Uluslararası Uzay İstasyonu'nda Solunabilir Oksijen Nasıl Üretiliyor?

Hayriye Yetiş | *TÜBİTAK Bilim ve Teknik Dergisi*

Bilim kurgu dünyasının en popüler kitaplarından biri olan Jules Verne'in "Denizler Altında Yirmi Bin Fersah" romanında Kaptan Nemo'nun komuta ettiği Nautilus isimli denizaltı, kitaptaki olayların geçtiği ana mekânlarından biridir. 1 fersahın 5 kilometreden fazla olduğu düşünüldüğünde kilometrelerce mesafenin katedildiği bu kurgu hikâyede günlerce denizaltıda yaşamak, akla bazı soruları da getiriyor. Denizaltı mürettebatının tüm bu süreçte oksijen ihtiyacını nasıl karşıladığı kuşkusuz bu sorulardan biri. Kitabın zamanının ötesinde bir teknolojiye yer vermesi bir yana günlerce su altında kalmaya imkân sağlayacak farklı oksijen üretim teknolojileri 1950'lerden beri geliştirilmeye devam ediyor. Bunlardan bir kısmı tarihsel süreçte uzay araçları için geliştirilen birtakım teknolojilere de ilham kaynağı oldu. Günümüzde çeşitli denizaltılarda ve Uluslararası Uzay İstasyonu'nda (ISS) benzer oksijen üretim yöntemleri kullanılsa da ortam koşullarının farklı olması nedeniyle bu teknolojiler farklı yöntemlerle çalışıyor. Peki, Dünya'nın yüzeyinden ortalama 400 kilometre uzaklıkta hareket eden ISS'de nefes almayı mümkün kılan teknolojiler neler?

Nasibjs / Alamy

Dünya'nın atmosferi oksijen, azot, karbondioksit ve metan gibi çeşitli gazların farklı oranlarda bir araya gelmesiyle oluşur. Kütle çekim kuvvetinin etkisiyle Dünya'nın atmosferi ve manyetik alanı yerküredeki yaşamın devam etmesini sağlar. Yeryüzündeki canlıların solunum süreci ile besinlerden enerji üretmeleri için kritik öneme sahip olan oksijen atmosferin yaklaşık %21'ini oluşturur. Ayrıca hidrojen ve helyumdan sonra evrende en bol bulunan üçüncü elementtir. Ancak uzaydaki oksijenin yaklaşık %96'sı atomik yapıda bulunur. Atomik yapıdaki oksijen tepkimeye girmeye son derece istekli olmasından dolayı moleküler yani solunabilir oksijenden farklı olarak elementlerle ve bileşiklerle daha kolay tepkimeye girer.

Uzayda Neden Solunabilir Oksijen Miktarı Çok Az?

1970 yıllarında gök bilimciler, moleküler oksijenin (O_2), moleküler hidrojen (H_2) ve karbon monoksitten (CO) sonra yıldızlararası ortamdaki en yaygın üçüncü molekül olacağını öngörmüştü. Ancak süregelen çalışmalarla birlikte moleküler oksijen, yıldızlararası uzayda Orion Bulutsusu ve Rho Ophiuchi Moleküler Bulutu olmak üzere yalnızca iki yerde tespit edildi. Ancak bu iki yerde tespit edilen moleküler oksijen miktarı öngörülenden çok daha azdı. Örneğin Orion Bulutsusu'ndaki hidrojen molekülü miktarı, oksijen molekülü miktarından milyonlarca kat daha fazladır. Bu sonuçlar uzayda solunabilir oksijenin yok denilebilecek kadar az miktarda olduğunu gösterdi.

Gök bilimciler 2015 yılında uzayda bulunan moleküler oksijen miktarının çok az olmasının sebebini oksijen atomlarının yıldızlararası ortamdaki toz ve gaz bulutlarını oluşturan parçacıkların yüzeyine sıkıca tutunmasıyla açıklayan bir deney gerçekleştirdi. Daha önce atomik oksijenin bağlanma enerjisini ölçen birtakım çalışmalar yapılmış olsa da deneysel bir ölçüm henüz gerçekleşmemişti. New York'taki Syracuse Üniversitesinde deneysel astrofizikçi olan Jiao He ve meslektaşları 2015 yılında atomik oksijenin bağlanma enerjisini ölçmeyi başardı. Araştırmacılar yıldızlararası ortamdaki toz ve gaz bulutlarını oluşturan maddelerden katı buz ve silikat parçacıklarını ısıtarak yüzeylerine tutunmuş olan oksijenin serbest kalmasını sağladı. Bu sayede oksijen atomunun bağlanma enerjisini hesaplandı. Sonuçlar oksijenin bağlanma enerjisinin daha önce hesaplanandan iki kat fazla olduğunu gösterdi. Sonuçları The Astrophysical Journal'da yayımlanan çalışma, oksijen atomlarının yıldızlararası toz parçacıklarının yüzeyine sıkıca tutunduğunu ve çok düşük sıcaklıklarda bile toz parçacıklarından ayrılmalarının mümkün olmadığını ortaya koydu.

Bağlanma enerjisi, bir sistem içindeki parçacıkları ayırmak veya sistemin tüm parçalarını dağıtmak için gereken enerji miktarını ifade eder ve ayırma enerjisi olarak da bilinir. Bir atom, sistem olarak düşünüldüğünde bir elektronu atomdan ayırmak veya atom çekirdeğindeki proton ve nötronları ayırmak için gereken enerji, bağlanma enerjisidir.

Uzay ortamında yeterli miktarda solunabilir oksijen olsa bile bu, tek başına nefes almayı sağlamaya yetmiyor. Neredeyse yok denilebilecek kadar az madde içeren basıncın çok düşük olduğu uzaydaki

WOH G64 süper dev yıldızının dört büyük çaplı teleskopla elde edilmiş görüntüsü

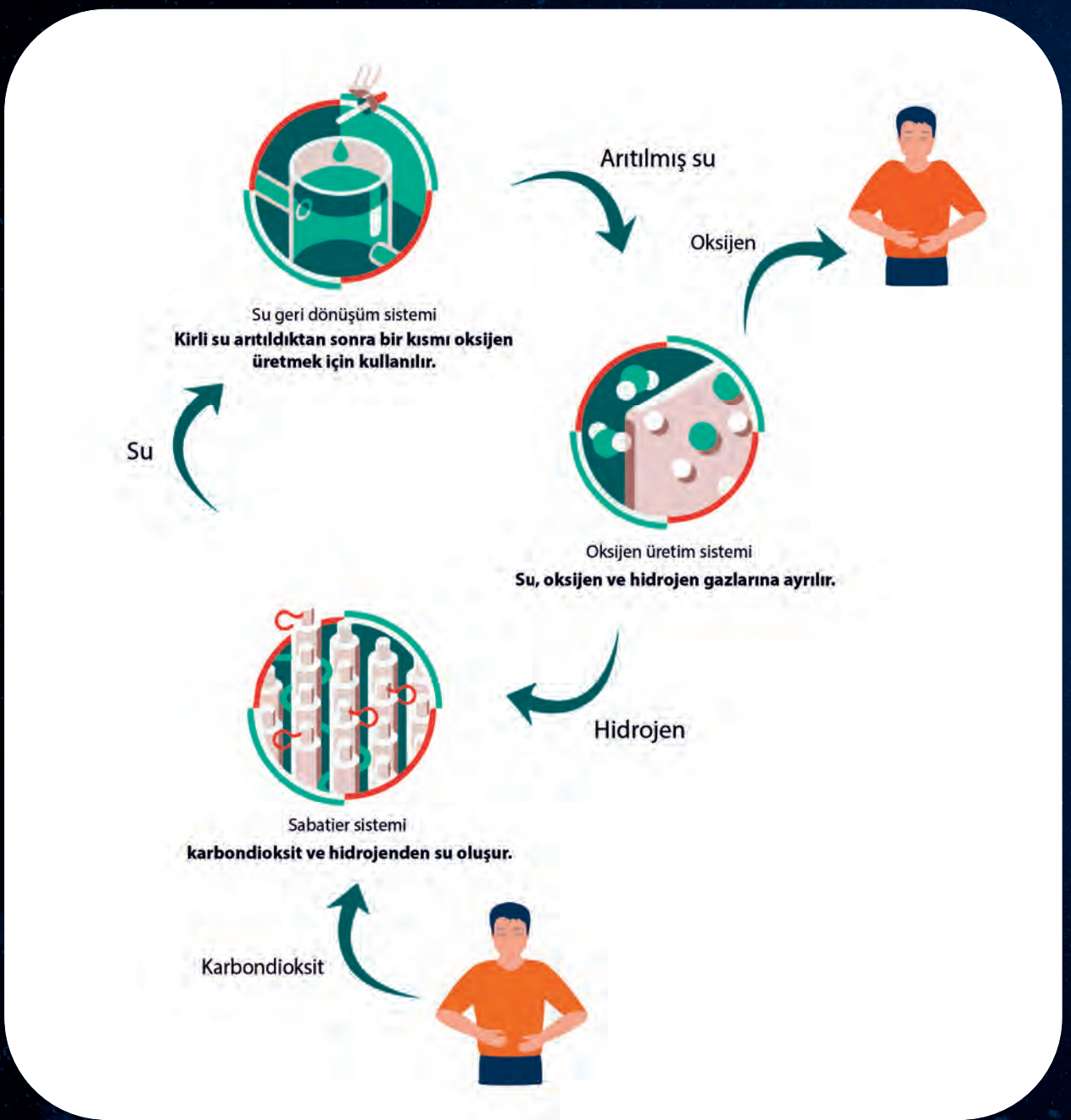
vakum ortamı, uç sıcaklıklar, yüksek enerjili radyasyon ve solunumu sağlayan azot gibi gazların yokluğu uzay ortamında nefes almayı dolaylı yollarla engelliyor. Uzay araçları, astronotların uzaydaki yaşamlarını sürdürebilmeleri için çeşitli yöntemlerle oksijen sağlamak ve solunum için uygun ortam koşullarını sağlamak zorunda.

Kapalı bir sistem olan Uluslararası Uzay İstasyonu (ISS) mürettebatı için gereken oksijen ihtiyacı çeşitli yöntemlerle sağlanabiliyor. Sıkıştırılmış gaz hâlindeki oksijen, basınçlı tanklar yardımıyla Dünya'dan ISS'ye taşınabiliyor. Ancak astronotların istasyondaki görev süreleri boyunca yetecek miktarda hava, uzay araçlarıyla taşınabilir olsa da istasyonda saklama alanının sınırlı olması, fırlatma maliyetleri, güvenlik riskleri gibi nedenlerle bu yöntem sürdürülebilir bir çözüm değil. Özellikle de uzun süreli araştırmaları yürütmek, uzay araçlarında oksijen üretmeyi zorunlu hâle getiriyor. Dünya'nın yörüngesinde hareket eden insan yapımı en büyük nesne olma özelliğini taşıyan ve 2000 yılından beri çığır açıcı birçok bilimsel araştırmaya ve teknolojik gelişmeye ev sahipliği yapan ISS'de, farklı türde ve verimlilikte oksijen üretim yöntemleri mevcut. ISS'deki insanların uzun süre yaşamlarını devam ettirebilmelerini ve insanlı uzay görevlerinin sürdürülebilirliğini mümkün kılan oksijen üretim teknolojileri, astronotlar için gerekli hava, su, sıcaklık gibi koşulların oluşturulmasını sağlayan çevresel kontrol ve yaşam destek sisteminin temel bileşenlerinden biri.

ISS uzaya fırlatılmadan önce, vakum ortamı yeryüzünde oluşturularak farklı oksijen üretme yöntemleri üzerinde uzun süredir devam eden çalışmalar mevcuttu. Deneme çalışmaları sonucu geliştirilen en verimli oksijen üreten teknolojilerden biri, istasyondaki geri dönüştürülen suyun elektroliz edilerek oksijenin üretildiği sistemdir. Su geri dönüşümü sistemi ile istasyonda açığa çıkan idrar ve ter gibi maddeler toplanıp arıtıldıktan sonra arıtılan suyun bir kısmı oksijen üretmek için kullanılır.

ABD Ulusal Havacılık ve Uzay Dairesi (NASA) tarafından tasarlanan oksijen üretim sistemi, suyu temel bileşenleri olan oksijen ve hidrojen gazlarına ayıran Rusya'ya ait elektron sistemi ile birlikte çalışıyor. Elektroliz yöntemiyle gerçekleşen bu işlem için gerekli elektrik enerjisi, istasyonun güneş panellerinden sağlanır. Elde edilen oksijen istasyon içinde dağıtılırken yan ürün olarak açığa çıkan hidrojen ise sabatier sistemine aktarılır. Bu sistemde, suyun ayrıştırılması sonucu elde edilen hidrojen mürettebatın solunumu sonucu açığa çıkan karbondioksitle tepkimeye girerek su ve metan gazına dönüşür. Oluşan su istasyonda yeniden kullanılabilirken elektroliz ve sabatier tepkimeleri sonucu açığa çıkan ısı ve metan gazı ise uzaya salınır.

ISS aynı zamanda oksijen üretmek için kullanılan mevcut sistemdeki herhangi bir arıza durumuna karşı yedek sistemlere de sahip. Bunlardan biri, görevi 2001 yılında sonlanan Rusya'ya ait Mir Uzay İstasyonu için geliştirilen katı yakıtlı oksijen jeneratörüdür. Kimyasal tepkimeler yoluyla oksijen



üreten bu sistemin içindeki sodyum klorat ve demir tozu karışımı, kontrollü bir şekilde belirli bir sıcaklığa kadar ısıtılır. Yaklaşık sıcaklığı 600 °C'ye ulaştığında yanmaya başlayan demir tozu, sodyum kloratın termal olarak ayrışması için gereken ısı enerjisini sağlar. Sodyum kloratın parçalanması sonucu açığa çıkan oksijen, filtreden geçirilerek ortama salınır. Ancak bu sistemin bazı güvenlik riskleri bulunduğu için sadece acil durumlarda devreye alınan yedek bir sistem olarak kullanılıyor.

ISS'de kullanılan mevcut teknoloji, ortama verilen karbondioksiti maksimum %50 verimle oksijene geri dönüştürebiliyor. Geçtiğimiz yıl Çin'deki Nanjing Üniversitesinden Zhaosheng Li ve meslektaşları, kobalt elementi içeren bir katalizör (kendisi tepkimede harcamadan kimyasal tepkimelerin hızını artıran madde) yardımıyla karbondioksiti suya ve karbon nanotüplere dönüştürebilen bir yöntem geliştirdi. Sonrasında ise mevcut sistem elde edilen suyu oksijen gazına dönüştürüyor. Karbon nanotüplerin ise ilerleyen yıllarda gerçekleşmesi planlanan uzay görevleri için geliştirilen yeni teknolojilerde kullanılabileceği düşünülüyor. Sonuçları Joule'da yayımlanan çalışmada yeni teknolojinin %68 oranında oksijen geri dönüşümü sağlayabildiği ifade ediliyor. Bu oranı %75'e çıkarmak için çalışmalarına devam eden araştırmacılar, yakın gelecekte oksijen geri dönüşümünde %100 verimliliğe ulaşmayı hedefliyor.

Diğer yandan NASA, insanlı uzay araçlarında bulunan mevcut oksijen üretim sistemlerindeki teknolojiler üzerinde çalışmaya devam ediyor. Bunlardan biri, geliştirilmekte olan Uzay Aracı Oksijen Geri Dönüşümü (SCOR) adlı proje. Bu teknoloji ile oksijen geri dönüşüm oranının %75'in üzerine çıkarılması hedefleniyor.

Uzay araştırmaları hız kesmeden devam ederken uzun süreli insanlı uzay görevleri için su ve hava gibi temel ihtiyaçların karşılanmasına yönelik daha verimli teknolojiler geliştirilmeye devam ediyor. Özel bitkiler yetiştirerek fotosentez yoluyla oksijen üretmekten yapay fotosentez sistemleri geliştirmeye kadar üzerinde çalışılan teknolojiler, sürdürülebilir oksijen üretimine yönelik çalışmaları hızlandıracağa benziyor. ■

Kaynaklar

https://www.nasa.gov/international-space-station/
https://www.britannica.com/science/binding-energy
https://www.science.org/content/article/why-there-so-little-breathable-oxygen-space
https://iopscience.iop.org/article/10.1088/0004-637X/801/2/120
https://www.nasa.gov/spacecraft-oxygen-recovery-scor/
https://doi.org/10.1016/j.joule.2024.08.007
https://interestingengineering.com/science/how-is-breathable-air-replenished-on-the-iss