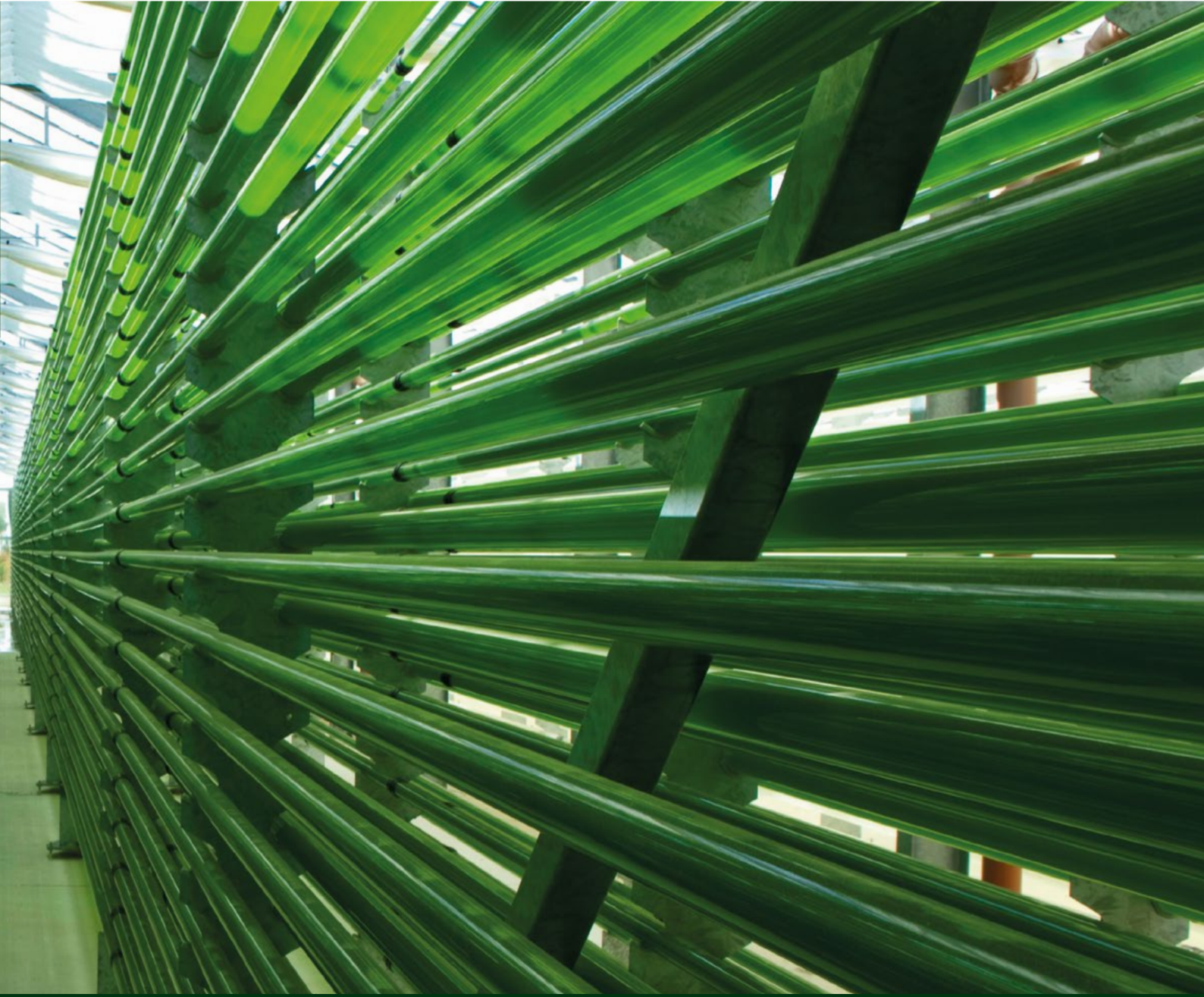


# Mikroalgler Enerji Sorununu Çözer mi?

# OMEGA SİSTEMİ

Dr. Tuncay Baydemir [ TÜBİTAK Bilim ve Teknik Dergisi





Fosil yakıtlar giderek azalırken son çabalar da yerkürede kalan ve daha zorlu koşullarda erişilebilen doğal enerji kaynaklarını elde edip kullanmaya yönelik olacak. Böylece her gün Dünya’da daha fazla zehirli gaz olmasına, küresel ısınmaya, buzulların erimesine ve okyanus sularının daha fazla asidik hale gelmesine katkıda bulunmaya devam edeceğiz. Temiz su kaynaklarına ulaşmak giderek zorlaşacak, verimsizleşen topraklarda yeterli üretim yapılamayacak.

Peki artık çok yakın gelecekte girileceği düşünülen bu darboğazdan insanlık nasıl kurtulabilir? Bu konuda elbette çeşitli araştırmalar ve çalışmalar yapılıyor. Mükemmel bir çözüm henüz bulunmamış olsa da (bulunsaydı eğer şimdiki enerji elde etme ve tüketim yaklaşımı çoktan değişmiş olurdu) sürdürülebilir ve çevre dostu bazı alternatif yolların araştırılıyor olması ümit verici sayılabilir.





**E**nerji, gıda ve temiz su elde edilirken doğaya mümkün olduğunca az zarar vermek çok önemli. Öyle bir kapalı sistem tasarlanmalı ki, doğal kaynaklar kullanılarak faydalı ürünler elde edilmeli, atıklar da bir sonraki aşamada kaynak olarak sisteme dahil edilebilmeli.

Konunun enerji boyutu düşünüldüğünde biyoyakıtlar iyi bir alternatif olarak görünüyor. 10.000 m<sup>2</sup> alanda biyoyakıt elde etmek için yetiştirilen soya bitkisinden ortalama 470 litre yakıt elde edilebiliyor. Ancak tarım arazilerinin amaçları dışında yani gıda üretimi dışında kullanılması, su, gübre ve verimli tarım arazileri gibi kaynakların enerji elde etmek

için harcanması ve yakıt elde edilirken yapılan işlemlerin doğada bıraktığı karbon ayak izi konunun olumsuz yönleri olarak değerlendiriliyor.

NASA tarafından uzay teknolojileri kapsamında araştırılan sürdürülebilir yaşam destek çalışmaları, belki de gittikçe nüfusu artan ve doğal kaynakları giderek azalan Dünya'da temiz enerji-gıda-temiz su ihtiyacına sürdürülebilir, çevreye zarar vermeyen bir cevap bulabilir.

NASA Ames Araştırma Merkezi'nde yürütülen OMEGA projesinin başında olan Dr. Jonathan Trent uzun soluklu bu çalışmada sürdürülebilir ve karbon açısından nötr enerji kaynakları ile ilgili olumlu

sonuçlar elde etmiş ve mikroalgler kullanarak hayli etkili sayılabilecek bir sistem ortaya koymuş.

OMEGA sistemi NASA tarafından havacılıkta kullanılmak üzere yakıt üretimi için alternatif yollar bulmak amacıyla yapılan çalışmalar sonucunda şekillenmiş. Sistem yakıt üretiminin yanı sıra doğa dostu ve sürdürülebilir olduğu için amacının ötesine geçiyor.

NASA'da yapılan araştırmalarla OMEGA sistemi kullanılarak küçük ölçekte başarıyla mikroalg yetiştirildi ve atık sular temizlendi. Bundan sonra yapılması gereken ise korunaklı kıyı bölgelerinde daha büyük ölçekli bir OMEGA sistemi kurularak



biyoyakıt üretilmesi, çevresel etkilerinin neler olabileceğinin görülmesi ve atık su arıtma işlemlerinin verimliliğinin test edilmesi.

OMEGA sistemi, NASA'nın uzun süreli uzay keşifleri için üzerinde çalıştığı kapalı hayat destek sistemi ile uyumlu. Sistemin bir aşamasında oluşan atıklar ikinci aşamada değerlendirilerek yaşamı devam ettirmek için gerekli olan ürünler oluşturuluyor ve bu düzen kapalı bir döngü halinde tekrarlanıyor. Eğer başka gezegenlerde, örneğin Mars'ta koloni kurma ve yerleşme gibi geleceğe dönük planlar yapıyorsanız zor koşullar için böyle bir hazırlığınızın olması gayet mantıklı. Zaten

OMEGA sistemi de NASA'nın uzay araştırmalarının zorlu koşullarıyla baş edebilmek için üzerinde çalışma yaptığı yaşam destek sistemlerinin bir uzantısı ve bu çalışmaların topluma dönük yüzü.

Hâlihazırda üretilen biyoyakıtların çevre dostu özellikleri göz ardı edilemez, ancak uzun dönemde fosil yakıtların yerini alabilecekleri konusunda şüpheler var. Biyoyakıt üretimi için kullanılan tarım arazilerinin çok büyük olmasına karşın yakıt üretim verimliliğinin alana oranla düşük olması daha etkili yöntemlerin araştırılmasını gerektiriyor.

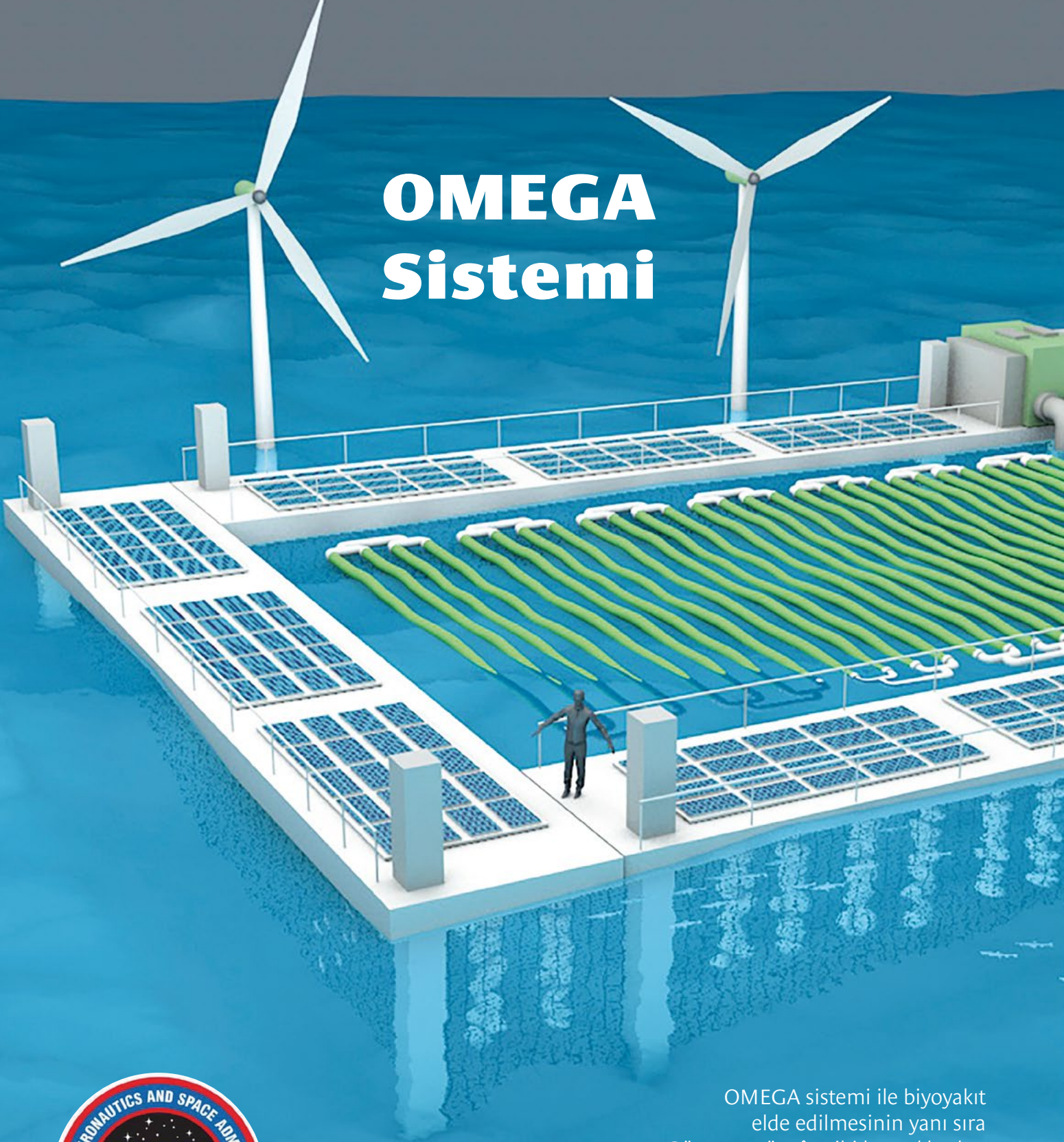
Algler, özellikle de mikroalgler, en hızlı büyüyen bitkilerden. Biyo-

yakıt üretimi için kullanılan diğer biyokütlelerle karşılaştırıldıklarında bu açıdan ön plana çıkıyorlar. Şehrin atık suları kullanılarak yetiştirilebildikleri için temiz su ve gübre kullanılmasını gerektirmiyorlar. Ayrıca yakıt üretimi de soya bitkisi kullanılarak yapılan yakıt üretiminden ortalama 100 kat fazla. 1000 m<sup>2</sup>'lik alanda soya yetiştirilerek yılda yaklaşık 50 litre biyoyakıt elde edilirken, bu rakam mikroalgler kullanıldığında işleme verimliliğine göre 2000-5000 litre arasına ulaşabiliyor.

Yalnız şunu da unutmamak gerekiyor: Enerji ihtiyacını karşılamak için yine de milyarlarca metrekarelik alan gerekiyor.



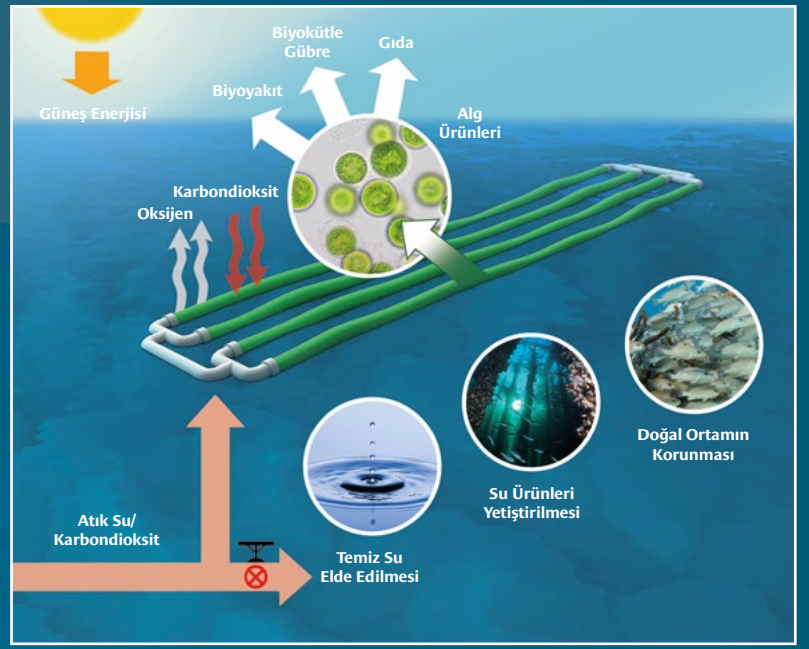
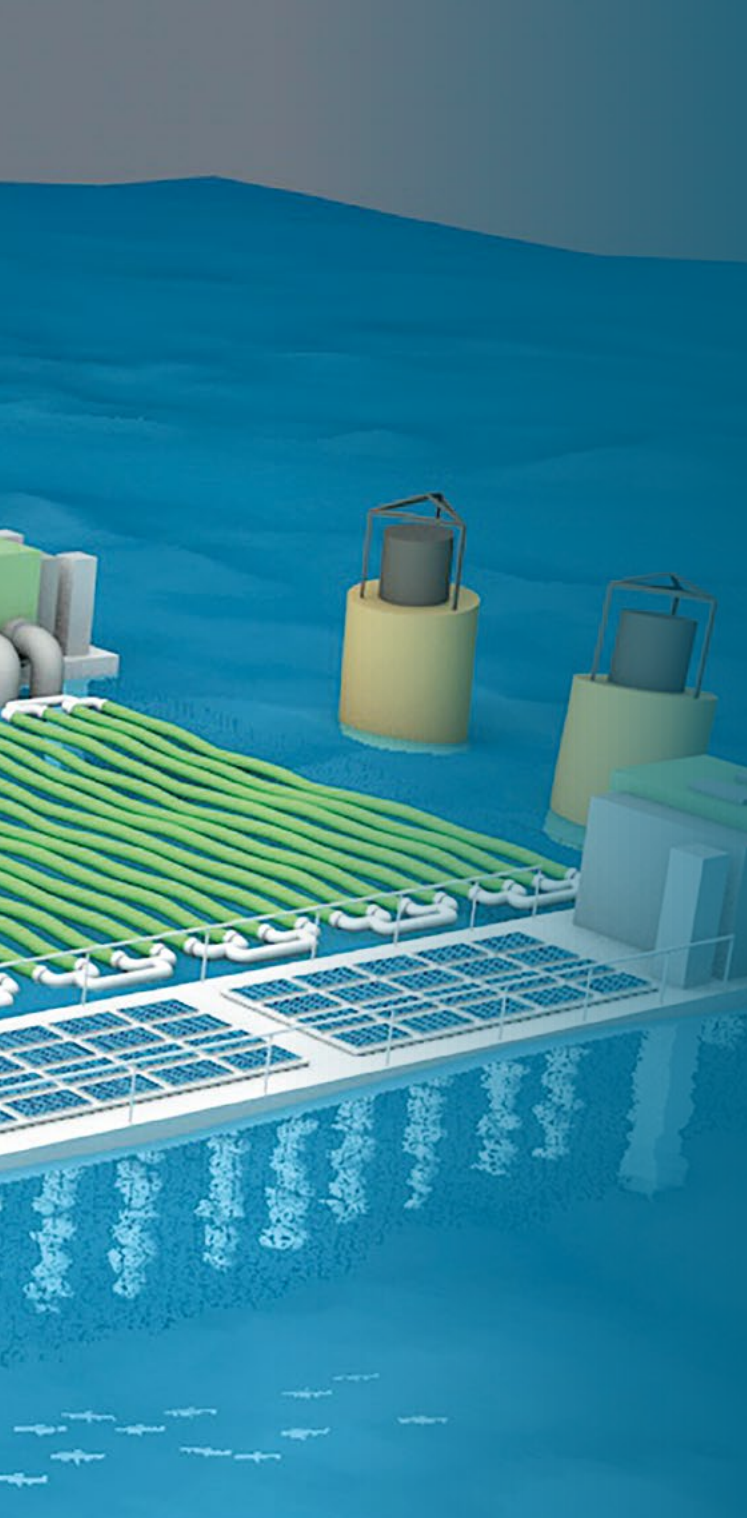
# OMEGA Sistemi



OMEGA sistemi ile biyoyakıt elde edilmesinin yanı sıra Güneş ve rüzgâr gibi kaynaklardan ve su dalgalarının hareketinden enerji de elde edilebiliyor.

Ayrıca su ürünleri yetiştiriciliği ile de sistem destekleniyor.





## OMEGA Sistemi Nedir?

Denize kıyısı olan şehirler için daha uygun bir çözüm olan OMEGA sistemi *Offshore Membrane Enclosures for Growing Algae* ifadesindeki sözcüklerin ilk harflerinden oluşan bir kısaltma. Kıyı şeridinde alg yetiştirilmek üzere kullanılan yapıların tümünü ifade ediyor. Dr. Trent'e göre OMEGA sistemi ölçeklendirilebilir, sürdürülebilir ve çevreye duyarlı olması açısından hâlihazırda kullanılmakta olan sistemlerden üstün.

En kısa ifadeyle OMEGA sistemi mikroalg yetiştirmek, atık su kullanmak ve temizlemek, karbondioksit tutmak ve son ürün olarak biyoyakıt üretmek için tasarlanmış, yenilikçi bir yöntem. Tüm bu işlemler için de tarımsal üretimde kullanılabilecek geniş alanlar, gübre ve temiz su kullanılmasını gerektirmiyor ve bu sayede tarım alanlarının zaten olması gerektiği gibi gıda üretimi için kullanılmasına olanak sağlıyor.



## Nasıl Çalışıyor?

Mikroalgler parkur olarak adlandırılan ışık geçirgen kanallarda ve fotobiyoreaktörlerde yetiştiriliyor. Kanallar ucuz olmalarına rağmen sadece düz yüzeylerde kullanılabiliyorlar, ayrıca kirlenmeye bağlı problemlere ve buharlaşma nedeniyle su kaybına da açıktır. Verimlilikleri de fotobiyoreaktörlerinkinden düşük. Bahsedilen bu problemler fotobiyoreaktörlerde yok. Ancak güneş ışınlarının ağız kapalı bu hasat hücrelerinde sebep olduğu ısınma kontrol edilmezse algler pişebilir. Sistemde devridaimin sağlanması, karıştırma ve temizlik gibi konular da üretim maliyetlerini artırıyor.

OMEGA sistemi temel olarak fotobiyoreaktör olarak adlandırılan büyük, esnek, ucuz ve geri dönüştürülebilir plastik tüplerden oluşuyor. Tatlı su algleriyle ve atık suyla dolu böyle tüplerden oluşan alg tarlası, denizin üzerinde yüzer halde duruyor. Atık suda yetişen algler aynı zamanda dünyanın en hızlı yetişen bitki türlerinden biri oldukları için sistemin verimliliği daha da artıyor.

Fotobiyoreaktörler atık su ile doldurulmuş olarak, kıyıda suyun üstünde yüzüyor. Bu nedenle sisteme zarar verecek şiddetli dalgaları ve akıntıları engellemek için tesisler ya doğal olarak korumalı koylara kuruyor ya da dalgakıranlar kullanılıyor.

Tatlı su algleri atık sularda yetişebilir. Özellikle de gübreli sularda. Deniz algleri ise deniz suyu ve atık su karışımında yetiştirilebiliyor. Her iki durumda da atık su kullanımı algler için ideal bir büyüme ortamı oluşmasını sağlıyor, aynı zamanda



algler atık sulardaki besleyici maddeleri ve kirlilik kaynaklarını temizleyerek bu suların temizlenmesinde rol oynuyor. Böylece atık suların çevreye verdiği zarar da azaltılıyor.

Mikroalgler güneş ışığı, karbondioksit ve atık sudaki besinleri kullanarak büyüyor. Korunaklı koylarda yüzen, ağa benzer yapılara tutturulmuş şeffaf plastik fotobiyoreaktörlerde tatlı su algleri yetiştirilebiliyor. Atık su ve karbondioksit kullanılarak gerekli olan su ve besin sağlanıyor.

Fotobiyoreaktörleri çevreleyen deniz suyu hem sıcaklığın kontrol edilmesini hem de sistemden kaçan alglerin ortama yayılması durumunda yok edilmesini temin ediyor. OMEGA sisteminde suyun kaldırma kuvveti ve hareketli (yukarı aşağı hareket edebilen) yapılar kullanılarak güneş ışığının etkileri ve aşırı ısınmadan kaynaklanacak problemler ortadan kaldırılıyor. Deniz suyu ve atık su arasındaki tuzluluk farkı sistemden dışarı yönde ozmoza neden oluyor, bu da besin derişiminin (karışımındaki besin miktarının) ko-

runmasını sağlıyor ve alg hasadını çabuklaştırıyor. Deniz suyu ve atık su arasında su geçişi yarı geçirgen hücreler kullanılarak sağlanıyor ve sisteme tuz girişi de engelleniyor.

Sistemde kullanılan fotobiyoreaktör hücrelerin yırtılması durumunda tatlı su algleri ortama yayılarak çevredeki tür dengesini tehdit edebilir. Ancak tatlı su mikroalgleri tuzlu suda yaşayamaz, böylece istilacı bir tür olarak ekosisteme yayılmaz tersine ortama besin kaynağı olarak katkıda bulunurlar.

Mikroalgler aracılığıyla üretilen biyoyakıtlar kullanıldığında doğadaki karbon dengesi bozulmuyor. Çünkü alglerin kullandığı karbondioksit kısa bir döngü sonucunda (yakıt üretilmesi ve üretilen yakıtların kullanılması) yeniden atmosfere salınıyor. Alglerin %40'lık kısmı biyoyakıt üretiminde kullanılırken kalan %60'lık biyokütlenin biyolojik kömür yapımında kullanılması durumunda sistemin dengeyi doğanın yararına değiştirmesi bile mümkün olabiliyor.





## Mikroalg Nedir?

İsminden de anlaşılacağı üzere mikrometre ölçeğinde, ancak mikroskopa görülebilecek tek hücreli organizmalardır. Binlerce türü olan mikroalgler fotosentez yapabilir. Bazıları doğadaki en hızlı büyüyen bitkilerdir. Bu özellikleri sayesinde biyoyakıt üretimi için en uygun adaylar olarak değerlendiriliyorlar.

## Dikkat Edilmesi Gerekenler

OMEGA ile mikroalg üretimi atık su kullanılarak yapıldığı için sistemin atık su arıtma tesislerinin yakınında kurulması gerekli. Şehirlerde genellikle merkezde bulunan atık su arıtma tesisleri bu nedenle pek kullanışlı olmuyor. Ancak kıyı şehirlerinde üretim tesislerini suyun üzerinde ve kıyıda kurmak mümkün. OMEGA'nın kurulmasının planlandığı çalışma alanları da tam olarak böyle yerler.

Sistemin kurulacağı kıyılarda elbette dikkat edilmesi gereken noktalar var: Sıcaklık, ışık, su berraklığı, fırtına görülme sıklığı, deniz trafiği, doğa ve yaban hayatı gibi konular her bölgeye özel olarak incelenmeli, bölgenin OMEGA sistemi için uygun olup olmadığı mutlaka önceden araştırılmalıdır.

Diğer bir önemli konu da elbette işin mali boyutu. Kıyı şehirlerinde atık sular için hâlihazırda kullanılan yapılara OMEGA sistemi daha düşük maliyetlerle entegre edilebilir.

Ayrıca sudaki dalga hareketinden yararlanılarak düzenli bir karıştırma sağlanabilir ve sistem ile deniz suyu arasındaki tuz derişimi farkı kullanılarak temizlenen atık sular denize bırakılırken algler de hasat edilecek yoğunluğa kolaylıkla ulaşabilir.

Elde edilecek biyoyakıtın maliyeti sisteme çeşitli enerji üretim yöntemleri entegre edilerek ve çeşitli su ürünleri yetiştirilerek düşürülebilir. Tesisin yapısına entegre edilecek güneş enerjisi, dalga enerjisi, rüzgâr enerjisi üretim sistemleri ve suyun ısı kapasitesi enerji kaynağı olarak kullanılabilir. Sistem içinde su ürünleri yetiştiriciliği de yapılabilir. Örneğin deniz yosunu, midye, istiridye ve konuma bağlı olarak farklı pek çok yenilebilir deniz ürünü yetiştirilebilir. Böylece üretilen biyoyakıtın maliyeti düşürülerek sistem finansal açıdan daha uygulanabilir hale gelir.

Algler hem atık suları temizlemek için kullanılırken atık sularda alg yetiştirmeye de yarıyor. Karbondioksit alg yetiştirmek için kullanılırken algler de karbondioksiti tutmaya yarıyor.



Mikroalgler kozmetik ürünleri, gübre ve hayvan yemi yapımında da kullanılabilir. Fotobiyoreaktörlerde alg yetiştirilirken dışarıda çeşitli su ürünleri yetiştirilebilir.

Tüm öğeleriyle birlikte değerlendirildiğinde OMEGA'nın kapalı bir döngü içinde çalışan, sürdürülebilir ve çevre dostu bir sistem olduğu düşünülüyor. Sistemin bir bölümündeki atık ürünler diğer bölüm için kaynak oluşturuyor. Bu nedenle sistemin doğa ile denge halinde olduğu söylenebilir. Ayrıca tarım alanları, su ve gübre gibi kaynaklar kullanılmadığı için tarımsal faaliyetler üzerinde de olumsuz bir etki oluşmuyor.





OMEGA sistemi araştırma çalışmaları  
San Francisco / Fotoğraf: NASA

## Neler Yapıldı?

OMEGA sistemi ile ilgili olarak araştırmacıların olumlu sonuçlar elde etmesi üzerine araştırmalar daha büyük ölçeklere taşındı. 2010-2012 yılları arasında NASA OMEGA projesi kapsamında öncelikle 100, 200, 1600 ve 3200 litrelik sistemler üzerinde alg büyüme döngüleri gerçekleştirildi. Atık su temizlenmesi ve besinlerin geri dönüşümü başarılıydı. Mikroalg hasadı için optimum koşullar tespit edildi ve kullanılan mikroalglerin biyoyakıt üretimindeki verimliliği test edildi.

Kaliforniya Enerji Komisyonu ve NASA tarafından desteklenen OMEGA projesi için uygulanabilirlik denemeleri Kaliforniya Santa Cruz Laboratuvarları'nda ve San Francisco Atık Su Arıtma Tesisleri'nde gerçekleştirildi. Santa Cruz'daki laboratuvarlarda fotobiyorektörler ve sistem tasarımları denendi ve optimizasyonlar üzerinde çalışıldı. Burada üretilen küçük ölçekli sistemler daha büyük ölçeklerde San Francisco'da denendi. Sistemin deniz ortamında kurulması durumunda doğaya ve deniz ortamındaki organizmalara nasıl etkileri olacağını araştırmak içinse Monterey Körfezi Moss Landing Marine Laboratuvarı'nda çalışmalar yapıldı.

Örneğin San Francisco'da günde 250 milyon litre atık su üretildiği ve üretilen bu atık suların 5 gün biriktirildiği düşünülürse 1 milyar 250 milyon litre atık su OMEGA sisteminde kullanılabilir demektir. Bu da San Francisco Körfezi'nde 5 milyon m<sup>2</sup>'lik alanda OMEGA modülleri kullanılabileceği anlamına geliyor. Bu alan körfezin alanının %1'lik kısmını oluşturuyor. Elde edilecek biyoyakıt ise ortalama olarak yılda 7,5 milyon litrenin üzerinde olacaktır. Bu rakam San Francisco'nun yıllık yakıt ihtiyacının %20'si demek. Hem de verimliliği artırmak için hiçbir çaba göstermeden.

## Dr. Jonathan Trent



Dr. Jonathan Trent, Scripps Deniz Bilimleri Enstitüsü Biyolojik Deniz Bilimleri Bölümü'nde doktorasını tamamladıktan sonra altı yıl Max Planck Enstitüsü, Kopenhag Üniversitesi ve Paris Üniversitesi'nde çalışmalarına devam etti. Jeotermal kaplıcalarda yaşayan ekstremofillerin (zor çevre koşullarında hayatta kalabilen mikroorganizmalar) biyokimyası ve moleküler biyolojisi konusunda uzmanlaştı. Yale Tıp Fakültesi'nde de iki yıl görev yapan Dr. Trent ekstremofilleri incelemeye orada devam etti ve bu canlılarda insandakine benzer bir protein sınıfı olduğunu keşfetti. Daha sonra Argonne Ulusal Laboratuvarı'nda kurduğu Biyoteknoloji Araştırma Grubu ile birlikte ekstremofillerin özellikle doğadaki zehirli atıkların temizlenmesi için kullanılması konusu üzerine yoğunlaştı. 1998'de NASA Ames Araştırma Merkezi Astrobiyoloji Programı'na katılan Dr. Trent, 1999'da Protein Nanoteknoloji Grubu'nu kurdu. NASA'da çalışmasının yanı sıra Kaliforniya Üniversitesi Biyomoleküler Mühendislik Bölümü'nde de misafir akademisyen olarak görev yapan Dr. Jonathan Trent aynı zamanda Kaliforniya

Bilimler Akademisi üyesi. Nanoteknoloji alanındaki başarılarından dolayı 2006'da Nano 50 Ödülü'ne layık görüldü. Dr. Trent, kâr amacı gütmeyen uluslararası OMEGA Global Initiative (OGI) kuruluşunun yöneticiliğini yapıyor.

Dr. Jonathan Trent Dünya, Mars ve OMEGA başlıklı seminerde (Boğaziçi Üniversitesi)



Fotoğraf: Kenan Özcan

Okyanusta 40 milyar m<sup>2</sup>'lik alana kurulacak OMEGA sisteminin Amerikan havacılığının yıllık ihtiyacı olan yaklaşık 80 milyar litre yakıtı karşılayabileceğini belirten Dr. Trent, çok büyük görünen bu alanın okyanusların boyutu düşünüldüğünde sorun olmayacağını belirtiyor.

Dr. Trent biyoloji, mühendislik ve çevre açısından elde edilen olumlu sonuçlara dayanarak yakın gelecekte farklı bölgelerde tam donanımlı sistemlerin kurulabileceğini öngörüyor. Gıda, temiz su ve çevreye duyarlı yeşil enerji kaynakları üzerinde çalışan daha fazla bilim insanına ve araştırmacıya ihtiyaç duyulduğunu vurgulayan Dr. Jonathan

Trent, bu konulardaki çalışmaların desteklenmesinin çok önemli olduğunu da söylüyor.

Boğaziçi Üniversitesi'nin 150. yılı etkinlikleri kapsamında başlatılan ve çeşitli ülkelerden önemli araştırmacı ve bilim insanlarının davet edildiği konferanslar kapsamında 19 Aralık 2017 tarihinde "Dünya, Mars ve OMEGA" başlıklı bir seminer veren Dr. Jonathan Trent bu konuyla ilgili bilgileri katılımcılarla paylaştı.

Geleceğimiz için sürdürülebilir çözümlerin araştırılmasının önemini vurgulayan Dr. Trent'in söylediği gibi topluma faydalı olacak her olasılığı düşünmemiz gerekiyor: "Alfadan OMEGA'ya her şeyi." ■

### Kaynaklar

<http://www.nytimes.com/gwire/2009/05/12/greenwire-nasa-bags-algae-wastewater-in-bid-for-aviation-12208.html>

<https://www.newscientist.com/article/mg21528797-200-even-greener-alternative-energy-from-algae/>

<https://www.nasa.gov/centers/ames/research/OMEGA/overview/index.html>

[https://www.nasa.gov/centers/ames/pdf/637997main\\_omega\\_brochure.pdf](https://www.nasa.gov/centers/ames/pdf/637997main_omega_brochure.pdf)

Mishra, S., "India has great potential for developing OMEGA systems - Expert Speak, Dr. Jonathan Trent", *Energy Next*, Cilt 3, Sayı 7, s. 28-32, Mayıs 2013.

<http://www.algaeindustry.com/nasas-omega-scientist-dr-jonathan-trent/>

Trent, J., Wiley, P., Tozzi, S., McKuin, B., Reinsch, S., "Research Spotlight: The future of biofuels: Is it in the bag?", *Biofuels*, Cilt 3, Sayı 5, s. 521-524, 2012.

Wiley, P., Harris, L., Trent, J., ve ark., "Microalgae Cultivation Using Offshore Membrane Enclosures for Growing Algae (OMEGA)", *Journal of Sustainable Bioenergy Systems*, Sayı 3, s. 18-32, 2013.

Harris, L., Tozzi, S., Wiley, P., Young, C., Richardson, T. J., Clark, K., Trent, J. D., "Potential impact of biofouling on the photobioreactors of the Offshore Membrane Enclosures for Growing Algae (OMEGA) system", *Bioresource Technology*, Sayı 144, s. 420-428, 2013.

[https://www.ted.com/talks/jonathan\\_trent\\_energy\\_from\\_floating\\_algae\\_pods](https://www.ted.com/talks/jonathan_trent_energy_from_floating_algae_pods)