 2025, <https://bogaziciventures.com/>
83. Home - Revo, Accessed September 14, 2025, <https://revo.vc/>
84. Diffusion Capital Partners - Home, Accessed September 14, 2025, <https://dcp.vc/>
85. TBE - TEB Portföy Sağlık ve Biyoteknoloji Değişken Fon, Accessed September 19, 2025, <https://www.tebportfoy.com.tr/yatirim-fonlari/teb-portfoy-saglik-ve-biyoteknoloji-degisken-fon>
86. Türkiye Startup Yatırımları 2025 1. Çeyrek - KPMG International, Accessed August 19, 2025, <https://kpmg.com/tr/tr/home/insights/2025/05/turkiye-startup-yatirimlari-2025-birinci-ceyrek.html>
87. Istanbul Venture Capital Initiative (iVCi) - European Investment Fund, Accessed August 29, 2025, https://www.eif.org/what_we_do/resources/iVCi/index.htm

MACRO CLEAN

Title of The Project / Proje Adı

*Research, Cleaning Methodologies, Economic Valorization and
Pilot Application for Macroalgal Blooms*

*Makroalg Patlamaları İçin Araştırma, Temizleme Metodolojileri,
Ekonomik Değerlendirme ve Pilot Uygulama*

Name of The Project Partner /Proje Ortağının Adı

Marmara Municipalities Union / Marmara Belediyeler Birliği

Contact Details of The Project Partner / Proje Ortağının İletişim Bilgileri

e-mail: info@mbb.gov.tr

Phone: +90 212 402 19 00

www.marmara.gov.tr

Publishing Date

January 2026 / Ocak 2026

The responsibility for the content of this material is that of the author(s). The content of this material does not necessarily represent the official position of the European Union. Reproduction is authorized, provided the source is acknowledged, and any changes are indicated.

Bu materyalin içeriğinden yazar(lar) sorumludur. Bu materyalin içeriği, Avrupa Birliği'nin resmî görüşünü yansıtmak zorunda değildir. Kaynak belirtilmek ve yapılan değişiklikler açıkça gösterilmek kaydıyla çoğaltılmasına izin verilmektedir.

ISBN: 978-625-8164-32-9