

Bilim *ve* Teknik

Aylık Popüler Bilim Dergisi Kasım 2025 Yıl 59 Sayı 696 - 39 TL

Manyetizmayla Kontrol Edilebilen

MİKROROBOTLARLA İLAÇ DAĞITIMI



Çevresel Bağışıklık Toleransı
Makroskobik Kuantum Tünelleme
Metal Organik Kafes Malzemeler
Filtre Balonu

Kütleçekimsel Dalga Gözlemi

Astronotlar Mikroorganizmalar ile Uzaya Gidecek



FOTOSENTEZ
Poster eki

Nesiller Büyüten Dergi ile

Keşfetmenin Sonu Yok!



Yıllık Abonelik

468 TL

yerine

390 TL

#BilimOkuyanBilir



Abonelik avantajları için:
yayinlar.tubitak.gov.tr

Ön Kapak Görseli: adventtr / iStock



“Benim mânevi mirasım ilim ve aklıdır.”
Mustafa Kemal Atatürk

Bilim ve Teknik

Aylık Popüler Bilim Dergisi
Yıl 59 Sayı 696
Kasım 2025

İmtiyaz Sahibi
TÜBİTAK Adına Başkan
Prof. Dr. Orhan Aydın

**Genel Yayın Yönetmeni ve
Sorumlu Yazı İşleri Müdürü**
Ömer Kökçam

Dergiler Müdürü
Kübra Bal Çetinkaya

Yayın Yönetmeni
Dr. Özlem Kılıç Ekici

Editör
Dr. Tuba Sarıgül

Yayın Danışma Kurulu
Ömer Kökçam
Fatma Başar
Kübra Bal Çetinkaya
Dr. E. Sümeyra Turalı Emre
Prof. Dr. Ersin Göğüş
Dr. Berat Z. Haznedaroğlu
Dr. Yeşim İmamoğlu
Prof. Dr. Raif Kandemir

Araştırma ve Yazı Grubu
Dr. Özlem Ak
Mesut Erol
Dr. Mahir E. Ocak
Dr. Tuba Sarıgül
İlay Çelik Sezer
Hayriye Yetiş Avcı

Redaksiyon
Berranur Beşir
Mehmet Şişirici

Grafik Tasarım
Hüseyin Diker

Web-Mobil Uygulama-Sosyal Medya
Dr. Tuba Sarıgül
Rıza Berkay Ayçelebi
İlkin Eda Tonuç
Ebru Yavuz Kars

Mali Yönetmen
Adem Polat

Mali ve İdari Hizmetler
Pınar Kaya

İletişim Bilgileri
TÜBİTAK Bilim ve Toplum Başkanlığı
Dergiler Müdürlüğü
Bilim ve Teknik Dergisi
Remzi Oğuz Arık Mah.
Tunus Cad. No:80
06540 Çankaya ANKARA
bteknik@tubitak.gov.tr
bilimteknik.tubitak.gov.tr

Abone İlişkileri
abone@tubitak.gov.tr
yayinlar.tubitak.gov.tr

Baskı
Başak Matbaacılık Tanıtım
Hizmetleri İth.İhr. A.Ş.
basakmatbaa.com

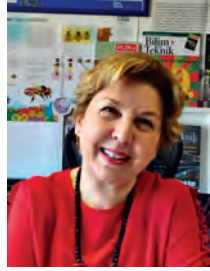
Baskı Tarihi 21.10.2025

Dağıtım Turkvaz Dağıtım Pazarlama A.Ş.
tdp.com.tr

Bilim ve Teknik Dergisi, Milli Eğitim Bakanlığı
[Tebliğler Dergisi, 30.11.1970, sayfa 407B, karar no: 10247]
tarafından lise ve dengi okullara; Genelkurmay Başkanlığı
[7 Şubat 1979, HRK: 4013-22-79 Eğt. Krs. Ş. sayı Nşr.83] tarafından
Silahlı Kuvvetler personeline tavsiye edilmiştir.

ISSN 977-1300-3380
Fiyatı 39 TL (KDV Dahil)

Her ayın 1'inde çıkar.



*Değerli öğretmenlerimizin 24 Kasım Öğretmenler Günü'nü kutluyor,
87 yıl önce 10 Kasım 1938'de kaybettiğimiz, Cumhuriyetimizin
kurucusu Ulu Önder Gazi Mustafa Kemal Atatürk'ü sevgi, saygı ve
minnetle anıyoruz.*

Medikal robot teknolojisi ilerledikçe tıbbi müdahalelerin düzeyi de gelişiyor. Özellikle son yıllarda nanobot ve mikrorobotlar kullanılarak vücutta hedeflenen belirli bölgelere veya dokulara ilaç dağıtımı üzerine gerçekleştirilen bilimsel çalışmalardan başarılı sonuçlar elde ediliyor. Ancak mikrorobotların hem ilaç taşıma kapasitelerinin hem de hareket kabiliyetlerinin artırılması konusunun uzun zamandır uzmanların üzerinde çalıştığı bir zorluk olduğu da biliniyor. Mahir Ocak bu ayki yazısında bu zorluğu aşmayı başaran bir çalışmadan bahsediyor. Kalıcı mknatıs özellik gösteren damlacıkların zincir biçiminde bir araya gelmesiyle oluşan ve manyetizmayla kontrol edilen mikrorobotların görece zorlu testlerden nasıl başarıyla geçtiklerini detaylı bir şekilde ele alıyor. Bir diğer yazısında ise bugüne kadarki en belirgin kütleçekimsel dalga ölçümünün gerçekleştirildiğini ve bu gözlemin neden önemli olduğunu bizlere aktarıyor.

Bilim alanındaki 2025 Nobel ödüllerini kazanan bilim insanlarının gerçekleştirdiği çevresel bağışıklık toleransı, makroskobik kuantum tünelleme deneyleri ve metal organik kafes malzemelerle ilgili çalışmaların detaylarını İlay Çelik Sezer, Mahir E. Ocak ve Hayriye Yetiş Avcı ele alıyor. Özlem Ak ise astronotlar ile uzaya gönderilecek mikroorganizmaların uzaydaki stratejik önemine değiniyor. Bu ayki posterimizde fotosentez konusunu ele alıyoruz.

“Bilim ve Teknik Ekibi TEKNOFEST İstanbul'da Okurlarıyla Buluştu”, “Algı Tabanlı Biyoplastik Habitatlar”, “Hastalıklar Kadınları ve Erkekleri Neden Farklı Etkiliyor?”, “Filtre Balonu” yazılarımız ile farklı ilgi alanlarına hitap eden *Bilim ve Teknik* ile Büyüdüm, Büyüyorum, Bilim Haberleri, Bilim Çizgi, Tekno-Yaşam, Merak Ettikleriniz, Bilim Tarihinden Notlar, Doğa, Gökyüzü, Düşünme Kulesi, Satranç, Ayın Sorusu, Zekâ Oyunları ve Yayın Dünyası başlıklı köşelerimizi de beğenerek okuyacağınızı umuyoruz.

Bilim ve Teknik elektronik dergi arşivi (son dört sayı hariç) ücretsiz olarak herkesin erişimine açıktır (services.tubitak.gov.tr/edergi). Dergimizin daha düşük fiyata ve ücretsiz kargoyla sizlere ulaşacağı abonelik fırsatından faydalanmak, ayrıca hem yeni hem de eski sayılarımızı satın almak için yayinlar.tubitak.gov.tr adresini ziyaret edebilirsiniz. Dergimizin internet sayfasını (bilimteknik.tubitak.gov.tr), podcast kanallarını ve sosyal medya hesaplarını da takip edebilir, hayatınızdaki yerini ve size neler kattığını bizlerle paylaşabilirsiniz (bteknik@tubitak.gov.tr).

Nesiller büyüyen dergimizin bu sayısını da ilgiyle okumanızı diliyor, sonraki sayılarımızı sabırsızlıkla bekleyeceğinizi umuyoruz.

Sağlıcakla ve bilimle kalın... Unutmayın #bilimokuyanbilir!

Saygılarımızla,

Özlem Kılıç Ekici



İçindekiler

4

**Bilim ve Teknik ile
Büyüdüm, Büyüyorum...**

Özlem Ak

6

Haberler

22

**Bilim Çizgi
Donald Hebb**

Sinancan Kara

24

**2025 Nobel Fizyoloji
veya Tıp Ödülü "Çevresel
Bağışıklık Toleransı"nın
Keşfine**

İlay Çelik Sezer

32

**Bilim ve Teknik Ekibi
TEKNOFEST İstanbul'da
Okurlarıyla Buluştu**

Hayriye Yetiş Avcı

34

**2025 Nobel Kimya Ödülü
"Metal Organik Kafes
(MOF) Malzemeler"in
Geliştirilmesine**

Hayriye Yetiş Avcı

40

Tekno-Yaşam

Gürkan Caner Birer

44

**2025 Nobel Fizik Ödülü -
Bir Elektrik Devresinde
Makroskobik Kuantum
Tünelleme ve Enerji
Kuantizasyonu**

Mahir E. Ocak

52

Merak Ettikleriniz

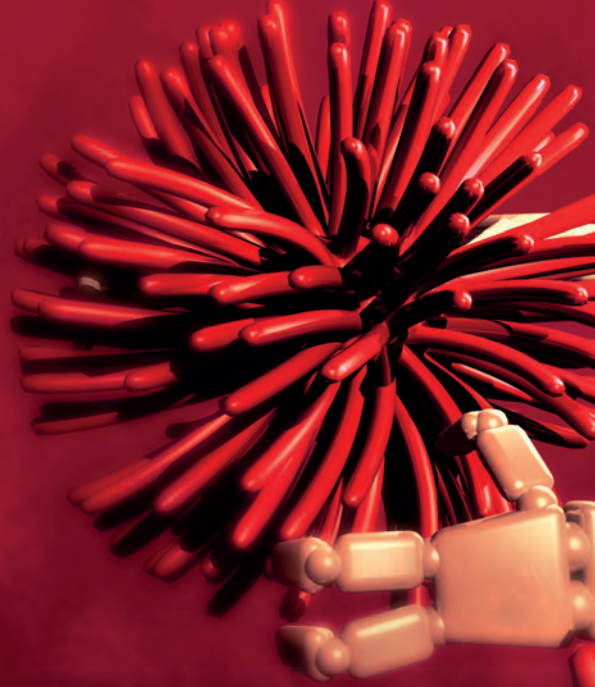
İlay Çelik Sezer

16

Manyetizmayla Kontrol Edilen Mikrorobotlarla İlaç Dağıtımı

Mahir E. Ocak

Kalıcı mıknatıs özellik gösteren damlacıklardan üretilen mikrorobotlar, manyetizmayla kontrol edilerek çok çeşitli ortamlarda başarıyla hareket ettirilebiliyor.



62

**Nota Bilmeden
Müzik Yapmak**

Fatma Gökçe Çiçek Tuğer

70

**Algı Tabanlı Biyoplastik
Habitatlar Mars'ta Yaşamı
Mümkün Kılabilir**

Özlem Ak

72

**Filtre Balonu - Algoritmalar
Sosyal Medyada Hangi
İçerikleri Karşımıza
Çıkartıyor?**

Rıdvan Genç

76

**Hastalıklar Kadınları ve
Erkekleri Neden Farklı
Etkiliyor?**

Özlem Ak

78

**Bilim Tarihinden Notlar
Fârâbî'nin Bilimsel
Çalışmaları III**

Hüseyin Gazi Topdemir

82

**Doğa - Flora
Akdeniz Şerit Otu**

Şeyda Fikirdeşici Ergen

84

Gökyüzü

Tuba Sarıgül

88

Düşünme Kulesi

Ferhat Çalapkulu

90

Satranç

Kıvanç Çefle

93

Ayın Sorusu

Azer Kerimov



54

Mahir E. Ocak
Kütleçekimsel Dalga Gözlemi Fiziksel Teorileri Doğruladı



64

Özlem Ak
Astronotların Yeni Yol Arkadaşları: Mikroorganizmalar

94

Zekâ Oyunları

Emrehan Halıcı

96

Yayın Dünyası

Özlem Kılıç Ekici

POSTER EKİ

Fotosentez

İlay Çelik Sezer,
Hüseyin Diker



Bilim ve Teknik



tubitakbiltek



tubitakbilimteknik



TÜBİTAK Bilim ve Teknik



bilimteknik.tubitak.gov.tr/

Dergimizin içeriğinden seçerek hazırladığımız bilimsel ve teknolojik bilgileri *Bilim ve Teknik* dergisinin internet sitesi ve sosyal medya hesapları aracılığıyla takip edebilirsiniz.



Elektronik dergi arşivimiz (son dört sayı hariç) herkesin erişimine açıktır. Son dört aya ait sayılara sadece abonelerimiz erişim sağlayabilir.



TÜBİTAK Popüler Bilim Yayınları sitesinden dergilerimize abone olabilir, hem yeni hem de eski sayılarımızı satın alabilirsiniz.



Bilim ve Teknik podcast kanalları ile kulağınız her daim bilimde olsun! Podcast içeriklerimizi Spotify, YouTube Music, Apple Podcast ve SoundCloud'dan dinleyebilirsiniz.



Bilim ve Teknik ile

Büyüdüm, Büyüyorum...

Dr. Özlem Ak [TÜBİTAK Bilim ve Teknik Dergisi



Okurlarımızın *Bilim ve Teknik* dergisinin hayatlarındaki yerini, onlara neler kattığını, geleceklerine yön verirken nasıl bir rol oynadığını bizimle paylaştıkları mektuplarını yayımlamaya devam ediyoruz. *Bilim ve Teknik* ile ilgili anılarını, duygu ve düşüncelerini bizimle paylaşan okurlarımıza çok teşekkür ediyor, “*Bilim ve Teknik* bilimi sevmemde ve kariyerimi seçmemde rol oynadı” diyen okurlarımız için mektuplarını gönderebilecekleri adresimizi hatırlatıyoruz: bteknik@tubitak.gov.tr



“Bir yazı bir hayatı nasıl değiştirdi?”

Merhaba,
TÜBİTAK Bilim ve Teknik dergisinin Eylül 2011 sayısında yayımlanan “Okuyan Beyin” başlıklı yazı, oğlum Cem Vardarcı’nın yaşadığı zorluklara ışık tuttu. Bu yazı, oğlumun yaşadığı zorluklara benzer örnekler sunarak hem onun kendini ifade edebilmesine hem de öğretmenlerinin empati geliştirmesine olanak sağladı. Oğlum, ülkemizde birçok ilki başarmış otizmlili özel bir genç. Yaşam yolculuğunda karşılaştığı zorlukları azmiyle aşarak hem sanat hem de eğitim alanında önemli başarılarla imza attı. Ulusal Gençlik Senfoni Orkestrası’nda solist olarak sahneye çıkan ilk otizmlili birey oldu. Bununla birlikte lise eğitimini başarıyla tamamladı, üniversiteden bölüm üçüncüsü olarak mezun oldu. İngilizce eğitim veren müzik bölümünde okuyabilen ilk otizmlili öğrenci olma ünvanını kazandı. Zorlu eğitim süreci içinde TÜBİTAK *Bilim ve Teknik* dergisi oğlum için âdeta bir dönüm noktası oldu. Cem, bugün artık A3 boyutunda nota kâğıtlarıyla sahneye çıkarken yadırganmıyor, bu farklılık sayesinde üzüntü yerini sahne almanın mutluluğuna bıraktı. Bu yazı ailemiz için âdeta altın değerinde. Çünkü Cem okumaktan hiç vazgeçmedi, yazının ana fikrini yaşayarak içselleştirdi. Pandemi döneminde az gören gözlerinde mucizevi bir gelişme yaşandı, görme düzeyi arttı. Artık kitaplarını kendi başına okuyabiliyor. Okumanın keyfine vararak evimizi bir kütüphaneye dönüştürdü. Oğlumun bu sıra dışı yaşam öyküsü sadece bir başarı hikâyesi değil aynı zamanda umut, azim ve değişimin mümkün olduğuna dair güçlü bir ilham kaynağıdır.

Gülçin Vardarcı

“Bir bilim molası vermek”

Merhaba,
Yaklaşık 30 yıldır her ay elimde, çantamda, bazen de yastığımın altında *Bilim ve Teknik* dergisi var! Dergi benim için sadece bir yayın değil, bir yol arkadaşı, bir merak rehberi, “vay be!” dedirten zihin açıcı bir dost oldu. Çocukken uzaya meraklıydım ve *Bilim ve Teknik*’ten bu konuda çok şey öğrendim. Lise yıllarında DNA’yla tanıştım, gene siz anlattınız. Üniversiteye giderken cebimde öğrenci kimliği, çantamda *Bilim ve Teknik* vardı. Hâlâ da öyle! Her ay heyecanla kapağını açmak, bir “bilim molası” vermek ve gündelik hayatın dışında düşünmeye değer şeylere dalmak paha biçilemez. Tüm emekleriniz, dilinizin sadeliği, çizimlerinizin ve tasarımlarınızın güzelliği, içeriklerinizin derinliği için gönülden teşekkür ederim. Bu kadar uzun süre kalitenizi koruduğunuz için ayrıca tebrikler! Nice bilim dolu sayılarda buluşmak dileğiyle...

Volkan Aydın

“Yıllar sonra ekipte olmak”

Merhaba,
Gençlik yıllarımdan beri merakla okuduğum dergime yıllar sonra yayın danışma kurulu üyesi olarak katkıda bulunabildiğim için çok mutluyum. Enerjik ve çalışkan *Bilim ve Teknik* ekibine kucak dolusu sevgiler.

Dr. Öğretim Üyesi Yeşim İmamoğlu

“Hayatı anlamam kolaylaşıyor”

Merhaba,
Bilim ve Teknik bana her sayısında çok farklı konularda bilgi veriyor. Sayesinde bilgi dağarcığım genişliyor. *Bilim ve Teknik* sayesinde hayatı anlamam kolaylaşıyor. Teşekkürler.

Ali Kerem Sağlam

“Disiplinler arası bilim yolculuğu”

Merhaba,
Ben bir hekimim ve yaklaşık bir yıldır *Bilim ve Teknik* dergisini düzenli olarak takip ediyorum. Tıp alanındaki gelişmelerden doğa bilimlerine kadar her makaleyi büyük bir ilgiyle okuyorum. Dergi, mesleki bilgilerime katkı sağlarken farklı disiplinlerdeki güncel bilimsel gelişmeleri yakından takip etmem için de değerli bir kaynak oluyor. Ortaokula giden iki çocuğum da *Bilim Çocuk* dergisini büyük bir heyecanla takip ediyor. Onların merak duygusunu besleyen ve bilime olan ilgilerini artıran bu yayınlar için ayrıca teşekkür ederim. Emeği geçen tüm ekibe şükranlarımı sunar, çalışmalarınızda başarılar dilerim.

Dr. Nimetullah Can

“Doğru bilgi için”

Merhaba,
Bilim ve Teknik’le tanışmamın çok güzel bir hikâyesi var: Annemin emekli ilkokul öğretmenini teyzesi benim bilime olan merakımı fark etmiş. Doğru bilgiyi almam ve merakımı gidermem için bana *Bilim ve Teknik* dergisi hediye etmişti. Aradan geçen yıllardan sonra bilime olan sevgim sayesinde makine mühendisi oldum. Şu an 25 yaşındayım ve kendi projelerimi üretiyorum. *Bilim ve Teknik*’e bana öğrettiği her şey için teşekkürlerimi sunarım.

Furkan Üresin

Haberler

Otizmde Genetik Alt Türler

Özlem Ak

Otizm, sosyal etkileşimlerde güçlük, tekrarlayıcı davranışlar ve sınırlı ilgi alanlarıyla tanımlanan nörogelişimsel bir durum. Dünya Sağlık Örgütü'nün verilerine göre her 127 kişiden biri otizmlidir. Cambridge Üniversitesinden Varun Warrier ve ekibinin ekim ayında *Nature*'da yayımladıkları yeni bir araştırma, çocuklara otizm tanısının konulduğu yaştan genetik faktörlerden etkilenebileceğini ortaya koyuyor.

Ekip, 5-17 yaş arasında otizm tanısı alan çocukların gelişim verilerini inceledi. Önceki çalışmalarda cinsiyet ve sosyoekonomik durumun tanı yaşını etkileyebileceği öne sürülse de yeni çalışmada bu faktörlerin etkisinin oldukça sınırlı olduğu anlaşıldı. Buna karşılık araştırmacılar, otizmliler çocukların gelişiminde iki eğilim olduğunu belirledi: Bir grup erken yaşta güçlükler yaşamaya başlayıp bunları zamanla sürdürürken diğer grup erken çocuklukta daha az sorun yaşayıp geç çocuklukta ve

ergenlikte daha fazla zorlukla karşılaşılıyordu. Bu iki eğilimin, tanı yaşındaki farklarla anlamlı bir şekilde ilişkili olduğu anlaşıldı. Genetik incelemeler, bu iki grubun DNA profillerinin de farklı olduğunu gösterdi. Geç tanı alan çocuklarda erken tanı alanlara kıyasla başka bir dizi yaygın genetik farklılık bulundu. Araştırma nadir ya da kalıtsal olmayan genetik değişiklikleri incelemese de sonuçlar iki grup arasında net

bir ayrım olmadığını gösterdi. Warrier, bu durumun otizmin iki farklı türü olduğu anlamına gelmediğini aslında spektrumun farklı noktalarına işaret ettiğini söylüyor.

Ekip ayrıca geç otizm tanısı alan çocuklarda dikkat eksikliği ve hiperaktivite bozukluğu (DEHB) ile travma sonrası stres bozukluğu gibi durumlarla ilişkili genetik özelliklerin daha sık görüldüğünü belirledi. DEHB





de tıpkı otizm gibi beynin farklı işleyiş biçimlerinden biri olarak görülüyor.

Uzmanlara göre otizmin olası alt türlerini anlamak, tanı yöntemlerini geliştirmeye ve çocuklara daha kişiselleştirilmiş destek sağlamaya yardımcı olabilir. Bu da bireylerin yaşam kalitesini artırma potansiyeline sahip önemli bir adım olarak değerlendiriliyor. ■

<https://doi.org/10.1038/s41586-025-09542-6>



Frédéric Cosselin

Kirigamiden Esinlenilerek Tasarlanan Paraşüt

Mahir E. Ocak

Bir grup Fransız ve Kanadalı araştırmacı, Japon kâğıt kesme ve katlama sanatı olan kirigamiden esinlenerek paraşütler tasarladı

ve üretti. Disk biçimli esnek bir malzemeyi lazerle keserek üretilen paraşütler düşme sırasında kendiliğinden tasarlandığı şekli alıyor. Paraşütler, gözenekli yapıları sayesinde bir yatay hıza sahip olmasalar bile türbülansa girmiyor ve sıradan paraşütlerin aksine düşey biçimde yere inmeyi başarıyor.

Sıradan paraşütler havada düşey bir biçimde yol alarak yere inemez. Hava akımlarının yol açabileceği

türbülansdan etkilenmemeleri ve güvenli bir biçimde yere inebilmeleri için bir yatay hıza da sahip olmaları gerekir. Bu durum bazen paraşütlerin hedeflenen noktanın çok uzağına inmesine sebep olur. Söz konusu insani yardım dağıtımı gibi amaçlar olduğunda sıradan paraşütlerin düşey bir biçimde inememeleri hayati bir sorundur.

Geliştirilen paraşütler hem rüzgâr tünellerinde hem de açık havada başarıyla test edildi. Altmış metre yükseklikte hedeflenen noktanın üzerinde asılı duran bir drone'dan bırakılan paraşütler taşıdıkları kargoyu başarılı bir biçimde istenilen yere indirebiliyor.

Detaylı bilgiye Danick Lamoureux ve arkadaşlarının *Nature*'da yayımladıkları makaleden ulaşabilirsiniz. ■

<https://www.nature.com/articles/s41586-025-09515-9>

Hurda Araçlardan Sürdürülebilir Alüminyum Üretimi

Özlem Ak

Her yıl milyonlarca ton hurda araç ortaya çıkıyor ve içlerindeki alüminyum parçalar geri dönüştürülmediğinde büyük bir çevre sorunu yaratıyor. Şimdiye

kadar alüminyum atıkların çoğu düşük kaliteli döküm alaşımlarına dönüştürülerek yük dayanımı gerektirmeyen otomotiv parçalarında örneğin içten yanmalı motor bloklarında yeniden kullanılıyordu. Ancak otomotiv dünyası elektrikli araçlara yöneldikçe bu motorların devri kapanıyor ve dolayısıyla düşük kaliteli alaşımlar için bir kullanım alanı kalmıyor. Bu durum hem milyonlarca tonluk hurda yığınlarının oluşmasına hem de cevherden yeni alüminyum üretimi yoğun enerji gerektiren bir süreç olduğu için yüksek miktarda karbondioksit salınımına yol açabilir.

Avusturya'daki Leoben Üniversitesinden Stefan Pogatscher ve ekibi bu soruna yeni bir çözüm öneriyor. Araçlardan çıkan farklı türlerdeki alüminyum alaşımlarını tek tek ayırmak yerine hepsini birlikte eritiyorlar. Bu yöntemle elde edilen blok, başlangıçta seramik gibi çok kırılğan oluyor. Fakat malzeme yaklaşık 500 °C'de 24 saat boyunca ısıtıldığında yapısı değişiyor ve ortaya hem güçlü hem de şekillendirilebilir bir alaşım çıkıyor. Üstelik bu yeni malzeme, bazı durumlarda yeni üretilmiş alaşımlardan bile daha dayanıklı. Araştırmacılar bu metalin araçların şasi ve gövde



parçaları da dâhil olmak üzere yük dayanımı gerektiren pek çok parçasında kullanılabileceğini ayrıca mevcut imalat süreçleriyle üretilebildiğini bu nedenle kısa sürede sanayi ölçeğinde üretime geçilebileceğini belirtiyor.

Yine de uzmanlar temkinli. Londra'daki Brunel Üniversitesinden Geoffrey Scamans, yöntemin umut verici olduğunu kabul ediyor fakat otomotiv endüstrisinde kullanılacak bir alaşımın çok sıkı testlerden geçmesi gerektiğini vurguluyor. Ayrıca araçların rastgele hurdaya çıktığını ve bu nedenle alaşım bileşimlerinin kontrol edilmesinin zor olacağını

hatırlatıyor. Missouri Bilim ve Teknoloji Üniversitesinden Mark Schlesinger ise hurdayı farklı alaşım türlerini ayırmadan eritmenin ticari ölçekte güvenilir sonuç vermeyeceğini, kimyasal bileşimin mutlaka belirlenmesi gerektiğini ve bunun da maliyetleri artıracığını söylüyor.

Henüz laboratuvar aşamasında olan bu yöntem hem alüminyum üretim sürecinin karbon ayak izini azaltmak hem de milyonlarca tonluk hurda yığınlarını ortadan kaldırmak için güçlü bir aday olarak öne çıkıyor. Bundan sonraki gelişmeler, otomotiv sektöründe büyük bir dönüşüm yaratma potansiyeli olan bu yeni alaşımın sanayide gerçekten kullanılıp kullanılmayacağını gösterecek. ■

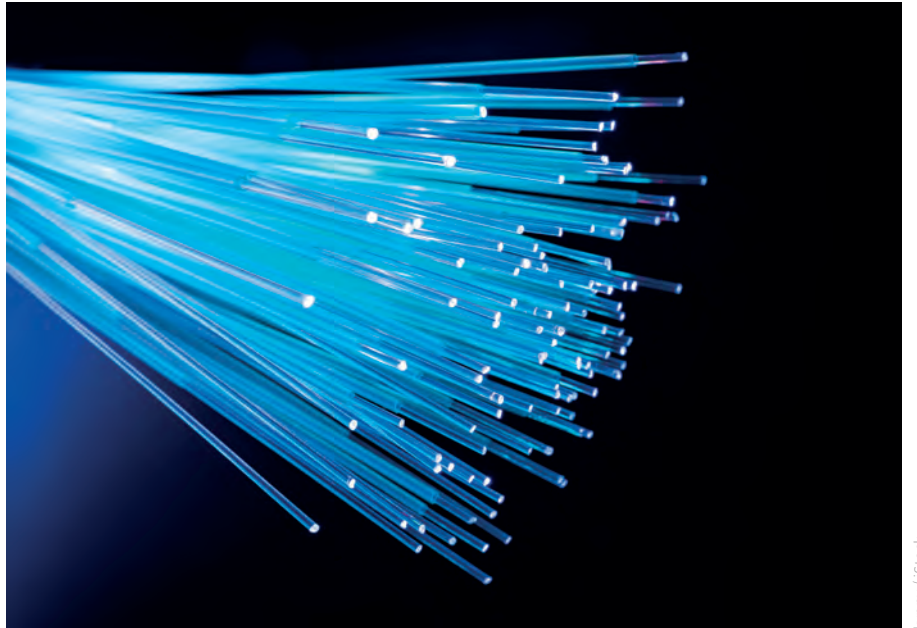
<https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-7059967/v1>

Rekor Hız ve Verimlilikle Veri Aktaran Fiber Optik Kablolar

Mahir E. Ocak

Microsoft'tan ve Southampton Üniversitesinden araştırmacılar, *Nature Photonics*'te yayımladıkları bir makalede sinyallerin geleneksel fiber optik kablolarla kıyasla çok daha az kayıpla ve çok daha hızlı bir biçimde iletilmesine imkân veren yeni bir tür fiber optik kablo geliştirdiklerini açıkladı.

Fiber optik kablolarda yol alan sinyaller zamanla zayıflar. Bu durum uzak noktalara veri aktarımı yapılabilmesi için sinyallerin ara ara yükseltmesini gerektirir.



Aktarımdaki kayıpların azaltılması ise sinyallerin yükseltgenmesine olan ihtiyacı azaltır ve böylece verilerin daha uzun mesafelere daha hızlı ve daha verimli bir biçimde iletilmesini sağlar.

Modern fiber optik kablolarda sinyaller silikadan üretilen bir ortamın içinde yol alır. Sinyalleri daha hızlı aktarmanın bir yolu ise “içi boş” fiber optik kablolar (HCF’ler) üretmektir. Çünkü ışık ışınları, havada silikada olduğundan daha hızlı ilerler.

Geçmişte HCF’ler üretmek için yapılan araştırmalarda kayda değer bir başarı elde edilememiştir. Üretilen HCF’lerin kayıp oranı geleneksel fiber optik kablolardan daha düşük olmuyordu ya da geliştirilen tasarımın üretimi pratik değildi. Ancak Microsoft’tan ve Southampton Üniversitesinden araştırmacılar, yakın zamanlarda geleneksel fiber optik kablolardan daha iyi performans gösteren HCF’ler üretmeyi başardıklarını açıkladı.

Sinyal zayıflamasının üç ana kaynağı sızma, mikro bükülmeler (kabloların aşırı bükülmesinin neden olduğu deformasyonlar) ve yüzey saçılmalarıdır. Araştırmacılar, ileri modellemelerden yararlanarak sinyal zayıflamasını en aza indirecek bir tasarım geliştirdi. Daha sonra 15 kilometre uzunluğunda HCF’ler üreterek testler gerçekleştirdi. Yeni fiber optik kablodaki kayıp, 1.550 nanometre dalga boylu sinyaller

için kilometrede 0,091 desibel olarak ölçüldü. Bu değer bir rekor olarak kayıtlara geçti. Geleneksel fiber optik kablolarla 1.550 nanometre dalga boylu sinyalleri kilometrede 0,14 desibel kayıpla iletebiliyor. Yeni tasarım 66 THz bant genişliğinde kayıpları 0,2 dB/km civarında tutmayı başarıyor ve sinyallerin %45 daha hızlı aktarılmasına imkân veriyor. Araştırmacılar gelecekte HCF’lerdeki sinyal kaybını 0,1 dB/km’ye kadar düşürmenin mümkün olabileceğini düşünüyor.

Detaylı bilgiye Dr. Marco Petrovich ve arkadaşlarının *Nature Photonics*’te yayımladıkları makaleden ulaşabilirsiniz. ■

<https://www.nature.com/articles/s41566-025-01747-5>

Bilim ve Sanatın Kesişiminde Bilimsel İllüstrasyon Sergisi

Özlem Ak

Hacettepe Üniversitesi Erişkin ve Çocuk Hastanelerinde 23 Eylül–3 Ekim 2025

tarikhleri arasında düzenlenen Bilimsel İllüstrasyon Karma Sergisi, ziyaretçilere bilim ile sanatı bir arada deneyimleme fırsatı sundu.

Hacettepe Üniversitesi Hastaneleri ile Güzel Sanatlar Fakültesi Grafik Bölümünün iş birliğiyle düzenlenen sergi, farklı disiplinlerden bilim





insanları ve sanatçıları bir araya getirdi. Hacettepe Üniversitesi Güzel Sanatlar Fakültesi Grafik Anasanat Dalı Öğretim üyesi Prof. Dr. Banu Bulduk Türkmen yürütücülüğünde hazırlanan projeye tıp, diş hekimliği, fen ve eczacılık fakültelerinden öğretim üyeleri bilimsel danışmanlık yaptı. Prof. Dr. Banu Bulduk Türkmen, bilimsel illüstrasyonu Alan Male'nin ifadesiyle “bilimin hizmetinde bir sanat dalı” olarak açıklarken farklı alanların ortak bir dilde buluştuğu bu tür sergilerin hem bilimsel doğruluk hem de sanatsal ifade açısından önem taşıdığını vurguladı.

Toplamda 26 sanatçıya ait 31 eserinin yer aldığı sergide; kalp ve beyin anatomisi, cerrahi

illüstrasyonlar, böcek ve bitki morfolojisi, dental yapılar, yaşam döngüleri ve ekosistem temsilleri gibi çeşitli temalar işlendi. Sergide yer alan eserler, Hacettepe Üniversitesi sanatta yeterlik ve tıp öğrencileri ile hekimlerin ortak emeği sonucu hazırlandı.

TÜBİTAK Popüler Bilim Dergileri ekibi olarak biz de sergiyi ziyaret edip bilimsel illüstrasyonların ardındaki sistematik gözlem süreçlerini, disiplinler arası yaklaşımı ve sanatçıların bilimsel bilgiyle kurdukları özgün etkileşimi yakından inceleme fırsatı bulduk. Sergi, bilimsel bilginin görsel temsiline titizliği ve estetik yaklaşımı etkileyici biçimde yansıtıyordu. ■

Rekor Hızla Büyüyen Başboş Gezegen

Mahir E. Ocak

Gök bilimciler uzayda başboş dolaşan ve oluşum süreci devam eden bir gezegenin rekor hızla çevresindeki gaz ve toz bulutundan madde yakaladığını tespit etti. Kütlesi Jüpiter'inin 5-10 katı kadar olan gezegen her saniye altı milyar ton kütle kazanıyor.

Bugüne kadar keşfedilmiş gezegenlerin nerdeyse tamamı bulundukları sistemin merkezindeki bir yıldızın etrafında dolandır. Ancak az sayıda da olsa hiçbir yıldızın etrafında dolanmayan, uzayda tek başına dolaşan gezegenler olduğu biliniyor. Başboş gezegenler olarak adlandırılan bu gezegenlerin nasıl ortaya çıktığı bugün tam olarak anlaşılabilmiş değil. Bu gezegenler uzayda yıldızlara benzer bir biçimde oluşuyor olabilir ya da bir yıldız sisteminin içinde sıradan gezegenler gibi oluştuktan sonra bir şekilde sistemin dışına atılıyor olabilir. Yakın zamanlarda bilimsel çalışmalara konu olan bir başboş gezegen ise bu gezegenlerin en azından bir kısmının yıldızlara benzer bir biçimde ortaya çıktığını gösteriyor.

Bilimsel literatürde Cha 1107-7626 olarak adlandırılan, kütlesi Jüpiter'inin 5 ila 10 katı kadar olan başboş gezegen Dünya'ya yaklaşık 620 ışık yılı uzaklıkta ve Bukalemun Takımyıldızı'nda yer alıyor. Ağustos 2025'te yapılan gözlemler sırasında gezegenin çevresinden saniyede altı milyar ton kütle kazandığı tespit edildi. Bu hız herhangi bir tür gezegenin oluşumu açısından bir rekor olarak kayıtlara geçti. Çalışmaya konu olan gözlemler Şili'deki Atacama Çölü'nde yer alan Avrupa Güney Gözlemevi'ne ait Çok Büyük Teleskop (VLT) ile yapıldı.

Araştırmacılar rekor hızla kütle kazanma döneminin öncesinde ve sonrasında sistemden yayılan ışığı da gözlemleyerek sürecin detaylarını inceledi. Elde edilen sonuçların en önemlilerinden biri kütle kazanım sürecinde manyetik etkinliklerin rol aldığı tespit edildi. Her ne kadar yıldızların oluşumunda rol aldığı bilinse de daha önceleri manyetik alanların, gezegenlerin oluşumunda da rol aldığına dair bir bulgu yoktu. Elde edilen sonuç, gezegenler gibi görece küçük kütleli gök cisimlerinin de çevrelerindeki gaz ve toz bulutundan kütle kazanmalarını sağlayacak derecede büyük manyetik alanlar üretebileceğini gösteriyor.

Araştırmacılar, kütle kazanım süreci sırasında gezegeni çevreleyen gaz ve toz bulutunun kimyasında da değişimler olduğunu belirledi. Kütle birikim sürecinin öncesinde sistemden yayılan ışıktaki su buharının varlığına dair bir iz bulunmazken kütle birikimi sırasında ise su buharının varlığını gösteren sinyaller tespit edildi. Bu olgu da daha önce yıldızların oluşum süreçlerinde gözlemlenmiş ancak gezegenlerin oluşum süreçlerinde gözlemlenmemiştir.

Başboş gezegenler ile ilgili bilimsel çalışmaları zorlaştıran bir etken yıldızlara kıyasla

hem çok daha ufak hem de çok daha solgun olan bu gök cisimlerini teleskoplarla tespit etmenin zorluğu. Avrupa Güney Gözlemevi (ESO)'ya ait Aşırı Büyük Teleskop'un (ELT) kurulumunun tamamlanıp çalışmaya başlamasından sonra başboş gezegenlerle ilgili araştırmaların ivme kazanması bekleniyor.

Detaylı bilgiye Victor Almendros-Abad ve arkadaşlarının *The Astrophysical Journal Letters*'ta yayımladıkları makaleden ulaşabilirsiniz. ■

<https://iopscience.iop.org/article/10.3847/2041-8213/ae09a8>

Mikroplastikler Kemik Erimesini Hızlandırıyor Olabilir

Özlem Ak

Son yıllarda yapılan araştırmalar, mikroplastiklerin yalnızca çevreye değil, doğrudan insan sağlığına da zarar verdiğini ortaya koyuyor. *Osteoporosis International* dergisinde yayımlanan yeni bir inceleme, bu küçük parçacıkların kemiklerimizi zayıflatabileceğini gösterdi.

Araştırmada 62 bilimsel makale gözden geçirilerek hem laboratuvar hem de hayvan deneylerinden elde edilen veriler analiz edildi. Bulgulara göre mikroplastikler, kemik iliğindeki kök hücrelerin normal işleyişini bozarak “osteoklast” adı verilen özel hücrelerin üretimini artırıyor. Normalde yaşlı veya hasarlı kemikleri yıkıp yenilenme sürecine katkıda bulunan bu hücreler, aşırı

aktif hâle geldiğinde kemik dokusuna hasar vererek kemik kaybını hızlandırıyor. Sonuç: daha kırılğan, zayıf ve kırığa yatkın kemikler.

Çalışma ayrıca mikroplastiklerin kemik hücrelerinin yaşamsal işlevlerini zayıflattığını, genlerin çalışma düzenini değiştirdiğini ve enflamasyon tepkilerini tetiklediğini ortaya koydu. Hayvan deneylerinde ise mikroplastik birikiminin beyaz kan hücrelerini azalttığı, kemik yapısında bozulmalara ve düzensiz hücre oluşumlarına yol açtığı görüldü. Hatta bazı vakalarda iskelet gelişiminin durduğu bile rapor edildi.

Brezilya’daki Campinas Eyalet Üniversitesinden araştırmacı Rodrigo Bueno de Oliveira, elde edilen sonuçların kaygı verici olduğunu vurguluyor. Oliveira ve ekibi, şimdi mikroplastiklerin kemik sağlığı üzerindeki etkisini daha net ortaya koymak için farelerin uyluk kemikleri üzerinde deneyler yapmaya hazırlanıyor. Amaç, mikroplastiklerin gerçekten osteoporoz (kemik erimesi olarak da bilinir) ve benzeri kemik hastalıklarının artışında payı olup olmadığını kanıtlamak. ■

<https://doi.org/10.1007/s00198-025-07580-4>

Jian Fan / iStock

Beyin Tümörlerinin Zayıf Noktası

Özlem Ak

Glioblastom, sağlıklı beyin dokusuna hızla yayılması ve tedaviden sonra neredeyse her zaman tekrarlaması yani nüks etmesiyle bilinen bir beyin tümörü türüdür. Yeni araştırma, glioblastom hücrelerinin büyüme ve çoğalma süreçlerinde metabolik kaynaklara olağanüstü düzeyde bağımlı olduğunu ortaya koyuyor. Bu gereksinim, tümörlerin biyolojik açıdan potansiyel bir zayıf noktası olarak değerlendirilebilir.

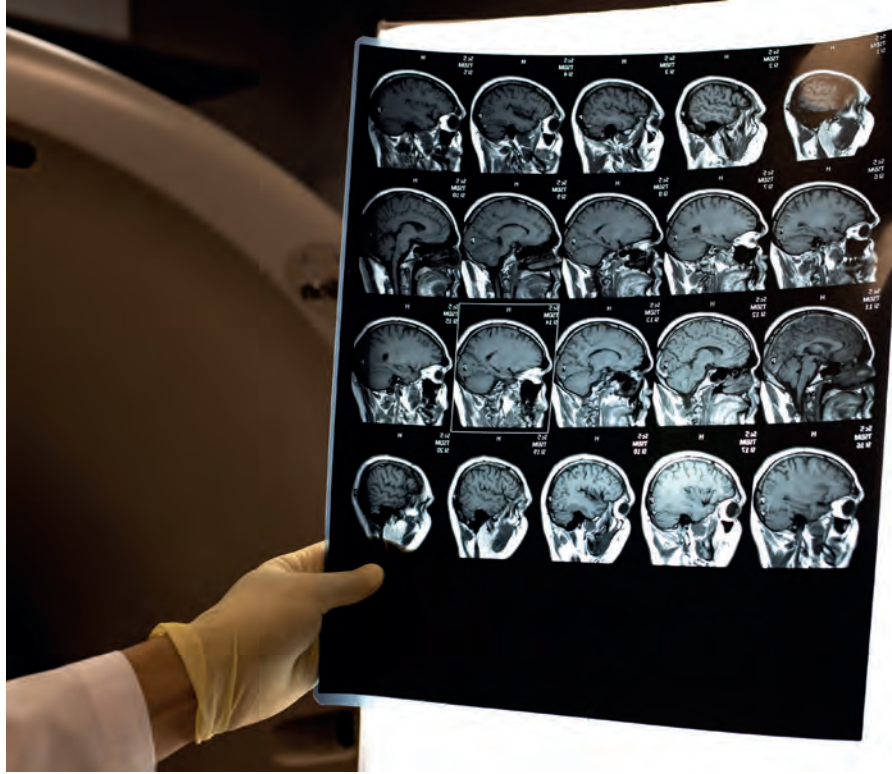
Michigan Üniversitesinden bir araştırma ekibinin eylül ayında *Nature* dergisinde yayımlanan çalışmasına göre birçok glioblastom hücresi, sağlıklı hücrelerin protein ve nükleik asit sentezinde kullandığı temel amino asitlerden biri olan serini kendi üretmek yerine çevresindeki dokulardan hazır alıyor. Hücrelerin DNA ve RNA gibi yapı taşlarının sentezlemesinde kritik rol oynayan bu amino asiti, normal beyin hücreleri kendi üretiyor. Böylece glioblastomlar serin üretmek için kullanacakları şekeri harcamamış oluyor, bu şekeri doğrudan tümör hücrelerinin çoğalmasını hızlandıran süreçlerde kullanıyorlar.

Terlediğinizde İncelen Mont

Özlem Ak

Cin'deki Nanjing Havacılık ve Uzak Üniversitesi'nden Xiuqiang Li ve ekibi nem oranındaki farklılığa göre kalınlığı değişebilen, bu sayede gerektiğinde ısıyı tutabilen gerektiğindeyse serinletebilen bir dış giyim malzemesi geliştirdi.

Geliştirilen kumaş, yüksek saflık ve dayanıklılığa sahip bakteriyel selülozdan (bakteriler tarafından fermantasyon süreci sonucu üretilen selüloz) yapılmış ince bir katman içeriyor. Higroskopik yapıya sahip bir biyopolimer olan bu malzeme, çevresindeki nemi tutabiliyor. Nem oranı düşüken yani kuru koşullarda malzeme büzülüyor. Bu da tabakanın kıvrılarak kalınlaşmasına neden oluyor ve kumaşın içindeki hava boşluklarını genişleterek yalıtımı artırıyor. Nem oranı arttığında ise şişip yüzeyi düzleşiyor böylece kumaşın içindeki boşluk azalıyor, malzeme inceliyor ve ısı iletimi hızlanıyor.



Bilim insanları glioblastom hücrelerinin bu metabolik zayıf noktasının tümör büyümesi üzerindeki etkisini incelemek için insan glioblastom dokusu nakledilmiş fareleri serin ve onun biyokimyasal olarak dönüştüğü glisin amino asidinden yoksun bir diyetle besledi. Bulgular, glioblastomun bazı moleküler alt tiplerinde tümör büyümesinin yavaşladığını ve farelerin yaşam süresinin uzadığını gösterdi. Ayrıca bu özel diyet kemoterapi ve radyoterapiyle birlikte uygulandığında tüm alt tiplerde hayatta kalma süresinde belirgin bir artış saptandı.

Araştırmacılar, bu yaklaşımın glioblastomu tamamen ortadan kaldırmayacağını ancak hastalara

zaman kazandırabileceğini vurguluyor. Çalışmaya katılmayan Kanada'daki McMaster Üniversitesi'nden beyin cerrahı Sheila Singh ise bulguları tümörün metabolik bir zayıf noktasının ortaya çıkarılması ve bunun tedaviye dönüştürülmesi açısından önemli bir ilerleme olarak değerlendiriyor.

Şimdi araştırmanın odağı klinik deneylere yönelmiş durumda. Araştırma ekibi, önümüzdeki yıl serinden arındırılmış bir diyeti insanlar üzerinde denemeye başlamayı planlıyor. Eğer sonuçlar farelerdeki gibi çıkarsa bu yaklaşım, glioblastom tedavisinde mevcut yöntemlere destek olacak yeni bir yaklaşım sunabilir. ■

<https://doi.org/10.1038/d41586-02531-9>



Ceket kuru olduğunda daha kalın (solda), nemli olduğunda daha ince (sağda).

Bu teknolojinin kullanım alanı ise oldukça geniş. Bakteriyel selüloz dolgular, farklı meslek grupları tarafından veya farklı iklim koşullarında kullanılmak üzere tasarlanacak kıyafetlere entegre edilebilir. Açık havada çalışan temizlik personelleri, kuryeler ve polisler bu sayede daha uzun süre konforlu bir şekilde çalışabilir. Ayrıca soğuk havada ağır teçhizatlarla çalışması gereken kişilerde görülen susuzluk, yorgunluk ve baş dönmesi gibi sağlık riskleri de azaltılabilir.

Bu giysilerin günlük hayatta yaygınlaşması için aşırı hava koşullarındaki performansı, uzun vadeli dayanıklılığı ve farklı giysi türlerindeki etkinliği üzerine çalışmaların tamamlanması gerekiyor. Bakteriyel selülozun düşük maliyetle ve kolay üretilmesi, seri üretim açısından önemli bir avantaj. Bu teknoloji olgunlaştığında yalnızca montlarda değil, spor giyimden dış mekân ekipmanlarına kadar birçok alanda kullanılabilir. ■

<https://doi.org/10.1126/sciadv.adu3472>

Serin ve kuru havada 13 milimetre kalınlığında olan bu malzeme, nem oranı yükseldiğinde -örneğin terleme sırasında- 2 milimetreye kadar inceliyor. Böylece soğukta ısı kaybını azaltarak vücudu sıcak tutuyor, vücut sıcaklığı yükseldiğinde ise ısıyı dışarı iletimini kolaylaştırarak serinletiyor. Dayanıklılığı artırmak amacıyla araştırmacılar bu tabakayı poliester liflerle güçlendirmiş ve kaz tüyü mont benzeri bir tasarıma entegre etmiş.

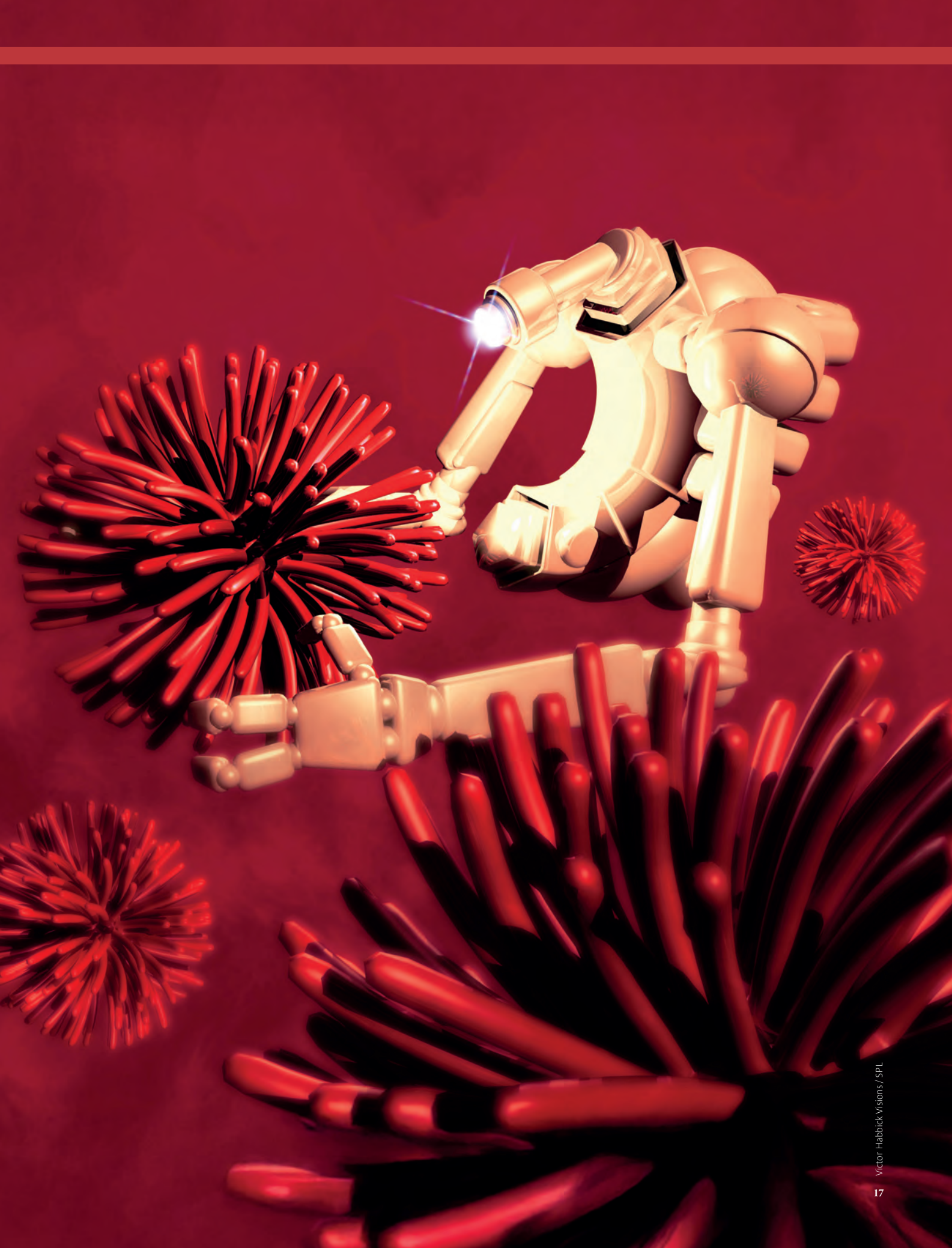
Laboratuvar testlerinde malzeme, kuru koşullarda kaz tüyü mont kadar ısı yalıtımı sağladı, nemli durumda ise poliesterden üretilmiş ince bir tişört kadar serinlik verdi. Tabaka, ardışık olarak 200 defa ıslak ve kuru koşullara

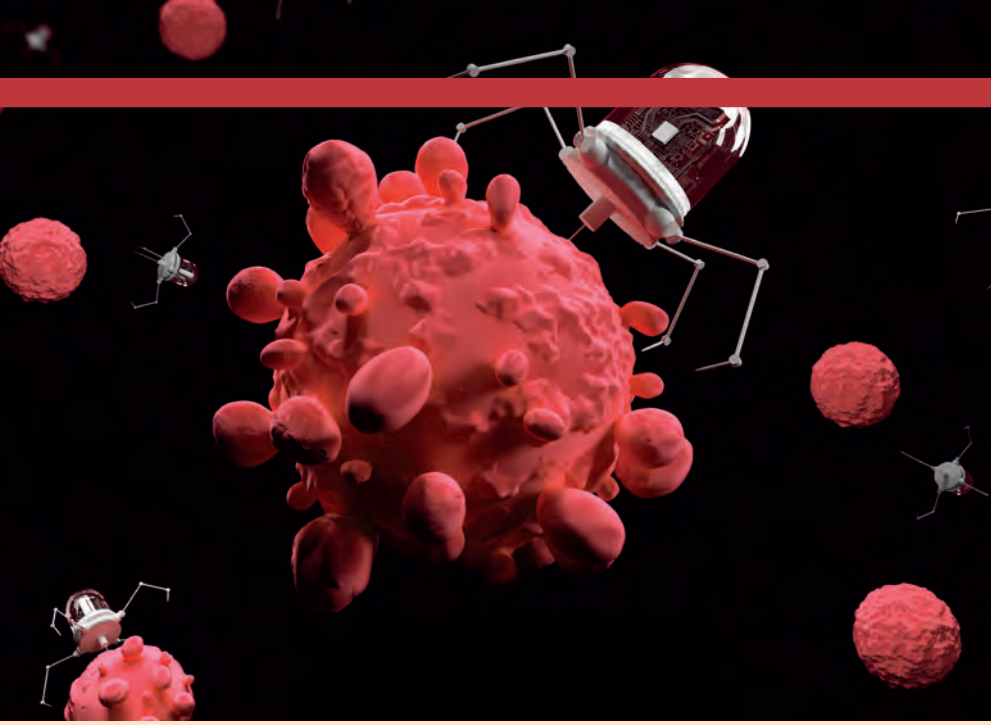
maruz bırakıldığında bile şekil değiştirme özelliğini korudu ve kuru hâlde 12 saat boyunca formunu muhafaza etti. Araştırmacılar önce malzemeyi insan derisinin tepkilerini taklit eden bir sistemle kontrollü ortamda test etti. Ardından piyasada satılan montlara entegre ederek yürüyen ve bisiklet süren gönüllüler üzerinde gerçek koşullarda denedi. *Science Advances* dergisinde ağustos ayında yayımlanan bulgulara göre terle etkinleşen bu “akıllı mont” geleneksel kumaşlardan üretilen kıyafetlere kıyasla vücut sıcaklığını düzenleme kapasitesini %82,8 oranında artırıyor. Ayrıca Çin’in 20 şehrinde vücudun ne üşüdüğü ne de sıcakladığı konfor süresini ortalama 7,5 saate kadar uzatıyor.

Manyetizmayla Kontrol Edilen Mikrorobotlarla İlaç Dağıtımı

Dr. Mahir E. Ocak [TÜBİTAK Bilim ve Teknik Dergisi

Mikrorobotlarla vücudun belirli bölgelerine ilaç dağıtımı üzerine yapılan bilimsel çalışmalarda önemli bir başarı elde edildi. Oxford ve Michigan üniversitelerinden bir grup araştırmacı kısaca PMDMs olarak adlandırdıkları, kalıcı mıknatıs özellik gösteren damlacıklardan üretilen mikrorobotlar geliştirdi. Mikrorobotlar hem manyetizma aracılığıyla kontrol edilerek çok çeşitli ortamlarda başarıyla hareket ettirilebiliyor hem de taşıdıkları tedavi edici maddeleri arzu edildiğinde serbest bırakmaları sağlanabiliyor.





Meletios Verras / iStock

bileşenlerin mıknatıs özelliğini kolayca kaybetmesi hidrojellerin yapısal bütünlüğünün kolayca bozulmasına neden oluyor. Sert manyetik bileşenlerin kullanılması ise kırılabilirliğe yol açıyor.

Mikrorobotların hem kargo taşıma kapasitelerini hem de hareket kabiliyetlerini artırmak uzun zamandır aşılamayan bir zorluktu. Ancak Oxford ve Michigan üniversitelerinden araştırmacılar *Science Advances*'ta yayımladıkları bir makalede bu zorluğu da aşmayı başardıklarını açıkladı. Oxford Üniversitesinden Molly Stevens ve Michigan Üniversitesinden Sharon Glotzer önderliğinde yapılan araştırmalar sonucunda geliştirilen mikrorobotlar, kalıcı mıknatıs özellik gösteren damlacıklardan üretiliyor. Kısaca PMDMs olarak adlandırılan mikrorobotları oluşturan birimler, biri yumuşak hidrojel hâlinde diğeri ise sert mıknatıs hâlinde olmak üzere iki yüzlü yapıda üretiliyor. Hidrojel fazı hem nanoparçacık hâlindeki ilaçları hem de tedavi edici hücreleri taşıyabiliyor. Sert mıknatıs özellikli faz ise hem birimlerin zincirler hâlinde bir araya gelerek mikrorobotları oluşturmalarını hem de robotların manyetizma aracılığıyla kontrol edilerek çok karmaşık ortamlarda sürünerek, yürüyerek ya da salınarak yol almasını sağlıyor.

Tedavi amacıyla kullanılan geleneksel yöntemlerin çoğu sağlıklı hücrelere ve dokulara da zarar verir. Örneğin kanserli hücreleri öldürmek için kullanılan ışın tedavisi, kanserli hücreler ile sağlıklı hücreleri ayırt edemez. Yüksek enerjili ışınlar sadece kanserli hücreleri değil ışınların gönderildiği bölgedeki sağlıklı hücreleri de öldürür. Benzer biçimde antibiyotikler de sadece hastalık yapıcı bakterileri öldürmez. Örneğin sindirim sistemindeki yararlı mikroorganizmalar da antibiyotiklerden zarar görür.

Sağlıklı hücrelere ve dokulara zarar vermeden sağlık sorunlarını çözmenin bir yolu, tedavi edici maddelerin sadece hastalıklı hücrelere etki ettiği yeni tedavi yöntemleri geliştirmek. Bu konuda öne çıkan araştırma konularından biri tıbbi maddeleri doğrudan hastalıklı bölgeye taşıyan mikrorobotlar geliştirmek. Bu yöntemin başarılı olabilmesi

için hem robotların canlı dokular içindeki hareketlerinin hassas bir biçimde kontrol edilebilmesi hem de robotların taşıdığı kargonun arzu edildiği zamanda ve konumda yüklenebilmesi/ boşaltılabilmesi lazım.

Canlı dokulara ilaç dağıtımı yapabilecek mikrorobotlar geliştirmek için öne çıkan malzemelerin başında dış uyaranlara tepki vererek deforme olabilen hidrojeller geliyor. Bu malzemeler hem canlı dokulardaki karmaşık koşullara uyum sağlayabiliyor hem de yüksek oranda su içermeleri ve ayarlanabilir biyokimyasal özellikleri nedeniyle tedavi edici maddeleri taşımaya uygun. Bu hidrojelleri canlı dokular içinde hareket ettirmek için öne çıkan bir alternatifse hidrojellerin içine manyetik bileşenler eklemek ve böylece manyetik alan kullanarak hidrojellerin canlı dokulardaki hareketlerini kontrol etmek. Ancak yumuşak manyetik

PMDMs

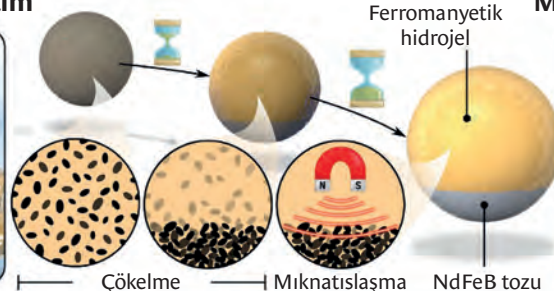
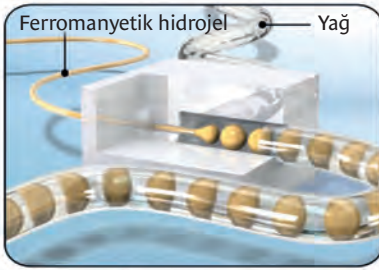
Mikrorobotları meydana getiren damlacıklar bir mikroakışkan cihazıyla üretiliyor. Dakikada 300 damlacık üreten cihaza ham

madde olarak içinde biyoyumlu hidrojel ve yaklaşık 5 mikrometre çapında NdFeB parçacıklar içeren ferromanyetik hidrojel giriyor. Mikroakışkan cihaz ham maddeyi bir iplik biçimine getiriyor. Eş

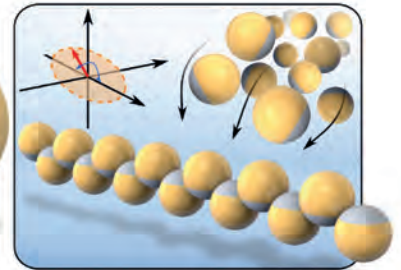
zamanlı olarak bir yağ akıntısı ipliğin üzerine kuvvet uygulayarak ipliğin parçalanmasına ve ferromanyetik damlacıkların ortaya çıkmasına yol açıyor. Damlacıkların içinde NdFeB mikroparçacıkların

Kalıcı mıknatıs özellik gösteren damlacıklardan mikrorobot üretme platformu

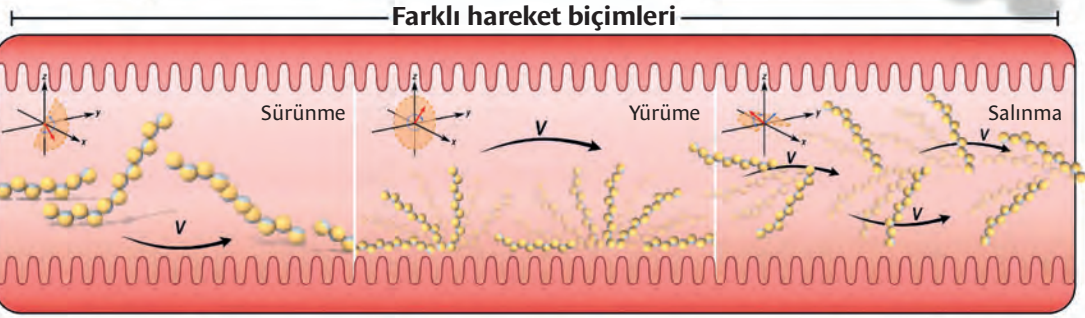
A Mikroakışkan cihazla üretim



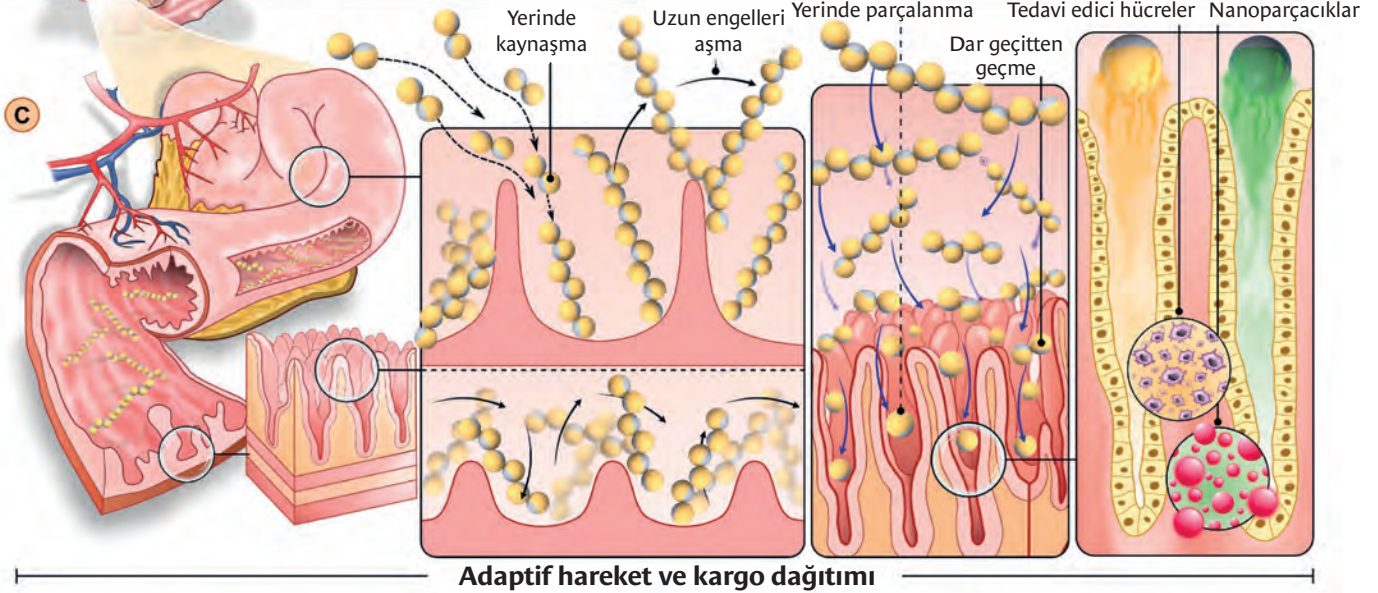
Manyetik alan etkisiyle kaynaşma



B



C



(A) Mikrorobotların üretim platformu. Mikroakışkan cihaza ham madde olarak ferromanyetik jel giriyor. Yağ akıntısı iplik hâline getirilen hidrojelden damlalar koparıyor (solda). Hidrojel içindeki NdFeB parçacıkları kütle çekimi etkisiyle çöktikten sonra miknatıslıyor. Böylece birinde yumuşak hidrojin diğerinde sert, miknatıslanmış NdFeB tozlarının bulunduğu iki fazlı yapı ortaya çıkıyor (ortada). Kalıcı mıknatıs özellik gösteren damlacıklar salınan manyetik alanın etkisiyle bir araya gelerek mikrorobotları oluşturuyor.

(B) Mikrorobotların sürünme, yürüme ve salınma hareketi yaparak yol alabiliyor.

(C) Adaptif hareket ve dağıtım. Mikrorobotlar engelleri aşmak için bir araya gelerek daha büyük zincirler oluşturabiliyor ya da dar yerlerden geçmek için parçalara ayrılabilir. Hidrojel fazın bileşimi ayarlanarak mikrorobotların nanoparçacıkları ya da canlı hücreleri taşıması sağlanabiliyor.

bulunması, kütle çekimi etkisiyle iki ayrı faz ortaya çıkmasına yol açıyor. Mikroparçacıkların damlacıkların dibine çökmesiyle iki yüzlü yapı ortaya çıkıyor. Üretilen damlacıkların daha sonra polimerleştirilmesi ve mıknaştırılmasıyla PMDMs olarak adlandırılan yaklaşık 0,5 mm büyüklüğünde mikrorobotlar oluşturuluyor.

Mıknaştırılmış NdFeB parçacıkları içeren ferromanyetik faz hem damlacıkların kontrollü bir biçimde zincirler oluşturmalarına hem de farklı biçimlerde kontrollü bir biçimde hareket ettirilmesine izin veriyor. Mikrorobotlar “merdiven” tırmanabiliyor ya da inebiliyor ve engellerin etrafından dolanabiliyor. Ayrıca mikrorobotlar büyük bir engeli aşmakta zorlandıklarında bir araya gelerek daha uzun zincirler oluşturabiliyor ya da dar bir yerden geçmekte zorlandıklarında daha ufak parçalara ayrılabilir.

Tıbbi Uygulamalar

Araştırmacılar geliştirdikleri mikrorobotların kargo taşıma ve dağıtma kapasitesini çeşitli deneylerle test etmiş. Bu amaçla ferromanyetik damlacıkların hidrojel fazı iki ayrı malzeme kullanarak üretilmiş: katı polietilen glikol diakrilat (PEGDA) ve yumuşak jelatin/alginat hidrojelleri. Sonuçlar, farklı tür ham maddelerin farklı tür

kargoların başarılı bir biçimde yüklenmesine, taşınmasına ve serbest bırakılmasına imkân verdiğini gösteriyor. Örneğin sert PEGDA ile üretilen mikrorobotlar floresans yapan mikroküreleri, yumuşak jelatin/alginat ile üretilen mikrorobotlarsa canlı hücreleri taşıyabiliyor. Bu durum mikrorobotların hem nanoparçacık ilaçları hem de tedavi edici hücreleri dokulara dağıtmak için kullanılabileceğini gösteriyor. Araştırmacılar, insan mezenkimal kök hücreleri yüklü mikrorobotları da başarıyla test etmiş. Bu sonuç mikrorobotların hastalıklı dokulara tedavi edici hücreler aktarma konusunda büyük bir potansiyel taşıdığını gösteriyor.

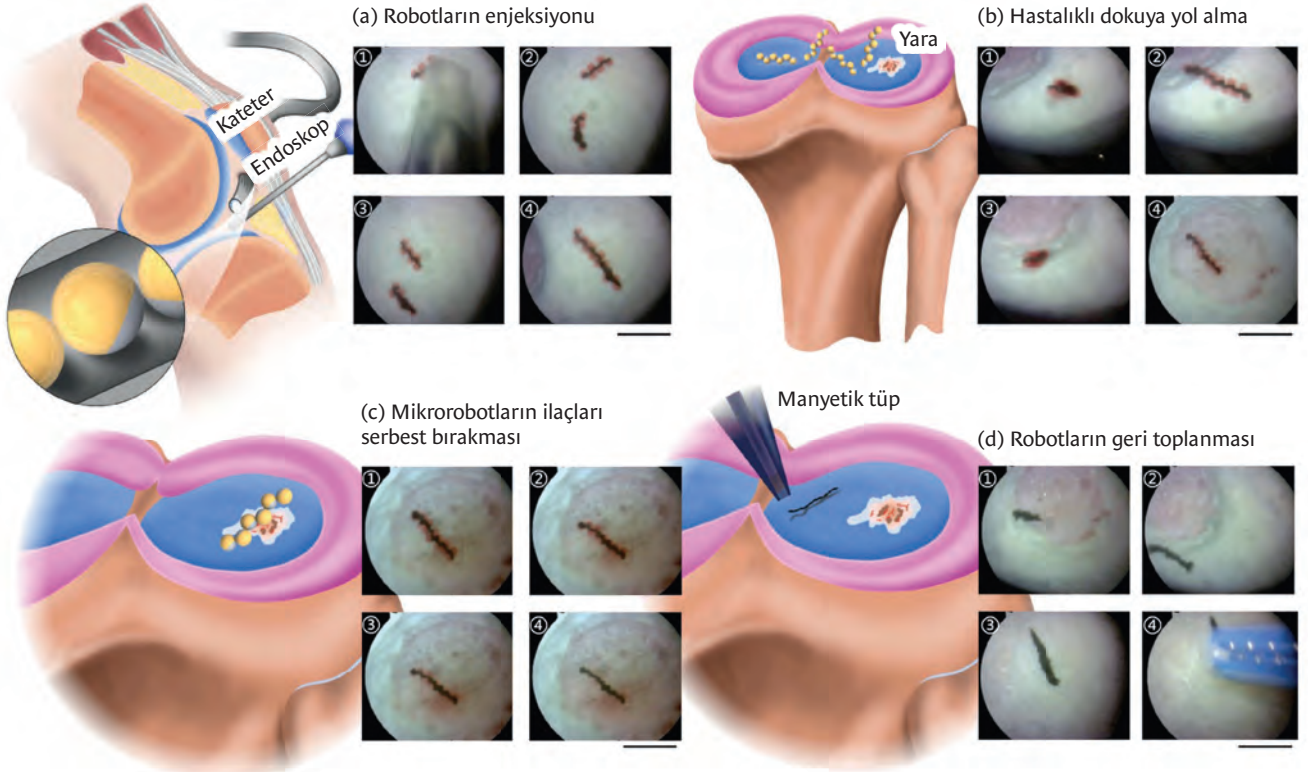
Cansız ortamda domuz bağırsakları ile yapılan deneylerle de mikrorobotların performansı test edildi. Bağırsakların içine giren robotlar zincirler hâlinde bir araya geliyor ve bağırsak yüzeyinde hareket ediyor. Üstelik bağırsak yüzeyinin bozuk ve ağdalı yapısı robotların bir araya gelmesine ve hareketlerine engel olmuyor. Robotlar hedeflenen noktaya ulaştıktan sonra ortama kollajenaz enzimi verildiğinde hidrojel fazı hızla dağılmaya başlıyor ve robotların taşıdığı kargo serbest kalıyor. Hidrojel fazı tamamen dağıldıktan sonra bile mikrorobotlar bütünlüklerini ve hareket kabiliyetlerini koruyor.

Geliştirilen mikrorobotlar farklı kargoları programlı bir biçimde dağıtmayı da başarıyor. Hem

katı PEGDA ile hem de yumuşak jelatin/alginat ile üretilen hibrit robotlar aynı anda farklı tür kargolar taşıyabiliyor. Robotlar kollajenaz enzimine maruz kaldığında yumuşak jelatin/alginat içinde taşınan kargolar hızla serbest kalırken sert PEGDA içinde taşınan kargolar ise daha geç serbest kalıyor.

Bir başka deney sırasında ise mikrorobotların performansı üç boyutlu yazıcılarla üretilmiş insan kıkırdak dokularıyla test edildi. Kateterler ile dokuların içine enjekte edilen mikrorobotlar manyetik alana maruz kaldıkları için bir araya gelerek büyük bir zincir oluşturuyor.

Manyetik alan uygulanarak hareket ettirilen robotlar, hedeflenen yaralı bölgeye ulaştığında taşıdıkları ilaçları kollajenaz enzimi yardımıyla serbest bırakıyorlar. Üstelik araştırmacılar taşıdıkları ilaçları serbest bıraktıktan sonra mikrorobotları başlangıç noktasına geri döndürmeyi ve mıknaştırı kateterlerle geri toplamayı da başarmış. Bu durumun yeni robotların geçmişte geliştirilenlere kıyasla önemli bir avantajı olarak görülüyor. Manyetizmayla kontrol edilen mikrorobotların yapısındaki mıknaştırılmış parçacıklar canlı dokularda bağırsıklık tepkisine ve başka yan etkilere yol açabilir. Dolayısıyla görevini tamamlayan mikrorobotların geri toplanabilmesi, geliştirilecek tedavilerin güvenliği açısından önemli.



Kıkırdak dokusundaki yaralı bölgeye ilaç taşıyan mikrorobotlar. Robotlar dokunun içine kateter aracılığıyla enjekte edildikten sonra bir araya gelerek büyük bir zincir oluşturuyor (a). Mikrorobotun hareketleri manyetik alan aracılığıyla kontrol edilerek yaralı bölgeye ulaşması sağlanıyor (b). Robotlar kollajenaz enzimine maruz kaldığında hidrojel faz hızla bozuluyor ve içerisindeki ilaçlar serbest kalıyor. Mikrorobottan geriye kalan kısımlar bütünlüğünü ve hareket kabiliyetini koruyor (c). Mikrorobot görevini tamamladıktan sonra başlangıç noktasına geri döndürülüyor ve bir manyetik kateter kullanılarak dokunun dışına alınıyor.

Simülasyonlar

Araştırmacılar, moleküler dinamik simülasyonları yaparak mikrorobotların farklı koşullar altındaki davranışları hakkında tahminler yapan bir model de geliştirmiş. Mikrorobotları oluşturan parçacıklar arasındaki manyetik etkileşimleri optimize etmek ve robotların davranışlarını daha iyi kontrol edebilmek için de bu modelden yararlanılmış. Araştırmacılar, simülasyonlar yaparak daha zorlu koşullar altında

görev yapabilecek daha gelişmiş robotlar geliştirmek için çalışmaya devam ediyor. Örneğin bu robotların yüksek sıvı basıncına dayanıklı olması, canlı dokulardaki düzensiz yapılarda başarılı bir biçimde yol alabilmesi amaçlanıyor.

Özet

Sağlıklı dokulara zarar vermeden hastalıkları ya da yaraları iyileştirme konusunda önemli bir gelişme yaşandı. Bir grup

araştırmacı hem çok çeşitli biçimlerde hareket edebilen hem de çeşitli türde kargoları başarılı bir biçimde taşıyıp dağıtabilen mikrorobotlar geliştirdi. Kalıcı mıknatıs özellik gösteren damlacıkların zincir biçiminde bir araya gelmesiyle oluşan robotlar görece zorlu testlerden başarıyla geçti. Canlı dokulardaki daha zorlu koşullarla başarıyla baş edebilecek daha gelişmiş mikrorobotların geliştirilmesi için çalışmalar devam ediyor. ■

Kaynaklar

Cao, Y., ve ark., "Permanent magnetic droplet-derived microrobots", *Science Advances*, Cilt 11, Makale No: eadw2172, 2025.

Freeman, T., "Magnetically controlled microrobots show promise for precision drug delivery", *Physics World*, <https://physicsworld.com/a/magnetically-controlled-microrobots-show-promise-for-precision-drug-delivery/>, 23 Temmuz 2025.

Bilim Çizgi

Sinancan Kara [bteknik@tubitak.gov.tr

Donald Hebb



BEYİN... BİLİNCİN, ÖĞRENMENİN VE DİĞER PEK ÇOK BİLİŞSEL İŞLEVIN GERÇEKLEŞTİĞİ YER. PEKİ BEYİN NASIL ÇALIŞIYOR? ÖĞRENME NASIL OLUYOR? BU SORULARA YANITLAR BULACAK KİŞİ, 1930'DA BİR MÜLAKATTADIR.

BU GENÇ YAŞINIZDA LİSE MÜDÜRÜ OLMUŞSUNUZ. FAKAT MESLEĞİNİZİ BIRAKIP YENİ BİR BAŞLANGIÇ YAPARAK PSİKOLOJİ OKUMAK İSTİYORSUNUZ, DOĞRU MU ANLADIM?

ÖĞRETMENLİK SEVDİĞİM BİR MESLEK. FAKAT ÖĞRENMENİN BEYİNDEKİ MEKANİZMASI HAKKINDA DAHA DERİNLEMESİNE ÇALIŞMALAR YAPMAK İSTİYORUM.

ÖĞRENME SÜRECİ ÜZERİNE DENEYLER YAPMANIZ GEREKECEK.

BUNA HAZIR MISINIZ BAY HEBB?

EYET EFENDİM. SABIRSIZLANIYORUM.

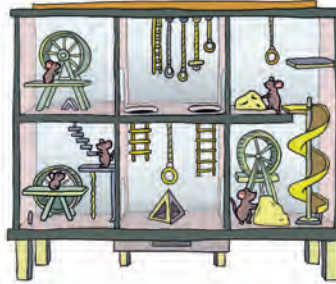
İLGİNÇ.

DONALD HEBB, FARELER İLE DENEYLER YAPMAYA BAŞLAR.

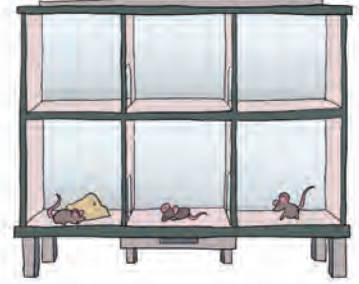
AMACI, ÇEVRESEL FAKTÖRLERİN ÖĞRENME ÜZERİNE ETKİLERİNİ ARAŞTIRMAKTIR.

BİR GRUP FAREYİ ETRAFTA UYARICI NESNELERİN OLDUĞU VE BAŞKA FARELERİN DE BULUNDUĞU BİR ORTAMA KOYDUM. BAŞKA BİR GRUP FAREYİ SE İLGİLERİNİ ÇEKECEK UYARANLARIN OLMADIĞI BİR ORTAMA YERLEŞTİRDİM. SONUÇ ŞU: ÇEVRELERİYLE SÜREKLİ ETKİLEŞİM HÂLİNDE OLAN FARELER SORUN ÇÖZME KONUSUNDA ÇOK DAHA BAŞARILI. YANI SOSYAL VE DAVRANIŞSAL OLARAK ETKİLEŞİM KURMAK ZİHNİ GELİŞTİRİYOR.

HIZLI ÖĞRENEN GRUP



YAVAŞ ÖĞRENEN GRUP



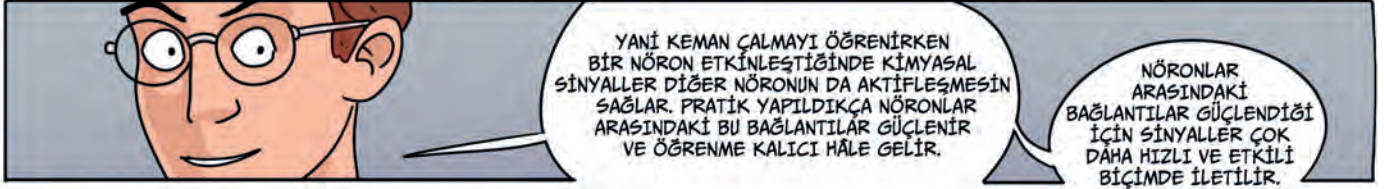
AYRICA ÖĞRENME SÜRECİ, NÖRON ADI VERİLEN SINIR HÜCRELERİNİN ARASINDAKİ BAĞLANTILARIN GÜÇLENMESİYLE GERÇEKLEŞİYOR.

KEMAN ÇALMAYI ÖĞRENEN BİRİNİ DÜŞÜNELİM.

İLK BAŞTA NÖRONLAR ARASINDAKİ BAĞLANTILAR ZAYIFDIR. KEMANDAN ÇIKAN SESLER UYUMSUZDUR.

PRATİK YAPTIKÇA NÖRONLAR ARASINDAKİ BAĞLANTILAR GÜÇLENİR VE ÇIKAN SESLER UYUMLU HÂLE GELİR.

YETERİNCE PRATİK YAPILDIĞINDA DAHA DA GÜÇLENEN BAĞLANTILAR KALICI HÂLE GELİR VE MÜZİK KUSURSUZLAŞIR.



BU DURUM BİZE BEYNİN DEĞİŞEBİLDİĞİNİ YANI YENİ DENEYİMLERLE KENDİNİ YENİDEN ŞEĞİLLENDİREBİLDİĞİNİ GÖSTERİYOR. BU KAVRAM BEYNİN PLASTİSİTESİ YA DA BEYNİN ESNEKLİĞİ OLARAK İSİMLENDİRİLİYOR.

SERT BİR CİSME KUVVET UYGULADIĞINIZDA ŞEKLİ DEĞİŞMEZ.



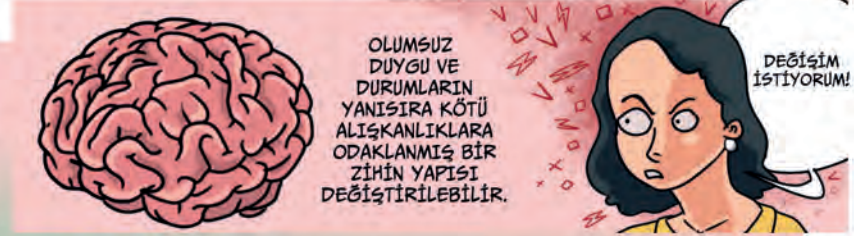
ELASTİK CİSİMLERE İSE ŞEKL VERİLEBİLİR. ELASTİK BİR TOPA ORTASINDAN BASKI UYGULARSANIZ ŞEKLİ DEĞİŞİR. FAKAT BIRAKTIĞINIZ ANDA ESKİ ŞEKLİNE GERİ DÖNER. ELASTİK CİSİMLERE DE UZUN VADELİ ŞEKL VERİLEMEZ.



PLASTİK DAVRANIŞ GÖSTEREN MALZEMELERE BELİRLİ BİR SEVİYENİN ÜZERİNDE KUVVET UYGULADIĞINDA KALICI OLARAK ŞEKL DEĞİŞTİRİRLER. AMA BIRAKILDIKLARINDA ESKİ ŞEĞİLLERİNE GERİ DÖNMEZLER. BENZER ŞEĞİLDE BEYNİN DE ÖĞRENİLEN YENİ BİLGİLER VE DENEYİMLER İLE İŞLEVSEL OLARAK DEĞİŞEBİLİR.



BEYNİN, DENEYİMLERE BAĞLI OLARAK KENDİNİ DEĞİŞTİREBİLME KAPASİTESİNE SAHİPTİR. BUNA BEYNİN PLASTİSİTESİ ADINI VERDİM. NE DOĞDUĞUMUZ GİBİ KALİYORUZ NE DE DENEYİMLERİMİZ GELİP GEÇİCİ.



EYET. BEYNİMİZ SABİT DEĞİLDİR. ZİHNİMİZ KARARLARIMIZ VE DENEYİMLERİMİZLE SÜREKLİ BİR DEĞİŞİM HALİNDEDİR.

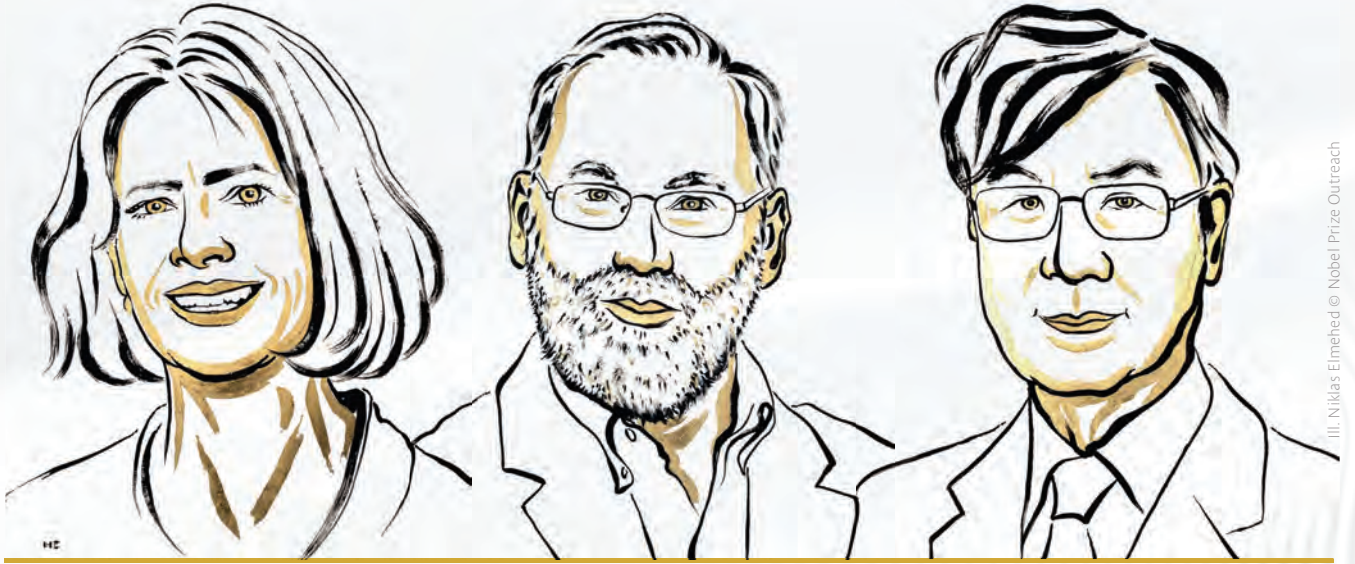




2025

Nobel Fizyoloji veya Tıp Ödülü

“Çevresel Bağışıklık Toleransı”nın Keşfine



İlay Çelik Sezer [TÜBİTAK Bilim ve Teknik Dergisi

İnsan vücudu mikroorganizmalardan kaynaklı tehditlere karşı hayli karmaşık ve güçlü bir bağışıklık sistemi tarafından korunur. Ancak bağışıklık sistemi zaman zaman vücudun kendi dokularına da saldırabilir. Bunun önlenmesi için bu sistemin özel mekanizmalarla düzenlenmesi gerekir. İşte bu yılın Nobel Fizyoloji veya Tıp Ödülü, bunlardan biri olan “çevresel bağışıklık toleransı” adlı mekanizmayı aydınlatan uzun soluklu ve özverili çalışmaları nedeniyle Mary E. Brunkow, Fred Ramsdell ve Shimon Sakaguchi adlı üç bilim insanına verildi. Bu bilim insanlarının çalışmaları yeni bir araştırma alanının temellerini oluşturdu ve bağışıklık sistemiyle ilişkili hastalıklara, örneğin kansere ve çeşitli otoimmün hastalıklara yönelik yeni tedaviler geliştirilmesinin yolunu açtı.

Bağıışıklık sistemimiz bizi sürekli olarak vücudumuza saldıran binlerce farklı virüs, bakteri ve başka mikroorganizmadan korur. İşlevsel bir bağıışıklık sistemi olmadan hayatta kalmamız mümkün olmazdı. Ancak bağıışıklık sisteminin işlevini etkin şekilde gerçekleştirebilmesi için patojenleri yani hastalık yapıcı mikroorganizmaları vücudun kendi hücrelerinden ayırt edebilmesi gerekir. Aksi takdirde vücudun kendi hücrelerine de saldırabilir. İşte bağıışıklık sisteminin en büyük becerilerinden biri bu ayrımı yapabilmesidir. Peki ama nasıl? Sonuçta hayatımızı tehdit eden patojenlerin “etiketleri” ya da “üniformaları” yoktur, her biri farklı yapılara ve görünümlere sahiptir. Hatta bazıları bir çeşit kamuflaj olarak insan hücreleriyle benzerlikler taşır. O hâlde bağıışıklık sistemi neye saldırıp neyi koruyacağını nasıl ayırt edebiliyor? Bağıışıklık sistemimizin kendi vücudumuza saldırması nasıl oluyor da sadece istisnai durumlarda gerçekleşiyor?

Bilim insanları uzun bir süre bu soruların yanıtının, bağıışıklık hücrelerinin olgunlaşmasını sağlayan süreç olan “merkezi bağıışıklık toleransı”na dayandığını düşündü. Ancak zaman içinde bağıışıklık sisteminin sanılandan daha karmaşık olduğu anlaşıldı. Bu yılın Nobel Fizyoloji veya Tıp Ödülü sahipleri Mary E. Brunkow, Fred Ramsdell ve Shimon Sakaguchi, bağıışıklık sisteminin çevresel bağıışıklık toleransı adlı ikinci bir sistemle düzenlendiğini ortaya koydu. Brunkow, Ramsdell ve Sakaguchi, bağıışıklık sisteminin “güvenlik muhafızları” olan düzenleyici T hücrelerini keşfederek yeni bir araştırma alanının temellerini attı. Yaptıkları keşifler ayrıca günümüzde klinik denemelerle sınanmakta olan yeni tıbbi tedaviler geliştirilebilmesinin yolunu açtı. Bu sayede gelecekte otoimmün hastalıkların tedavi edilebilmesi, kansere karşı daha etkili tedaviler sunulabilmesi ve kök hücre nakilleri sonrasındaki ciddi komplikasyonların engellenebilmesi umuluyor.

Brunkow, Ramsdell ve Sakaguchi’nin Nobel’e uzanan hikâyesine geçmeden önce bu yılın Nobel Fizyoloji veya Tıp Ödülü’ne konu olan keşiflerin tam kalbinde yer alan T hücreleri hakkında bundan 30-35 yıl önce, 1990’lı yıllarda neler bilindiğine bir göz atalım.

© The Nobel Committee for Physiology or Medicine. Ill. Mattias Karlén



Vücut Savunmasının Hayati Aktörleri: T Hücreleri

Yardımcı T hücreleri vücutta sürekli devriye görevi görür. İstilacı bir patojenle karşılaşmaları durumunda diğer bağıışıklık hücrelerini uyararak onların patojenlere saldırmasını sağlarlar.

Öldürücü T hücreleri ise bir virüs ya da başka bir patojen tarafından enfekte edilmiş hücreleri ortadan kaldırır. Ayrıca tümör hücrelerine de saldırabilir.

Bunlara ek olarak farklı işlevlere sahip başka bağıışıklık hücreleri de vardır. Ancak şimdi bunlardan bahsetmeyeceğiz çünkü bu yılın Nobel hikâyesinin odağında T hücreleri var.

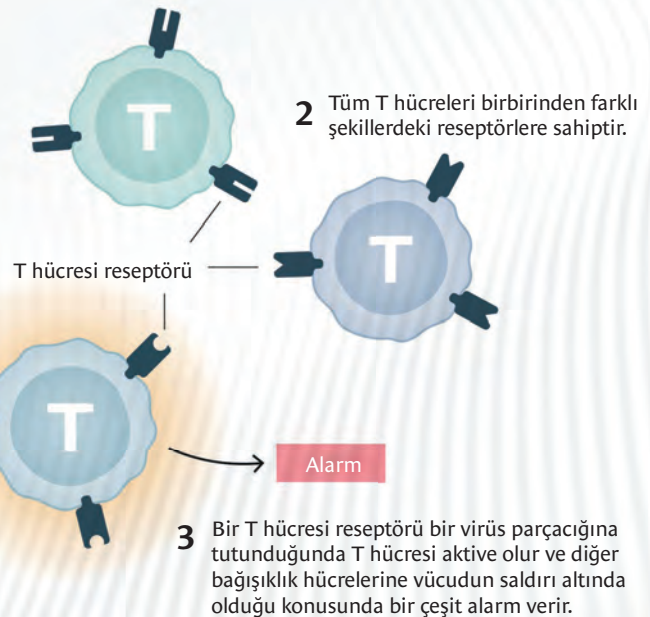
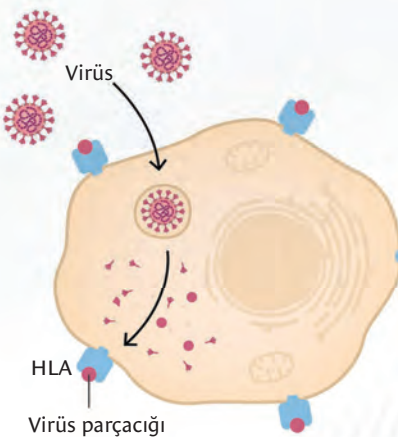
İstilacıları Fark Edebilen Sensörler

Tüm T hücreleri yüzeylerinde T hücresi reseptörleri denen özel proteinler taşır. Bu reseptörlerin işlevi sensörlerinkine benzetilebilir. T hücreleri bu proteinler yardımıyla diğer hücreleri takip ederek vücudun saldırı altında olup olmadığını belirler. T hücresi reseptörleri özel proteinlerdir çünkü tıpkı yapboz parçaları gibi hepsi farklı şekillerdedir. Bu reseptörleri kodlayan genler çok sayıda gen segmentinin rastgele kombinasyonlarıyla oluşur. Bu da teorik olarak vücudun 10^{15} 'ten fazla farklı T hücresi reseptörü üretebileceği anlamına gelir.

Farklı reseptörlere sahip T hücrelerinin sayısının çok yüksek olması, vücutta enfeksiyona neden olabilecek patojenleri (örneğin COVID-19 salgınına neden olan SARS-CoV-2 gibi yeni virüsleri) tanıyabilecek reseptörlerin her zaman bulunabilmesini sağlar. Ancak bu çeşitlilik vücudun kendi dokularına ait proteinlere bağlanabilen T hücreleri de oluşması riskini doğurur. O hâlde T hücrelerinin patojenlere tepki verip de kendi hücrelerimize saldırmaması nasıl mümkün olabiliyor?

T Hücreleri Bir Virüsü Nasıl Fark Eder?

- 1 Enfekte olmuş bir hücre HLA protein kompleksini kullanarak bir virüs parçacığını yüzeyinde gösterir.



Vücudun Kendi Hücrelerini Tanıyan T Hücreleri Elenir

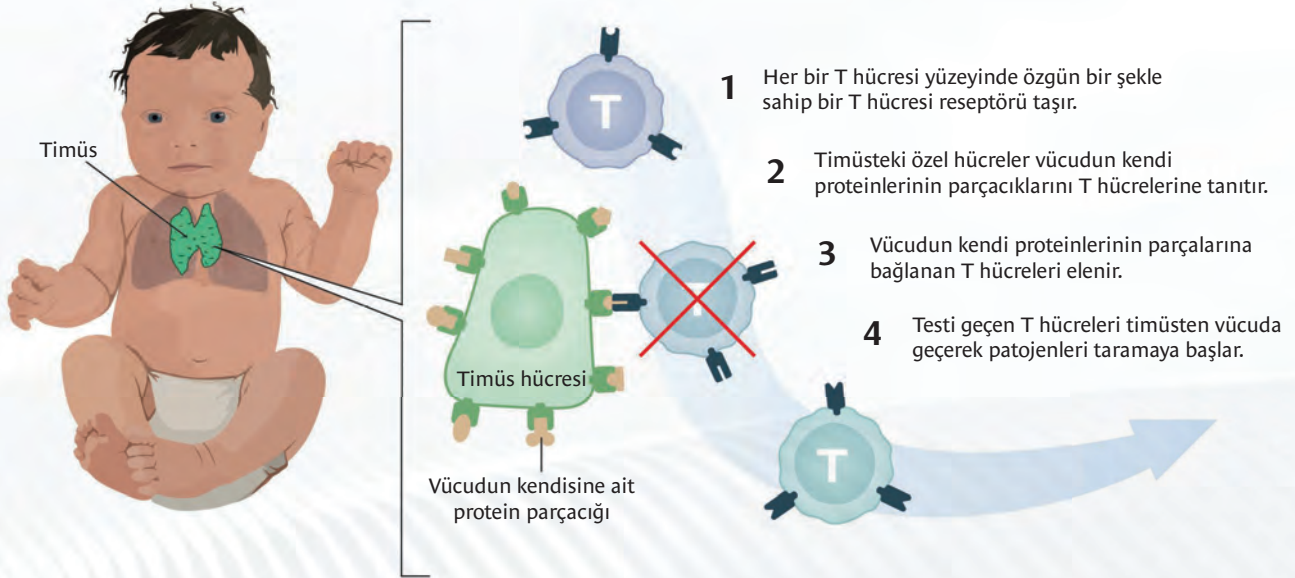
1980'lerde bilim insanları T hücrelerinin timüs adlı lenf organında olgunlaştığını, burada vücudun kendi proteinlerini tanıyan T hücrelerinin elendiği bir çeşit teste tabi tutulduğunu anladı. Bu seçim sürecine merkezi tolerans adı verildi.

Bazı araştırmacılar bu mekanizmaya ek olarak baskılayıcı T hücresi adını verdikleri bir başka T hücresi tipinin var olabileceğini düşünmeye başladı. Bu hücrelerin timüsteki testten kaçan, dolayısıyla vücudun kendi proteinlerini tanıdığı hâlde timüsten çıkmayı başarabilen T hücrelerine yönelik etki gösterdiğine inanıyorlardı. Ancak bazı araştırmacıların baskılayıcı T hücreleri ile ilgili sonuçlarını

yanlış yorumladığı anlaşılmca bilim insanları bu hipotezi tamamen reddetti ve bu araştırma alanı neredeyse tamamen terk edildi. Ancak bir araştırmacı akıntıya kürek çekti. Shimon Sakaguchi adlı bu araştırmacı Japonya'nın Nagoya kentinde bulunan Aichi Kanser Merkezinde görev yapıyordu.

Zararlı T Hücreleri Nasıl Elenir?

Kemik iliğinde hematopoetik kök hücre olarak oluşan T hücreleri daha sonra timüse göç eder ve burada olgunlaşarak bağışıklık hücresi işlevi kazanır. Olgunlaşma aşamasında vücudun kendi proteinlerini tanıyanlar ayrılır ve yok edilir. Bu süreç merkezi tolerans denir.



Sakaguchi'nin Sezgisini: Bağışıklık Sisteminin Bir Güvenlik Muhafızı Olmalı

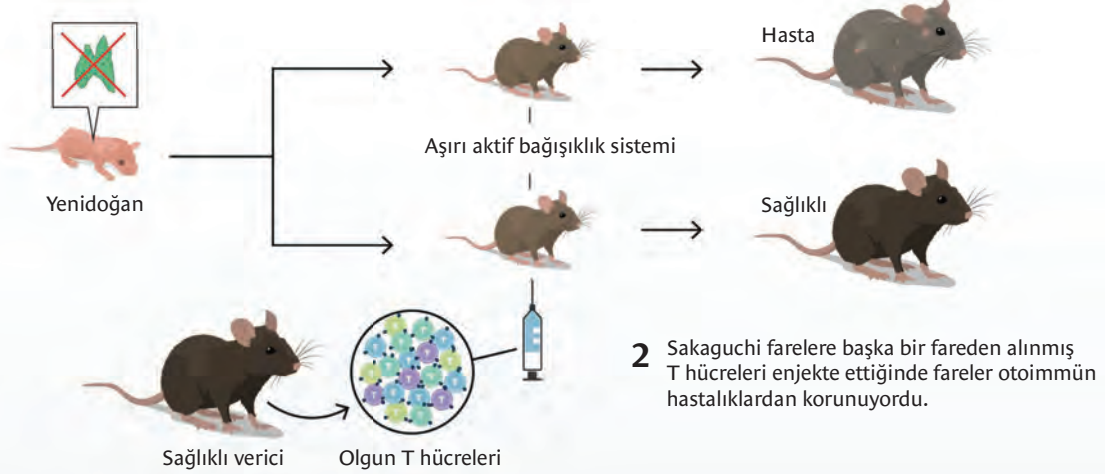
Shimon Sakaguchi, çalışma arkadaşlarının daha önce yaptığı çelişkili bir deney sonucundan yola çıktı. Bu araştırmacılar timüsün T hücrelerinin gelişimindeki rolünü anlamak amacıyla yeni doğan farelerin timüslerini ameliyatla çıkarmıştı. Beklentileri farelerin daha az T hücresi geliştireceği ve dolayısıyla da daha zayıf birer bağışıklık sistemine sahip olacağı yönündeydi. Ancak yaptıkları deneyde, üç günlükken timüslerini ameliyatla çıkardıkları farelerin bağışıklık sisteminin aşırı tepki verdiğini ve kontrolden çıkarak kendi dokularına saldırmaya başladığını belirlediler.

Bunun sonucunda da bu farelerde bir dizi otoimmün hastalık oluştuğunu gördüler. Shimon Sakaguchi bu olayı daha iyi anlayabilmek için 1980'lerin başlarında çalışmaya başladı ve genetik olarak birbirinin aynı olan farelerden olgunlaşmış T hücrelerini alıp bunları timüsü çıkarılmış farelere enjekte etti. Bu işlemin ilginç bir etkisi oldu: T hücrelerinin aktarıldığı fareler otoimmün hastalıklara yakalanmadan sağlıklı bir şekilde yaşadı. Öyle görünüyordu ki timüsü olmayan fareleri otoimmün hastalıklardan koruyan birtakım T hücreleri vardı.

Bu ve benzer başka sonuçlar Sakaguchi'yi bağışıklık sisteminin, T hücrelerinin bağışıklık tepkisini sınırlandıran ve onları kontrol altında tutan bir çeşit güvenlik muhafızına sahip olması gerektiği konusunda ikna etti.

Sakaguchi'ye İlham Kaynağı Olan Deney

- 1 Sakaguchi üç günlük farelerin timüslerini çıkardı. Bu farelerde otoimmün hastalıklar oluştu.



- 2 Sakaguchi farelere başka bir fareden alınmış T hücreleri enjekte ettiğinde fareler otoimmün hastalıklardan korunuyordu.

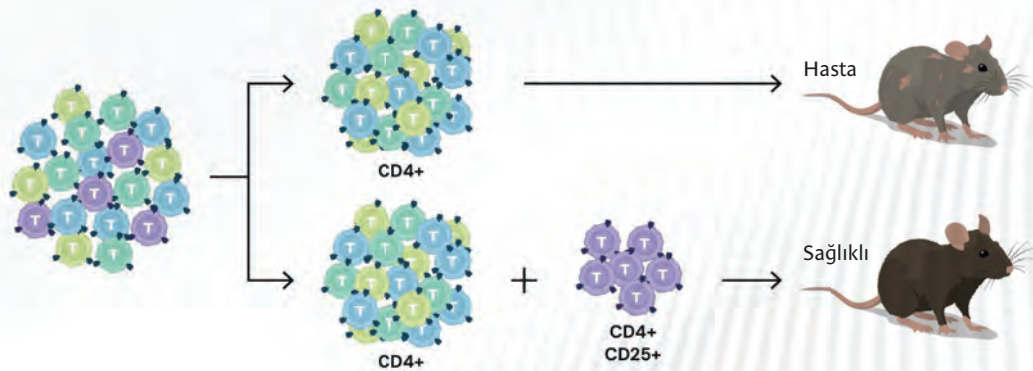
Sakaguchi Yeni Bir T Hücresi Türü Keşfediyor

Bilim insanları T hücresi türlerini birbirinden ayırt ederken bu hücrelerin yüzeyinde bulunan bazı proteinlerden yararlanır. Yardımcı T hücreleri CD4 adlı bir protein sayesinde tanınırken öldürücü T hücreleri CD8 proteinleri sayesinde ayırt edilir.

Timüsleri çıkarılmış farelere T hücreleri aktarıldığında otoimmün hastalıklardan korunduklarının anlaşıldığı deneyde Sakaguchi, yüzeyinde CD4 proteinini taşıyan hücreleri yani yardımcı T hücrelerini kullanmıştı. Normalde bu hücreler bağışıklık sistemini harekete

geçirir ancak Sakaguchi'nin deneyinde tam tersine bağışıklık sistemini frenlemişlerdi. Sakaguchi bu çelişkiye dayanarak CD4 proteinini taşıyan farklı türlerde T hücreleri olması gerektiği sonucunu çıkardı.

Bu varsayımını doğrulamak için Sakaguchi'nin farklı türlerdeki T hücrelerini ayırt etmenin bir yolunu bulması gerekiyordu. Bu süreç on yıldan fazla zamanını alsa da 1995 yılında yeni bir T hücresi türünü tanımladığını dünyaya duyurdu. *The Journal of Immunology*'de yayımlanan çalışmasında bağışıklık sistemini yatıştırma işlevine sahip bu T hücrelerinin yüzeylerinde sadece CD4 değil aynı zamanda CD25 adlı bir protein taşıdıklarını gösterdi.



Sakaguchi Yeni Bir T Hücresi Türü Tanımlıyor

Sakaguchi'nin timüsü çıkarılmış farelerle yaptığı deneyde, CD4 proteinini taşıyan T hücreleri arasından aynı zamanda CD25 proteinini de taşıyanlar ayrılıp uzaklaştırılarak kalan T hücreleri farelere enjekte edildiğinde farelerde ciddi otoimmün hastalıklar oluşuyordu. CD25 proteinini taşıyan T hücreleri de enjekte edildiğinde ise fareler sağlıklı kalıyordu.

Yeni tanımlanan bu T hücresi türüne düzenleyici T hücreleri adı verildi. Ancak pek çok bilim insanı bu T hücresi türünün varlığından şüpheliydi ve Sakaguchi'nin keşfini kabul etmek için daha fazla kanıt istiyorlardı. Tam da bu aşamada Mary Brunkow ve Fred Ramsdell'den ikna edici bulgular geldi. İşte şimdi 2025 Nobel Fizyoloji veya Tıp Ödülü'nün hikâyesindeki ikinci kısma geçiyoruz. Hikâyenin bu kısmı ise 1940'larda ABD'deki bir laboratuvarında doğan hasta erkek farelerle başlıyor.

Bir Mutasyon Bağışıklık Sistemini “İsyana” Sürüklüyor

Bu laboratuvarında araştırmacılar radyasyonun etkilerini araştırıyordu. Bu yılın Nobel ödülüne giden yolda önemli bir rol oynayacak olan mutant fare soyu işte bu çalışmalar sırasında tesadüfen ortaya çıktı. Bazı erkek fareler beklenmedik şekilde kabuklu ve pullu bir deri, aşırı derecede büyük dalak ve lenf bezleriyle doğuyor ve sadece birkaç hafta yaşayabiliyordu.

Derilerinin görünümüne istinaden İngilizce kepekli ya da kabuklu anlamına gelen *scurfy* olarak adlandırılan bu fare soyu araştırmacıların dikkatini çekti. O zamanlar moleküler genetik henüz emekleme aşamasındaydı ancak araştırmacılar farelerdeki hastalığa neden olan mutasyonun X kromozomu üzerinde yer alması gerektiğini belirleyebildi. Erkek farelerin yarısı hastalıklıydı, dişi farelerse bu mutasyonla yaşayabiliyordu çünkü iki tane X kromozomları vardı ve bunlardan biri hastalığa neden olan genin sağlıklı bir kopyasını taşıyordu. Böylece dişi farelerin *scurfy* mutasyonunu sonraki nesillere geçirmesi de mümkün oluyordu.

Moleküler biyoloji ve genetik yöntemlerinin kayda değer ölçüde daha güçlü olduğu 1990'larda araştırmacılar *scurfy* farelerin neden bu kadar hasta olduğunu araştırmaya başladı. İncelemeler sonucunda bu farelerin organlarının, dokuları yok eden T hücrelerinin saldırısına uğradığını gösterdi. Bir nedenle *scurfy* mutasyonu bağışıklık sisteminde bir çeşit ayaklanmaya yol açıyordu.

Brunkow ve Ramsdell Otoimmün Hastalıklara Açıklama Arıyor

Scurfy mutasyonu ile ilgilenen araştırmacılar Mary Brunkow ve Fred Ramsdell ABD'de otoimmün hastalıklar için ilaç etken maddeleri geliştiren Celltech Chiroscience adlı bir biyoteknoloji şirketinde çalışıyordu. İkili *scurfy* farelerin araştırmaları ile ilgili önemli ip uçları sağlayabileceğini fark etti. Farelerdeki bu hastalığın altında yatan mekanizmayı anlamayı başarlarsa otoimmün hastalıkların nasıl ortaya çıktığına dair önemli bilgilere ulaşabilirlerdi. Bu yüzden de çok önemli bir karar alarak *scurfy* farelerdeki mutant geni araştırma işine koyuldular.

Bugün sadece birkaç gün içinde bir farenin tüm genomunu haritalayıp mutasyona uğramış bir geni bulmak mümkün. Ancak 1990'larda bu iş devasa bir samanlıkta iğne aramaya benziyordu. Farenin X kromozomunu oluşturan iki DNA zincirinden her biri 170 milyondan fazla nükleotid (DNA zincirini oluşturan yapı birimleri) içerir. Bu kadar büyük bir DNA molekülünde tek bir mutasyonu bulmak mümkündür ama zaman, sabır ve o dönemin moleküler biyoloji yöntemlerinin yaratıcı bir biçimde kullanılmasını gerektiriyordu.

Brunkow ve Ramsdell Samanlıktaki İğneyi Buluyor!

Gen haritalama çalışmaları *scurfy* mutasyonunun X kromozomunun ortalarında yer alması gerektiğini gösterdi. Daha sonra Brunkow ve Ramsdell genin potansiyel olarak bulunabileceği bölgeyi 500.000 nükleotide kadar daraltmayı başardı. Sonra da X kromozomunun o bölgesini ayrıntılı olarak haritalama gibi devasa bir işe giriştiler. Buysa uzun bir zaman aldı. Brunkow ve Ramsdell bu işin sonuna geldiklerinde bu bölgenin 20 potansiyel gen bölgesi içerdiği sonucuna vardılar. Onları bekleyen sonraki

zorluksa bu genleri sağlıklı ve *scurfy* farelerde karşılaştırmaktı. Her bir geni tek tek incelediler ve ancak 20. gene geldiklerinde aradıklarını buldular. Kendilerini adadıkları yıllar süren çalışmaların sonucunda nihayet *scurfy* mutasyonunun hangi gende olduğunu belirlediler.

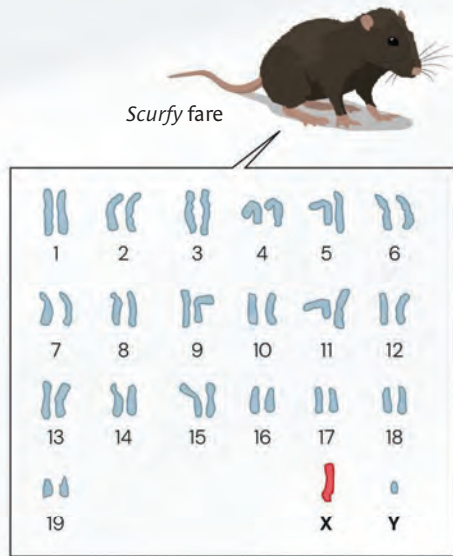
Mutasyonlu gen daha önce bilinen bir gen değildi ancak *forkhead box* ya da *FOX* genleri adı verilen bir gen grubuyla benzerlikler taşıyordu. Bu genler başka genlerin etkinliklerini düzenliyor ve hücre gelişiminde etkili olabiliyor. Brunkow ve Ramsdell bu yeni gene *Foxp3* adını verdi.

Keşif İnsanlardaki Ciddi Bir Hastalığın Nedenini Aydınlatıyor

Brunkow ve Ramsdell çalışmaları sırasında insanlarda yine X kromozomuna bağlı nadir bir otoimmün hastalık olan IPEX'in *scurfy* farelerdeki hastalığın

insanlardaki versiyonu olduğundan şüphelenmeye başlamıştı. Bilim insanlarının yeni keşfedilen genlerle ilgili bilgileri sakladığı bir veri tabanında yaptıkları araştırma sonucunda *Foxp3* geninin insanlardaki karşılığı olan geni buldular. Dünyanın farklı yerlerindeki çocuk doktorlarının yardımıyla IPEX hastası erkek çocuklarından örnekler topladılar. Örnekler üzerinde yaptıkları genetik analizler sonucunda gerçekten de *FOXP3* (insan genleri büyük harflerle yazılır) geninde zararlı mutasyonlar belirlediler.

2001 yılında *Nature Genetics* dergisinde yayımladıkları makaleyle *FOXP3* genindeki mutasyonların hem insandaki IPEX hastalığının hem de *scurfy* farelerdeki hastalığın nedeni olduğunu bilim dünyasına duyurdular. Bu çok önemli keşifle birlikte birkaç laboratuvarla hummalı çalışmalar başladı. Araştırmacıların bulguları bulmacayı tamamladığında ise *FOXP3* geninin Sakaguchi'nin keşfettiği düzenleyici T hücreleri için önemli olabileceği anlaşıldı.

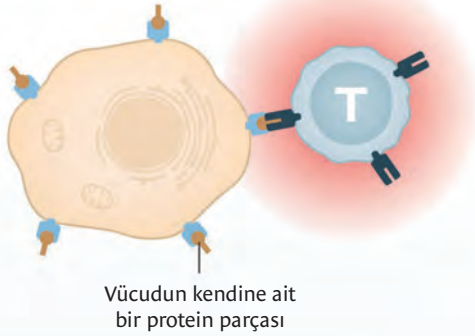


Brunkow ve Ramsdell *scurfy* mutasyonunu buluyor

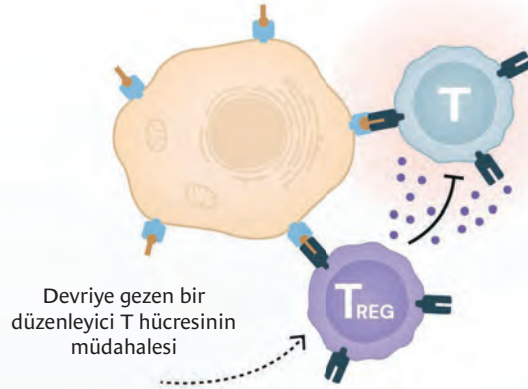
Scurfy mutasyonu bağışıklık sisteminde bir ayıklanmaya neden oluyor. Brunkow ve Ramsdell mutasyonun bulunabileceği DNA bölgesini daraltmayı ve *Foxp3* genini belirlemeyi başardı. Daha sonra ise bu genin düzenleyici T hücrelerinin gelişiminde belirleyici bir rol oynadığı anlaşıldı.

Düzenleyici T hücreleri bizi nasıl korur?

- 1 Timüsteki testten kaşan bir T hücresi vücudun kendi proteinlerinden birine ait bir parçaya tepki veriyor.



- 2 Düzenleyici T hücreleri bu tepkinin bir hata olduğunu fark ederek tepkiyi yatıştırır. Bu da otoimmün hastalıkları önler.



Vücudun Güvenlik Muhafızları Olan Düzenleyici T Hücreleri

İki yıl sonra Shimon Sakaguchi, sonrasında da başka araştırmacılar, *FOXP3* geninin düzenleyici T hücrelerinin gelişimini kontrol ettiğini ikna edici biçimde kanıtlamayı başardılar. Bu hücreler, diğer T hücrelerinin yanlışlıkla vücudun kendi dokularına saldırmasına engel oluyor. Bu da çevresel bağışıklık toleransı denen süreç için önem taşıyor. Düzenleyici T hücreleri ayrıca bağışıklık sisteminin bir patojeni bertaraf ettikten sonra yatışmasını sağlıyor. Böylece tehlike geçince bağışıklık sistemi artık en yüksek hızında çalışmaya devam etmiyor.

Düzenleyici T hücreleri ve bunların çevresel bağışıklık toleransındaki öneminin keşfi sayesinde yıllar içinde ortaya konan temel bilgi birikimi yeni potansiyel tıbbi tedaviler geliştirilmesinin de yolunu açtı.

Tümörler üzerindeki incelemeler tümörlerin çok sayıda düzenleyici T hücresini kendine çekerek bağışıklık sisteminden korunabildiğini gösteriyor. Bu yüzden araştırmacılar bağışıklık sisteminin tümörlere erişmesini sağlayabilmek için bu düzenleyici T hücresi duvarını yıkmamanın yollarını arıyor.

Otoimmün hastalıklarda ise araştırmacılar bu defa daha fazla düzenleyici T hücresi oluşumunu teşvik etmeye çalışıyor. Pilot çalışmalarda hastalara düzenleyici T hücrelerinin çoğalmasını sağladığı bilinen *interleukin-2*

adlı maddeyi veriyorlar. Araştırmacılar ayrıca *interleukin-2*'nin organ nakli sonrası organ reddini önlemek için kullanılma potansiyelini de araştırıyor.

Araştırmacıların aşırı etkin bir bağışıklık sistemini yavaşlatmak için denediği stratejilerden biri de hastadan düzenleyici T hücrelerini izole edip bunları laboratuvar ortamında çoğaltmak. Çoğaltılan hücreler tekrar hastaya verilerek hastanın vücudundaki düzenleyici T hücresi sayısı artırılıyor. Bazı durumlarda araştırmacılar izole ettikleri T hücreleri üzerinde değişiklikler de yapıyor. Örneğin hücre yüzeyine hücreyi belirli bir hedefe götüreceği bir çeşit adres işlevi gören antikorlar ekliyorlar. Bu da araştırmacıların bu hücreleri örneğin nakledilmiş bir karaciğere ya da böbreğe hedefli olarak göndererek organın bağışıklık sistemi saldırısından korunmasını sağlıyor.

Araştırmacıların düzenleyici T hücrelerinin hastalıklarla mücadelede kullanım potansiyelini test ettikleri daha pek çok örnek var. Mary Brunkow, Fred Ramsdell ve Shimon Sakaguchi, bağışıklık sisteminin nasıl düzenlenip kontrol altında tutulduğuna ışık tutan temel bilgiler ortaya koydu. Böylece Alfred Nobel'in vasiyetinde belirttiği gibi "insanlığa en büyük fayda"lardan birini sağlamış oldular. ■

Kaynak

<https://www.nobelprize.org/prizes/medicine/2025/popular-information/>

Bilim ve Teknik Ekibi TEKNOFEST İstanbul'da Okurlarıyla Buluştu

Hayriye Yetiş Avcı [TÜBİTAK Bilim ve Teknik Dergisi



Dünyanın en büyük Havacılık, Uzay ve Teknoloji Festivali TEKNOFEST, 17-21 Eylül tarihleri arasında İstanbul'da gerçekleştirildi. Beş gün boyunca teknoloji yarışmalarından hava gösterilerine, konserlerden bilim temalı sergilere kadar birçok etkinliğe ev sahipliği yapan festival, ziyaretçilere unutulmaz anlar yaşattı.

TEKNOFEST İstanbul'da 1 milyon 32 bin ziyaretçi bilim, teknoloji ve inovasyon coşkusu yaşamak için bir araya geldi. Elli sekiz ana kategori ve 137 alt kategoride düzenlenen teknoloji yarışmalarına 565 binden fazla takım ve 1 milyon 100 bin yarışmacı başvurdu. Bilim ve teknolojinin rehberliğinde geleceğin teknolojilerini tasarlamayı amaçlayan yarışmacılar, bilgi ve deneyimlerini paylaşma imkânı yakaladı. Hayallerini gerçekleştirmek isteyen teknoloji meraklısı öğrencilerin ve girişimcilerin kıyasıya mücadele ettiği yarışmalarda dereceye giren takımlara 65 milyon TL'nin üzerinde ödül verildi.

T.C. Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı ve Türkiye Teknoloji Takımı (T3) Vakfı ana yürütücülüğünde Türkiye'nin önde gelen teknoloji şirketleri, kamu kurumları, üniversiteler ve medya kuruluşlarının destekleriyle düzenlenen TEKNOFEST kapsamında teknoloji ve heyecan dolu birçok etkinlik gerçekleştirildi. Ziyaretçiler nefes kesen hava gösterileri; ufuk açan sergi ve atölyeler; bilim şovları; deniz, kara ve hava araçları sergisi; teknolojinin dününü ve bugünü buluşturan TEKNOFEST Zaman Tüneli; simülasyon deneyim alanları; sanal gökyüzünde yıldızlara yolculuk imkânı sunan planetaryum gibi bilim ve teknoloji dolu birbirinden farklı etkinliklerde deneyim elde etme fırsatı yakaladı.

Ülkemizin gelecekteki teknoloji ekosistemini güçlendirme çalışmalarına hız kesmeden devam eden TÜBİTAK, TEKNOFEST kapsamında biyoteknolojiden yapay zekâya, iklim değişikliğinden blokzincire güncel ve kritik öneme sahip farklı alanlarda düzenlenen yarışmaların yürütücülüğünü gerçekleştirdi. Yenilikçi projelerin, popüler bilim yayınlarının, uzay ve savunma teknolojilerinin tanıtıldığı; etkileşimli atölyeler, sergiler ve bilim şovlarıyla zenginleştirilen TÜBİTAK çadırları ve etkinlik alanları teknoloji ve bilime merak duyan yüzbinlerce kişiyi ağırladı. Her yaştan katılımcıyı bilimin



heyecanıyla buluşturan TÜBİTAK, TEKNOFEST'in en fazla ziyaretçi ağırlayan kurumlarından biri oldu.

TÜBİTAK *Bilim ve Teknik* dergisi ekibi de TEKNOFEST İstanbul'daydı. Türkiye'nin ilk popüler bilim dergisi olan *Bilim ve Teknik* dergisinin okurları, gerçekleşen etkinlikte dergi ekibiyle bir araya gelerek derginin hazırlık sürecine dair sohbet etme imkânı buldu. Dergiler müdürü Kübra Bal Çetinkaya, yayın yönetmeni Dr. Özlem Kılıç Ekici, editör Dr. Tuba Sarıgül, araştırmacı yazarlar Dr. Özlem Ak, Dr. Mahir E. Ocak, İlay Çelik Sezer ve grafik tasarımdan sorumlu

Hüseyin Diker katılımcılara kendilerini tanıtarak yöneltilen soruları cevapladı. Sonrasında yapılan bilgi yarışması konuklar tarafından büyük ilgi gördü. Sorulan sorulara ilk doğru cevabı veren kişilere TÜBİTAK popüler bilim kitapları ile bir yıllık *Bilim ve Teknik* dergisi aboneliği hediye edildi.

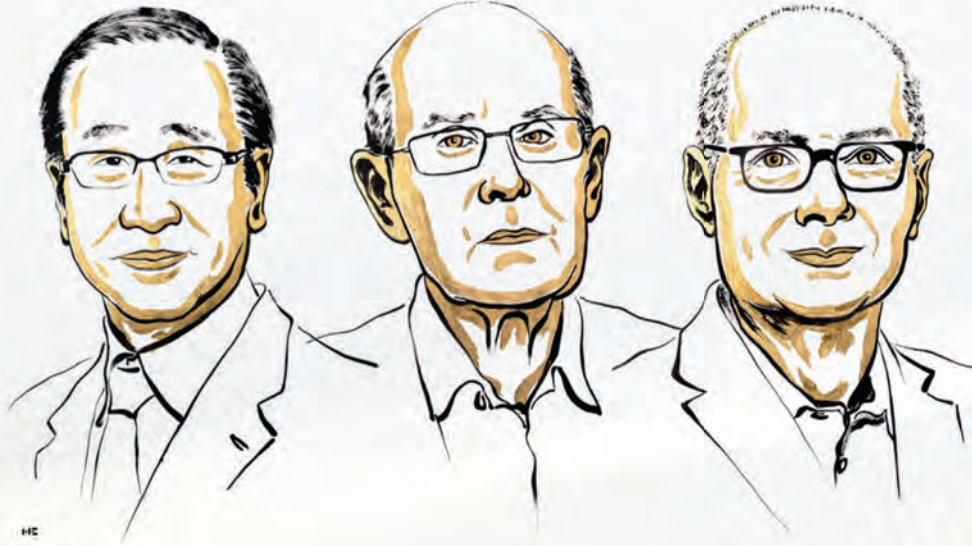
7'den 70'e herkesi kucaklayan TEKNOFEST coşkusu bilim ve teknoloji meraklılarına ilham kaynağı olmaya, *Bilim ve Teknik* dergisi de gençlerin yolunu aydınlatarak bilim okuryazarı olan nesiller büyötmeye devam edecek. ■

Kaynak

<https://www.teknofest.org/tr/content/announcement/teknofest-istanbul-1-milyon-32-bin-ziyaretciyi-agirladi/>



2025 Nobel Kimya Ödülü Metal Organik Kafes (MOF) Malzemelerin Geliştirilmesi Çalışmalarına Verildi



III. Niklas Elmehed © Nobel Prize Outreach

Hayriye Yetiş Avcı [TÜBİTAK Bilim ve Teknik Dergisi

Bu yılın Nobel Kimya Ödülü metal organik kafes (MOF) yapılar olarak bilinen hayli gözenekli yapıdaki malzemelerin geliştirilmesiyle ilgili. İsveç Kraliyet Bilim Akademisinden yapılan açıklamada ödülün 2025 yılı sahipleri Kyoto Üniversitesinden Susumu Kitagawa, Melbourne Üniversitesinden Richard Robson ve Berkeley'deki Kaliforniya Üniversitesinden Omar M. Yaghi oldu. İlk MOF malzemeleri geliştirerek sahip oldukları büyük potansiyeli ortaya çıkarmaları nedeniyle ödüle layık görülen bu isimler, on binlerce çeşit MOF malzeme tasarlamının da önünü açtı.

MOF'lar karbondioksit gibi molekülleri tutma ve depolama, “sonsuz kimyasallar” olarak isimlendirilen zararlı kimyasal maddeleri sudan ayırma, ilaçların vücut içinde taşınması gibi birçok amaç için özel olarak geliştirilebilen malzemelerdir. Daha spesifik olarak MOF'lar meyveden yayılan etilen gazını tutarak meyvenin daha geç olgunlaşmasını sağlayabilir ya da su ve toprağa karşı ilaç kalıntılarını zararsız bileşiklere dönüştürebilir. Peki çevreden sağlığa birçok alanda yenilikçi çözümler sunan ve 21. yüzyılın malzemesi olarak nitelendirilen MOF yapılar nasıl geliştirildi? Gelin Nobel Ödülü'ne giden yolda bu malzemelerin geliştirilme hikâyesine birlikte bakalım.

Büyük Fikrin Öncüsü Ahşap Toplar

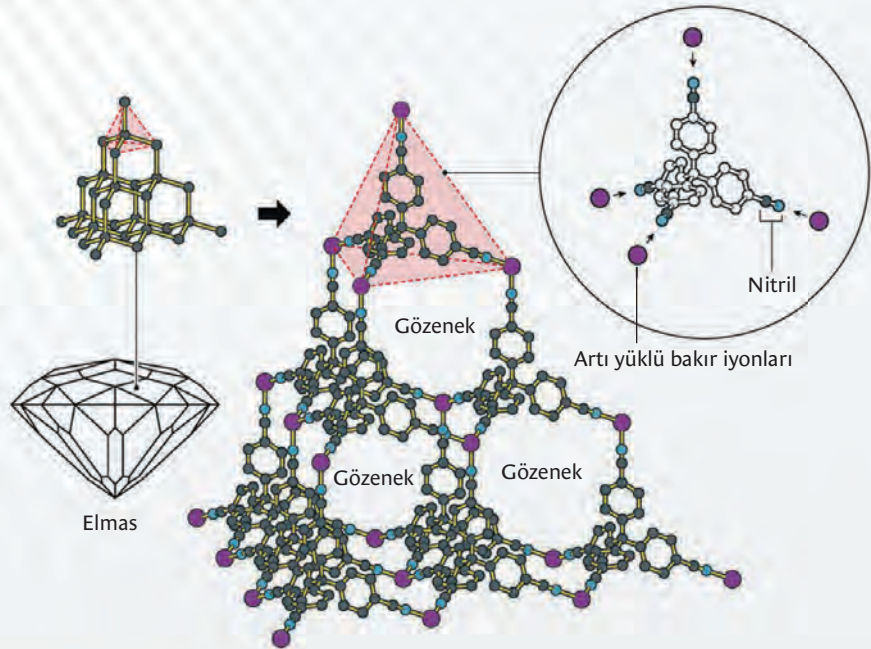
Yıl 1974'tü. Melbourne Üniversitesinde ders veren Richard Robson, öğrencilerin ahşap topları ve çubukları kullanarak moleküler yapıları modelleyebilmesi için bir sistem tasarlamak istiyordu. Ahşap toplar atomları, çubuklar ise atomları birbirine bağlayan kimyasal bağları temsil edecekti. Çubukları toplara takabilmek için topların üzerine delikler açılması gerekiyordu. Ancak her atomun kimyasal bağ yapma şekli yani bağ sayısı ve yönü farklı olduğu için deliklerin yeri rastgele olamazdı. Robson topların üzerine delinecek noktaları işaretledikten sonra atölyeye gönderdi.

Ahşap toplar atölyeden geldiğinde bunlardan bazı moleküller tasarlamayı denedi. O esnada şunu fark etti: Deliklerin konumu tasarlamak istediği moleküllerin otomatik olarak doğru geometrik yapıya sahip olmasını sağlıyordu. Yani deliklerin yeri rastgele değildi, bir atomun hangi yönde kaç bağ yapacağı bilgisini "doğal" olarak taşıyordu. Peki bu bilgiyi atomları tek tek birbirine bağlamak yerine farklı molekül türlerini birbirine bağlamak için kullanıp daha büyük yapılar tasarlayabilir miydi?

Robson, her yıl derslerinde kullanmak üzere ahşap top ve çubukları ortaya çıkardığında aklına aynı fikir geliyordu. Bu fikri hayata geçirmeye karar vermesi on yıldan fazla sürdü. Her bir karbon atomunun dört farklı karbon atomuyla bağlı olduğu elmadan aldığı ilhamla basit modeller geliştirerek çalışmalarına başladı. Kendi

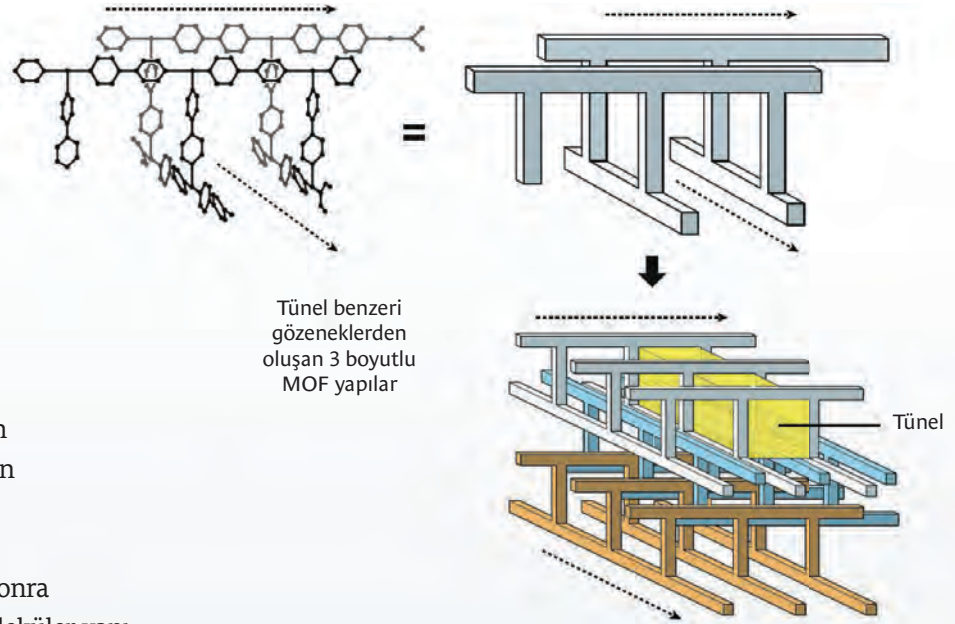
modelinde karbon atomlarının yerine artı yüklü bakır iyonlarını kullandı. Karbonda olduğu gibi bu iyonlar da dört bağ kurma eğilimindeydi. Robson, bakır iyonlarını 4',4'',4''',4''''- tetra siyano tetrafenil metan isimli bir molekül ile bir araya getirdi. Dört bağlanma noktasına sahip bu molekülün her kolunun ucunda nitril adı verilen fonksiyonel bir grup bulunuyordu. Eksi yüklü nitril grupları ise artı yüklü bakır iyonlarını çekiyordu.

O dönemde kimya alanında çalışan çoğu bilim insanı, bakır iyonları ile dört bağlanma noktasına sahip moleküller bir araya geldiğinde iyon ve moleküllerden oluşan düzensiz bir yapı oluşacağını düşünüyordu. Ancak iyon ve moleküller Robson'ın öngördüğü gibi büyük bir moleküler yapı meydana getirecek şekilde kendiliğinden organize oldu ve elmadta olduğu gibi düzenli kristal bir yapı



Elmadın yapısından ilham alan Richard Robson'ın geliştirdiği kristal yapı

oluşturdular. Ancak atomların arasında neredeyse hiç boşluğun olmadığı elmasın aksine bu yeni kristal yapı çok sayıda büyük gözeneğe sahipti. Robson'un bu yenilikçi tasarımı 1989'da *American Chemical Society* dergisinde yayımlandı. Makalesinde buluşunun daha önce hiç görülmemiş işlevlere sahip malzemeler geliştirmede yol gösterici olma potansiyelinden bahsetmişti. Bu öngörüsü ilerleyen yıllarda gerçeğe dönüşecekti.



Çalışması yayımlandıktan bir yıl sonra Robson, gözenekli birkaç yeni moleküler yapı tanıttı. Bu yapılardan birini iyon alışverişi için kullandı. Gözenekleri iyonlarla dolu yapıyı, farklı tür iyonlar içeren bir sıvıya daldırdığında gözeneklerdeki ve sıvıdaki iyonların yer değiştirdiğini gözledi. Böylece tasarladığı yapının madde alışverişi yapabildiğini ortaya koydu.

Robson, bu yaklaşımı kullanarak gözenekleri belirli kimyasal maddeler için uygun olan kristal yapılar tasarlamının mümkün olduğunu gösterdi. Örneğin bu moleküler yapıların kimyasal tepkimelerde katalizör (kendisi tepkimelerde harcanmadan tepkimenin hızını artıran madde) olarak kullanılabileceğini ileri sürdü. Ancak Robson'un tasarımları dayanıksızdı ve kolayca dağılıyordu. Bu nedenle bazı bilim insanları bu yapıların faydasız olduğunu düşündü. Ancak Robson'un doğru yolda ilerlediğini ve geleceğe dair fikirlerinin yeni keşiflerin öncüsü olabileceğini düşünenler de vardı. Bu öngörülerini sağlam bir temele oturtacak isimler Susumu Kitagawa ve Omar Yaghi idi. 1992 ve 2003 yılları arasında birbirlerinden bağımsız olarak bir dizi çığır açıcı keşifte bulundular.

Bir Filozofun Sözüyle Başlayan Keşif

Susumu Kitagawa genç bir öğrenciyken 1949 yılında Nobel Fizik Ödülü'nü kazanmış olan Hideki Yukawa'nın bir kitabını okumuştur. Kitapta Yukawa, eski bir Çinli filozof olan Zhuangzi'den söz ediyordu. Filozofun bir şeyin hemen fayda sağlamasa bile ileride çok değerli olabileceğini ifade eden sözleri Kitagawa'yı çok etkiledi. Bu söz onun kariyeri boyunca benimsediği bir ilke oldu: Görünüşte "işe yaramaz" şeyler aslında çok değerli olabilir. Dolayısıyla Kitagawa, gözenekli moleküler yapılar üzerinde çalışmaya başladığında bunların belirli bir amaca hizmet etmesi gerektiğini düşünmedi.

1992'de tanıttığı ilk gözenekli moleküler yapı, aseton moleküllerinin yerleşebileceği gözeneklere sahip iki boyutlu bir malzemeydi. Bu yapı görünüşte pek işe yarar olmasa da ona, molekülleri yapı taşı olarak kullanarak gözenekli malzemeler geliştirme yolunda yeni bakış açıları

kazandırdı. Robson gibi o da tasarımında daha büyük moleküllerle birbirine bağlanan artı yüklü bakır iyonlarını kullandı.

Kitagawa, molekülleri kullanarak yeni yapılar inşa etme yöntemi üzerine deneyler yapmaya devam etmek istiyordu. Ancak araştırma desteklerine başvurduğunda mali destek sağlayan kurumlar, Kitagawa'nın çalışmalarının yararlı bir çıktısı olmayacağını düşündü. Çünkü ürettiği malzemeler dayanıksızdı ve henüz belirli bir amaca hizmet etmiyordu. Bu nedenle yaptığı birçok proje başvurusu reddedildi. Ancak pes etmedi ve 1997'de ilk önemli başarısını elde etti.

Kitagawa'nın araştırma ekibi 4,4'-bipiridin adlı molekül ile kobalt, nikel ya da çinko iyonlarını kullanarak üç boyutlu MOF yapıları oluşturdu. Bu yapılar birbirine bağlı tünel benzeri gözeneklere sahipti. Malzemelerden birini kurutarak gözeneklerin içindeki suyu uzaklaştırdıklarında yapı kararlı hâle geldi. Artık gözenekler gazlarla bile doldurulabiliyordu. Malzeme metan, azot ve oksijen gazlarını, şeklini değiştirmeden yapısına alıp geri salabiliyordu.

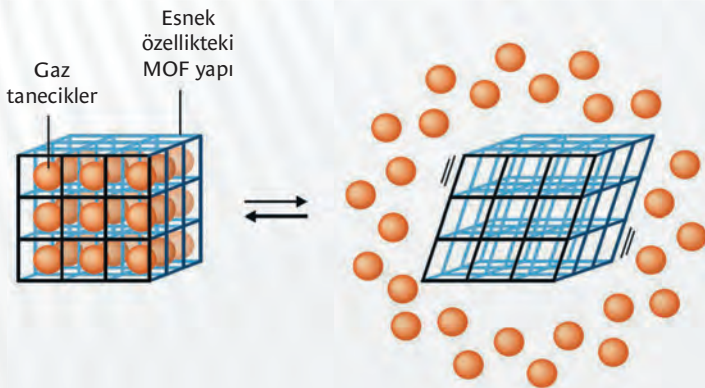
Kitagawa'nın tasarladığı yapılar kararlı ve işlevsel olsa da bu yeni araştırma alanı mali destek sağlayan kurumlar için hâlâ bir anlam ifade etmiyordu. Çünkü gözenekli yapıda ve dayanıklı bir malzeme olan zeolitler halihazırda kullanılıyordu. Silisyum dioksitten üretilen zeolitler gazları soğurabiliyordu. Bu nedenle aynı işlevi zeolitler kadar iyi yapamayan bir malzemeye ihtiyaç yoktu.

Susumu Kitagawa'nın araştırmalarına mali destek alabilmesi için MOF'ları diğer malzemelerden farklı kılan özelliğinin ne olduğunu ortaya koyması gerekiyordu. Bu sorunun yanıtını 1998 yılında *Bulletin of the Chemical Society of Japan* dergisinde yayımladığı bir makalede açıkladı ve MOF'ları benzersiz kılan özellikleri sıraladı. Örneğin birçok farklı molekülden üretilebilirler. Bu nedenle farklı işlevleri yerine getirme konusunda muazzam bir potansiyele sahiptirler. Genellikle sert malzemeler olan zeolitlerin aksine MOF'lar malzemeye esneklik kazandıran moleküler yapı birimlerinden oluşur. Kitagawa, bu fikirlerini pratiğe dökmek için diğer araştırmacılarla birlikte esnek yapıda MOF'lar geliştirmeye başladı.

Kütüphane Raflarından Nobel'e Uzanan Yol

Omar Yaghi, Ürdün'ün Amman şehrinde çok sayıda kardeşiyle birlikte elektrik ve suyun olmadığı tek odalı bir evde büyüdü. Okul onun için zorluklarla dolu hayatından biraz olsun uzaklaşabildiği bir sığınaktı. 10 yaşındayken okul kütüphanesinin raflarından rastgele seçtiği bir kitapta gördüğü resimler onu çok etkiledi. Moleküler yapılarla ilk karşılaşması bu şekilde oldu.

Yaghi, 15 yaşında eğitimini devam ettirmek üzere ABD'ye taşındı. Kimyaya duyduğu ilginin devamında yeni malzemeler tasarlama üzerine çalışmaya başladı. Yeni moleküller üretmek için kullanılan geleneksel yöntemlerin dışına çıkmak ve yeni malzemeler üretmenin daha kontrol edilebilir yollarını bulmak istiyordu. Çünkü istenilen bir molekülü elde etmek için kullanılan geleneksel yöntemlerde kimyacılar, farklı maddeleri bir kaptayla bir araya getirip tepkimeye girmesini sağlıyordu. Sonuçta hedeflenen moleküle birlikte, ondan ayrılması gereken başka yan ürünler de oluşuyordu.

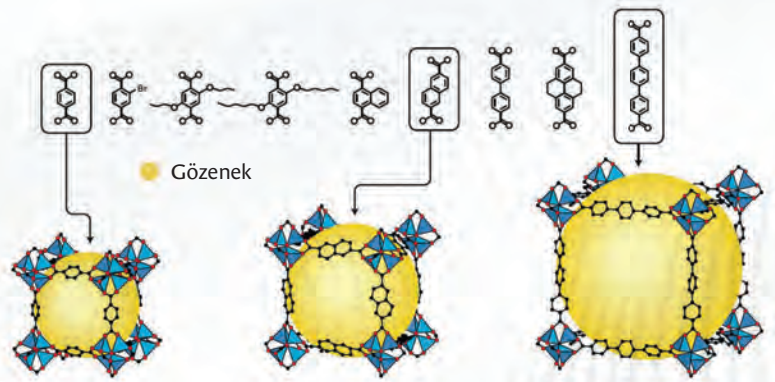


1992’de Arizona State Üniversitesinde araştırma grubu lideri olarak göreve başladığında Yaghi’nin ilk amacı, akıllıca bir tasarımla farklı kimyasal bileşenleri kullanarak büyük kristal yapılar elde etmektir. Bu, zorlu bir süreç oldu ancak sonrasında metal iyonlarını organik moleküllerle (ana iskeleti karbon atomlarından oluşan moleküller) birleştirmeyi başardı. 1995’te iki boyutlu iki farklı malzemeye ilgili bir çalışma yayımladı. Bu malzemeler bakır ya da kobalt iyonları ile organik moleküllerden oluşan ağ benzeri yapıya sahipti. Üstelik malzemelerden bir tanesinin gözenekleri başka moleküllerle tamamen doldurulduğunda 350°C’ye kadar ısıtılsa bile yapısı bozulmuyordu. Yaghi, sonuçları *Nature* dergisinde yayımlanan çalışmasında ilk kez metal organik kafes (MOF) yapılar terimini kullandı. O günden itibaren bu terim metal iyonlarının organik moleküller tarafından tekrarlayan bir düzende birbirine bağlanarak oluşturduğu geniş gözenekli yapıları ifade etmek için kullanılıyor.

Sıradaki dönüm noktasının kahramanı Yaghi’nin 1999 yılında tanıttığı MOF-5 isimli malzemeydi. MOF malzemeler arasında en bilinen örnek olan bu yapı, son derece geniş gözeneklere ve kararlı bir moleküler yapıya sahipti. Gözenekleri boşken bile 300°C’ye kadar ısıtıldığında yapısı bozulmadan dayanabiliyordu. Birkaç gramlık MOF-5’in bir futbol sahası büyüklüğünde yüzey alanına sahip olması, aynı miktardaki zeolitlerden çok daha fazla gaz soğurabileceği anlamına geliyordu.

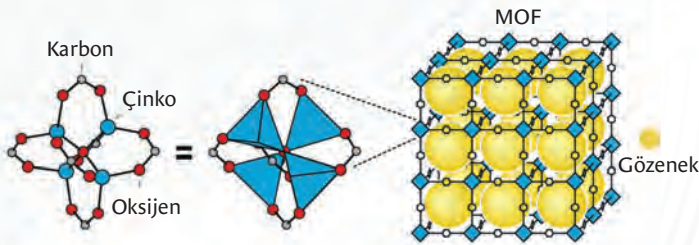
Araştırmacıların esnek yapıda MOF’lar geliştirmeyi başarması sadece birkaç yıl sürdü. Bu malzemelerden biri Susumu Kitagawa’ya aitti. Kitagawa’nın ürettiği malzemenin gözenekleri su ve metanla doldurulduğunda şekil değiştiriyor, bu maddeler boşaltıldığında ise orijinal şekline geri dönüyordu. Yani soluk alıp verirken şekli değişen akciğerler gibi şekli değişse de kararlı yapısını koruyordu.

Omar Yaghi, *Science* ve *Nature* dergilerinde yayımladığı iki makalesinde MOF’ların yapısını kontrollü bir şekilde değiştirerek farklı özellikler kazandırmanın mümkün olduğunu gösterdi. MOF malzemelerin binlerce türünün üretilebileceğini ispatladı. MOF-5’in, orijinal malzemeye göre daha büyük ve daha küçük gözeneklere sahip olan 16 çeşidini üretti. Bunlardan bir tanesi metan gazını yüksek miktarda depolayabiliyordu. Yaghi, bu özelliğin yenilenebilir kaynaklardan elde edilen doğal gaz (RNG) ile çalışan araçlarda kullanılabileceğini öne sürdü.



Çeşitli boyutlarda gözeneklere sahip MOF-5 örnekleri

Bundan sonra MOF yapılar dünya genelinde bilim insanları tarafından büyük ilgi gören bir araştırma alanı hâline geldi. Araştırmacılar yeni MOF yapılar üretmek için kullanılabilecek çeşitli kimyasal bileşenlerden oluşan bir moleküler kit geliştirdi. Farklı şekil ve



Kübik gözeneklere sahip kararlı yapıdaki MOF-5

MOF yapılara örnekler

özelliklere sahip olan bu bileşenler, farklı amaçlar için kullanılabilecek yeni MOF'lar tasarlamak için mükemmel bir potansiyel sunuyordu. Tasarım süreci ise bilimsel planlama ya da yapay zekâ modelleri ile gerçekleştirilebiliyordu. Örneğin Yaghi'nin araştırma grubu Arizona Çölü'nde havadan su elde edebilen bir MOF malzeme geliştirdi.

Günümüzde farklı işlevlere sahip çok sayıda MOF malzeme üretilmeye devam ediliyor. Bu malzemelerin sahip olduğu potansiyelin farkında olan birçok şirket, seri üretime ve malzemelerin ticarileştirilmesine yönelik yatırımlar yapıyor. Mesela elektronik endüstrisinde, yarı iletken malzemelerin üretim sürecinde ihtiyaç duyulan bazı zehirli gazları tutması amacıyla MOF yapılar kullanılıyor. Ayrıca birçok şirket sera gazı salımını azaltmak için fabrikaların ve elektrik santrallerinin ürettiği karbondioksidi tutabilen MOF malzemeleri test ediyor.

Ülkemizde MOF malzemeler üzerine yapılan çalışmalar büyük bir hızla ilerlerken bu alanda öncü projeler yürüten bilim insanlarımız önemli başarılarla imza atmaya devam ediyor. *Bilim ve Teknik* dergisi olarak geçtiğimiz aylarda, MOF yapılara yönelik uluslararası düzeyde üstün nitelikli çalışmalara imza atan Prof. Dr. Seda Keskin Avcı ve Doç. Dr. İlknur Eruçar Fındıkçı ile hayat öykülerine, ödülleri getiren başarılı araştırmalarına ve gençlere tavsiyelerine yer verdiğimiz söyleşiler gerçekleştirerek dergimizin Mart 2025 ve Temmuz 2025 sayılarında yayımlamıştık. İlgili yazılara erişmek için kare kodları akıllı cihazınıza okutabilirsiniz. ■



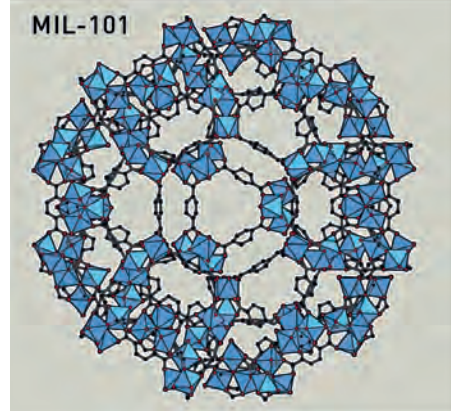
Doç. Dr. İlknur Eruçar Fındıkçı ile
Biyouyumlu Metal Organik Kafes Yapıların
Enerji ve Biyomedikal Uygulamaları
Üzerine



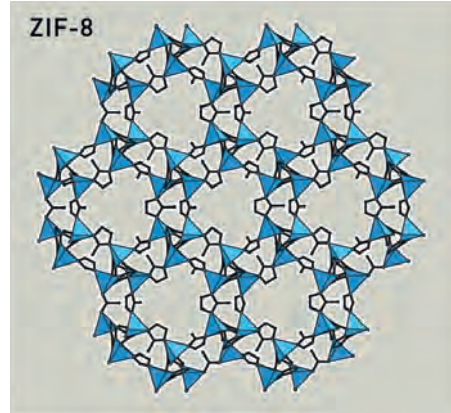
Prof. Dr. Seda Keskin
Avcı ile Metal Organik
Çerçevesel Yapılar Üzerine

Kaynak

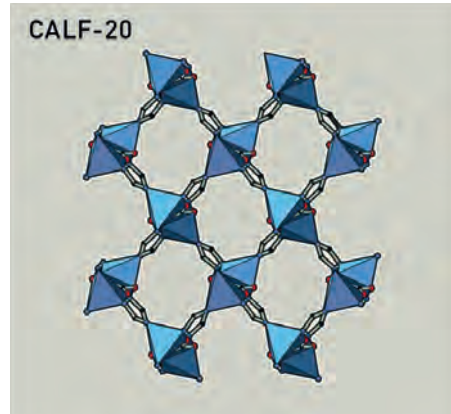
<https://www.nobelprize.org/prizes/chemistry/2025/popular-information/>



Katalizör görevi görerek zararlı kimyasal maddeleri sudan ayırtmada ve yüksek miktarda hidrojen ve karbondioksit depolamada kullanılan bir MOF yapı



Atık sularındaki nadir toprak elementlerini toplamak amacıyla test edilmiş bir MOF yapı



Kanada'daki bir fabrikada test edilmekte olan karbondioksit soğurma kapasitesi olağanüstü derecede yüksek bir MOF yapı

Tekno Yaşam

Gürkan Caner Birer [teknoyasam@tubitak.gov.tr]

Meta Ray-Ban Display

Meta, yeni akıllı gözlüğü Meta Ray-Ban Display'i tanıttı. Gözlüğün en dikkat çeken özelliği, sağ camının içine gömülü küçük bir ekran aracılığıyla dijital içerikleri doğrudan görüş alanına taşıyabilmesi. Bildirimler, mesajlar, navigasyon yönlendirmeleri ya da canlı çeviriler bu ekrandan izlenebiliyor. Ekrandaki içerikler, sesli komutlarla ya da Meta Neural Band adlı bileklik sayesinde el hareketleri algılanarak kontrol edilebiliyor. Gözlükle birlikte sunulan bileklik, kas hareketleri sırasında oluşan sinyalleri yorumlayarak gözlükteki dijital ekranı kontrol eden komutlara dönüştürüyor.

Meta ile Ray-Ban, 2023 yılında günlük kullanıma uygun ilk akıllı gözlük modellerinden biri olan Ray-Ban Meta Smart Glasses'ı kullanıma sunmuştu. O model temel olarak fotoğraf ve video çekmek, müzik dinlemek ve sesli komutlarla mesaj yanıtlamak gibi işlevleri yerine getirebiliyordu. "Display" modeli ise artırılmış gerçeklik (AR) teknolojisinin tüketiciler tarafından günlük amaçlarla kullanılması sürecinde bir ara basamak oluşturuyor. Henüz tam olarak AR gözlük özelliklerine sahip olmasa da ekranın doğrudan görüş alanına entegre edilmesi, insan-bilgisayar etkileşiminin yüzümüz üzerinden gerçekleştiği "face computing" çağına geçiş için önemli bir adımı temsil ediyor.

Cihaz, 12 megapiksel kameraya, açık kulak ses sistemine (kulağı kapatmadan sesi doğrudan kulağa yönlendiren sistemler) ve 6 mikrofona sahip.



Tek şarjla yaklaşık 6 saat kullanılabilir, şarj kutusuyla birlikte kullanım süresi toplamda 30 saate ulaşabiliyor.

ABD'de 30 Eylül 2025'te satışa sunulan ürünün diğer ülkelerde 2026 yılı içinde piyasaya sürülmesi bekleniyor.

Akıllı gözlüklerin günümüzdeki modellerden farklı olarak cep telefonuna ihtiyaç duymadan çalışabilmesi yönünde somut bir adım olan bu teknolojinin yaygınlaşması konfor, gizlilik ve pil performansı gibi sorunların nasıl çözüleceğine bağlı olacak.

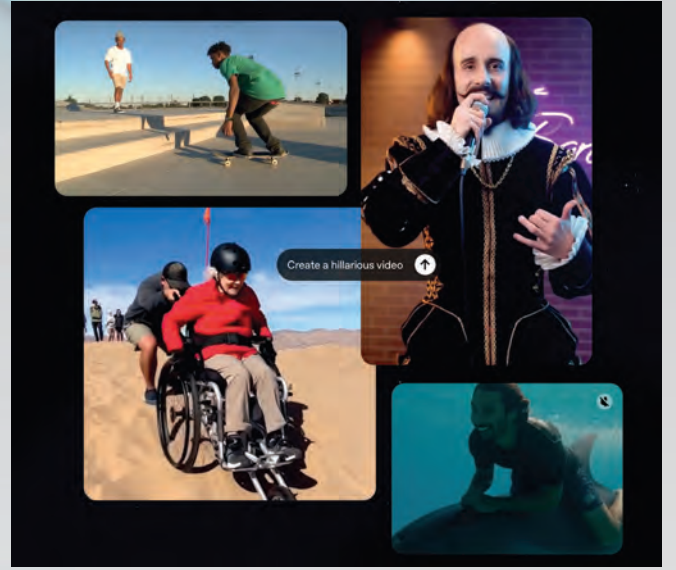
<https://bit.ly/meta-display>

Sora 2 Yayınlandı

ChatGPT'nin geliştiricisi olan OpenAI'nin video oluşturma aracı Sora'nın yeni sürümü yayınlandı. Artık gerçek dünyadan öğeler doğrudan uygulamaya aktarılabilir. Örneğin kişinin videosundan görünümünü ve sesini gerçeğe en yakın şekilde yansıtan videolar üretebiliyor. Yani sistem, metinden video üretmeyi amaçlayan klasik yapay zekâ uygulamalarından farklı olarak kullanıcıyı yalnızca içerik üreticisi değil, doğrudan içeriğin bir parçası hâline getiriyor. Sonuçta kişiselleştirilmiş ve dinamik videolar saniyeler içinde üretilebiliyor.

Sora 2 ile sahne geçişleri, hareketler, fiziksel etkileşimler, sesin ve dudak hareketlerinin senkronize olması gibi konularda büyük ilerleme kaydedildi. Kullanıcı yazıyla ya da sesli komutla sahneyi tanımlıyor, Sora ise bu betimlemeyi görsel ve işitsel olarak videoya dönüştürüyor.

Aynı zamanda bu güncellemeyle Sora bir sosyal medya platformuna dönüştü. Kullanıcılar uygulama içinde videolar üretebiliyor, birbirlerinin içeriklerini düzenleyip yeniden paylaşabiliyor. "Cameo" özelliği ile kullanıcılar



kendilerinin kısa bir videosunu çekerek Sora'nın oluşturduğu sahneye kolayca dâhil olabiliyorlar. Aynı zamanda başka insanların benzerlerini oluşturma riskine karşı izin tabanlı bir yapı sunuyor. Her kullanıcı kendi dijital ikizinin nerede ve nasıl kullanılacağına karar verebiliyor.

Şu an için Sora 2'ye erişim yalnızca ABD ve Kanada'da davet sistemiyle mümkün.

<https://openai.com/sora/>

İş Dünyasında Yeni Eğilim: Kaydırmalı Çalışma

Uzaktan çalışmanın yaygınlaşmasıyla artık mesai saatleri, sabah 9.00'da başlayıp akşam 18.00'de biten kesin sınırlarla tanımlanmış bir zaman aralığı değil. Son dönemlerde yaygınlaşan "mikro kaydırmalı çalışma" modeli ise mesai saatlerinin kısa zaman dilimlerine bölünerek gün içinde esnek bir şekilde dağıtılması anlamına geliyor. İş ile kişisel yaşamın iç içe geçtiği bu modelde çalışanlar gün içinde işine ara verip kişisel işlerini hallediyor, ardından işine kaldığı yerden devam ediyor. Örneğin gün içinde biraz çalışıp markete gidebiliyor, öğleden sonra çocuklarını okuldan alıp akşam işine dönüyor. Böylece iş temposu, kişinin kendi ritmine göre şekilleniyor. Ancak bazı şirketler, esnekliğin disiplin kaybına yol açtığını savunarak ofiste geçirilen gün sayısını artırıyor.

Bu eğilim, ev ve iş yaşamı arasındaki sınırların belirsizleşmesine neden oluyor. Kaydırmalı çalışma kimilerine göre özgürlük, kimilerine göreyse çalışmanın günün tamamına yayılması nedeniyle zihinsel olarak verimli bir şekilde dinlenememe anlamına geliyor.



South_agency / iStock

<http://bit.ly/3ITSztC>

Uçaklar İçin Dev Hava Yastıkları

Hindistan'daki Birla Bilim ve Teknoloji Üniversitesinden araştırmacılar Project Rebirth adlı projede, uçak kazalarındaki can kayıplarını azaltmak için yapay zekâ destekli bir hava yastığı sistemi geliştiriyor. Uçağın hız, irtifa ve motor durumu gibi verileri yapay zekâ teknolojileri ve sensörler aracılığı ile takip ediliyor. Uçak 3.000 feetin altındayken sistem çarpışmanın kaçınılmaz hâle geldiğini algılasa hava yastıkları otomatik olarak devreye giriyor ve iki saniyeden kısa sürede açılarak çarpışmanın etkisini önemli ölçüde azaltıyor. Hava yastıklarının açılması kararı yapay zekâ tarafından otonom olarak verilirse araştırmacılar, pilotların süreci iptal etmek için kısa bir zamanı olduğunu belirtiyor.

Uçağın gövdesine yerleştirilen dev hava yastıkları, Kevlar, Zylon, TPU gibi enerjiyi soğurma özelliğine sahip yenilikçi malzemelerden üretiliyor. Simülasyon verilerinin sonuçları, sistemin çarpma sırasında uçağa etki eden kuvvetleri %60 oranında azalabileceğini gösteriyor. Ancak hava yastığı sisteminin uçağın kütlesini ne kadar artıracak ve maliyeti ile ilgili özölmesi gereken sorunlar bulunuyor.

Mevcut sistemler kazaları önlemeye odaklanırken Project Rebirth “arpışmadan sağ çıkmak” fikrine odaklanarak havacılıkta güvenlik anlayışına farklı bir bakış getiriyor.

<https://bit.ly/ucak-havayastigi>





Yapay Zekâ Resmi Görevlerde Yer Alabilir mi?

Arnavutluk, “Diella” adlı yapay zekâ sistemini kamu alımı süreçlerini yönetmekle yükümlü sanal bir bakan olarak atadı. Diella, daha önce devletin “e-Albania” dijital hizmet platformunda sanal asistan olarak görev yapıyordu. Ancak bu karar hukuki, karar alma ve teknolojik süreçler açısından birçok soru doğuruyor. Diella’nın kararlarının yasal sorumluluğunun kime ait olduğu henüz net değil. Ayrıca sistem geçmişteki veri tabanlarına ve kayıtlara göre karar aldığından veri hatalarının etkisi ciddi riskler barındırıyor.

Benzer bir deneysel çalışma da Microsoft ile NYU Stern İşletme Fakültesi iş birliğiyle gerçekleştirildi. Copilot adlı yapay zekâ, yeni kurulan bir şirket simülasyonunda şirketin kurucu ortağı gibi kullanıldı. Simülasyonda yapay zekâ iş fikri geliştirme, pazar analizi, içerik üretme, tasarım gibi görevleri üstlendi. Diğer ekip üyeleri ise yapay zekânın ürettiği çıktıları gözden geçirip gerçek koşullara uyarladı. Böylece rutin işler büyük oranda yapay zekâyı devredilirken karar alma süreci hızlandı. Ancak değerlendirme, etik seçimler, hata tespiti gibi konularda insanların gerçekleştirdiği görevlerin daha güvenilir olduğu bulundu. Ayrıca yapay zekâ sisteminin şirketin ortağı olarak kabul edilmesi durumunda yasal sorumluluk ve mülkiyet gibi konuların açıklığa kavuşturulması gerekiyor.

<https://politi.co/48Y2zww>
<https://bit.ly/ai-ortak>

Çalışmak İçin Öde

Günümüzde LinkedIn Premium üyelikleri, yapay zekâ destekli özgeçmiş düzenleyiciler, özel iş ilanı platformları ve kariyer danışmanlık hizmetleri, iş bulma sürecinin neredeyse zorunlu bir parçasına dönüştü.

Dijital çağın iş gücü piyasasında işe girmek sadece yetenek ya da deneyim değil para da gerektirebilir. “Pay to work” yani çalışmak için öde olarak adlandırılan bu yeni yaklaşım, iş arayanların iş ilanlarında görünür olabilmek için ücretli araçlara başvurusu anlamına geliyor. Diğer bir modeldeyse iş bulma sürecinde aracılık veya eğitim desteği sunan firmalar aday işe yerleştirdikten sonra birkaç ay boyunca maaşının belirli bir yüzdesini hizmet bedeli olarak alıyor. Bu uygulama özellikle teknoloji, satış ve müşteri hizmetleri alanlarında faaliyet gösteren bazı özel işe alım platformları tarafından kullanılıyor. Ancak pratikte bu sistem, düşük gelirli çalışanların uzun vadede gelir kaybına uğramasına ve çalışanların aracı firmaya bağımlı hâle gelmesine yol açabiliyor.

Bu yaklaşım, iş gücü piyasasını derinden etkileyen bir eşitsizliğe neden oluyor. Maddi imkânı olan adaylar, ücretli algoritmalar sayesinde işe alım platformlarında daha fazla görünürlük kazanırken diğerleri aynı niteliklere sahip olsalar da geride kalabiliyor. CareerBuilder ve Indeed gibi platformlarda yapılan analizler, ücretli üyeliklerin başvuru görünürlüğünü ortalama %40 oranında artırdığını gösteriyor. Şimdilik üyelik ücretleri çok yüksek düzeyde olmasa da zaman içinde iş bulmak için özel bir bütçe ayırmak gerekebilir.

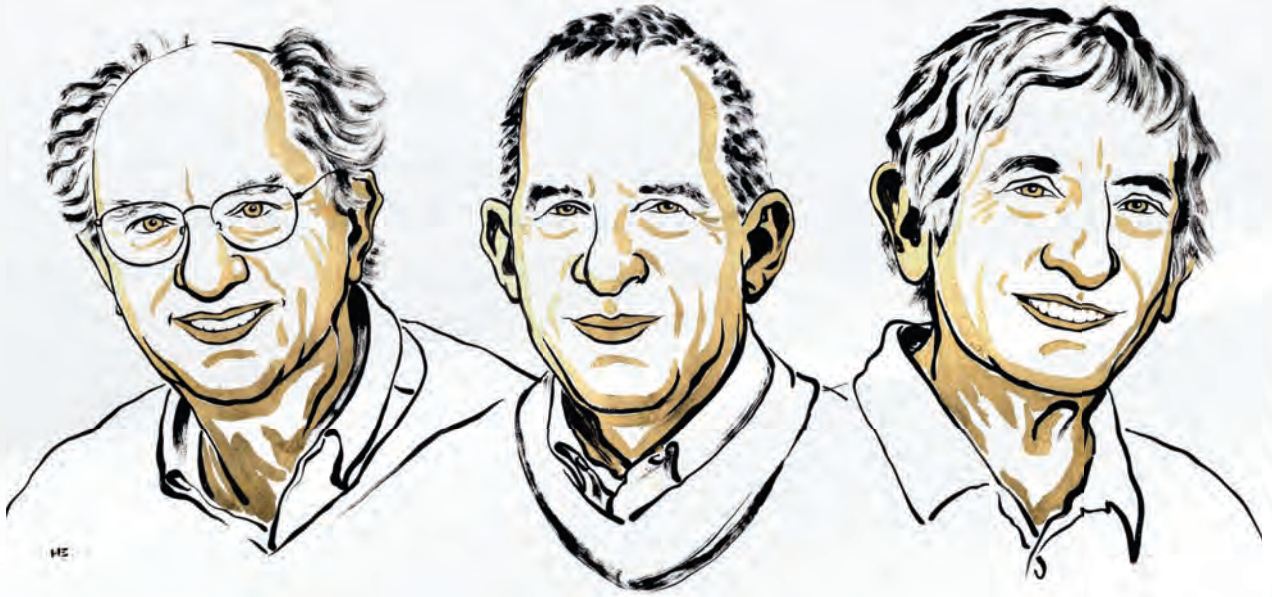


<https://bit.ly/calisma-parasi>



2025 Nobel Fizik Ödülü

Bir Elektrik Devresinde Makroskobik Kuantum Tünelleme ve Enerji Kuantizasyonu



III. Niklas Elmehed © Nobel Prize Outreach

Dr. Mahir E. Ocak [TÜBİTAK Bilim ve Teknik Dergisi

2025 Nobel Fizik Ödülü'nü John Clarke, Michel Devoret ve John Martinis kazandı. Araştırmacıların bir elektrik devresinde makroskobik kuantum tünellemeyi ve enerji kuantizasyonunu gösteren deneysel çalışmaları nedeniyle ödüle layık görüldüğü açıklandı.

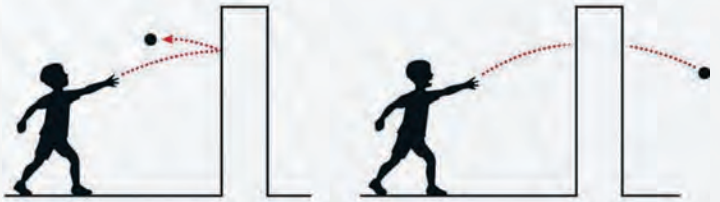
Kuantum Mekaniksel Tünelleme

Kuantum mekaniğinin temelinde Schrödinger denklemi vardır. Erwin Schrödinger tarafından 1925 yılında türetilen bu denklem uzaya yayılan bir dalga fonksiyonunun zaman içinde nasıl değiştiğini matematiksel olarak formüle eder. Dalga fonksiyonu ilgili olduğu parçacığın kuantum durumunu tanımlar. O parçacık üzerinde yapılacak ölçümlerin sonuçları hakkında olasılığa dayalı bilgiler verir.

Türetilmesinden kısa süre sonra Schrödinger denkleminin bazı çözümlerinde dalga fonksiyonunun klasik fiziğin izin vermediği bölgelere de nüfuz edebildiği fark edilmişti. Bu durum bir parçacığın klasik fiziğin izin vermediği bölgelerde bulunmasının ya da bölgelerin içinden geçmesinin olasılıklar dâhilinde olduğunu gösteriyordu.

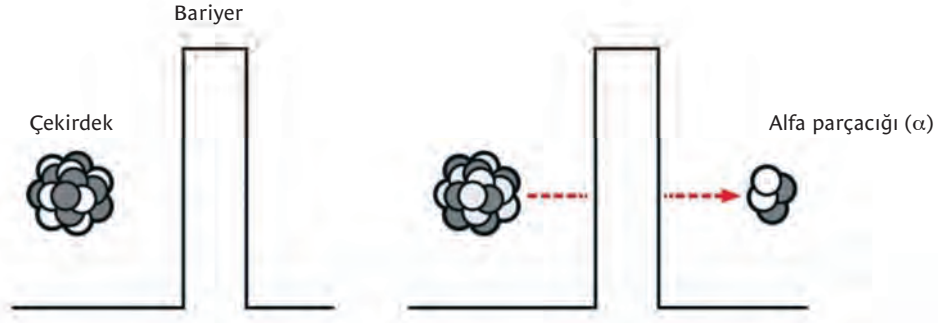
Klasik fizikte bir parçacığın bir potansiyel enerji bariyerini aşabilmesi için toplam enerjisinin potansiyel enerji bariyerinin yüksekliğinden büyük olması gerekir. Kuantum fiziğinde ise bir

parçacığın yeteri kadar enerjisi olmasa bile bir potansiyel enerji bariyerini aşması mümkündür. Konuyu daha iyi anlamak için bir örnek ele alalım. Bir topu bir duvarın üzerine fırlattığınızı düşünün. Klasik fiziğe göre top duvara çarpıp geri dönecektir. Çünkü duvarı meydana getiren atomlar ve moleküller ile top arasındaki elektromanyetik etkileşimler aşılması imkânsız bir potansiyel enerji bariyeri oluşturur. Topun bu potansiyel enerji bariyerini aşacak kadar enerjisi yoktur. Kuantum fiziği ise her ne kadar yeterli enerjisi olmasa da topun duvara herhangi bir zarar vermeden duvarın içinden geçmesinin olasılıklar dâhilinde olduğunu söyler. Kuantum mekaniğine göre bir topu bir duvarın üzerine fırlatarsanız çoğu zaman geri yansıtacaktır ancak bazen duvarın karşı tarafına da geçebilir. Potansiyel enerji bariyerinin yüksekliği ve kalınlığı arttıkça topun duvarın içinden geçme olasılığı düşer.



Klasik fiziğe göre bir topun bir duvara zarar vermeden duvarın içinden geçmesi imkânsızdır. Top her zaman duvardan geri döner (solda). Kuantum fiziği ise topun, her zaman olmasa da bazen, tünelleme yoluyla duvarın içinden geçebileceğini söyler (sağda).





Alfa ışıması tünelleme yoluyla gerçekleşir. Alfa parçacıklarının toplam enerjisi kendisini atom çekirdeğine bağlayan potansiyel enerji engelini aşmaya yetecek kadar büyük değildir. Yine de radyoaktif izotoplar zaman zaman alfa ışıması yapar.

Günlük hayatta duvarların içinden geçen toplara rastlamayız. Ancak kuantum “tünelleme” olarak adlandırılan, bir parçacığın toplam enerjisinin yeterli olmadığı durumlarda da potansiyel enerji engellerini aşabilmesi durumu temel fizikte pek çok olguyu açıklar. Örneğin alfa ışımasını ele alalım. İki proton ve iki nötrondan oluşan alfa parçacıklarının atom çekirdeklerinden dışarı çıkabilmeleri için kendilerini çekirdeğe bağlayan potansiyel enerji engelini aşması gerekir. Klasik fiziğe göre bu mümkün değildir. Kuantum tünelleme ise alfa ışımasını başarıyla açıklar. Bir atom çekirdeğinden bir alfa parçacığı atılması olasılığı, parçacığın çekirdekten dışarı çıkmasını engelleyen potansiyel enerji bariyerinin yüksekliği ve kalınlığı arttıkça azalır. Atom çekirdeğinin türüne bağlı olarak potansiyel enerji bariyerinin yüksekliği ve kalınlığı değişir. Farklı tür radyoaktif izotopların farklı yarı ömürlere sahip olmasının nedeni budur.

Süperpozisyon ve “Kedi Durumları”

Schrödinger denkleminin çözümleri bir parçacığın farklı kuantum durumlarının bir süperpozisyonunda (lineer kombinasyonunda) olmasına izin verir. Örneğin ψ_1 ve ψ_2 bir parçacık için yazılmış bir Schrödinger denkleminin iki ayrı çözümüyse, belirli bir anda parçacığın dalga fonksiyonunun (Ψ) bu iki

kuantum durumunun bir süperpozisyonun olması da mümkündür: $\Psi \propto \psi_1 + \psi_2$. Aynı durum çok sayıda parçacık içeren sistemler için de geçerlidir.

Söz konusu çok sayıda parçacık içeren sistemler olduğunda muhtemel süperpozisyon durumlarının bazıları “kedi durumları” olarak adlandırılır. Kedi durumlarının temel özelliği süperpozisyonu meydana



getiren bileşenlerin birbirlerinden aşırı derecede farklı olmasıdır. Bu kuantum durumlarının kedi durumu olarak adlandırılmasının nedeni Erwin Schrödinger tarafından geliştirilmiş bir düşünce deneyindeki kedinin kuantum durumuna benzemesidir. Schrödinger'in düşünce deneyinde kapalı bir kutunun içine konulmuş bir kedi vardır. Kutunun içinde kedinin yanı sıra radyoaktif bir madde ve bu radyoaktif maddenin bozunması durumunda harekete geçecek öldürücü bir mekanizma vardır. Schrödinger denklemi kullanılarak yapılan hesaplar kedinin kuantum durumunun bir süre sonra ölü ve diri durumlarının bir süperpozisyonunda olacağını gösterir: $\Psi \propto |\text{Ölü kedi}\rangle + |\text{Diri kedi}\rangle$. Ölü kedi ve diri kedi gibi birbirinden tamamen farklı, çok sayıda parçacık içeren ve makro ölçekte ayırt edilebilir iki ayrı kuantum durumunun lineer kombinasyonları kedi durumlarının mükemmel örneğidir.

Kedi durumlarını mikro ölçekte bile elde etmek zordur. Örneğin çok sayıda atomun tamamının spin yukarı ya da tamamının spin aşağı durumlarında olduğu bir dalga fonksiyonu mikro ölçekteki kedi durumlarının bir örneği olabilir. Böyle bir kedi durumu için bugüne kadar ulaşılmış en yüksek atom sayısı ise onlarla sınırlıdır.

Josephson Bağlantısı ve Makroskobik Kuantum Tünelleme

Makro ölçekte bir kedi durumu elde etmek çok zor olsa da kedi durumlarını oluşturan, makroskobik olarak gözlemlenebilir iki ayrı kuantum durumu arasında bir tünellemeyi gözlemlemek mümkün müdür?



1 Normal bir iletkende elektronlar birbiriyle ve içinde bulundukları malzemeyle çarpışarak yol alır.



2 Bir malzeme süperiletken hâle geçtiğinde elektronlar çiftler hâlinde bir araya gelir (Cooper çiftleri) ve hiçbir dirençle karşılaşmadan akan bir akım oluşturur. Çizimdeki boşluk Josephson bağlantısını betimliyor.



3 Cooper çiftleri tüm elektrik devresini dolduran tek bir parçacık gibi davranır. Kuantum mekaniği bu kolektif durumu ortak bir dalga fonksiyonu ile tanımlar. Bu dalga fonksiyonunun özellikleri Nobel Ödülü'nü kazanan fizikçilerin deneylerinde başrol oynadı.

Nobel ödüllü fizikçi Anthony Leggett 1978 yılında makroskopik olarak farklı iki kuantum durumu arasındaki tünellemelerin (makroskopik kuantum tünellemelerinin) süperiletken elektrik devrelerinde gözlemlenebileceğini öne sürmüştü. Leggett ilk çalışmalarında SQUID'leri (süperiletken kuantum girişim cihazları) içeren süperiletken devreleri ele almıştı. Ancak aynı fiziksel olguları Josephson bağlantıları içeren daha basit sistemlerde de gerçeğe dönüştürmek mümkündür.

Bir Josephson bağlantısının iki ucunda süperiletken malzemeler, ortasında ise çok ince bir yalıtkandan ya da sıradan bir metalden oluşan zayıf bir bağlantı yer alır. Bu cihazlar 1962 yılında zayıf bağlantıdaki akım ve voltaj ile ilgili matematiksel eşitlikleri türeten Brian Josephson'un adıyla anılır. Josephson bağlantılarında Josephson etkisi olarak adlandırılan bir olgu gözlemlenir. Josephson etkisi hiçbir voltaj uygulanmadan bağlantıdan bir süperakım (süperiletken devrelerde enerji kaybı olmaksızın akan akım) geçmesini ifade eder.

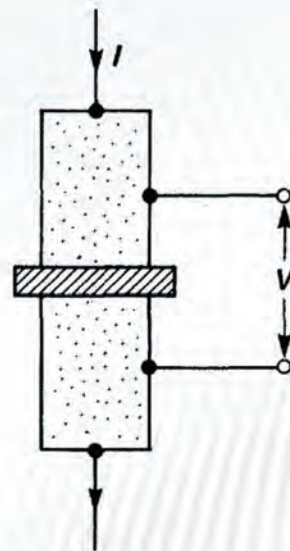
Süperakımlar iki elektronun bir araya gelmesiyle oluşan Cooper çiftlerinden meydana gelir. Elektronlar fermiyon grubu parçacıklardandır. İki fermiyonun aynı kuantum durumunda bulunamayacağını söyleyen Pauli dışarlama ilkesine uyarlar. Cooper çiftleri ise fermiyon değil bosondur. Fermiyonların aksine bosonlar aynı kuantum durumunda bulunabilir. Süperakımlardaki Cooper çiftleri de aynı kuantum durumuna yığılır. Başka bir deyişle süperiletkenlerdeki tüm Cooper çiftlerinin kuantum durumu tek bir dalga fonksiyonu ile ifade edilir. Süperakımı meydana getiren tüm Cooper çiftleri "tek bir parçacık" gibi davranır.

Josephson bağlantılarındaki Cooper çiftlerinin dalga fonksiyonunun karşılık gelebileceği, makroskopik olarak gözlemlenebilir kuantum durumlarının ikisi bağlantının iki ucu arasında bir voltaj farkı olması ya da olmamasıdır. Bir Josephson bağlantısındaki voltajın farkının ani olarak yükselmesinin bir

yolu, sistemin bir şekilde (çevresiyle enerji alışverişi yaparak ya da deneycinin sisteme enerji yüklemesiyle) enerji kazanması ve iki kuantum durumunu birbirinden ayıran potansiyel enerji bariyerini aşmasıdır. Bir diğer yolu ise kuantum tünellemedir. Peki ölü kedi ve diri kedi kadar birbirinden farklı bu kuantum durumları arasındaki makroskopik kuantum tünellemeyi laboratuvar ortamında gözlemlemek mümkün müdür?

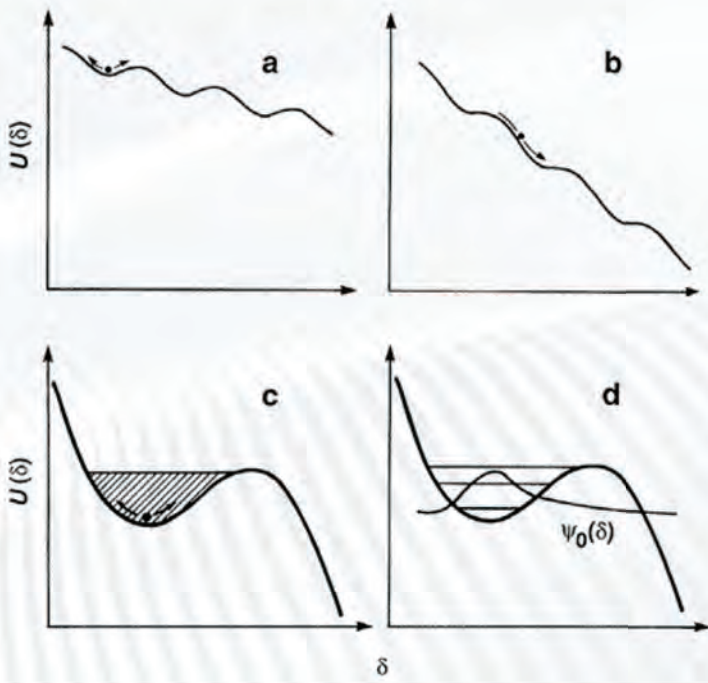
Berkeley Grubu Deneyleri

Brian Josephson'un ideal bir Josephson bağlantısı için türettiği eşitliklerde tüm Cooper çiftleri tek bir parçacık olarak temsil edilir. Bu eşitliklerde akımla ilgili iki değişken yer alır: ön akım (I) ve kritik akım (I_0). Deneyci tarafından kontrol edilen ön akımın kritik akımdan küçük olması durumunda potansiyel enerji yüzeyinde yerel minimumlar vardır. Cooper çiftleri potansiyel enerji bariyerlerinin içine hapsolabilir ve Josephson bağlantısında bir voltaj gözlemlenmez. Ön akım kritik akımın üstüne çıkarıldığında ise bağlantının iki ucu arasında bir voltaj farkı ortaya çıkar.



Tipik bir Josephson bağlantısı, yalıtkan bir tünelleme bariyeriyle ayrılmış iki süperiletken kurşundan oluşur. Bağlantıdan bir I akımı geçebilir ve bağlantının iki ucu arasındaki voltaj V ölçülebilir.

Mutlak sıfıra yakın sıcaklıklarda ve $I < I_0$ iken, klasik fiziğe göre Josephson bağlantısında hiçbir zaman bir voltaj ortaya çıkmamalıdır. Kuantum mekaniğine göre ise eninde sonunda tünelleme gerçekleşecek ve sistemde bir voltaj farkı gözlemlenecektir. Klasik fizik ve kuantum fiziğinin tahminleri arasındaki bir diğer önemli fark enerji ile ilgilidir. Klasik fiziğe göre parçacık (tüm Cooper çiftleri) herhangi bir enerjiye sahip olabilir. Kuantum fiziğine göreyse parçacık ancak belirli enerji seviyelerinde bulunabilir.



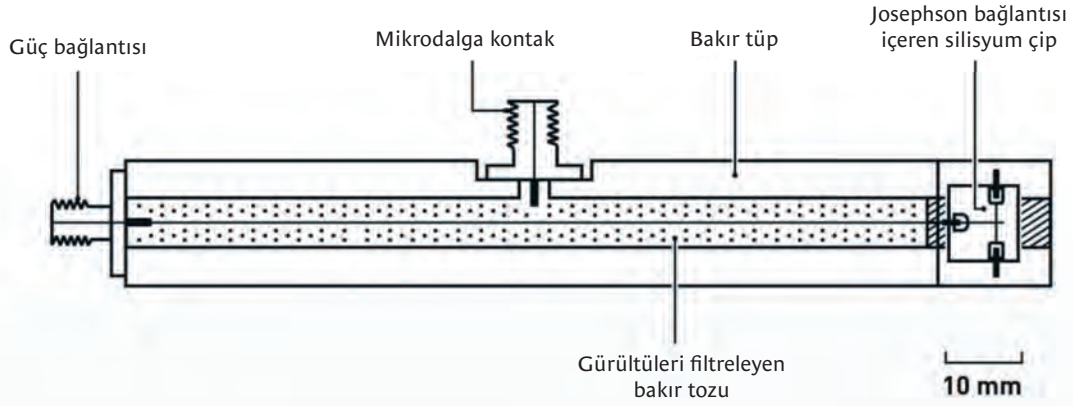
Josephson bağlantısı sistemi için potansiyel enerji.
a) $I < I_0$ durumunda potansiyel enerji yüzeyinde yerel minimumlar vardır. Parçacık (tüm Cooper çiftleri) bir yerel minimumun civarına hapsolabilir. b) $I > I_0$ durumunda parçacık ivmelenir ve bir voltaj ($V > 0$) ortaya çıkar. c) Klasik fiziğe göre parçacığın sahip olabileceği enerji değerleri sürekli'dir. d) Kuantum fiziğine göre parçacık ancak belirli enerji seviyelerinde bulunabilir ve makroskobik kuantum tünelleme gerçekleşir.

Josephson bağlantısı içeren bir elektrik devresinde makroskobik kuantum tünelleme deneyleri yapmak ile ilgili en önemli zorluk elde edilecek sonuçların gerçekten de

tünellemelerden kaynaklandığından emin olmaktır. Deneylerin gerçekleştirileceği aşırı düşük sıcaklıklarda deney düzeneğinin görece sıcak bir kısmından yayılan enerji de sistemde bir voltaj farkı ortaya çıkmasına yol açabilir. Gözlemlenen sinyallerin gerçekten de tünellemelerden kaynaklandığından emin olunabileceği bir deney düzeneği tasarlamak kolay değildir. Bu zorluğun üstesinden gelen ve hiçbir şüpheye yer bırakmayacak şekilde Josephson bağlantısı içeren bir elektrik devresinde makroskobik kuantum tünellemelerinin meydana geldiğini gösteren John Clarke, Michel Devoret ve John Martinis oldu.

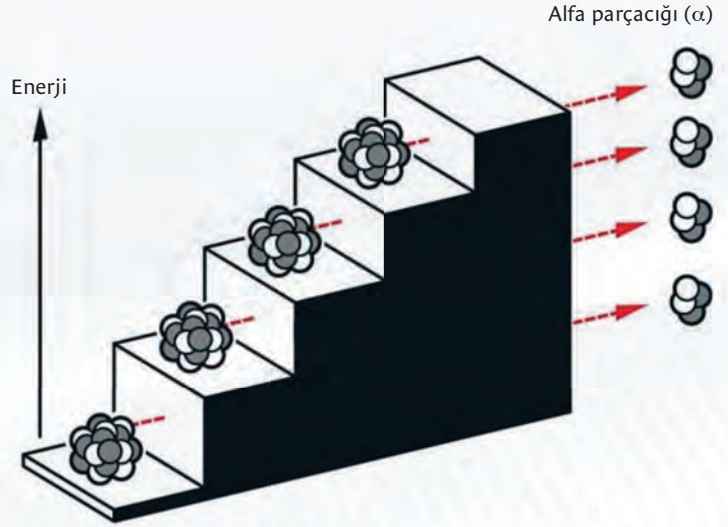
John Clarke 1968 yılında Cambridge Üniversitesinde doktorasını tamamladıktan sonra University of California Berkeley'de çalışmaya başlamıştı. Süperiletkenlerle ve Josephson bağlantılarıyla ilgili araştırmalar yapıyordu. Michel Devoret Paris-Sud Üniversitesinde doktorasını tamamladıktan sonra 1980'lerin ortalarında Clarke'ın grubuna araştırmacı olarak katılmıştı. O sırada John Martinis de Clarke'ın danışmanlığında doktora çalışmalarına devam ediyordu. Üç araştırmacı makroskobik kuantum tünelleme üzerine çalışmaya başladılar. Geliştirdikleri deney düzeneği ile ölçüm sonuçlarını etkileyebilecek tüm gürültüleri elimine edip elektrik devresinin tüm özelliklerini hassas bir biçimde ölçmeyi ve meydana gelen süreçleri detaylı bir biçimde analiz etmeyi başardılar.

Deneyler sırasında Josephson bağlantısına zayıf bir akım gönderildi ve iki ucu arasındaki voltaj ölçüldü. Başlangıçta, beklendiği gibi Josephson bağlantısındaki voltaj farkı sıfırdı. Çünkü sistemin dalga fonksiyonu voltajın yükselmesine izin vermeyen bir durumdaydı. Araştırmacılar daha sonra sistemin tünelleme yoluyla bu durumdan kurtulması ve Josephson



Clarke, Devoret ve Martinis'in makroskobik kuantum tünellemelerini gözlemledikleri deney düzeneğinin şeması

bağlantısında bir voltaj farkı gözlemlenmesi için geçen zamanı ölçtü. Kuantum mekaniği olasılık hesaplarına dayalı bir teori olduğu için aynı ölçümlerin tekrar tekrar yapılması gerekti. Sonuçta, tıpkı radyoaktif izotopların bozunmasıyla ilgili istatistiksel verilerden izotopların yarı ömürlerinin tahmin edilmesine benzer biçimde, araştırmacılar elde ettikleri verilerden 0-voltajlı durumun ömrünü hesapladı. Elde edilen sonuçların kuantum mekaniğinin tahminleriyle uyumlu olduğu görüldü.



Bir potansiyel enerji bariyerinin içine hapsolmuş bir sistem ancak belirli enerji seviyelerinde bulunabilir. Yüksek enerji seviyeleri için tünelleme olasılığı daha yüksektir. Dolayısıyla, istatistiksel olarak, daha yüksek enerjili bir sistem daha düşük enerjili bir sisteme kıyasla daha kısa süre içinde tünelleyecektir.

Gözlemlenen makroskobik kuantum tünelleme elektrik devresindeki Cooper çiftlerinin devasa tek bir parçacık gibi davrandığını doğruluyordu. Deney düzeneğindeki mikrodalga cihazı kullanılarak yapılan deneyler de bu çıkarımı destekledi. Araştırmacılar 0-voltajlı kuantum durumunun üzerine mikrodalgalar gönderdi. Bu mikrodalgaların bazıları sistemin uyarılmasını ve daha yüksek enerjili seviyelere geçmesini sağladı. Deneyler, beklendiği gibi yüksek enerjili seviyelerin daha kısa ömürlü olduğunu, tünelleme yoluyla bir voltaj ortaya çıkmasının daha az süre aldığını gösterdi. Kuantum mekaniğinin tahminleriyle uyumlu bu sonuçlar, aynı zamanda sistemdeki enerji seviyelerinin kuantize olduğunu da (enerjinin sadece belirli değerler alabildiğini de) doğruluyordu.

Deneylerin Kuramsal ve Pratik Önemi

Clarke, Devoret ve Martinis'in gerçekleştirdiği deneyler kuantum mekaniğin anlaşılması açısından önem taşır. Laserler, süperiletkenler ve süperakışkanlar gibi makro ölçekte karşımıza çıkan ve ancak kuantum mekaniği ile açıklanabilen sistemler mikro ölçekteki parçacıkların ayrı ayrı kuantum mekaniksel özelliklerine dayalıdır. Çok sayıda mikroskobik bileşenin bir araya gelmesiyle makroskobik etkiler ortaya çıkar. Josephson bağlantısı içeren elektrik devresinde gözlemlenen makroskobik etkiyi (ölçülebilir voltaj farkını) ortaya çıkaran kuantum durumu ise mikroskobik değil makroskobiktir: Süperakımı meydana getiren milyonlarca, milyarlarca Cooper çiftinin kuantum durumu tek bir dalga fonksiyonu ile ifade edilir ve bu süperakım bir insanın elinde tutabileceği büyüklükteki bir çipin içinde bulunan bir elektrik devresine yayılmıştır.

Kuantum mekaniğinin sıradışı özellikleri makro ölçekte pek karşımıza çıkmaz. Schrödinger'in kedisi düşünce deneyinin ortaya atılmasındaki temel amaç da bir kedinin süperpozisyon hâlinde olmasının absürtlüğüne dikkat çekmektir. Bir kedi kadar büyük makroskobik bir nesnenin kuantum mekaniğinin sıra dışı özelliklerini örneklendirdiği bir deney yoktur. Clarke, Devoret ve Martinis'in deneyleri ise bu bakımdan sıra dışıdır. Makro büyüklükte bir sistemin içine yayılmış çok sayıda parçacıktan oluşan bir sistem kuantum mekaniğinin

tahminlerine uygun biçimde davranır. Her ne kadar milyonlarca, milyarlarca Cooper çiftinin bir araya gelmesiyle oluşan bir "parçacık" bir kediye kıyasla çok küçük olsa da bir fizikçinin bakış açısından Schrödinger'in kedisine çok benzer. Deneyler mikroskobik parçacıkların tekil kuantum özelliklerini değil çok sayıda parçacığın bir araya gelmesiyle oluşmuş makroskobik bir bütünün kuantum mekaniksel özelliklerini ortaya çıkarır.

Makroskobik kuantum tünellemenin gözlemlendiği sistem, tek bir parçacık gibi davranması ve kuantize enerji seviyelerine sahip olması bakımından, devasa bir "yapay atom" gibi düşünülebilir. Kabloları ve soketleri olan bu yapay atomlar ilerleyen yıllarda başka deney düzeneklerinde kuantum mekaniği ile ilgili araştırmalarda faydalı olacaktır.

Yapay atomların önemli bir uygulama alanı ise kuantum bilgisayarlar oldu. Martinis, gözlemledikleri enerji kuantizasyonundan kubitler (kuantum bilgisayarlar da bilginin kodlandığı ve işlendiği birimler) üretmek için yararlandı. Kuantize enerji seviyelerinden en düşük enerjili olanının 0'ı, bir seviye uyarılmış olanının 1'i kodlamak için kullanıldığı süperiletken devreler bugün de kuantum bilgisayarlar ile ilgili araştırmalarda kendine yer buluyor. ■

Kaynaklar

<https://nobelprize.org>
<https://www.nobelprize.org/prizes/physics/2025/popular-information/>
<https://www.nobelprize.org/prizes/physics/2025/advanced-information/>

Merak Ettikleriniz

İlay Çelik Sezer [merak.ettikleriniz@tubitak.gov.tr

Neden Kış Domatesleri Yaz Domateslerinden Daha Tatsızdır?

Yazın artık büsbütün geride kalması, domatese düşkün pek çok kimse için aynı zamanda taze domatese veda vaktinin yaklaşması demek. Çünkü ağız tatlarının çeşitliliğini göz önüne aldığımızda bile değişmeyecek bir gerçek var ki o da kış domateslerinin lezzet açısından yaz domateslerinin yanından bile geçemiyor oluşu. Bu değerlendirme kulağa öznel gelebilir ama aslında bilimsel olarak da bilinen ve nedenleri araştırılan bir olgu. Peki nedir bu kış domateslerini lezzetçe geride bırakan nedenler?

İsterseniz önce bir domatesi nelerin lezzetli yaptığına bir bakalım. Domatese tat veren unsurların başında şekerler (başlıca glikoz ve früktoz) ve organik asitler (başlıca sitrik ve malik asit) gelir. Yapılan araştırmalarda şeker-asit oranı genellikle domatesta tadın en güçlü belirleyicisi olarak öne çıkıyor. Yüksek düzeyde şeker, orta düzeyde asit içeren domatesler daha lezzetli algılanıyor. Yazın daha sıcak ve güneşli koşulları, domates bitkisinin daha fazla fotosentez yapıp daha yüksek oranda şeker içeren domatesler üretmesini sağlar. Güneş'ten gelen enerjinin ve sıcaklığın azaldığı kış mevsiminde yetişen domatesler ise daha az şekerli olur. Öte yandan yüksek sıcaklık ve güneşlenme aynı zamanda asitlerin metabolize edilerek yani parçalanarak azalmasını sağladığı için yaz domateslerinin içerdiği asit miktarı daha optimal bir düzeye düşer. Ancak kış domateslerinde asitlilik

daha yüksek düzeyde kalabilir. Bu da zaten daha düşük olan şeker düzeyiyle bir araya gelince daha ekşi ve tatsız domatesler yetişmesi anlamına gelebilir.

Domatese lezzet veren önemli unsurlardan bir diğeri de aromatik bileşiklerdir. Dalında olgunlaşma sırasında güneş ışığı ve metabolik süreçler sayesinde onlarca aromatik bileşik sentezlenir ve bunlar domatesin o kendine özgü rayihasının yani koku-tat bileşiminin oluşmasını sağlar. Kış domatesleri ise genellikle henüz olgunlaşmadan hasat edilip depolarda olgunlaştırılır. Bu durumda söz konusu aromatik bileşikler lezzet için yeterli seviyelerde oluşmaz, bu da domateslerin koku ve tat bakımından zayıf kalmasına neden olur. Depoda olgunlaştırma aynı zamanda asitliliğin de fazla düşük kalmasına neden olur.

Kış domateslerinin daha lezzetsiz olmasının bir diğer nedeni ise kışın çoğunlukla seralarda hızlı üretime uygun domates çeşitlerinin yetiştirilmesidir. Bu çeşitlerin genetik özellikleri öncelikle dayanıklılık için iyileştirilmiş, aroma özellikleri ise genellikle ikinci planda kalmıştır.

Son olarak kış domateslerinin en şikâyet ettiğimiz yanlarından biri olan sert dokularına gelirsek bu da temelde yine hasadın olgunlaşmadan önce yapılmasına dayanıyor. Dalında olgunlaşma sırasında gerçekleşen pektin (bitki hücrelerinde hücre duvarının ana bileşenlerinden biri) yıkımı ve hücre duvarı çözülmesi tam olarak gerçekleşemediği için domatesler daha sert kalıyor.

Kaynaklar

<https://doi.org/10.1021/jf072196t>

<https://doi.org/10.3390/agronomy12020376>



Neden Ara Sıra İçimizi Çekeriz?

Zaman zaman üzüntü, huzur hatta öfke gibi farklı duygularla özdeşleştirsek de iç çekmek vücudumuzdaki doğal ve rutin olaylardan biridir. Bilimsel araştırmalar sağlıklı bir insanın saatte ortalama 12 kez iç çektiğini gösteriyor. Peki ama neden zaman zaman iç çekme ihtiyacı duyuyoruz? Araştırmalar iç çekmenin birkaç işlevi olduğunu gösteriyor.

İlki akciğerlerimizin işleyişi ile ilgili. Akciğerlerimizde oksijen-karbondioksit alışverişinin gerçekleştiği kesecikler olan alveoller, sürekli kısa nefesler aldığımızda zamanla içine çökebiliyor. İç çekmek alveollerin yeniden şişmesini ve oksijen-karbondioksit alışverişinin etkin şekilde devam etmesini sağlar. Beynimiz bunu güvence altına almak için iç çekme

refleksini aktif olarak kontrol eder. İç çekmek ayrıca vücudun soluma ritmi bozulduğunda bu ritmi düzenleme ya da yeniden başlatma işlevi de görür. Örneğin kaygılı ya da sinirli olduğumuzda veya ağladığımızda soluma ritmimiz bozulunca iç çekme, nefesimizin tekrar düzene girmesine yardımcı olur.

Araştırmalar ayrıca iç çekmenin duygusal stres durumlarında vücudun bir yanıtı olarak devreye girdiğini ve stresi yönetmeye yardımcı olduğunu gösteriyor. İç çekme sonrası nefesin ritmi daha pürüzsüz ve düzenli hâle gelir ve bu da vücudun sakinleşmesine yardımcı olur. İç çekme ayrıca parasempatik sistemi etkinleştirerek kalp atım hızını ve kas gerginliğini azaltır. Parasempatik sistem, sempatik sinir sisteminin stres veya tehlike anında devreye girmesinin ardından vücudu rahatlatmakla görevli, yaygın bir ifadeyle “dinlen ve sindir” tepkisinden sorumlu sinir ağıdır.

İç çekmenin ayrıca sözsüz bir iletişim sinyali işlevi gördüğü de biliniyor. İnsanlar arası iletişimde iç çekmek öfke, üzüntü, sıkılma ya da rahatlama gibi duyguların karşı tarafa sözsüz olarak ifade edilmesinde rol oynayabilir. Bu da başkalarının bizim duygusal durumumuzu fark etmesini sağlayıp empati ve anlayış gibi tutumları destekleyebilir.

Özetlemek gerekirse iç çekmenin hem akciğer etkinliğini sürdürme ve nefes ritmini dengeleme hem de duyguların düzenlenmesine ve duygu durumlarının iletişim sırasında açığa vurulmasına katkı sağlama gibi işlevleri vardır. ■

Kaynaklar

https://www.uclahealth.org/news/release/ucla-and-stanford-researchers-pinpoint-origin-of-sighing-reflex-in-the-brain?utm_source=chatgpt.com
https://med.stanford.edu/news/insights/2023/02/cyclic-sighing-can-help-breathe-away-anxiety.html?utm_source=chatgpt.com

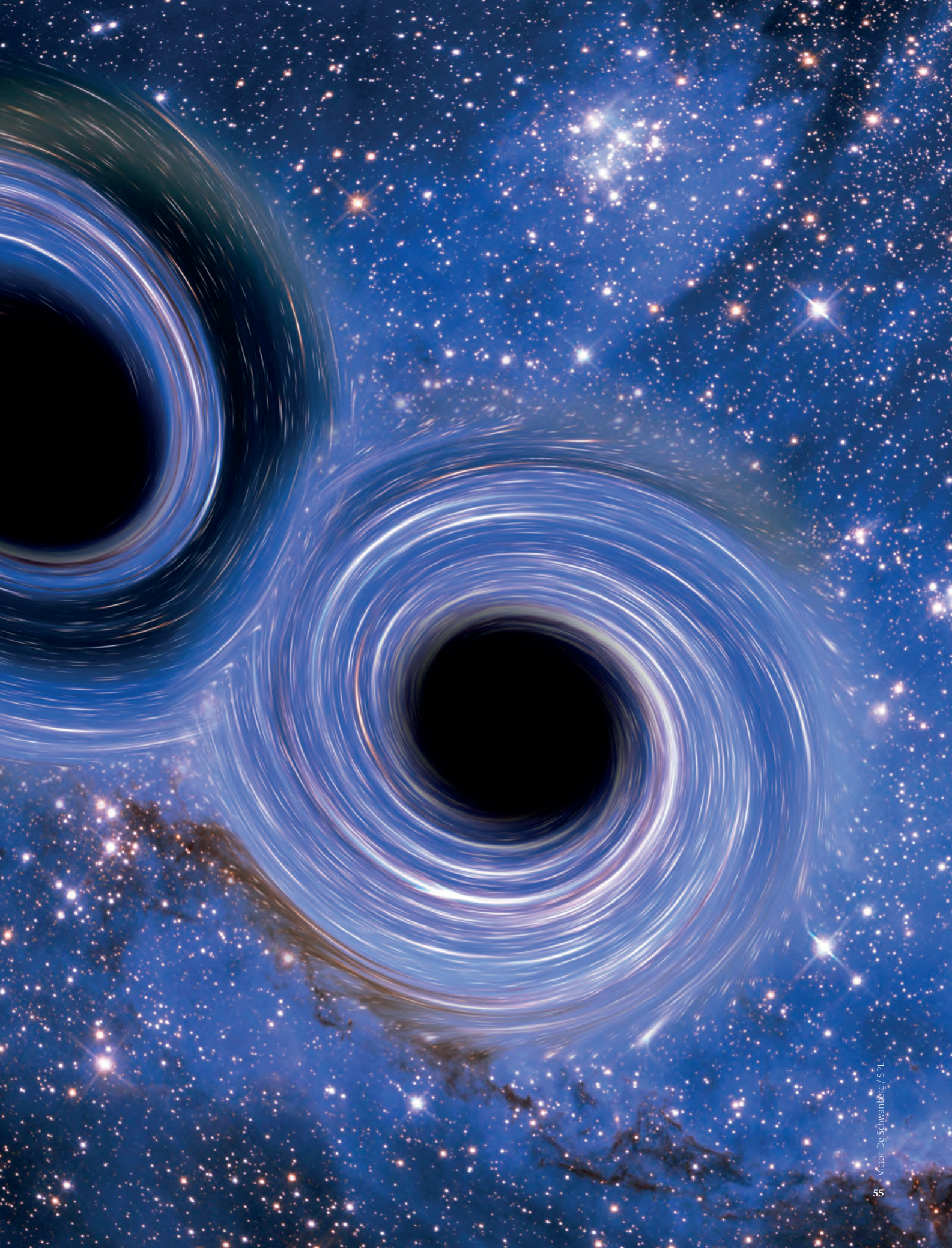


K t le ekimse  Dalga Gözlemi Fiziksel Teorileri Doğruladı

Dr. Mahir E. Ocak [T B TAK Bilim ve Teknik Dergisi

LIGO dedektörleriyle yapılan gözlemlerde bugüne kadarki en “temiz” k t le ekimse  dalga ölçümü gerçekleştirildi. Sinyal/g r  t  oranının yüksekliği detaylı analizlere imkân verdi. Elde edilen sonuçlar hem kara deliklerin civarındaki uzay zamanın yapısı ile ilgili genel görelilik bilgilerini hem de kara deliklerin termodinamiğindeki entropi yasasını doğruladı.



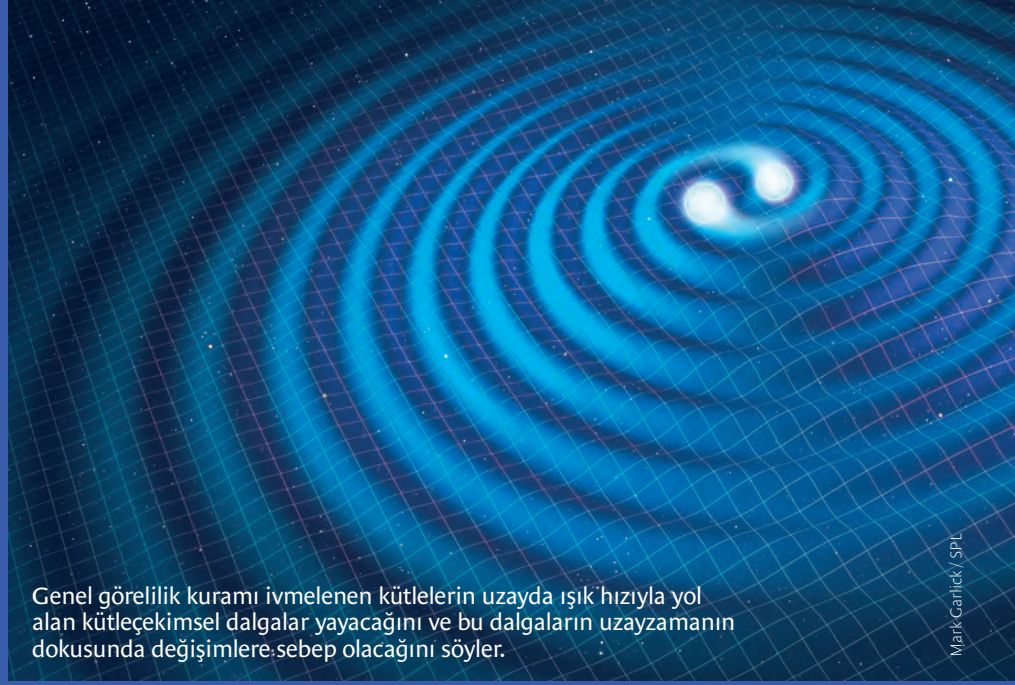


Kütleçekimsel Dalgalar

Genel görelilik kuramı kütle çekimini uzayzamanın geometrisi ile ilişkilendirir. Uzay zamanın eğriliği içindeki kütleler tarafından, kütlelerin nasıl hareket edeceği ise uzayzamanın eğriliği tarafından belirlenir. Albert Einstein'ın 1915 yılında geliştirdiği kuramın tahminlerinden biri de ivmelenen kütlelerin uzayda ışık hızıyla yayılan kütleçekimsel dalgalar yayacağı ve bu dalgaların uzayzamanın dokusunda değişimlere sebep olacağıdır.

Uzaydaki iki nesnenin arasından geçen kütleçekimsel dalgalar, nesnelerin arasındaki mesafenin değişmesine yol açar. Ancak bu etki o kadar küçüktür ki tespit edilmesi çok zordur. Örneğin Samanyolu'ndaki bir yıldız patlaması sırasında yayılan kütleçekimsel dalgalar birkaç bin yıl sonra Güneş sistemine vardığında Dünya ile Güneş arasındaki mesafenin atom boyutları ölçeğinde değişmesine yol açar. Albert Einstein, etkilerinin çok zayıf olması nedeniyle kütleçekimsel dalgaların hiçbir zaman doğrudan gözlemlenemeyeceğini düşünmüştü.

Doğada kütleçekimsel dalgaların gerçekten de var olduğuna işaret eden ilk bulgular dolaylı olarak elde edildi. 1974 yılında



Genel görelilik kuramı ivmelenen kütlelerin uzayda ışık hızıyla yol alan kütleçekimsel dalgalar yayacağını ve bu dalgaların uzayzamanın dokusunda değişimlere sebep olacağını söyler.

Mark Garlick / SPL

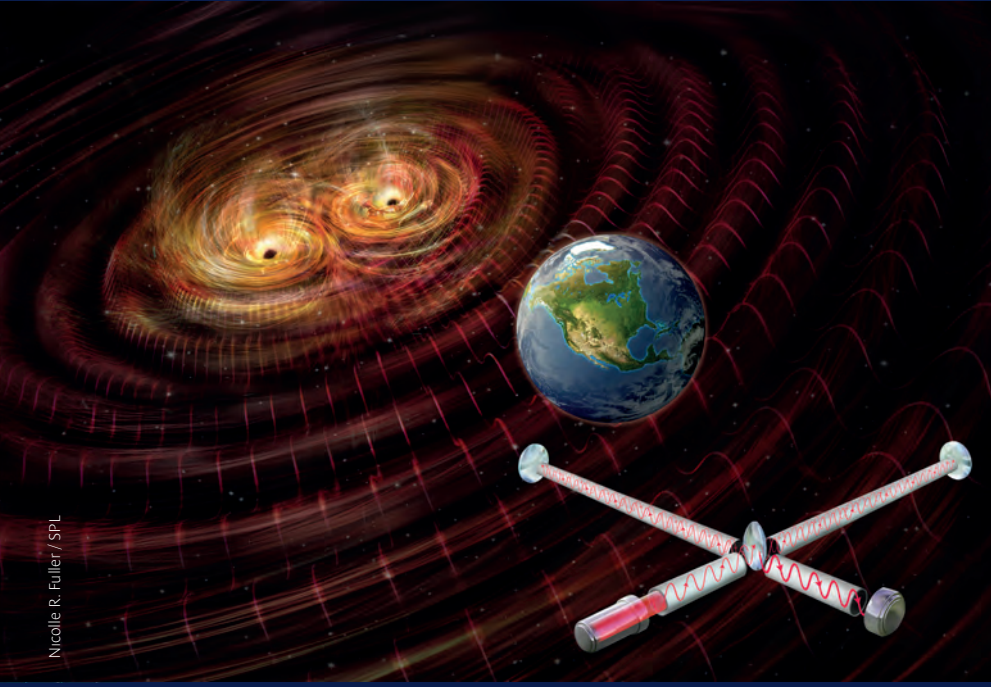
Russell Alan Hulse ve Joseph Hooton Taylor, birbirinin etrafında dolanan ikili bir yıldız sisteminde gözlemlenen yörünge değişimlerinin, kütle çekimsel dalgaların yayılmasının sebep olacağı enerji kaybından beklenen değişimlerle uyumlu olduğunu tespit etti. Bu çalışmaları ile 1993 Nobel Fizik Ödülü'nü aldılar. Kütle çekimsel dalgaların ilk

kez doğrudan gözlemlenmesi ise genel görelilik kuramının geliştirilmesinden tam yüz yıl sonra, 2015 yılında mümkün oldu. ABD'deki LIGO ikiz dedektörleri henüz test aşamasındayken günümüzden 1,3 milyar yıl önce iki kara deliğin kaynaşması sırasında yayılmış kütleçekimsel dalgaları tespit etmeyi başardı.



Livingston, Louisiana'daki LIGO dedektörü

CALTECH / MIT / LIGO LAB / SPL



Nicolas R. Fuller / SPL

Günümüzde ABD'deki LIGO dedektörlerinin yanı sıra İtalya'daki Virgo dedektörü ve Japonya'daki KAGRA dedektörü de kütleçekimsel dalgalar tespit etmek üzerine çalışmaya devam ediyor. Tüm bu dedektörlerin çalışma prensibi ise aynı. Dedektörler birbirine dik olarak konumlanmış birkaç kilometre uzunluğunda iki koldan oluşuyor. Bu kolların içinde ise lazer ışınları yol alıyor. Sıradan koşullar altında bir kaynaktan yayılan lazer ışınları iki kola ayrılıp kolların ucundaki aynalardan yansdıktan sonra bir araya gelerek yıkıcı girişim yapıyor ve dedektörde bir sinyal gözlemlenmiyor. Kolların içinden geçen kütleçekimsel dalgalar ise kolların çok az bir miktarda uzamasına ya da kısalmasına yol açıyor ve böylece girişim desenleri ortaya çıkıyor.

Tespit edilen bir kütleçekimsel dalganın kaynağının ne olduğunu belirlemek için kuramsal yöntemlerden yararlanılır. Hangi tür olayların dedektörlerde nasıl bir girişim deseninin ortaya çıkmasına yol açacağı önceden hesaplanmıştır. Bu durum, gözlemlenen sinyale bakarak kütleçekimsel dalgaların kaynağının kaynaşan kara delikler mi, çarpışan nötron yıldızları mı yoksa başka bir olay mı olduğunun belirlenmesini sağlar. Kütleçekimsel dalgaların kaynağı olan olayın uzayın hangi bölgesinde ve ne zaman gerçekleştiğini belirlemek içinse farklı dedektörlerin elde ettiği veriler karşılaştırılır. Dedektörlerden geçiş zamanları ve yönleri arasındaki farklar, kütleçekimsel dalgaların kaynağı olan olayın yeri ve zamanı hakkında bilgi verir.

İlk kütleçekimsel dalga gözleminin üzerinden geçen on yılda yüzlerce başka gözlem daha yapıldı. Bu gözlemlerin en önemlilerinden biriyle 14 Ocak 2025'te gerçekleşti. LIGO dedektörleri kütleleri Güneş'ininkinin yaklaşık 33 ve 32 katı kadar olan iki kara deliğin kaynaşması sırasında yayılan kütleçekimsel dalgaları tespit etti. Bu gözlemi önemli kılansa kaydedilen sinyallerin "temizliği" oldu. İlk kütleçekimsel dalga gözleminde sinyal/gürültü oranı 26'ydı. Aradan geçen on yılda dedektörlerde yapılan iyileştirmelerin de katkısı ile 14 Ocak 2025'teki gözlemin sinyal/gürültü oranı ise 80 oldu. Sinyalin bu kadar net olması kara deliklerin davranışları ve özellikleri ile ilgili teorilerin test edilmesine imkân verdi. Elde edilen sonuçların kuramları doğruladığı görüldü. Araştırmanın sonuçları Ağustos 2025'te *Physical Review Letters*'ta yayımlandı.

Kara Delikler

Kara delikleri diğer gök cisimlerinden ayıran en temel özellikleri etraflarında olay ufku olarak adlandırılan, matematiksel eşitliklerle tanımlanan hayali bir yüzey bulunmasıdır. Olay ufku bir nesnenin, kara deliğin çekiminden kurtulabileceği sınırdır. Bu sınırın üzerinde bir nesnenin kara deliğin çekiminden kurtulmak için ulaşması gereken hız ışık hızıdır. Herhangi bir cismin ışık hızından daha hızlı hareket etmesi mümkün

olmadığı için bir kez olay ufkunu geçerek kara deliğin içine düşen bir nesne bir daha olay ufkunun dışına çıkamaz. Genel görelilik kuramı, olay ufkunu geçen bir nesnenin durmaksızın kara deliğin merkezine doğru yol alacağını söyler.

Kara delikler diğer gök cisimlerine kıyasla çok basit nesnelerdir. Kütle, elektrik yükü ve spin bir kara deliğin tüm özelliklerini ifade etmek için yeterlidir. Kara delikler bu bakımdan temel parçacıklara benzer. John Wheeler kara deliklerin basitliğini ifade etmek için “kara delikler saçsızdır” deyimini türetmişti.

Kara deliklerin saçsız olması, bir kara deliğin civarındaki uzay zamanın yapısının

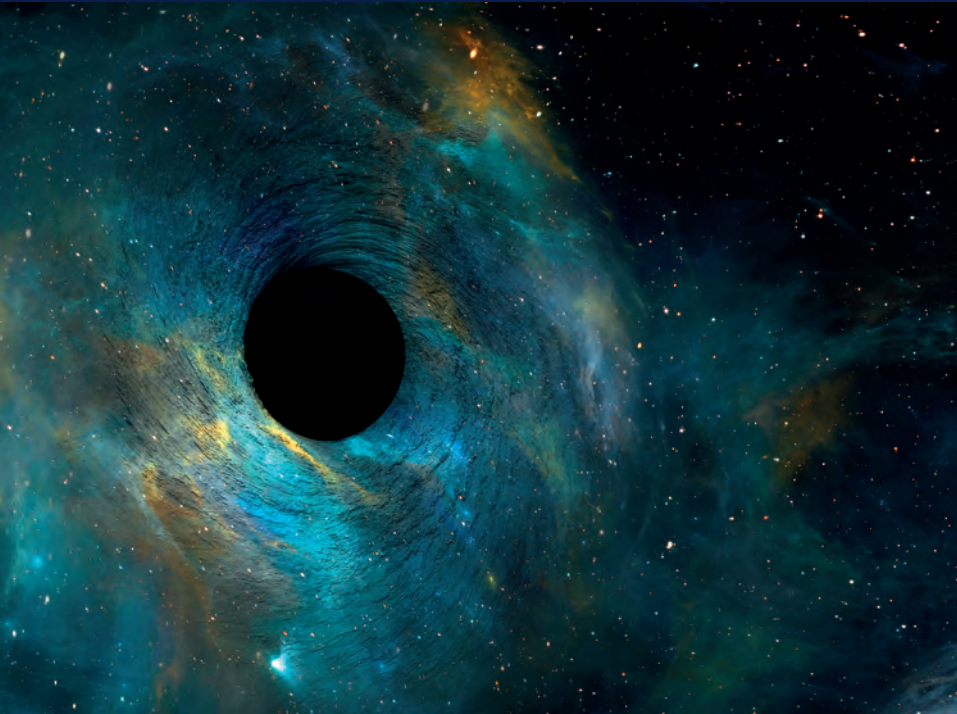
sadece birkaç parametre ile hesaplanabilmesine de imkân verir. Bir kara deliğin yüksek miktarda elektrik yükü taşıması beklenen bir durum değildir. Elektromanyetik kuvvetin görece güçlü bir kuvvet olması nedeniyle kara deliğin içine düşen pozitif ve negatif elektrik yükü miktarı hemen hemen aynı olacaktır. Dolayısıyla bir kara deliğin civarındaki uzay zamanın yapısı temel olarak kara deliğin kütlesi ve spini tarafından belirlenir. Söz konusu spinsiz (kendi etrafında dönmeyen) kara delikler olduğunda Einstein alan denklemlerinin çözümü Karl Schwarzschild tarafından bulunmuştu. Spinli kara delikler için Einstein alan denklemlerini çözmeyi başaran ise Roy Kerr oldu.

Kara Deliklerin Termodinamiği

Kara delik mekaniğinin yasaları ile termodinamik yasaları birbirine çok benzer. Her iki kuramda da dört temel yasa vardır. Bu yasaların hem matematiksel hem de sözlü ifadeleri hemen hemen aynıdır. Kara delik mekaniği yasalarında “kara deliğin olay ufkundaki kütle çekimi” ve “kara deliğin olay ufkunun alanı” yer alırken termodinamik yasalarında ise “sıcaklık” ve “entropi” yer alır.

Termodinamiğin sıfırdan yasası dengedeki bir sistemin sıcaklığının her noktada aynı olduğunu söyler. Birinci yasası enerjinin korunumunu ifade eder. İkinci yasası entropinin kendiliğinden meydana gelen süreçlerde sürekli artacağını söyler. Üçüncü yasası ise sıcaklık sıfıra yakınsarken entropinin de sıfıra yakınsayacağını ifade eder. Kara delik mekaniğinin sıfırdan yasası, kara deliğin olay ufkunun her noktasında kütle çekim alanının büyüklüğünün aynı olduğunu söyler. Birinci yasa enerjinin korunumunu ifade eder. İkinci yasa olay ufkunun alanının zamanla artacağını söyler. Üçüncü yasa ise kara deliğin olay ufkundaki kütle çekiminin sıfır olamayacağını ifade eder.

Kara delik mekaniği yasaları ile termodinamik yasaları arasındaki benzerlikler, kara deliklerin olay ufkundaki kütle çekiminin kara deliğin sıcaklığı ile kara deliğin olay ufkunun da kara deliğin



Claus Lunau / SPL



Stephan Hawking, kara deliklerin kuantum mekaniksel süreçlerle enerji yaymasının mümkün olduğunu gösterdi.

entropisiyle ilişkilendirilebileceğine işaret eder. Ancak bu benzerliklere bir gerçeklik atfetmek kolay değildir. Sıcaklığı olan tüm nesneler enerji yayar. Kara delikler ise içine düşen her şeyi yutan gök cisimleridir ve klasik fiziğe göre enerji yaymazlar dolayısıyla sıcaklıkları Kelvin ölçeğinde sıfır olmalıdır. Ayrıca entropi genel olarak düzensizlikle ilişkilendirilen bir kavramdır. Kara delikler ise tüm özellikleri sadece birkaç sayı ile ifade edilebilen saçsız gök cisimleridir. Bu yüzden kara delik mekaniği yasaları ile termodinamik yasaları arasındaki benzerlikler ilk fark edildiğinde bu benzerliklerin sadece matematiksel olduğu, bir fiziksel gerçekliğe karşılık gelmediği düşünülmüştü. Ancak

Stephan Hawking'in kara deliklerin kuantum mekaniksel süreçlerle enerji yaymasının mümkün olduğunu gösteren çalışmalarından sonra durum değişti.

Hawking ışıması özetle şu şekilde ilerler: Kara deliğin olay ufkunun dışında kuantum salınimleri sonucunda bir parçacık-antiparçacık çifti oluşur. Parçacıklardan biri kara deliğin içine düşerken diğeri ortamdan uzaklaşır. Bu olayın net sonucu kara deliğin kütesinin ve enerjisinin azalması ve kara delikten çevreye madde ve enerji yayılması olur.

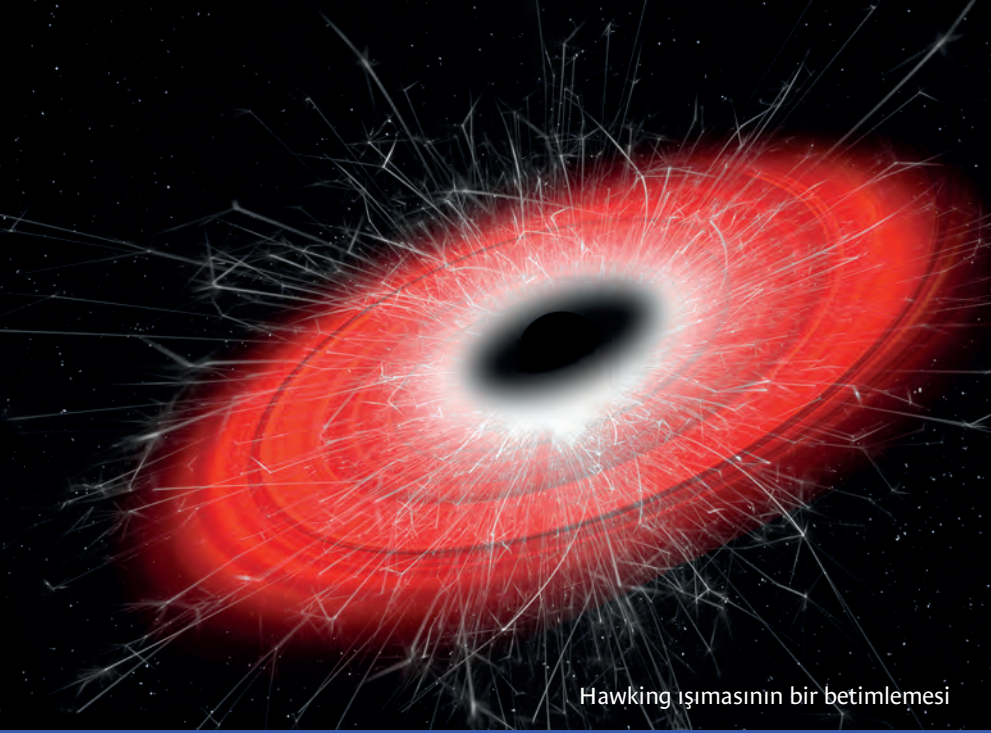
Hawking ışımasının varlığı kara deliklere sıcaklık, entropi gibi fiziksel

parametrelerle ilişkilendirmeyi kolaylaştırır. Her ne kadar Hawking ışıması gözlemlerle doğrulanmamış bir olgu olsa da böyle bir ışmanın olduğu fizikçiler arasında yaygın olarak kabul görüyor. Ayrıca kara deliklerin bir sıcaklığının ve entropisinin olması çeşitli kuramsal sorunlara da bir çözüm sunuyor.

Bir kara deliğin sıcaklığı ve entropisi sırasıyla kara deliğin olay ufkundaki kütle çekim alanının büyüklüğüyle ve olay ufkunun alanıyla orantılıdır. Kara deliklerin kütlesi arttıkça kara deliğin olay ufkundaki kütle çekim alanının büyüklüğü azalır, olay ufkunun alanı ise artar. Dolayısıyla daha büyük kütleli kara deliklerin sıcaklığı daha düşük, entropisi ise daha fazladır.

Kuramları Doğrulayan Gözlem

LIGO dedektörleriyle günümüzden on yıl önce kütleçekimsel dalgalar ilk kez gözlemlendiğinde dedektörler henüz test aşamasındaydı. Kaydedilen sinyallerdeki gürültü oranı görece yüksekti. Aradan geçen zamanda yapılan çalışmalar sayesinde bugün dedektörler tasarımlarında amaçlanan duyarlılık seviyesine hemen ulaşmış durumda. Bu sayede ilk zamanlara kıyasla çok daha temiz sinyaller kaydedilebiliyor.



Hawking ışımasının bir betimlemesi

Victor De Schwanberg / SPL

GW250114_082203 gözlemiyle ilgili detaylı analizlerin Kerr çözümüne dayalı tahminlerle uyumlu olduğu görüldü. Bu durum spinli kara deliklerin çevresindeki uzayzamanın yapısını sadece iki parametreyle (kütle ve spin) açıklayan Kerr çözümünü ve dolaylı olarak hem Einstein'ın genel görelilik kuramını hem de kara deliklerin saçsızlığını doğruladı.

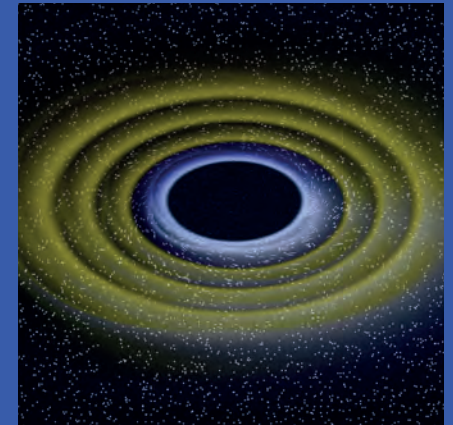
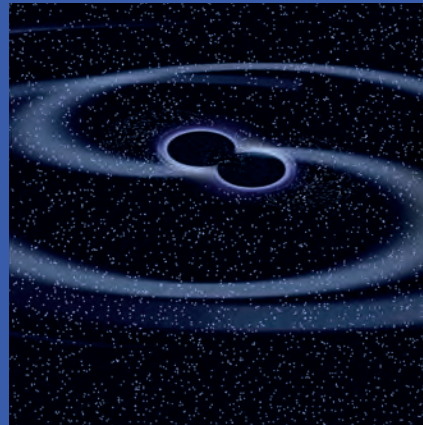
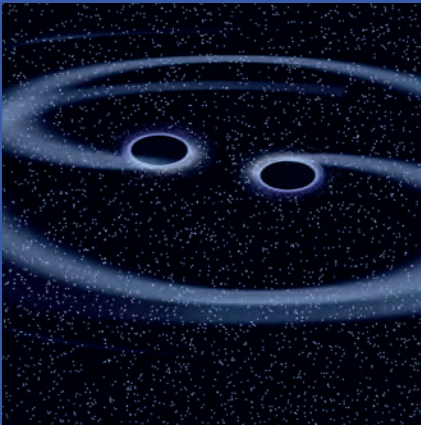
Kara delik mekaniğinin ikinci yasası, entropinin sürekli artacağını söyleyen termodinamiğin ikinci yasasının analogudur. Kara deliklerin entropisi ile orantılı olan olay ufku alanının zamanla artacağını söyler. Bu yasasının geçerliliği esasen üç koşulun sağlanmasına bağlıdır. Birincisi sıfır enerji koşuludur. Örneğin Hawking ışıması ile enerji kaybeden bir kara deliğin olay ufkunun alanı zamanla küçülebilir. Bu durumun göz önüne alınabilmesi için kara delik mekaniğinin ikinci yasasının hem kara deliğin hem de Hawking ışımasının entropisini içeren “genelleştirilmiş yasa” ile

LIGO dedektörleri geçtiğimiz ocak ayında bir sinyal kaydetti. GW250114_082203 adıyla kayıtlara geçen sinyalin kaynağı kaynaşan kara deliklerdi. Sinyal/gürültü oranının 80 olduğu sinyalin netliği hem spinli kara delikler ile ilgili Kerr çözümünün hem de kara delik mekaniğinin ikinci yasasının test edilmesine imkân verdi.

İki kara deliğin kaynaşma sürecinin başlangıcında birbirinin çekimine kapılan kara delikler sistemin kütle merkezi etrafında dolanır. Kütlelerin bu ivmeli hareketi, kütleçekimsel dalgaların

yayılmasına ve sistemin enerji kaybetmesine yol açar. Bu durumun bir sonucu olarak kara delikler spiral biçimli bir rota takip ederek birbirine yaklaşır. Ta ki kara delikler kaynaşarak tek bir kara delik oluşturana kadar.

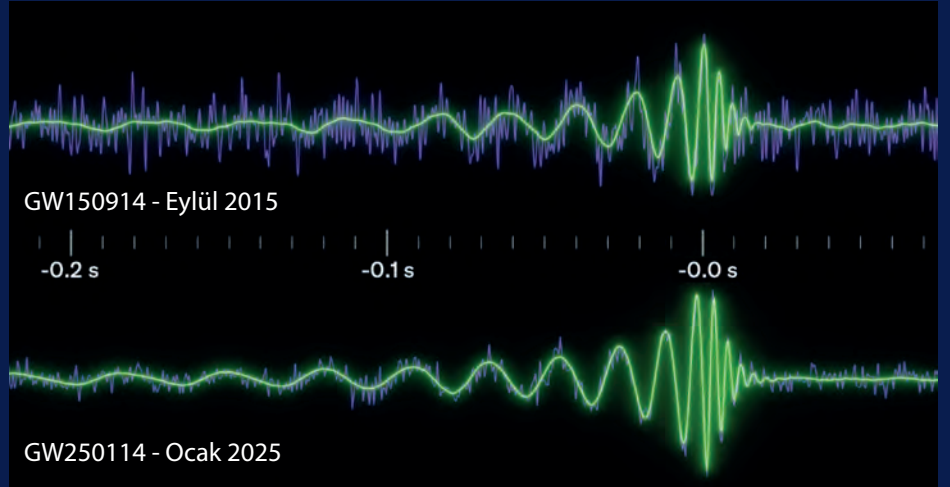
Kara delik kaynaşmalarının ortaya çıkardığı kara delikler başlangıçta hayli hareketlidir. Salınmaya ve bu sırada kütleçekimsel dalgalar yaymaya devam ederler. Kerr çözümü, kara delik yavaş yavaş dinginleşirken yayılan kütleçekimsel dalgaların spektrumu hakkında tahminler yapmaya imkân verir.



Claus Lunau / SPL

değiştirilmesi gerekir. İkinci koşul, gözlemlenen gök cisimlerinin gerçekten de kara delikler olmasıdır. Üçüncü koşul ise genel göreliliğin doğru olmasıdır. Çünkü genel göreliliğe alternatif olarak geliştirilmiş çeşitli kuramlarda alan yasası geçerli değildir. Dolayısıyla kara delik mekaniğinin ikinci yasasını test etmek esasen bu koşulları da test etmek anlamına gelir.

Söz konusu kaynaşan kara delikler olduğunda da ortaya çıkan kara deliğin olay ufku alanının, başlangıçtaki kara deliklerin olay ufuklarının toplam alanından daha büyük olması beklenir. Matematiksel eşitliklerle tanımlanan hayali bir yüzey olan olay ufku doğrudan gözlemlenemese de kuramsal yöntemlere başvurularak kara deliklerin olay ufku alanı hakkında çıkarım yapılabilir. Bu çıkarımlar da yine çeşitli varsayımlara dayanır. Eğer gözlemlenen kütleçekimsel dalgaların kaynağı gerçekten de bir kara delik kaynaşmasıysa, genel görelilik kuramı bu süreçleri iyi bir biçimde betimliyorsa ve Kerr çözümü spinli kara delikleri iyi bir biçimde ifade ediyorsa bir kara deliğin olay ufku alanı sadece kütlesine ve spinine bağlıdır. Dolayısıyla gözlemsel verileri analiz ederek elde edilen kütle ve spin verilerini kullanarak başlangıçtaki kara deliklerin olay ufuklarının



2015 yılında tespit edilen ilk sinyal (üstte) ve Ocak 2025'te tespit edilen sinyal (altta). İki sinyal karşılaştırıldığında 2025'teki sinyalde gürültü oranının düşüklüğü dikkat çekiyor. Görselde "0" ile işaretlenen zaman kaynaşma anına denk geliyor. Kaynaşmadan önceki kütleçekimsel dalgaların kaynağı spiral çizerek birbirine yaklaşan kara delikler. Kaynaşmadan sonraki kütleçekimsel dalgalar ise ortaya çıkan kara deliğin giderek hareketsizleşmesi sırasında yayılıyor.

toplam alanı ve sonuçta oluşan kara deliğin olay ufku alanı hesaplanabilir. Araştırmacılar bu varsayımlara ve kütleçekimsel dalgaların sağladığı verilere dayanarak alan yasasını da test etti. Sonuçta kara delik mekaniğinin ikinci yasasıyla uyumlu bir biçimde sürecin ortaya çıkardığı kara deliğin olay ufku alanının, başlangıçtaki iki kara deliğin olay ufuklarının toplam alanından büyük olduğu hesaplandı.

Kütleçekimsel dalga detektörleriyle elde edilen verilerin kuramsal tahminlerle uyumlu olması sadece kuramsal bilgileri doğrulamakla kalmıyor, sürecin başındaki ve sonundaki gök cisimlerinin gerçekten de kara delikler olduğunu da gösteriyor. Şayet kuramsal tahminlerle gözlemsel veriler

arasında bir uyumsuzluk olsaydı en azından birinde bir yanlışlık olduğu anlamına gelecekti.

Elde edilen sonuçlar kütleçekimsel dalgaların evreni kavrama çabamızdaki önemli rolünü de gözler önüne seriyor. Kütleçekimsel dalgalar gözlemlenmeye başlamadan önce uzay hakkındaki bilgilerimizin tek kaynağı ışıktı. Kütleçekimsel dalgalar sayesinde artık evrene ikinci bir gözle bakabiliyoruz. Kütleçekimsel dalga gözlemleri, ışıkla yapılan gözlemlerle elde edilemeyecek bilgiler sağlıyor. Bu bilgiler hem fiziksel kuramların test edilmesinde, varsa eksikliklerinin giderilmesinde ya da yanlışlıkların tespit edilmesinde yararlı oluyor hem de uzayda meydana gelen fiziksel süreçlerin daha iyi anlaşılmasını sağlıyor. ■

Kaynak

Nota Bilmeden Müzik Yapmak

Dr. Fatma Gökçe Çiçek Tuğer [*Piyano Sanatçısı-Müzikolog*

Müzik eğitimi, genellikle nota okuma ve yazma becerisine dayalı olarak yürütülüyor. Oysa tarih boyunca birçok usta müzisyen, nota bilgisi olmadan enstrüman çalmayı ya da ezgiler üretmeyi başarmıştı. Bu durum, müzik yapmanın yalnızca görsel simgelere ve yazılı sistemlere bağlı olmadığını; öğrenme biçimleri, kültürel çevre ve bilişsel yetilerle yakından ilişkili olduğunu gösteriyor. Peki nota bilmeden gerçekten müzik yapılabilir mi?



Prof. Dr. Howard Gardner, "çoklu zekâ kuramı" ile zekânın birçok yetenekten oluştuğunu ve birbirinden bağımsız sekiz farklı türü olduğunu ileri sürdü.

Ünlü psikolog Howard Gardner, 1983 yılında ortaya koyduğu "çoklu zekâ kuramı" ile müziksel zekâyı bağımsız bir yetenek alanı olarak tanımladı. Gardner'a göre müziksel zekâ; ritim, melodi, ton ve tınıları algılama ve ifade etme kapasitesidir. Bu zekâ türüne sahip bireyler, nota bilgisi olmadan da müziği sezgisel olarak kavrayabiliyor, ritimleri ve ezgileri kolaylıkla taklit edebiliyor. Gardner'a göre bu bireyler, görsel simgelere yani notalara ihtiyaç duymadan sesler ile hareketler arasında doğrudan bir bağ kurabiliyor.

Müzik öğrenme süreci üzerine geliştirilen çeşitli kuramlar da bu yaklaşımı destekliyor. Edwin E. Gordon'un 1997'de geliştirdiği müzik öğrenme teorisine göre insanlar, müziği tıpkı herhangi bir dili öğrenir gibi önce dinleyerek sonra tekrar ederek öğreniyor. Bu süreçte birey duyduğu müziği içselleştirerek enstrüman üzerinde yeniden üretiyor. Nota bilmeden müzik aleti çalabilme becerisi bu içsel duyma yeteneğine dayanıyor. 2002 yılında Lucy Green de halk müziği alanında birçok müzisyenin akademik bir müzik



eğitimi almadan işitsel hafızaya dayalı olarak yetkinlik kazandığını ortaya koydu. Green, bu tür müzik öğrenme biçimlerinin usta-çıkak ilişkisi gibi kültürel temelli olduğunu ve pratik yapmaya dayandığını vurguluyor. Daniel Levitin ise 2006'da yayımladığı çalışmasında müzik yapmanın beyinde motor, duyuşsal ve bilişsel süreçleri eş güdümlü olarak çalıştırdığını belirtiyor. Bu da müzik yapma sürecinde sadece ezber değil; kas hafızası, işitsel hafıza ve motor planlamanın da devrede olduğu anlamına geliyor.

Nota bilmeden müzik yapmanın temel dayanaklarından biri "kas hafızası" olarak da bilinen motor bellektir. Kas hafızası oluşurken tekrar edilen

fiziksel hareketlerin sinirsel örüntüleri, beyinde motor hareketlerin kontrol edildiği merkez olan motor kortekste ve alışkanlık hâline gelen davranışları kontrol eden dorsolateral striatum bölümünde kodlanır. Enstrüman çalarken parmakların, nefesin ya da ellerin konumları tekrar edilerek öğrenme gerçekleşiyor ve bu süreç zamanla otomatikleşiyor. Bu beceri, nota okumadan işitsel geri bildirimle gelişebiliyor.

Nota bilmeden müzik yapabilme becerisinde işitsel hafıza da önemli rol oynuyor. Caz ve halk müziği gibi doğaçlamaya dayalı türlerde müzisyenler, melodiyi dinleyerek hafızalarında tutuyor ve enstrümanla yeniden üretiyor. Birçok kültürde müzik bilgisi, usta-çırak ilişkisiyle ve kulaktan öğrenme yoluyla kuşaktan kuşağa aktarıldı. Özellikle Anadolu, Afrika ve Orta Doğu gibi bölgelerde nota sistemleri tarihsel olarak sınırlı kullanıldı: Melodiler, ritimler ve biçimler genellikle sözlü kültür aracılığıyla öğrenildi. Bu tür öğrenme süreçlerinde birey, müziği doğrudan işiterek ve tekrar ederek içselleştiriyor. Elbette nota bilgisi özellikle çok sesli Batı müziği repertuvarında öğrenmeyi hızlandırması, tutarlılık sağlaması ve müziğin aktarılma sürecini kolaylaştırması açısından önemli bir avantaj sunuyor. Ancak müzik yapmak için nota bilmek her zaman zorunlu değil. Modern müzik eğitimi yaklaşımları da bireylerin sezgisel, işitsel ve bedensel yollarla öğrenmesini destekleyen yöntemlere giderek daha fazla yer veriyor.

Sonuç olarak nota bilmeden müzik yapmak hem bilişsel hem pedagojik açıdan mümkün. Beynin işitme, motor ve hafıza bölgeleri eş güdüm içinde çalışarak bireye müzik yapma yetisi kazandırıyor. Bununla birlikte bu yetinin gelişiminde bireyin müziksel zekâsı, öğrenme tarzı ve içinde bulunduğu kültürel ortam belirleyici rol oynuyor. Nota bilgisi yalnızca teknik bir araç oysa müziksel ifade sezgiyle, deneyimle ve sanatsal özgünlükle şekillenen çok yönlü bir beceridir. ■

Kaynaklar

- Gardner, H. (1983). Frames of mind: The theory of multiple intelligences. Basic Books.
- Gordon, E. E. (1997). Learning sequences in music: A contemporary music learning theory (2nd ed.). GIA Publications.
- Green, L. (2002). How popular musicians learn: A way ahead for music education. Ashgate.
- Levitin, D. J. (2006). This is your brain on music: The science of a human obsession. Dutton.
- Rizzolatti, G., & Sinigaglia, C. (2008). Mirrors in the brain: How our minds share actions and emotions. Oxford University Press.
- Sloboda, J. A. (1985). The musical mind: The cognitive psychology of music. Oxford University Press.



Astronotların Yeni Yol Arkadaşları: Mikroorganizmalar

Dr. Özlem Ak [TÜBİTAK Bilim ve Teknik Dergisi

25 Temmuz 2019'da Florida'daki Cape Canaveral Hava Üssü'nden gökyüzüne yükselen bir roket, çıplak gözle görülemeyecek kadar küçük ama belki de gelecekte Mars'a yapılacak yolculukların kaderini değiştirecek kadar önemli canlılar taşıyordu: mikroorganizmalar. Fırlatmadan yaklaşık iki gün sonra Uluslararası Uzay İstasyonu'na (ISS) ulaşan bu mikroplar, astronot Luca Parmitano tarafından içlerinde İzlanda'dan getirilen bazalt kayaçların bulunduğu özel kapsüllere yerleştirildi. Mikroorganizmalardan beklenen, bu kayaları işleyerek içlerindeki nadir elementleri açığa çıkarmalarıydı. İlk bakışta sıradan bir laboratuvar deneyi gibi görünen bu süreç aslında çok daha büyük bir hayalin ilk adımıydı: İnsanlığın Ay'da ve Mars'ta kendi kaynaklarını üreterek yaşayabilmesi.

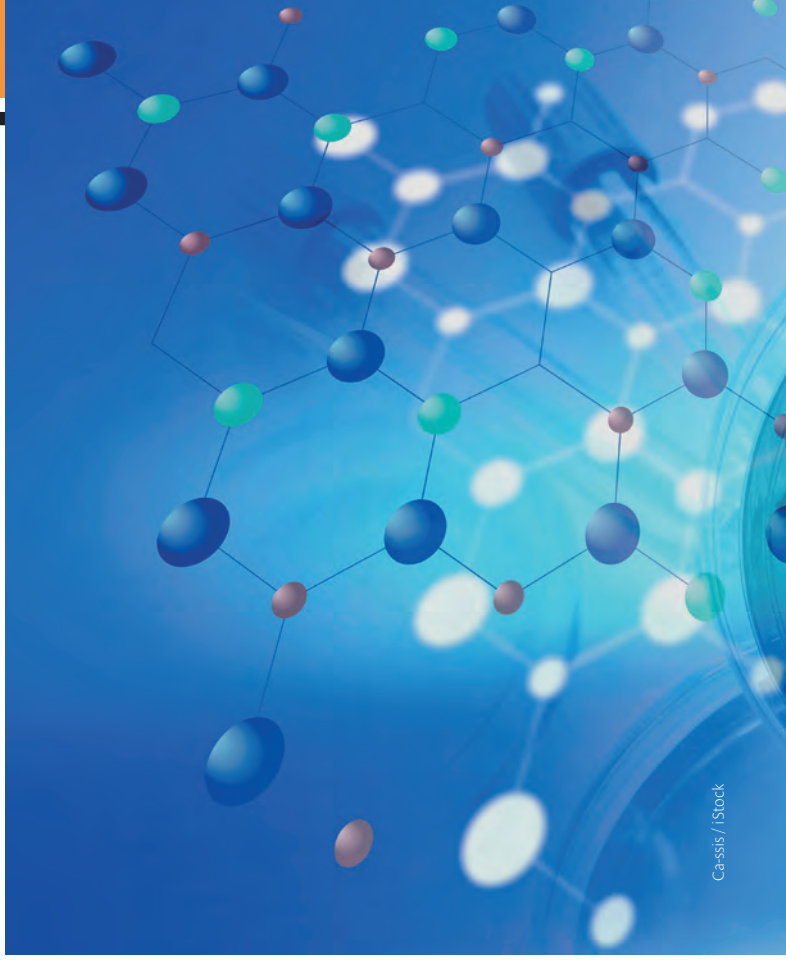




Süresi ve mesafesi artan uzay yolculukları, ihtiyaç duyulan malzemelerin taşınmasını zorlaştırıyor ve maliyetleri yükseltiyor. Bir roketin kilogram başına fırlatma maliyetinin binlerce doları bulduğu düşünülürse yiyecek, ilaç, oksijen ve yapı malzemesi gibi temel ihtiyaçların tamamını Dünya'dan göndermek, gelecekte uzayın derinliklerine yapılacak uzun görevler için sürdürülebilir bir çözüm olarak görünmüyor.

Astronotlar bugün hâlâ Dünya'dan ISS'ye gönderilen ikmal araçlarına bağımlı. Ancak Ay ve Mars gibi uzak yolculuklarda bu sistem ile Dünya'dan benzer sıklıkla ve kolayca ikmal yapmak mümkün olmayacak. Nitekim 2030'da ISS'nin görevinin sonlanması planlanırken onun yerini 2028 civarında Ay yörüngesinde faaliyete geçmesi beklenen Ay Geçiti (Lunar Gateway) isimli yeni istasyon alacak. Bu küçük ama stratejik üs yalnızca Ay'ın yüzeyinde görev yapacak uzay araçları için inişin başlangıç noktası olmakla kalmayacak aynı zamanda Mars'a doğru yola çıkacak daha uzun görevler için de bir geçiş durağı işlevi görecek.

İnsanlığın uzayın keşfine yönelik gelecek planlarında yalnızca Ay değil, Mars ve hatta asteroitlere yapılacak yolculuklar da var. Bu durum, uzayda kendi kendine yetebilen sistemlerin geliştirilmesini zorunlu kılıyor. Derin uzay görevlerinde en kritik adım, tüm kaynakları Dünya'dan taşımak yerine yiyecekten oksijene temel ihtiyaçların en azından bir kısmını yolculuk sırasında üretebilmek olacak. Mars'a yapılacak insanlı bir görevin yaklaşık üç yıl süreceği öngörülüyor. Yalnızca altı kişilik bir ekibin gıda ihtiyacı bile 10 tonu bulurken depolanan yiyeceklerin besin değeri azalıyor, ilaçlar bozulabiliyor. Tüm erzak Dünya'dan taşınsa bile uzun görevlerde insanların tüm ihtiyaçlarının uzaktan



ikmal ile karşılanması mümkün görünmüyor. İşte bu yüzden bilim insanları, “yanında götürmek” yerine “orada üretmek” yaklaşımına giderek daha fazla yöneliyor. Tam da bu noktada mikroorganizmalar devreye giriyor: Mikroskopik ölçekteki bu işlevsel canlılar, geleceğin uzay görevlerinde hem yaşam destek sistemlerinin hem de üretim süreçlerinin “görünmez kahramanları” olmaya aday.

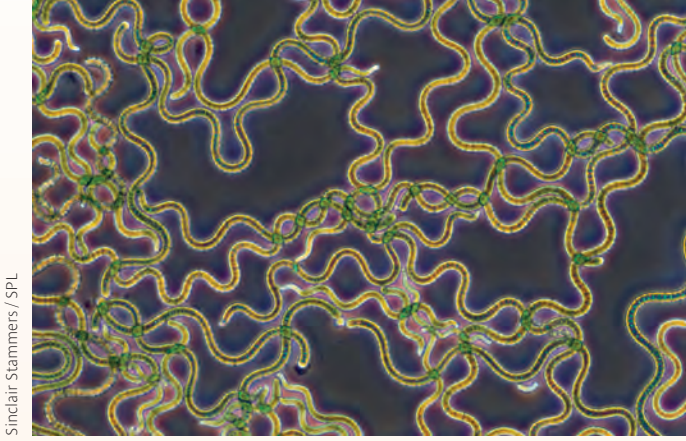
Uzayda Mikroorganizmaların Stratejik Önemi

Sütü mayalayarak yoğurda dönüştüren; ekmeğin kabarmasını sağlayan; peynire tadını veren; antibiyotikleri, vitaminleri ve fermentasyon süreci sonucu oluşan daha nice ürününü üreten mikroorganizmalar yalnızca günlük yaşamımızda değil, endüstride ve bilimsel araştırmalarda da kritik rol oynuyor.



NASA Ames Araştırma Merkezinden sentetik biyolog Lynn Rothschild, bu vizyonun öncülerinden biri. Rothschild, *Bacillus subtilis* türündeki bir toprak bakterisi üzerinde çalışıyor. Bu bakteri metabolizmasını yavaşlatarak uzun süre varlığını sürdürebilen dayanıklı sporlar üretebiliyor ve zorlu koşullarda hayatta kalabiliyor. Rothschild'in hedefi, bu bakteriyi Mars'ın zor koşullarına uyarlayarak Mars toprağında bolca bulunan ve astronotların sağlığını tehdit eden perklorat (ClO_4^-) bileşiklerini zararsız kimyasal türlere dönüştürmek ve aynı zamanda ihtiyaç duyulan ilaçları sentezleyebilmek. Böylece astronotlar, yanlarına büyük hacim kaplayan ilaç stokları taşımak yerine pasif forma geçirilmiş bakteri sporlarından oluşan bir "mikrobiyal eczane" götürebilecek. Böylece görev sırasında bu sporlar yeniden aktive edilerek gerekli ilaçlar üretililecek. Özellikle Güneş'ten gelen radyasyonun kemikler üzerindeki yıkıcı etkilerini azaltacak ilaçların bu yöntemle elde edilmesi, uzun süreli yolculukların güvenliği açısından kritik bir adım olabilir.

Benzer şekilde Kaliforniya Üniversitesi Berkeley'den Adam Arkin ve ekibi de siyanobakteriler üzerine yoğunlaşıyor. Spirulina, aslında bir siyanobakteri türü olup yüksek protein, vitamin ve antioksidan içeriği sayesinde insanlar tarafından uzun süredir besin takviyesi olarak kullanılan mikroskobik bir canlıdır. Fotosentez yapabilen bu canlıların Mars'ın karbondioksit açısından zengin atmosferinden oksijen üretebilme potansiyeli, yaşam destek sistemleri açısından başlı başına çığır açıcı bir işlev olarak değerlendiriliyor. Arkin ve ekibi bu potansiyeli daha da ileri taşıdı: Mikroorganizmaya yalnızca iki gen ekleyerek ağır kesicilerde yaygın olarak kullanılan bir ilaç etken maddesi olan parasetamolün sentezlemesini sağladılar. Böylece spirulina, astronotlara hem solunum için gereksinim duydukları oksijeni hem de temel tıbbi ihtiyaçlardan biri olan bir ilacı sağlayabilir. Spirulina'nın yoğun tadı uzun vadede tüketimi güçleştirse de gelecekte yapılacak biyoteknolojik iyileştirmeler bu sınırlamayı aşarak mikrobu çok yönlü bir "uzay destek sistemi"ne dönüştürebilir.



Spirulina siyanobakterileri, genetik mühendisliği sayesinde ağır kesici üretebilecek.

Hatta altın ve bakır gibi değerli metallerin cevherlerinden ayrılmasını sağlayarak madencilikte bile kullanılıyorlar. Son yıllarda giderek daha ciddi biçimde tartışılan fikir şu: Bu kadar geniş bir işlev yelpazesine sahip olan canlılar, olağanüstü zor koşullarda da benzer görevleri üstlenebilir mi? Eğer öyleyse Mars gibi başka gezegenlerde kurulacak yaşam alanlarının temel fonksiyonlarının yerine getirilmesinde de mikroorganizmalar rol oynayabilir.



Miselium, bitkisel atıklar ve odun talaşından üretilen malzemeler.

Mikroorganizmalarla İnşa Edilen Gelecek

Mikroorganizmaların potansiyeli yalnızca gıda ve ilaç üretimiyle sınırlı değil, gelecekte Dünya dışında kurulacak yaşam alanlarının inşasında da önemli roller üstlenebilirler. Rothschild'in ekibi, "Mantar (Miselium) Temelli Mimarlık" adı verilen bir projede mantarları kullanarak uzayda yaşam alanları inşa etmeyi hedefliyor. Mantarlar, talaş ya da glikoz ve mineraller gibi besin maddeleri içeren jelimsi ortamlarda miselium adı verilen lifsi yapılar geliştirerek radyasyona dayanıklı, ses yalıtımı sağlayan, yangına karşı dirençli malzemeler oluşturuyor. Üstelik yöntem oldukça pratik: Uzaya mantar sporları ve gerekli besin maddeleriyle hazırlanmış uzayda şişirilebilen kalıplar gönderiliyor. Su ve oksijen eklendiğinde sporlar aktive oluyor, miselium ağları kalıbın içinde büyüyerek boşlukları dolduruyor ve kısa sürede sağlam bir yapı ortaya çıkarıyor.

Hindistan Bilim Enstitüsünden Alope Kumar, Mars ve Ay yüzeyini kaplayan, taneli ve gevşek yapısıyla kilden çok kuma benzeyen regoliti şekillendirmek için farklı bir yöntem geliştirdi. Regolitten kalıcı yapılar inşa etme sorununun çözümü, *Sporosarcina pasteurii* adlı

bakteride gizli. Bu bakteri, üreaz enzimi aracılığıyla üreyi parçalayarak kalsiyum karbonat oluşturuyor ve böylece kireç taşı benzeri sert bir yapı meydana geliyor. Ürenin uzay görevlerindeki en pratik kaynağı astronotların idrarı olabilir. Bu sayede hem atıklar değerlendiriliyor hem de yapı malzemeleri yerinde üretilabiliyor. Proje kapsamında yapılan deneylerde Mars ve Ay toprağına benzer malzemeler kullanılarak bakteriler aracılığıyla "mikrobiyal çimento" üretildi. İlk örneklerin dayanıklılığı düşük olsa da baklagillerden elde edilen doğal bir polisakkarit olan guar gam adlı katkı maddesi eklendiğinde bu malzemeden üretilen tuğlaların mekanik direncinin belirgin biçimde arttığı ortaya kondu.

Başka bir dikkat çekici araştırma ise Hollanda'daki Delft Teknoloji Üniversitesinde gerçekleştirildi. Benjamin Lehner ve ekibi, *Shewanella oneidensis* adlı bakterinin demir oksitleri elektron transferi yoluyla daha basit formlara dönüştürme yeteneğinden yararlanarak Mars toprağını taklit eden malzemeyi işledi ve kullanılabilir demir elde etti. Bu mikroskopik canlılar âdeta "biyolojik metal işçileri" gibi davranarak Mars'ın kırmızı toprağından, işlevsel olarak değerli bir kaynak olan metalik demir elde etmiş oldu. Elde edilen demir, 3D yazıcı teknolojisiyle silindirik şeklinde küçük bloklara dönüştürüldü ve test edildi. Sonuçlar şaşırtıcıydı: Elde



BioNutrients projesi, genetiği değiştirilmiş mayalardan uzayda besin ve ilaç üretmeyi amaçlıyor.

edilen demirin dayanıklılığı geleneksel yöntemlerle üretilen benzerlerine kıyasla dört kat daha yüksek çıktı. Bu bulgu, gelecekte astronotların yanlarında yüksek kütleli ve hacimli endüstriyel ekipmanlar taşımak yerine mikroorganizmalar sayesinde görev yaptıkları gök cisminin toprağından doğrudan sağlam yapı malzemeleri üretebileceğini ortaya koyuyor.

Sentetik Biyoloji ile Uzayda Hayatta Kalmak

Bütün bu çalışmaların temelinde hızla ilerleyen bir bilim dalı var: sentetik biyoloji. Bu alan, canlı hücreleri birer biyolojik fabrika gibi yeniden programlamayı amaçlıyor. Böylece mikroorganizmalar yalnızca laboratuvarlarda araştırılan organizmalar değil, genetik mühendisliği sayesinde ihtiyaç duyulan ürünleri üreten sistemlere dönüşüyor. CRISPR-Cas9 gibi gen düzenleme teknikleri, yeni nesil DNA dizileme yöntemleri, yapay zekâ ve büyük veri analizleri bu süreci hayli hızlandırıyor. Bu ilerlemeler, uzay görevlerinde biyolojik üretim sistemlerinin tasarlanmasına da olanak tanıyor. Örneğin NASA'nın BioNutrients projesinde genetiği değiştirilmiş mayalar beta-karoten ve K vitamini üretiyor. Gelecekte astronotlar yanlarına yalnızca mikrobiyal kapsüller alacak, bu kapsüller suyla aktive edildiğinde vitamin, antioksidan ya da ilaç sentezleyen biyolojik sistemlere dönüştürülebilir.

Elbette bu vizyonun önünde engeller de var. Mars, mikroorganizmaların varlığını sürdürebilmesi açısından son derece elverişsiz bir ortam. Aşırı düşük sıcaklıklar, erişilebilir sıvı suyun sınırlı olması, yüksek düzeyde iyonlaştırıcı radyasyon, perklorat gibi toksik bileşikler ve düşük atmosfer basıncı biyolojik sistemler için büyük tehditler oluşturuyor. Araştırmacılar bu nedenle çözümü yine doğada arıyor: Çernobil kazasından sonra reaktör binasının duvarlarında rastlanan radyasyona dayanıklı mantarlar, buzulların içinde yaşayan algler, perklorat içinde gelişebilen bakteriler geleceğin uzay koşullarına dayanıklı mikroorganizmalarının nasıl



tasarlanacağına dair doğal modeller sunuyor. Ayrıca laboratuvar ortamında hızlandırılmış kontrollü genetik iyileştirme yöntemleriyle mikroorganizmaların en dirençli türleri seçiliyor ve kısa sürede yeni özellikler kazandırılabilir. Böylece normalde çok uzun zaman alabilecek uyum süreçleri, kontrollü deneylerle birkaç yıl içinde gerçekleştirilebilir.

Sonuç olarak mikroorganizmalar insanlığın Dünya dışındaki kalıcı varlığı açısından stratejik öneme sahip biyoteknolojik araçlar. Astronotların ihtiyaç duydukları gıda, ilaç, oksijen ve yapı malzemesi gibi maddeleri yanlarında taşımak yerine gittikleri gök cisminin koşullarında üretmelerine imkân tanıyabilirler. Bu yaklaşım, lojistik bağımlılığı azaltmanın yanı sıra uzun süreli görevlerin sürdürülebilirliği için de kritik bir avantaj sunuyor. Belki de geleceğin astronotları, mikrobiyal yaşam destek sistemleri sayesinde Dünya'dan çok uzaklarda bile kendi yaşamlarını sürdürebilecek. ■

Kaynaklar

- <https://doi.org/10.1038/d41586-025-00319-5>
- <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0266415>
- <https://doi.org/10.3389/frspt.2025.1550526>
- <https://www.the-scientist.com/designer-microbes-aid-space-exploration-efforts-73274>
- <https://www.nature.com/articles/s41467-023-37910-1>

Alg Tabanlı Biyoplastik Habitatlar Mars'ta Yaşamı Mümkün Kılabilir

Dr. Özlem Ak [TÜBİTAK Bilim ve Teknik Dergisi



Dunaliella tertiolecta, biyoplastik polilaktik asitten yapılan odacıklarda gelişiyor. Uzayda bu tür habitatlarda alg ve bitki yetiştirmek, kendi kendine yeten bir döngüyle yeni yapı malzemeleri üretmeyi mümkün kılabilir.

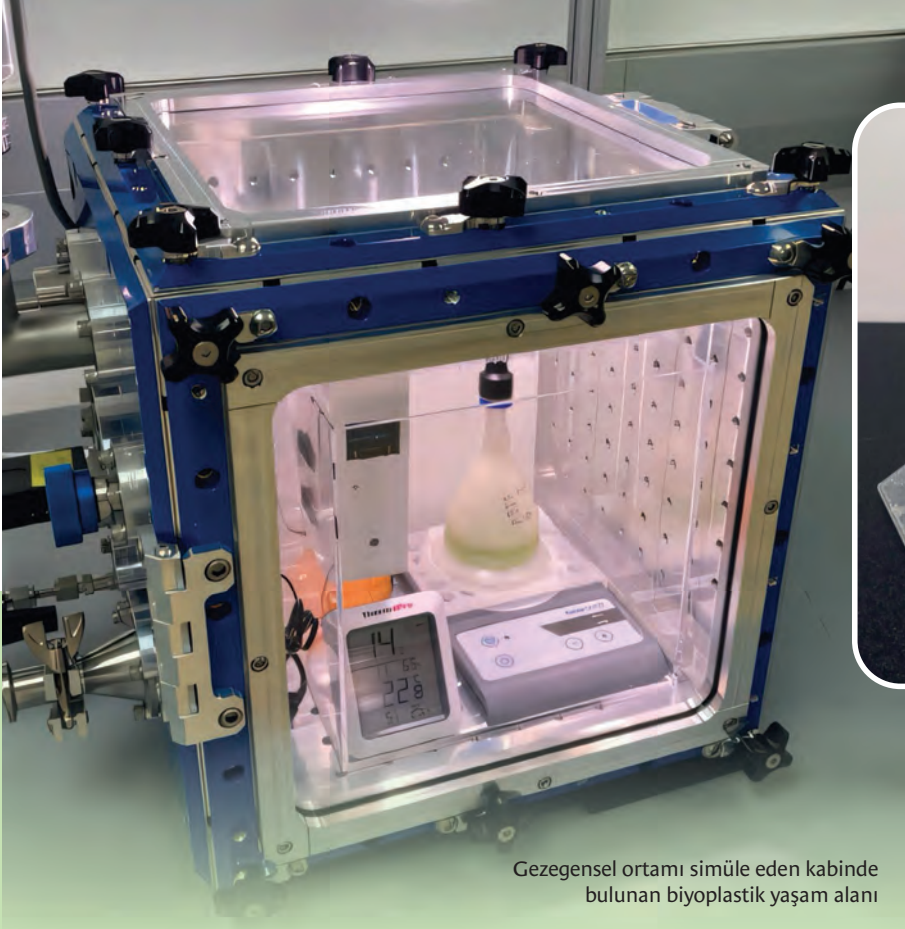
Bu zorluklara karşı Harvard Üniversitesinden bir araştırma ekibi, yenilikçi bir çözüm öneriyor: biyolojik üretim temelli habitatlar. Prof. Dr. Robin Wordsworth'un liderliğini yaptığı ekip, Mars'ta yerinde üretim için biyolojik süreçleri temel alan bir sistem geliştirdi. Bu sistemin merkezinde biyoplastik üretimi ve alglerin olağanüstü adaptasyon yeteneği var. Ekip, *Dunaliella tertiolecta* adlı yeşil algleri, polilaktik asit (PLA) adı verilen biyoplastikten üretilmiş ve çeperlerinin kalınlığı 1 milimetre olan habitatların içinde yetiştirdi. PLA, biyolojik olarak parçalanabilir çatal-bıçak setlerinden tıbbi malzemelere kadar birçok alanda kullanılan, bitki kaynaklı bir biyoplastik türü. Araştırmacılar, PLA'nın ışığı geçirebilmesi ve dayanıklılığının yüksek olması gibi özelliklerinden yararlanarak algler için korunaklı bir mikrohabitat oluşturdu.

science.org

Mars, insanlığın uzay alanındaki uzun vadeli keşif hedefleri arasında öne çıkıyor. Ancak Kızıl Gezegen'de kalıcı yaşam alanları inşa etmek, bugünkü teknolojiyle ciddi mühendislik ve biyolojik zorluklar barındırıyor. Mars'ın atmosfer basıncı Dünya'nunkinin yalnızca %1'i seviyesinde ve bu koşullar, sıvı suyun yüzeyde kararlı bir şekilde var olmasına izin vermiyor. Üstelik Mars atmosferi, yaşam için gerekli

oksijen ve azot yerine büyük oranda karbondioksitten oluşuyor. Ortalama yüzey sıcaklığı -60 °C civarında seyrediyor. Gezegenin yüzeyi, sürekli zararlı kozmik radyasyona maruz kalıyor. Tüm bunlar, Mars'ta sürdürülebilir yaşam kurma çabalarını ve mühendislik sınırlarını zorlayan bir meseleye dönüştürüyor. Dünya'dan yüzlerce ton inşaat malzemesi taşımak ise hem ekonomik hem de lojistik açıdan sürdürülemez görünüyor.

Deneyler sırasında Mars'ın zorlu atmosfer koşulları laboratuvar ortamında simüle edildi. Bu amaçla oluşturulan odacıklar, yalnızca 600 Pascal'lık bir atmosfer basıncına (Dünya



Gezegensel ortamı simüle eden kabinde bulunan biyoplastik yaşam alanı



Alglerin büyüdüğü biyoplastik yaşam alanı

atmosferinin %6'sı) sahip olacak şekilde, %98'den fazla karbondioksit içeren bir gaz karışımı ile dolduruldu. Normal koşullarda bu kadar düşük basınçta sıvı su buharlaşarak hızla gaz hâline geçer. Çünkü suyun sıvı hâlde kalabilmesi için belirli bir basınç gerekir. Araştırmacılar bu amaçla alglerin büyütüldüğü habitatın sıcaklığını 23 °C, basıncını ise 3.000-4.000 Pa olarak ayarladı. Ancak biyoplastik habitatın oluşturduğu basınç farkı (gradyanı), suyun buharlaşmasını önleyerek kararlı bir şekilde sıvı formda tutulmasını sağladı. Dahası PLA habitatlar zararlı morötesi ışınları büyük ölçüde engellerken fotosentez için yeterli ışığın içeri girmesine de izin verdi. Algler bu koşullar altında 10 gün boyunca büyümeyi sürdürerek fotosentez yaptı ve Dünya'daki büyüme hızlarına yakın bir performans gösterdi.

Bu buluşun önemi, sadece alglerin ekstrem koşullarda yaşayabildiğini göstermesi değil aynı zamanda kapalı bir biyolojik döngünün temellerini atmasında yatıyor. Wordsworth'e göre eğer habitat biyoplastikten oluşuyorsa ve bu habitat içinde algler yetiştiriliyorsa bu algler zamanla daha fazla biyoplastik üretebilir. Böylece kendi kendine yetebilen ve büyüeyebilen kapalı bir sistem kurulabilir. Böyle bir sistem sayesinde Mars'ta kurulacak yaşam alanları, Dünya'dan sürekli malzeme taşımaya gerek kalmadan genişletilebilir.

Harvard ekibi daha önce de bu amaçla lokal sera etkisi oluşturarak sıcaklığı artıran silika aerogel tabakalarını test etmişti. Şimdi biyoplastik habitatları bu aerogellerle birleştirmek hem sıcaklık hem de basınç ile ilgili sorunları çözerek bitki ve alg yetiştiriciliğini daha

uygulanabilir hâle getirebilir.

Araştırmacılar, bir sonraki adımda sistemlerini vakum ortamlarında test etmeyi planlıyor. Bu testler, atmosferi olmayan Ay'da ya da derin uzay koşullarında sistemin uygulanabilirliğini görmek açısından kritik önem taşıyor. Ayrıca kendi kendine biyoplastik üretebilen tam bir kapalı döngü habitat sistemi tasarlamak da planları arasında.

Mars'ta alglerden inşa edilen habitatlar gibi yenilikçi yaklaşımlar yalnızca uzayda değil, Dünya'daki sürdürülebilirlik teknolojileri için de örnek teşkil ediyor. Kendi kendine yetebilen biyolojik sistemler, kaynakları tüketmeden yaşamı destekleme konusunda gezegenimizde de çığır açabilir. ■

Kaynak

<https://www.science.org/doi/10.1126/sciadv.adp4985>

Filtre Balonu

Algoritmalar Sosyal Medyada Hangi İçerikleri Karşımıza Çıkartıyor?

Rıdvan Gençer [Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi Sosyal Bilgiler Eğitimi Bölümü Doktora Öğrencisi

İnternette arama yaptığımızda karşımıza çıkan sonuçlar sadece arama terimlerinin uygunluğuna göre mi sıralanıyor ya da sosyal medyada gördüğümüz içerikler gerçekten rastgele mi karşımıza çıkıyor? Aslında çoğu zaman algoritmalar ilgi alanlarımıza göre bilgi akışını şekillendiriyor ve bizi fark etmeden kendi fikirlerimizi destekleyen bilgilerden oluşan bir filtre balonunun içine hapsediyor.





Filtre balonu kavramı ilk olarak 2011 yılında Eli Pariser tarafından kaleme alınan *The Filter Bubble* adlı kitapta ortaya atıldı. Ancak bu kitabın çıkış noktası olan gelişmeler 2009 yılında Google'ın kişiselleştirilmiş arama özelliğini duyurmasıyla başladı. Kişiselleştirilmiş aramada, kullanıcıların geçmiş aramaları izlenerek bu veriler daha fazla kişiselleştirilmiş arama sonuçları sunmak için kullanıldı. Kısa süre sonra Facebook, YouTube ve diğer teknoloji şirketleri de benzer yöntemle kullanıcıların ilgi alanlarına yönelik içerikler sunmaya başladı. Sonraki yıllarda makine öğrenmesi yöntemleri kullanarak kullanıcı davranışları tahmin edildi. Günümüzde ise kullanıcıların beğeni, izleme süresi, yorum ve paylaşım yapma gibi etkileşim verilerini temel alan sistemler kullanılıyor. Örneğin yüksek etkileşim olan içerikler daha fazla öne çıkarılırken diğerlerinin görünürlüğü azaltılıyor. Kişiselleştirilen içerikler, kullanıcı deneyimini geliştiriyor gibi düşünülse de ciddi riskler doğurabiliyor. Sosyal medyada ve diğer dijital platformlardaki davranışlarımız izlenerek ilgi alanlarımız ve görüşlerimiz tespit edildiğinde ve karşımıza çoğunlukla benzer içerikler çıkarıldığında ilgi alanımız dışındaki konularla ve farklı fikirlerle karşılaşma olasılığımız azalıyor. Bir nevi kendi görüşlerimizi destekleyen bilgilerle dolu dijital bir balonun

Cavan Images / iStock

Internette glütensiz beslenmeyle ilgili bir arama yaptığımızı düşünelim. Google, Yandex ya da kullandığımız başka bir arama motoru saniyeler içinde karşımıza binlerce sonuç çıkarıyor. Sıralanan arama sonuçları arasında ise çoğunlukla ilk sayfadakilere özellikle de ilk sıradakilere tıklamayı tercih ediyoruz. Ancak arama motorları aynı kelimelerle arama yapan iki insana aynı sonuçları göstermiyor. Çünkü sonuçlar sadece ilgi düzeyine göre sıralanmıyor; arama geçmişimiz, sosyal medya platformlarındaki etkileşimlerimiz, arama yaptığımız konum ya da zaman gibi farklı kriterler dikkate alınarak kişiselleştiriliyor. Çoğu insan böyle bir filtreleme yapıldığının farkında değil, farkında olsa bile bu filtrelemenin neye göre yapıldığı

kullanıcıya açıklanmıyor. Eğer siz de internette ya da sosyal medya platformlarında karşılaştığınız haberlerin, videoların ve diğer içeriklerin gittikçe daha çok birbirine benzemeye başladığını fark ettiyseniz dijital dünyada nasıl yönlendirildiğinize dair önemli bir ipucunu yakaladınız demektir.

Dijital dünyada hangi içeriklerle karşılaşacağımızı belirleyen algoritmalar, gün geçtikçe daha fazla benzer içeriğe maruz kalmamıza sebep oluyor ve ulaştığımız bilgi çeşitliliğini sınırlandırıyor. Bunu internetteki davranışlarımızı yani dijital izlerimizi takip edip nelerle ilgilendiğimizi tahmin ederek yapıyorlar. Bu durum filtre balonu olarak isimlendiriliyor.

içinde yaşamaya başlıyoruz. Yani entelektüel olarak çevremizden yalıtılıyor.

Bu durumun bireysel olduğu kadar toplumsal etkileri de var. Örneğin 2020 yılında başlayan COVID-19 salgını sürecinde aşıyla ilişkili yanlış bilgiler algoritmaların etkisiyle hızla yayıldı. Kullanıcılar, duygusal tepki uyandıran bu içeriklerle daha fazla etkileşime geçtiği için algoritmalar bu içerikleri daha fazla kişiye önerdi ve kullanıcılar tekrar tekrar benzer haberlerle karşılaştı. Bu da toplumda bilgi kirliliğine, doğru bilgiye erişimde güçlüklerle ve aşılara duyulan güvenin sarsılmasına neden oldu.

Peki bu “balon”dan nasıl çıkabiliriz? Her şeyden önce filtre balonlarının farkında olmamız gerekiyor. Sosyal medyada ve diğer dijital platformlarda karşılaştığımız içeriklerin rastgele değil, algoritmalar tarafından filtrelenerek karşımıza çıktığını bilmeliyiz. Bu nedenle sosyal medyada gördüğümüz her içeriği doğru kabul etmeden önce kaynağını kontrol ederek, başka güvenilir kaynaklarla karşılaştırarak, spekülasyon ifadeleri sorgulayarak değerlendirmemiz çok önemli. Instagram, Facebook, TikTok ve YouTube gibi platformlar bizi daha uzun süre çevrim içi tutmak için beğenilerimize ve ilgi alanlarımıza uygun içerikleri öne çıkarıyor. Dolayısıyla bu platformlarda çok

uzun süre vakit geçirmemek, karşılaştığımız içerikleri eleştirel bir gözle değerlendirmek ve farklı kaynaklardan doğrulamak büyük önem taşıyor.

Dijital dünyada bilgiye ulaşırken filtre balonu etkisinden kaçınmak için doğru bilgiye ulaşma yöntemlerini kullanmak iyi bir başlangıç olacaktır. Sadece düşüncelerine katıldığımız kişileri değil, farklı bakış açılarını da değerlendirmek eleştirel düşünme becerilerimizi geliştirir. Kullandığımız uygulamaların hangi verilerimizi topladığını ve bu verileri kimlerle paylaştığını bilmek de önemli. Bu uygulamaların kullanıcı sözleşmelerini dikkatle incelemeli, dijital cihazlarımızın mikrofon,

kamera ve galeri gibi özelliklerine erişim izinlerini düzenli olarak kontrol etmeliyiz.

Medya okuryazarlığı ve dijital okuryazarlık becerilerini geliştirmek ise filtre balonlarının etkisinden korunmanın en etkili yollarından biri. Bu sayede geleneksel ya da dijital medya içeriklerini sorgulayabilir, analiz edebilir ve dijital ortamda ulaştığımız bilgileri eleştirel bir gözle değerlendirebiliriz. Doğru ve güvenilir bilgiye ulaşmak için farklı kaynaklara yönelir, telif haklarına saygı gösterme ve doğru bilgi paylaşımı yapma gibi etik sorumluluklar ediniriz. Ayrıca kişisel verilerimizi koruma bilinci kazanarak dijital gizliliğimizi güvence altına alır, sahte hesaplara karşı daha dikkatli oluruz. ■



Kaynaklar

- Pariser, E., *The Filter Bubble: What the Internet Is Hiding from You*. Penguin Press, 2011.
https://www.academia.edu/118416530/Dijital_Geleceğin_Öğrencisi
<https://doi.org/10.1038/s41598-020-73510-5>
<https://doi.org/10.1177/0266382117722446>
<https://googleblog.blogspot.com/2009/12/personalized-search-for-everyone.html>
<https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC4937233/>
<https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC8923337/>
<https://bilimgenc.tubitak.gov.tr/makale/filtre-balonu-nedir-kisiselleştirilmiş-iceriklerin-ardındaki-gorunmez-duvar>

Hastalıklar Kadınları ve Erkekleri Neden Farklı Etkiliyor?

Dr. Özlem Ak [TÜBİTAK Bilim ve Teknik Dergisi

Kadınlar ve erkekler aynı hastalıkları farklı şekillerde yaşayabiliyor, ancak bu farkın nedeni yalnızca genetik değil. Yeni bir araştırma, protein düzeylerinden yaşam koşullarına, hormonlardan çevresel etkilere kadar pek çok unsurun bu ayrımı şekillendirdiğini ortaya koyuyor.

Hastalıkların erkek ve kadınları neden farklı etkilediğini açıklayan yeni bir araştırma, bu farkların yalnızca genetikle açıklanamayacağını ortaya koydu. Queen Mary Üniversitesinin öncülüğünde yürütülen uluslararası bir çalışmada erkekler ve kadınlar arasında görülen sağlık riskleri, hastalıkların belirtileri ve sonuçlarındaki farklılıkların altında yatan biyolojik nedenlere dair yeni bulgular elde edildi.

Berlin Charité Sağlık Enstitüsü, Cambridge Üniversitesi Tıbbi Araştırma Konseyi (MRC) Epidemiyoloji Birimi ve diğer kurumların iş birliğiyle gerçekleştirilen araştırmanın sonuçları *Nature Communications* dergisinde yayımlandı. Araştırma ekibi biyolojik örnekleri, sağlık kayıtları ve

yaşam tarzı verilerini içeren geniş ölçekli bir veri tabanı olan İngiltere Biobank ile obezite ve diyabetin belirlenmesinde genetik ve yaşam tarzı faktörleri arasındaki etkileşimleri araştıran popülasyona dayalı bir araştırma olan Fenland çalışmasından elde edilen verilerle yaklaşık 56 bin erkek ve kadının genetik yapıları, hastalık öyküleri ve 6.000'e yakın proteinin düzeyleri arasında kapsamlı bir karşılaştırma yaptı.

Analizler sonucunda bu proteinlerin üçte ikisinin erkeklerde ve kadınlarda farklı seviyelerde bulunduğu tespit edildi. Bu farkın nedeninin kalıtsal olup olmadığını anlamak için protein düzeylerini kontrol eden genetik faktörler daha yakından incelendiğinde 6.000'e yakın proteinin yalnızca 103'ünün düzeyindeki

mikurbas / iStock



kkrs / iStock

cinsiyete bağılı farklılığın genetik kökenli olduğu ortaya çıktı. Yani protein düzeylerindeki farklılıklar çoğunlukla genetikle açıklanamıyor.

Bu bulgular, özellikle ilaç geliştirme ve bireye özel tıbbi yaklaşımların tasarlanması açısından önemli fırsatlar sunuyor. Erkeklerde ve kadınlarda bazı proteinler farklı miktarlarda üretse de yeni araştırma bu farkın temelinde yatan nedenlerin çoğunlukla genetik olmadığını gösteriyor. Bilim insanları, bu durumun nedenlerinin anlaşılması için sadece genetik verilere değil aynı zamanda hormonların; çevresel koşulların; yaşam tarzı, eğitim, ekonomik durum ve bireylerin yaşadığı yer gibi tıbbi olmayan faktörlerin de değerlendirilmesi gerektiğini vurguluyor. Erkeklerin ve kadınların sağlık durumları arasında görülen farkları anlamak için bu etkenlerin daha fazla dikkate alınması gerektiği ifade ediliyor.

Araştırmanın başyazarı ve Queen Mary Üniversitesinde doktora sonrası araştırmacı olan Mine Köprülü, bu düzeyde bir biyolojik analizin şimdiye kadar bir örneği olmadığına dikkat çekiyor. Genler, proteinler ve diğer biyolojik mekanizmalar üzerinden yapılan bu çalışma, genetik kodun kandaki protein seviyelerini erkeklerde ve kadınlarda nasıl farklı şekilde düzenlediğini inceleyen ilk büyük araştırma olarak öne çıkıyor. Köprülü, sağlık durumlarındaki farklılıklar hem genetik düzeyde hem de diğer biyolojik ve çevresel faktörlerin etkileriyle birlikte anlaşıldığında, kişiye özel sağlık hizmetleri geliştirmenin mümkün olabileceğini söylüyor.

Berlin Charité Sağlık Enstitüsünde hesaplamalı tıp profesörü olan Claudia Langenberg de bu çalışmanın hassas tıp yaklaşımları açısından taşıdığı öneme işaret ediyor. İlaç geliştirme süreçlerinde genetik faktörlerin protein düzeyleri üzerindeki etkilerinin giderek daha fazla göz önünde bulundurduğunu ve bu nedenle

hasta verilerinin toplandığı veri havuzlarının oluşturulması için yatırım yapıldığını hatırlatıyor. Erkekler ve kadınlar arasında protein düzenlemesindeki farklılıkların detaylı biçimde anlaşılmasının, kişiselleştirilmiş tedavi modellerinin geliştirilmesine katkı sağlayabileceğini belirtiyor. Elde edilen veriler, bugüne kadar tanımlanmış protein mekanizmasını düzenleyen genetik varyantların (DNA dizilimindeki değişimler) çoğunun erkeklerde ve kadınlarda benzer şekilde etki ettiğini gösteriyor. Bu da söz konusu genetik bulguların her iki cinsiyet için de geçerli olabileceği yönündeki varsayımı büyük ölçüde destekliyor.

Sonuç olarak bu araştırma, kadınların ve erkeklerin sağlık durumları arasında görülen farkları anlamak için genetik değişkenlerin dışındaki faktörlerin de incelenmesi gerektiğini güçlü biçimde ortaya koyuyor. Ve bu da gelecekte daha kapsayıcı, dengeli ve bireyselleştirilmiş bir sağlık sistemi kurma çabalarına önemli bir katkı sunuyor. ■

Kaynak

<https://doi.org/10.1038/s41467-025-59034-4>

BİLİM TARİHİNDEN NOTLAR

Prof. Dr. Hüseyin Gazi Topdemir

[Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, Edebiyat Fakültesi, Felsefe Bölümü, Bilim Tarihi Anabilim Dalı]

Fârâbî'nin Bilimsel Çalışmaları III

Fârâbî'nin bilimsel alanları sınıflandırırken kullandığı yaklaşım, birçok bakımdan Antik Yunan Dönemi filozoflarınınunkinden özellikle de Muallim-i Evvel yani ilk öğretmen olarak kabul edilen Aristoteles'ten önemli farklılıklara sahiptir. Fârâbî, *İlimlerin Sayımı* adlı kitabında bilimleri “dil”, “mantık”, “matematik bilimleri”, “tabiat ve metafizik”, “siyaset, fıkıh ve kelam” olmak üzere beş ana grupta sınıflandırırken Aristoteles, bilimleri üç gruba ayırır. “Uygulamalı bilimler” başlığı altında etik ve siyaset; “teorik bilimler” başlığı altında tabiat, matematik ve metafizik; üretken bilimler başlığı altında ise sanat ve zanaat dallarını sayar. Fârâbî, dil ve mantık bilimlerinden bağımsız birer bilim dalı olarak söz ederken Aristoteles, mantığı bağımsız bir bilim dalı değil, düşünmenin yöntemi olarak görür. Fârâbî matematik bilimleri başlığı altında aritmetik, geometri, optik, astronomi, müzik, ağırlıklar ve tedbir disiplinlerini sıralar. Ayrıca beşinci grup olarak da siyaset, fıkıh ve kelamı sayar.



Fizik Çalışmaları

Fârâbî'nin çalıştığı alanlardan biri de tabiat ya da diğer bir adıyla fiziktir. Fiziğin temel çalışma konuları olan hareket, değişim, boşluk, ışık ve görme vb. gibi alanlarda yenilikçi yaklaşımlar geliştirmiştir. Özellikle boşluk, ışık ve görme konularındaki görüşleri dikkate değerdir. *İlimlerin Sayımı* adlı kitabının matematik başlığı altında yer verdiği optik bölümünde geleneksel

bilim sınıflandırmasına uygun olarak ışığı, ışık türlerini ve görme konularını irdeler. Optiği matematiğin uygulamalı bir dalı olarak tanımlayarak “geometrinin en fazla müdahil olduğu” disiplin olarak değerlendirir.

Optik ve Görme

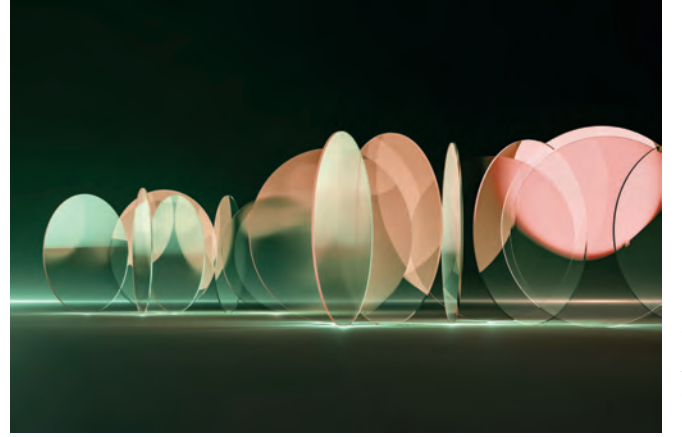
Optiğin inceleme konularının geometrinin ele aldığı konularla örtüştüğünü belirten Fârâbî, buna karşın optiğin neden geometriden bağımsız bir disiplin olarak tanımlandığını sorgular. Optik, konusu bakımından geometriden farklı olsa da Fârâbî ışığın doğasını, yayılımını, yansımalarını ve görüş açısını geometriye başvurarak açıklar. Bu sayede görmede oluşan farklılıkların neden kaynaklandığı ve göz bozukluklarının tespiti yapılabilir. Buna dayanarak ve perspektif kurallarına bağlı olarak görmenin nasıl oluştuğunu açıklamaya çalışan Fârâbî, kitabında doğrudan görme ve yansıma konusuna yer verir.

Öncelikle görmenin nasıl gerçekleştiğini yani görmede geçerli olan ilke ve kuralları sıralar. Daha sonra gök cisimlerinin uzaklıklarının ve büyüklüklerinin astronomik ölçüm aletleri kullanılarak optik yasaları sayesinde hesaplanabileceğini söyler. Bu bağlamda doğrudan görmenin temel unsurlarından bir diğeri olan ışığın kaynağı meselesine kısaca değinir ve “Kendisine bakılan ve görülen her şey ancak gözümüz ile gördüğümüz şey arasında bulunan ortama (hava veya saydam başka bir cisim) nüfuz



edip o nesneye ulaşan ışık sayesinde görülür.” şeklinde bir tanıma yer verir. Fârâbî’nin ifadelerinden ışığın kaynağının göz olduğunu ve görmenin gerçekleşmesi için saydam ortama ihtiyaç duyulduğunu düşündüğü anlaşılır. Ardından o dönemdeki genel anlayıştan farklı olarak ışığı doğrusal, sapmış, yansımış ve kırılmış olmak üzere farklı türlere ayırır ve bunların kısa tanımlarını yapar. Optiği görmenin bilimi olarak kabul ettiği anlaşılan Fârâbî, görmeyi doğrudan görme ve yansıma aracılığıyla görme şeklinde iki alt dala ayırır.

Yansıma aracılığıyla görmeyi açıklarken o dönemki bilimsel kaynaklarda rastlanmayan ama kendi gözlemlerinden türettiği bir tanımlamada bulunur. Öncelikle gözden çıkan ışığın ayna yüzeyine düştüğünde yön değiştirerek uzaklaştığını öne sürer ki bu yansıma olayının temelini doğru biçimde tanımlayan doğru bir açıklamadır. Ancak Fârâbî, yüzeye çarptıktan sonra yön değiştiren ışığı “yansıyan” değil, “sapan ışık” olarak isimlendirir. Saptıktan sonra tekrar göze gelen ışığı ise “yansıyan”



gremlin / iStock

ışık olarak tanımlar. Yani sapan ışık yüzeye çarpıp yön değiştiren, yansıyan ışık ise yön değiştirdikten sonra göze ulaşıp görmenin gerçekleşmesini sağlayan ışıktır. Bir de kırılmış ışıktan söz eder ki bu ışık da yüzeye çarpıp yön değiştiren ışıkla paralel yönde hareket eden ancak göze ulaşmayan ışıktır. Fârâbî; sapan, yansıyan ve kırılan ışıkların tümü aynaya çarptıktan sonra yön değiştiren ışığın yayılım yönüne göre tanımlar. Bu, Fârâbî’ye özgü bir sınıflandırmadır

Boşluk Üzerine

Fârâbî, geometri konusunda kaleme aldığı eserlerinde mekân ve boşluk hakkındaki düşüncelerine de yer verir. *Boşluk Üzerine* başlıklı bağımsız bir makale de yazmıştır. Deney ve gözleme dayalı bir çalışma olan bu eserinde çok eski dönemlerden itibaren üzerinde tartışmaların yapıldığı “Doğada boşluk var mıdır, yok mudur?” sorusuna cevap arar. Bu tartışma ilgili o dönemde yaygın iki görüş vardı: Atomcu felsefeyi destekleyen Leukippos ve Demokritos gibi düşünürler boşluğun varlığını savunurken Aristoteles, varlık hakkındaki temel varsayımlarıyla bağdaşmadığı için boşluğun



varlığını reddiyordu. Fârâbî, bu iki yaklaşımı sınamak için konuyu deneysel olarak irdeledi ve ulaştığı sonuçları bu çalışmasında sundu.

Fârâbî, deneyin sonuçlarını doğada boşluk bulunmadığı yönünde yorumlar. Çünkü yuvarlak ve kenarları düzgün biçimli bir kap baş aşağı çevrilip su dolu bir kabın içerisine batırılırsa içine hiç su girmediği görülür. Bu demektir ki hava bir cisimdir ve kabın tamamını doldurduğu için boşluk yoktur. Bundan dolayı da kaba su girmemiştir. Buna karşılık eğer bir şişe ağzından bir miktar hava emildikten sonra suya batırılırsa suyun, şişenin içinde yükseldiği görülür.

Aristoteles’in doğa anlayışına göre her nesnenin doğası gereği bir yeri bulunur ve serbest bırakıldığında doğal yerine gitme eğilimine sahiptir. İkinci deneyde ise bu görüşe aykırı bir durum ortaya çıkmış, su doğasına aykırı olarak yukarıya yükselmiştir. Dolayısıyla bu durum, Aristoteles’in doğa anlayışı ile açıklanamaz. Bunun üzerine Fârâbî hem Aristoteles’in düşüncelerini geliştiren hem de deneyde gözlenen bu durumu açıklayabilen bir varsayım ileri sürer. Ona göre su ile hava birbirleriyle temas hâlinde ve tabiatları gereği birbirlerinin yerine geçme eğilimindedir. Yani biri bir yerden çekildiğinde diğeri onun terk ettiği yeri asla boşluk oluşmayacak şekilde doldurur. Fârâbî’ye göre ikinci deneyde

suyun şişenin içinde yükselmesinin nedeni boşluk değil, şişenin içindeki havanın doğal yerine dönerken temas hâlinde olduğu suyu da beraberinde götürmesidir.

Bunun deney sonuçlarını açıklamada bütünüyle tutarlı bir açıklama olduğunu söylemek doğru olmaz ancak iki bakımdan önemlidir: Birincisi suyun yükselmesi durumunu, havanın yer kaplayan ve hacmi değişebilir bir cisim olduğu yönündeki gözleme dayalı yani olgusal bilgiye dayanarak açıklamasıdır. İkincisi ise o dönem yerleşik olan doğa anlayışındaki “nesnelerin doğası gereği bir yeri olduğu ve serbest bırakıldıklarında doğal yerlerine hareket ettiği, boşluk olsaydı nesnelerin boşluğa çekileceği” kabulü yerine “temas hâlindeki nesnelerin örneğin hava ile suyun birbirinin yerine geçme özelliğine sahip olduğu” düşüncesini ileri sürmesidir. Bu yaklaşım daha sonraki yüzyıllarda “Doğa boşluktan kaçınır.” düşüncesine yol açmıştır ve Roger Bacon (1213-1292) tarafından genel bir doğa ilkesi hâline getirilmiştir. Bir diğer önemi ise on yedinci yüzyılda atmosfer basıncı kavramının ortaya çıkmasına yol açan süreci başlatmış olmasıdır.

Gelecek sayımızda Roger Bacon’ın bilimsel çalışmalarını ele alacağız. ■

Kaynaklar

Arslan, A. “Önsöz”, Farabî içinde, İlimlerin Sayımı (Çev. A. Arslan,), İstanbul: Türkiye İş Bankası, 2019.

Farabi, *İlimlerin Sayımı*, Çeviren: Ahmet Arslan, İstanbul: Türkiye İş Bankası, 2019.

Fârâbî, *Risâle Fî el-Halâ*, Çeviren: Necati Lugal ve Aydın Sayılı, *Ebû Nasr il-Fârâbî’nin Halâ Üzerine Makalesi*, Ankara: Türk Tarih Kurumu, 1951.

Sayılı, A., “Fârâbî’nin Halâ Hakkındaki Risâlesi”, *Belleten*, Cilt: 15, Sayı: 57, Ankara: Türk Tarih Kurumu, 1951 s. 123-149.

Topdemir, H. G., *Fârâbî*, (3. Baskı), İstanbul: Say Yayınları, 2017.

**Doğa
Flora**

Doç. Dr. Şeyda Fikirdeşici Ergen
Ankara Üniversitesi Fen Fakültesi Biyoloji Bölümü

Akdeniz Ekosisteminin Mühendisi **Akdeniz Şerit Otu (Neptün Otu)**



Akdeniz'in sığ sularının altında uzanan ve adeta bir "ekosistem mühendisi" gibi görev yapan *Posidonia oceanica*, aynı zamanda Neptün Otu veya Akdeniz Şerit Otu olarak da bilinen bir deniz çayırı türüdür. Bu çiçekli bitki genellikle çok yıllık rizomları yani kalın ve yatay kök gövdeleri aracılığıyla vejetatif olarak çoğalır, çiçeklenme ve meyve oluşumu ise nadiren gözlenir. Bitki, deniz tabanına rizomları sayesinde tutunur. Uzun ve kurdele şeklindeki parlak yeşil yaprakları, gövdelerinden demetler hâlinde yukarı doğru çıkarak su altında devasa çayırlar oluşturur.

Posidonia oceanica, sayısız canlının yaşam ve besin döngüsünü desteklemesi, bulunduğu habitatı temelden şekillendirmesi, kıyıları erozyondan koruması, denizdeki oksijen seviyesini yükseltmesi ve atmosferdeki karbonu depolayan bir kaynak olması ile önemli ekosistem hizmetleri sunar.

Deniz çayırları, karbonun okyanuslarda depolanmasında rolü olan "mavi karbon" ekosistemlerinin en önemli bileşenlerinden biridir. Kıyılarda deniz bitki örtüsünün karbon depolama kapasitesinin daha iyi anlaşılmasıyla birlikte bu bitki türleri, küresel ısınmanın etkilerini hafifletmeye yönelik politikalarda önemli bir yer tutmaya başladı.

Akdeniz'in sığ kıyılarında gezinirken ayaklarınızın altında life benzer kılıfları olan toplara rastlayabilirsiniz. Neptün topları olarak da adlandırılan bu yapılar, deniz çayırlarının ölü yapraklarından ve kalıntılarından oluşur. Genellikle kıyılarda birikerek atık sorununa yol açtığı düşünülse de aslında yenilenebilir ve düşük maliyetli bir biyokütle kaynağı olarak değerlendirilebilir. Temel olarak selüloz, hemiselüloz ve ligninden oluşan Neptün topraklarının biyoteknolojide, çevresel sorunların çözümünde, biyomalzemelerin geliştirilmesinde ve inşaat sektöründe kullanıma potansiyeli bulunur.

Posidonia oceanica, mikropplastikleri lifleriyle sararak bir sünger gibi yapısında tutar ve bu atıkları karaya taşır. Böylece yalnızca karbon depolanmasında değil doğanın plastik atıklarla mücadelesinde de görev alırlar.

Yavaş büyüdüğü ve çoğaldığı için bu deniz çayırı türünün doğal olarak yenilenmesi çok uzun sürer. Bu nedenle kıyılardaki yapılaşma, deniz kirliliği, tuzluluk artışı, ötrofikasyon (su ekosistemlerinde besin miktarındaki artışa bağlı olarak alglerin aşırı çoğalması ve bunun sonucunda suda çözünmüş oksijen miktarının azalması), erozyon, sedimantasyon, dip trol avcılığı, yabancı istilacı türler, iklim değişikliği gibi etkilere karşı son derece hassastır. Dolayısıyla deniz çayırlarının yaşam alanlarının dağılımını belirlemek ve sağlığını korumak, deniz ekosistemlerinin korunmasına yönelik politikaların başarılı olması için temel bir gerekliliktir. ■

Kaynaklar

- Pansini, A., Bosch-Belmar, M., Berlino, M., Sarà, G., & Ceccherelli, G. Collating evidence on the restoration efforts of the seagrass *Posidonia oceanica*: current knowledge and gaps. *Science of the Total Environment*, 851, 158320, 2022.
- Fragassa, C., Pesic, A., Mattiello, S., Pavlovic, A., & Santulli, C. Exploring the Potential of *Posidonia oceanica* Fibers in Eco-Friendly Composite Materials: A Review. *Journal of Marine Science and Engineering*, 13(1), 177, 2025.
- Karadurmuş, U., Akkuş, M., & Sarı, M. Distribution and species richness of seagrass meadows in the Sea of Marmara. *Marine Environmental Research*, 208, 107097, 2025.
- Restaino, O. F., Giosafatto, C. V. L., Mirpoor, S. F., Cammarota, M., Hejazi, S., Mariniello, L., ... & Porta, R. Sustainable exploitation of *Posidonia oceanica* sea balls (Egagropili): A Review. *International Journal of Molecular Sciences*, 24(8), 7301, 2023.



Neptün topları

Gökyüzü

Dr. Tuba Sarıgül

[TÜBİTAK Bilim ve Teknik Dergisi

Merkür Hem Sabah Hem Akşam Gökyüzünde

Merkür, kasım ayının başında gün batımından sonra ayın sonunda ise şafak vakti gökyüzünde görülebiliyor. Jüpiter ve Satürn ise gökyüzünü neredeyse bütün gece domine ediyor.

Merkür

Ayın başında Güneş'in batışından sonra güneybatı yönünde ufuk üzerinde görülebilen Merkür'ün ilerleyen günlerde ufuk üzerinde yüksekliği ve parlaklığı azalıyor. Kasım ayının başında Akrep Takımyıldızı'nda bulabileceğiniz Merkür, 9 Kasım'da takımyıldızın en parlak yıldızı Antares ile birbirine yakın görülebiliyor. Her iki gök cisminin yüksekliği son derece düşük olduğundan ancak açık bir ufukta, yüksek bir konumdan görülebiliyorlar.

Merkür, Güneş etrafındaki yörünge hareketi sırasında 20 Kasım'da

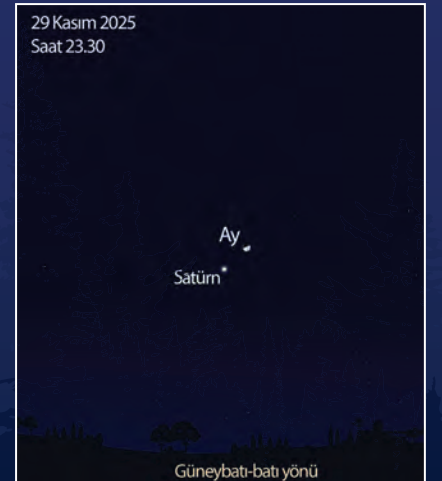
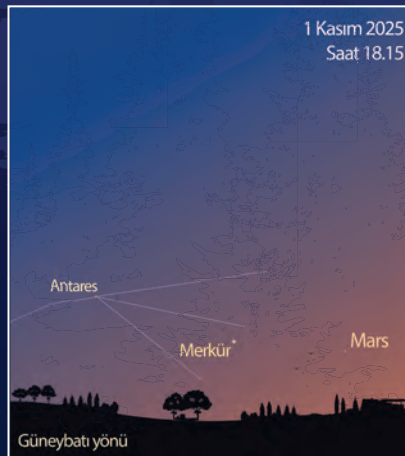
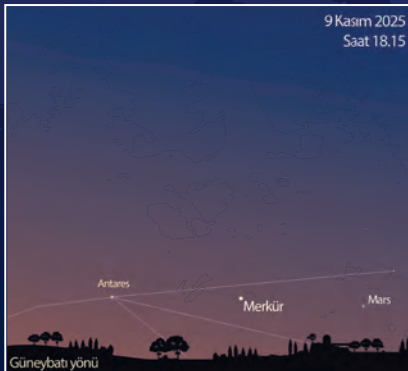
Güneş ile Dünya'nın arasından geçiyor. Ayın sonunda ise şafak vaktinde gökyüzünde tekrar ortaya çıkmaya başlıyor.

Mars

Mars, ayın ilk günlerinde güneybatı yönünde ufuk hemen üzerinde çok kısa süre görülebiliyor. Kızıl Gezegen'in gözlem süresi ayın ilerleyen günlerinde kıalmaya devam ediyor. 1 Kasım akşamı Mars'ı ve Merkür'ü, gün batımından sonra ufuk hemen üzerinde birbirine yakın görmeyi deneyebilirsiniz.

Satürn

Satürn, kasım ayında Güneş'in batışından sonra güneydoğu yönünde ufuk üzerinde ortaya çıkıyor ve gece yarısından yaklaşık dört saat sonra batı yönünde ufuktan batıyor. İlerleyen günlerde daha erken batmaya başlayan Satürn'ün parlaklığı da hafifçe azalıyor. Ay boyunca Kova Takımyıldızı'nda yer alan Satürn, 2 Kasım'da ve 29 Kasım'da Ay ile birbirine yakın görülebiliyor.



Siz de 29 Kasım gecesi güneybatı-batı yönünde ufku üzerine bakarak Satürn ve ilk dördün evresinden yakın zamanda ayrılan Ay'ı birbirine yakın konumda görebilirsiniz.

Jüpiter

Jüpiter, kasım ayında neredeyse bütün gece gökyüzünde. Ayın başında gece yarısından bir buçuk saat önce kuzeydoğu-doğu yönünde ufuktan doğuyor ve şafak vakti Güneş'in aydınlığında kaybolmadan önce ufku üzerinde en yüksek noktaya ulaşıyor. İlerleyen günlerde daha erken doğmaya başlayan Jüpiter'in parlaklığı da her geçen gün artıyor. Ay boyunca İkizler Takımyıldızı'nda yer alan Jüpiter, takımyıldızın en parlak yıldızı Polluks'un güneydoğusunda yer alıyor.

10 Kasım gecesi Jüpiter, Ay ve Polluks'un gökyüzünde oluşturduğu hayali üçgeni doğu yönünde ufku üzerinde görebilirsiniz.



Venüs

Venüs, kasım ayının başında Güneş'ten yaklaşık bir buçuk saat önce doğu yönünde ufuktan doğuyor. Ayın ilerleyen günlerinde Venüs'ün gözlemlenebileceği süre kısalıyor ve ufku üzerinde yüksekliği azalıyor.

Kasım ayının ilk günlerinde Başak Takımyıldızı'nda bulunan Venüs ilerleyen günlerde gökyüzünde güneydoğu yönünde hareket ediyor ve ayın ikinci yarısında Terazi Takımyıldızı'na geçiyor. Ayın son haftasında Merkür de gökyüzünde Venüs'e katılıyor. 24 Kasım'da Merkür ve Venüs arasındaki mesafe 1,5 derece. Sonraki günlerde Venüs alçalmaya devam ederken Merkür ufku üzerinde yükseliyor ve gözlem süresi uzuyor.

2 Kasım'da Venüs ve Başak Takımyıldızı'nın en parlak yıldızı Spika'yı şafak vakti doğu-güneydoğu yönünde ufku üzerinde bir arada görebilirsiniz.



18 Kasım 2025
Saat 02.30



Leonid Gök Taşı Yağmuru

Leonid (Aslan) Gök Taşı Yağmuru, 17-18 Kasım gecesi en yüksek etkinliğe ulaşıyor. Bu tarihte gök taşlarının gökyüzünde ortaya çıktığı nokta (saçılma noktası) gece yarısından kısa süre önce kuzeydoğu-doğu yönünde ufuktan doğuyor ve şafak vakti Güneş'in aydınlığında kaybolmadan önce doğu-güneydoğu yönünde ufku üzerinde en yüksek noktaya ulaşıyor. Leonid Gök Taşı Yağmuru'nun en yüksek etkinliğe ulaştığı tarihte saatte en fazla 15 gök taşı görülebiliyor. Yeni ay evresine yaklaşan Ay ise gök taşlarının görülmesini olumsuz etkilemiyor.

Süper Ay

2025 yılının süper Ay'ı 5 Kasım da gerçekleşiyor. Süper Ay, Ay'ın dolunay evresine ulaştığı zaman ile yörünge hareketi sırasında Dünya'nın en yakınından geçtiği zaman birbirine çok yakın olduğunda gerçekleşir. Süper Ay sırasında Ay, diğer zamanlarda gerçekleşen dolunaya göre daha büyük ve parlak görünür.

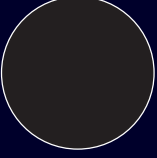
Dolunay
5 Kasım
Saat: 16.19



Son dördün
12 Kasım
Saat: 08.28



Yeni ay
20 Kasım
Saat: 05.48



İlk dördün
28 Kasım
Saat: 09.59



Yerberi

6 Kasım Saat: 01.27
356.833 km

Yeröte

20 Kasım Saat: 05.48
406.691 km

Andromeda Gök Adası

Kasım ayı Andromeda Gök Adası'nı gözlemlemek için son derece uygun zamanlardan biridir. Gökyüzünde solgun bir ışık lekesi gibi görünen Andromeda'yı karanlık bir gecede çıplak gözle bile fark edebilirsiniz. Andromeda Gök Adası'nı gökyüzünde W harfine benzeyen şekliyle tanıyabileceğiniz Kraliçe Takımyıldızı'nı kullanarak bulabilirsiniz. W şeklinin daha belirgin olan V kısmını bir okun ucu gibi düşünün, gökyüzünde okun gösterdiği yönde ilerlediğinizde Andromeda Gök Adası'nı bulabilirsiniz.

Gök adamızın komşusu olan Andromeda 2,5 milyon ışık yılı uzağımızda yer alıyor. Gök bilimciler, sarmal yapıda bir gök ada olan Andromeda'yı inceleyerek gök adamızın yapısı ve zaman içinde geçirdiği değişimler hakkında bilgi sahibi olmaya çalışıyor.

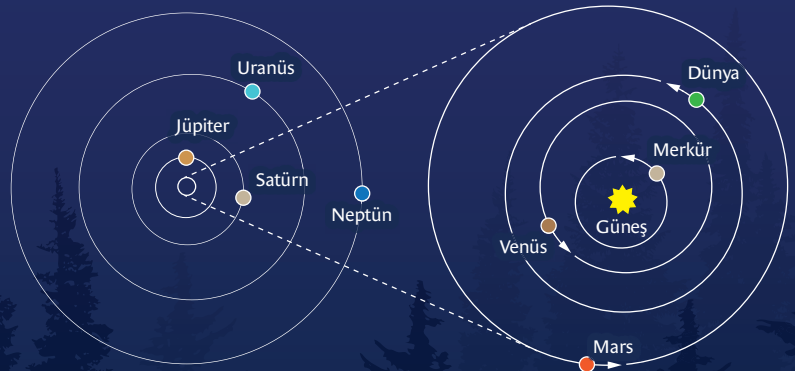
Kasım ayında Güneş'in batışından sonra kuzeydoğu-doğu yönünde ufuk üzerinde belirginleşmeye başlayan Andromeda Gök Adası'nı, siz de basit bir teleskop, bir dürbün veya çıplak gözle görmeyi deneyebilirsiniz.



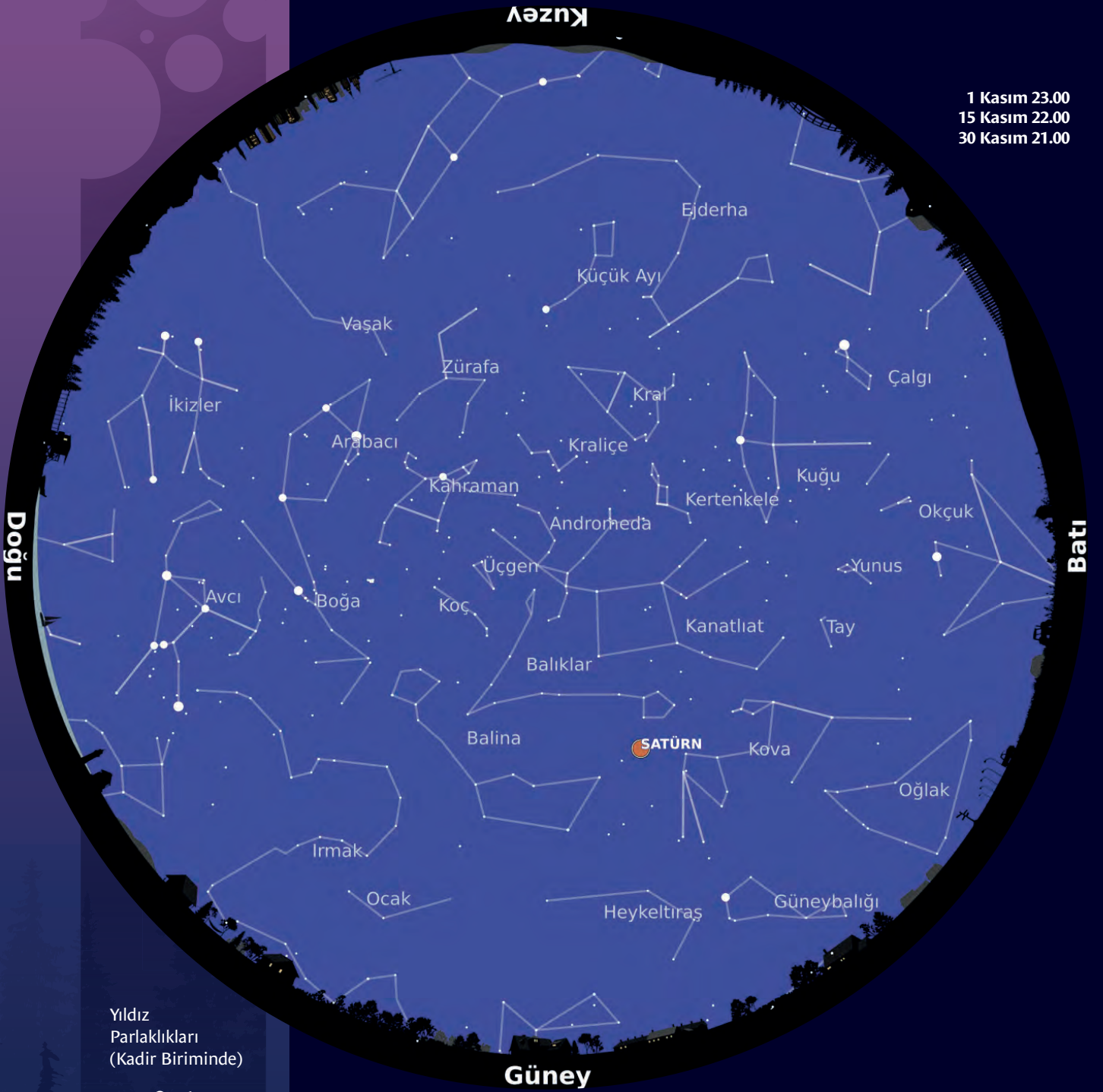
Ayın Önemli Gök Olayları

- 2 Kasım** Ay ve Satürn yakın görünümde
Venüs ve Spika yakın görünümde
- 5 Kasım** Ay, dolunay evresinde
- 6 Kasım** Ay, Dünya'ya en yakın konumda
- 9 Kasım** Merkür ve Antares yakın görünümde
- 10 Kasım** Ay ve Jüpiter yakın görünümde
Ay ve Polluks yakın görünümde
- 12 Kasım** Ay, son dördün evresinde
- 13 Kasım** Merkür ve Mars yakın görünümde
Ay ve Regulus yakın görünümde
- 17 Kasım** Ay ve Spika yakın görünümde
Leonid (Aslan) Gök Taşı Yağmuru en yüksek etkinlik
- 20 Kasım** Ay, yeni ay evresinde
Ay, Dünya'ya en uzak konumda
Merkür, iç kavuşum konumunda
- 21 Kasım** Uranüs, karşı konumda
- 28 Kasım** Ay, ilk dördün evresinde
- 29 Kasım** Ay ve Satürn yakın görünümde

Kasım Ayında Gezegenlerin Birbirlerine Göre Yörüngelerindeki Konumları



Çizimdeki oklar, Güneş sisteminde yer alan iç gezegenlerin kasım ayında yörüngelerindeki hareketlerini gösteriyor. Dış gezegenlerin yörüngelerindeki konumları, ay içinde birbirine göre çok değişmediği için kasım ayının ortasındaki konumları, çizimde nokta şeklinde belirtilmiştir.



1 Kasım 23.00
15 Kasım 22.00
30 Kasım 21.00

Yıldız
Parlaklıkları
(Kadir Biriminde)

- - 1
- 0
- 1
- 2
- 3
- 4
- 5

Kaynaklar

- Okuyan, O. ve Köseoğlu, D. K., "2025 Gök Olayları Yıllığı", *Bilim ve Teknik*, Sayı 686, 2025.
- "Observing October 2024", *Sky and Telescope*, Cilt 150, Sayı 5, 2025.
- Ratcliffe, M. ve Ling, A., "Sky This Month", *Astronomy*, Cilt 53, Sayı 11, s. 28-35, 2025.
- <https://www.imo.net/resources/calendar/>
- <https://science.nasa.gov/solar-system/meteors-meteorites/leonids/>
- <https://www.skyatnightmagazine.com/advice/skills/andromeda-galaxy-tour-astronomer-guide>
- <https://science.nasa.gov/mission/hubble/science/explore-the-night-sky/hubble-messier-catalog/messier-31/>

Düşünme Kulesi

Ferhat Çalapkulu [dusunme.kulesi@tubitak.gov.tr]

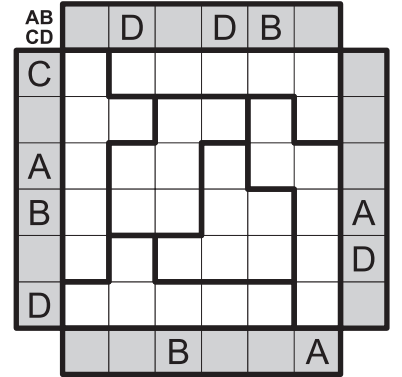
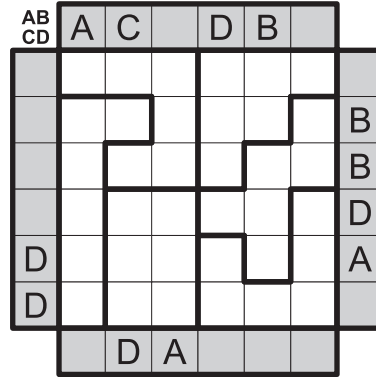
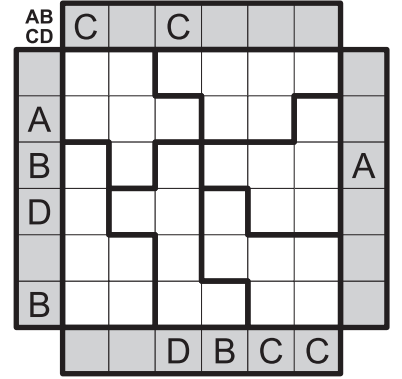
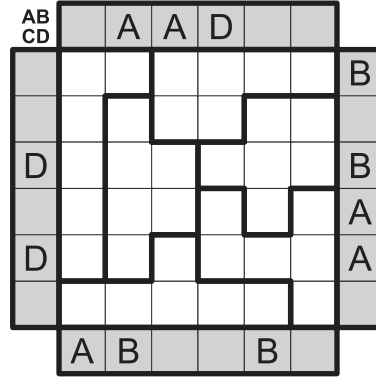
Ayın Oyunu

Bölgesel ABC Kadar Kolay

Bölgesel ABC Kadar Kolay Oyununun Kuralları

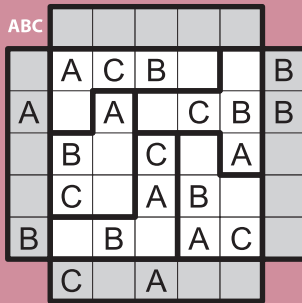
Diyagramın sol üstünde verilen harflerin her birini satır ve sütunlarda bir kez kullanarak diyagramı doldurun.

Diyagramın dışındaki harfler, o yönden bakıldığında görülen ilk harfleri göstermektedir. Ayrıca verilen harf dizisini kalın çizgilerle belirlenmiş her bölgede de bir kez kullanarak diyagramı doldurun.



Bölgesel ABC Kadar Kolay

Örnek Çözüm

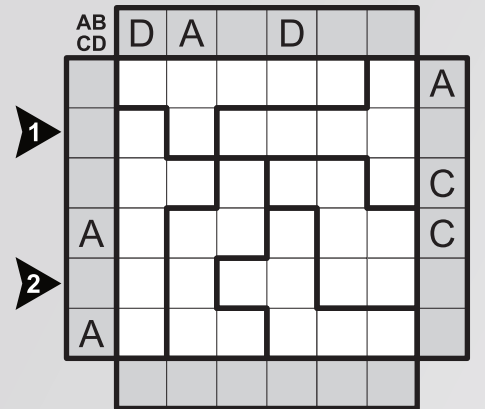


Ödüllü Soru

*Bölgesel ABC Kadar Kolay sorusunu çözüp ok doğrultusundaki içeriği yazarak ad, soyad, adres ve telefon bilgileri ile birlikte dusunme.kulesi@tubitak.gov.tr adresine gönderenler arasından çekilişle belirlenecek 10 kişiye TÜBİTAK Popüler Bilim Kitapları tarafından yayımlanmış *Kara Delik Bir Delik Değildir* başlıklı kitap hediye edilecektir. Çekiliş sonuçları, dergimizin internet sitesinden önümüzdeki ay içinde duyurulacaktır. Geçen ayın ödüllü İşlemsiz Kendoku sorusunu doğru yanıtlayanlar arasından çekilişle belirlenerek kitap ödülü kazanan okurlarımızın listesi, internet sitemiz üzerinden duyuruldu.

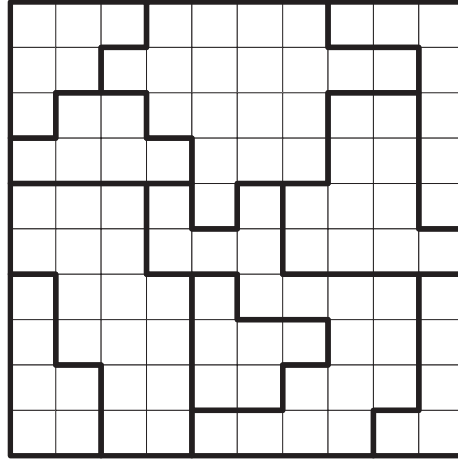
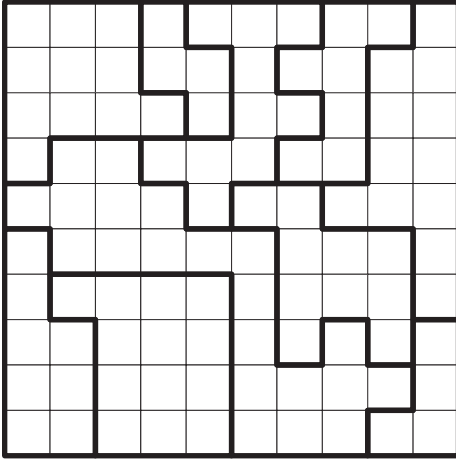


bilimteknik.tubitak.gov.tr



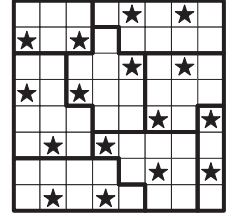
1 ve 2 numaralı okun doğrultusundaki içeriği yazın. Mesela soldaki örnek çözümün ilk satırı ACBXX şeklinde yazılmalıdır.

Yıldız Savaşları: Diyagramdaki her satıra, sütuna ve kapalı alana iki yıldız yerleştirin. Yıldızlar birbirlerine çaprazdan da olsa temas edemezler.

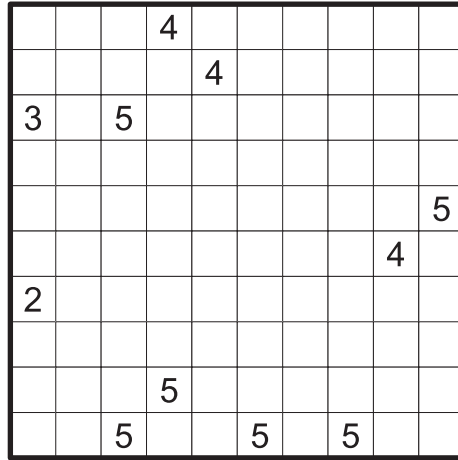
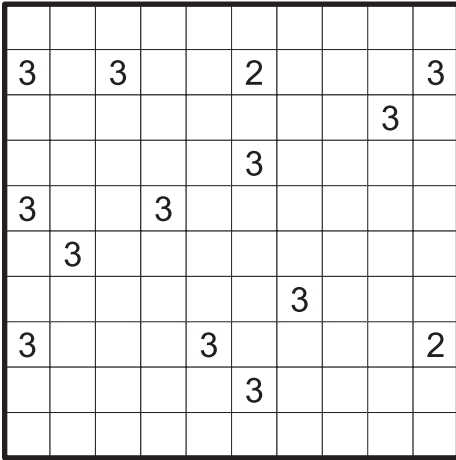


Yıldız Savaşları

Örnek Çözüm

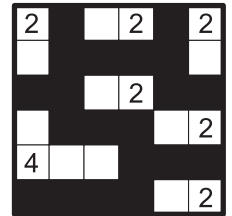


Adalar: Bazı hücreleri siyaha boyayarak öyle bir deniz oluşturun ki, oluşan her adanın içinde bir sayı olsun ve bu sayı adanın alanını gösterebilir. Denizi oluşturan bütün siyah hücreler birbirine bağlantılı olmalı ve hiçbir yerde 2x2'lik deniz parçası oluşmamalıdır.



Adalar

Örnek Çözüm



Geçen Sayının Çözümleri

24	2	1	3	6	5
6	1	5	4	2	3
13	4	2	5	1	6
6	2	5	3	6	4
1	3	6	2	5	4
5	6	4	1	3	2

14	2	3	5	6	1
2	5	4	1	3	6
6	1	2	4	5	3
1	4	6	3	2	5
5	3	1	6	4	2
3	6	5	2	1	4

10	1	4	6	5	3	2
2	5	1	6	4	3	
30	5	6	3	2	1	4
2	3	1	5	4	2	6
10	4	3	2	1	6	5
6	2	7	4	3	5	1

Ödüllü Soru:
İşlemsiz Kendoku

16	4	2	5	1	3
5	2	3	4	6	1
12	6	4	1	3	5
3	1	6	2	5	4
4	1	3	5	6	4
4	5	1	3	2	6

6	5	1	6	2	4	3
2	3	1	6	5	4	
1	6	4	3	2	5	
4	2	3	5	1	6	
6	5	2	4	3	1	
3	4	5	1	6	2	

2	1	2	1	1	1	1
2	4	1	1	3	1	1
1	4	1	1	1	3	1
3	4	1	1	2	2	1
3	3	5	3	3	3	2
3	2	2	2	3	3	2
5	2	2	2	3	2	2
3	3	3	1	2	2	1
2	2	2	1	1	2	1

1	2	2	2	2	2	2
3	3	3	4	4	2	2
2	4	4	5	4	4	2
2	4	4	2	2	2	3
2	2	2	2	3	3	2
1	2	2	2	3	3	2
1	2	2	2	3	3	2
1	2	2	2	3	3	2
1	2	2	2	3	3	2

Hazine Avı

3	6	3	6	3	6	3
5	6	6	5	5	5	5
7	7	8	7	7	7	7
5	7	8	7	7	7	7
5	7	8	7	7	7	7
2	5	5	5	5	5	5

3	6	6	6	6	6	6
3	6	6	6	6	6	6
3	6	6	6	6	6	6
3	6	6	6	6	6	6
3	6	6	6	6	6	6
3	6	6	6	6	6	6

Yol Oluşturma

İşlemsiz Kendoku



Kıvanç Çefle [btsatranc@tubitak.gov.tr]

48. Dünya Satranç Çözme Şampiyonası

48. Dünya Satranç Çözme Şampiyonası 8-9 Temmuz 2025 tarihlerinde Romanya'nın Alba Iulia şehrinde yapıldı. Polonya takımı birinci, Litvanya takımı ikinci ve Almanya takımı da üçüncü oldu.

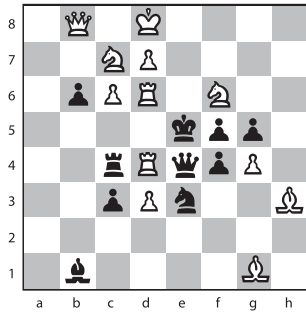
Sizlere bu yarışmada sorulan bazı ilginç kurguları sunacağız. Aşağıdaki üç hamlelik problemin yarışmacıları en çok zorlayanlar arasında olduğu belirtiliyor (Diyagram 1).

Diyagram 1

S. Walters

British Chess Magazine,
1944

İkinci Şeref Mansiyonu



Beyaz oynar
ve üç hamlede
mat eder.

Çözüm:

1. Ace8 (tehdit 2. Şe7 ve 3. K6d5#)

a) 1...Ad5 2. gxf5 ve 3. Kxd5# ya da 3. Ke6#;

b) 1...Kxc6 2. Kxe4+ fxe4 3. d4#;

c) 1...Vxc6 2.Kxc6+ Şxd4 3. Vd6#;

d) 1...Vd5 2. gxf5 Vxd6 3. Vxd6#;

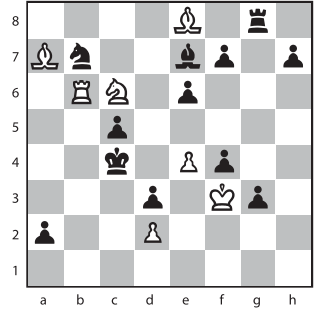
e) 1...Vxd4 2. gxf5 Axf5 3. Ag4#;

f) 1...fxg4 2. Axc4+ Axc4 3. Kf6#

Diyagram 2

Frank Reinhold

Günter Schiller Anı
Turnuvası, 1994
Birincilik Ödülü



Beyaz oynar ve 12
hamlede mat eder.

Çözüm:

Bu, "mantıksal okul" ya da "Yeni Alman Okulu"

prensiplerine göre kurulmuş bir problem. Beyaz 1. Kb4+ cxb4 2. Aa5 ile mat etmek istiyor. Bu, onun ana planı. Ama b7'de duran siyah at bunu engelliyor (2...Axa5!). O hâlde bir hazırlık manevrası ile bu at etkisizleştirildikten sonra ana plan uygulanmalı:

1. Ae5+ Şd4 2. Axf7

Tehdit 2. Kb4#

2...Şc4

Beyaz burada istediği fırsatı yakalamış görünüyor: 3. Kb2 (tehdit

4. Fb5+ Şd4 5. Kb4#) Ad6 4. Ae5+ Şd4 5. Ac6+ Şc4 6. Kb4+ cxb4 7. Aa5#. Ama 3...Kxe8! bu planı engeller. O hâlde g8'deki kalenin de bir diğer hazırlık manevrası ile e8'deki fili almasını engellemek gerekiyor:

3. Ae5+ Şd4 4. Ac6+ Şc4 5. Fd7 Kg6

Birinci aşama tamam. Fil, d7'de güvende.

6. Ae5+ Şd4 7. Af7 Şc4 8. Kb2

Tehdit 9. Fb5+ Şd4 10. Kb4#.

8...Ad6 9. Ae5+ Şd4 10. Ac6+ Şc4

Ve beklenen bitirici darbe sonunda geliyor:

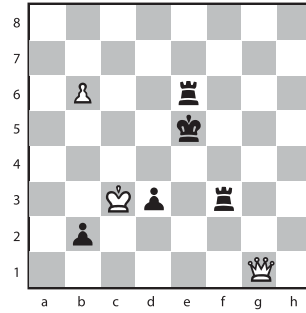
11. Kb4+ cxb4 12. Aa5#.

Yarışmanın heyecanı içinde çözmesi hiç de kolay olmayan güzel bir "çok hamleli" problem. Bu yarışmadan sunacağımız üçüncü örnek ise bir etüt. Aslında *Die Schwalbe* isimli ünlü satranç problemi dergisi için Martin Minski tarafından kurulmuş ve henüz yayınlanmamış orijinal bir kurgu.

Yarışmacıların daha önce herhangi bir kaynaktan karşılaşmış olmaları mümkün olmadığından şampiyona için özellikle uygun bulunmuş olmalı (Diyagram 3).

Diyagram 3

Martin Minski



Beyaz oynar ve kazanır.

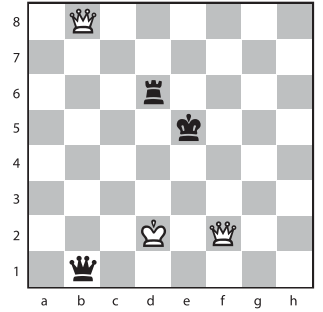
Çözümün yalnızca ana varyantı vereceğiz:

1. b7 d2+ 2. Şxd2 Kf2+! 3. Vxf2 b1=V 4. b8=V Kd6+

Etüdün kritik anı (Diyagram 4).

Şimdi beyaz nasıl oynamalı?

Diyagram 4



5. Vd4+!! Şxd4 6. Vxb1 ve beyaz kazanır.

İlginç bir taktik vuruşla sonlanan güzel bir etüt.

Ayın Soruları

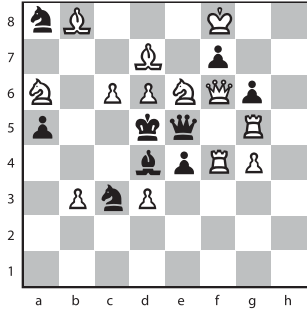
Sizleri aynı yarışmada sorulmuş iki adet iki hamlelik problemle başa bırakıyoruz. Bu tip yarışmalarda genellikle üç adet iki hamlelik problem sorulur ve yarışmacılara 20 dakika süre verilir. Demek ki sizin yaklaşık 12 dakikanız var, 3 dakika da bizden! Bakalım 15 dakikada çözebilecek misiniz?

Diyagram 5

Carel Sammelius

Probleemblad, 1963

İkinci Şeref Mansiyonu



Beyaz oynar ve iki hamlede mat eder.

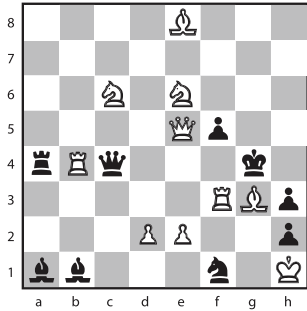
Diyagram 6

Kjell Widlert

PCCC Varna, Tematik

Turnuva, 1982

Birincilik Ödülü



Beyaz oynar ve iki hamlede mat eder.

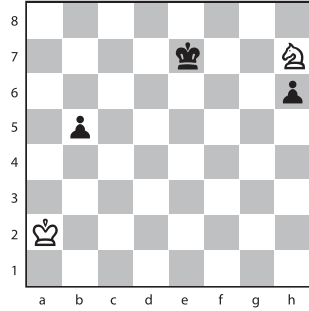
Geçen Ay Sorulan Problemlerin Çözümleri

Sizlere “uzak görüş etkisi” temasına dayalı iki etüt sormuştuk. Şimdi bunların çözümlerini veriyoruz:

Diyagram 7

David Gurgenidze

64, 1970



Beyaz oynar ve berabere kalır.

Çözüm:

1. Şa3!!

Beyaz şahını b5'teki piyona yaklaştırıyor. Aynı amaca hizmet eder görünen 1. Şb3 biraz sonra göreceğimiz gibi kaybettirirdi.

1...Şe6!

1...Şf7 2. Şb4 Şg7 3. Şxb5 Şxh7 4. Şc4 Şg6 5. Şd4 Şf5 6. Şe3 Şg4 7. Şf2 ve beraberlik.

2. Af8+! Şf5! 3. Ad7 h5 4. Ac5

4. Ab6 h4 5. Ad5 Şe4! ve kazanır.

4...h4 5. Ab3!

Şimdi burada beyazın neden 1. Şb3? oynamadığını anlıyoruz. Bu durumda

hayat kurtarıcı 5. Ab3 oynanamazdı (5. Ad3? h3.6. Af2 h2-+). İşte uzak görüş etkisi!

5...h3 6. Ad2 h2

5...Şf4 7. Af1

7. Af1! h1=V 8. Ag3+

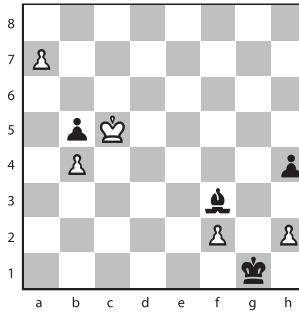
ve beraberlik.

Diyagram 8

Nikolay Ryabinin

Uralskye Skazy, 1991

Birincilik Ödülü



Beyaz oynar ve berabere kalır.

Çözüm:

1. h3!!

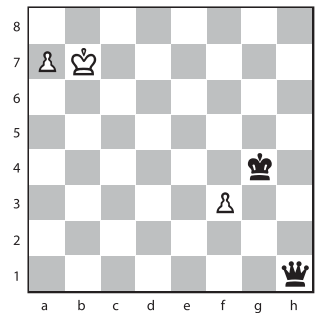
İlk başta son derece anlamsız görünen bir hamle. Oysa ki daha doğal görünen 1. Şxb5 kaybettirir: 1...Şxh2 2. Şa6 Şg1 3. b5 h3 4. b6 h2 5. b7 Fxb7+ 6. Şxb7 h1=V+ 7. f3 Vh7+! ve siyah bilinen manevrayı kullanarak kazanır. Muhtemel bir hamle dizisi şöyle: 8. Şb6 Vg6+

9. Şb7 Vf7+ 10. Şb8 Vb3+ 11. Şc7 Vc4+ 12. Şb8 Vb5+ 13. Şc7 Va6 14. Şb8 Vb6+ 15. Şa8 Vc7 16. f4 Vc8#. Görülüyor ki f sütunundaki beyaz piyon burada zararlı etki gösteriyor ve beyazın pat durumuna düşmesini engelliyor. Siyah da zaten bu nedenle 7.f3 hamlesinden sonra piyonu almayı reddedip 8...Vf6+ ile devam ediyor.

1...Şg2 2. Şxb5 Şxh3 3. Şa6 Şg4! 5. b5 h3 5. b6 h2 6. b7 Fxb7+ 7. Şxb7 h1=V+ 8. f3+!!

Çok güzel bir hamle! Şimdi beyaz şah çekerek 8.f3 oynadığı için yukarıdaki varyanttan farklı olarak vezir, piyonu almak zorunda (Diyagram 9).

Diyagram 9



8...Vxf3 9. Şb8

Beraberlik, çünkü beyaz zararlı piyondan kurtuldu! Siyah vezir, şahı a8 karesine zorlarsa da Vc7 hamlesinden sonra oyun pat olur. ■

Ayın Sorusu

Prof. Dr. Azer Kerimov

[bteknik@tubitak.gov.tr

Bilkent Üniversitesi, Matematik Bölümü

Soruyu çözüp cevabı ad, soyad, adres ve telefon bilgileri ile birlikte bteknik@tubitak.gov.tr adresine gönderenler arasından çekilişle belirlenecek beş kişiye TÜBİTAK Popüler Bilim Yayınları'ndan bir kitap hediye edeceğiz:

Bu ay:

Matematik Bize Ne Anlatıyor?



Çözümü ile birlikte gönderilmeyen cevaplar değerlendirmeye alınmayacaktır.

Doğru çözüm ve çekiliş sonuçları dergimizin internet sitesinden önümüzdeki ay içinde duyurulacaktır.



bilimteknik.tubitak.gov.tr



Cücelerin ve Keloğlan'ın Fındıkları Sepetlere Dağıtması

Ayın Sorusu

Keloğlan 300 cücenin yaşadığı bir çiftliği ziyaret eder. Cüceler onunla çiftliğin avlusunda bir oyun oynamak ister. Avluda 1.919 tane fındık içeren bir torba ve 20 tane birbirinden farklı renkte boş sepet vardır. Oyun önceden verilmiş bir M pozitif tam sayısına göre oynanır.

Oyun iki kısımdan oluşur. Kurallara göre oyunun birinci kısmında cüceler bir sıraya dizilir ve sırası gelen her cüce önce torbadaki 1.919 fındığın tamamını istediği şekilde avludaki 20 sepete dağıtır. Her cüce isterse sepetlerden bir veya birkaçını boş bırakabilir ve yine isterse fındıkların tamamını tek bir sepete yerleştirebilir. Her yerleştirmeden sonra Keloğlan bu cücenin hangi sepete kaç fındık yerleştirdiğini not eder. Bundan sonra da bu cüce sepetteki fındıkların tamamını torbaya geri koyar. 300 cüceden her biri kendi yerleştirme işlemini yaptıktan sonra oyunun ilk kısmı tamamlanır. Bu aşamanın sonucunda Keloğlan'ın notlarında her sepet için bu sepete yerleştirilen fındık sayılarını gösteren 300 sayı bulunacaktır.

Oyunun ikinci kısmında Keloğlan da torbadaki fındıkların tamamını sepetlere yerleştirmelidir. Fındıkları yerleştirilirken 20 sepetten her biri için aşağıdaki koşulun sağlanması gerekir. Her sepet ve her $0 \leq n \leq 1.919$ sayısı için oyunun ilk kısmında bu sepete kendi sırasında en az n tane fındık yerleştiren toplam cüce sayısı en az M ise Keloğlan da aynı sepete en az n tane fındık yerleştirmek zorundadır.

Örnek olarak $M=210$ sayısı için oynanan oyunda sarı bir sepete cücelerden 174 tanesi 70'er, 36 tanesi 30'ar, 35 tanesi 20'şer, 45 tanesi 10'ar ve 10 tanesi 3'er fındık yerleştirdiyse bu sepete en az 3 fındık yerleştiren cüce sayısı $10+45+35+36+174=300 \geq 210$, en az 10 fındık yerleştiren cüce sayısı $45+35+36+174=290 \geq 210$, en az 20 fındık yerleştiren cüce sayısı $35+36+174=245 \geq 210$, en az 30 fındık yerleştiren cüce sayısı $36+174=210 \geq 210$ ve en az 70 fındık yerleştiren cüce sayısı $174 \leq 210$ 'dur. Buna göre Keloğlan da bu sarı sepete en az 30 fındık yerleştirmek zorundadır.

Yine örnek olarak $M=220$ sayısı için oynanan oyunda kırmızı bir sepete cücelerden 169 tanesi 70'er, 41 tanesi 50'şer, 13 tanesi 45'er, 62 tanesi 40'ar, 5 tanesi 12'şer ve 10 tanesi 2'şer fındık yerleştirdiyse bu sepete en az 45 tane fındık yerleştiren cüce sayısı $169+41+13=223 \geq 220$ ve $169+41=210 \leq 220$ olduğuna göre Keloğlan da bu kırmızı sepete en az 45 fındık yerleştirmek zorundadır.

Verilmiş bir M pozitif tam sayısı için Keloğlan, 300 cücenin fındık dağıtımından sonra 1.919 fındığı oyunun kurallarına uygun şekilde sandıklara yerleştirebilirse oyunu kazanıyor. Keloğlan 300 cücenin fındık dağıtımından sonra 1.919 fındığı sepetlere oyunun kurallarına uygun şekilde yerleştiremezse oyunu kaybediyor.

M pozitif tam sayısı oyun başlamadan önce herkese açıklanıyor. Cüceler, Keloğlan'ın oyunu kaybetmesini istiyor ve buna göre de oyun başlamadan önce kendi aralarında anlaşarak verilmiş M sayısına göre her cücenin fındıkları sepetlere nasıl dağıtması gerektiğini belirlemek için ortak bir strateji geliştiriyor. Keloğlan, 300 cücenin geliştirebileceği herhangi bir ortak stratejiye rağmen M pozitif tam sayısının en küçük hangi değerinde her zaman oyunu kazanmayı garantileyebilir?

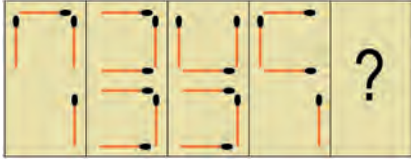
Bulduğunuz bu en küçük M sayısı için Keloğlan'ın oyunu nasıl kazanması gerektiğini açıklayınız ve bu M sayısının neden daha küçük olamayacağını kanıtlayınız. ■

Zekâ Oyunları

Emrehan Halıcı [zeka.oyunlari@tubitak.gov.tr

KİBRİTLER

Soru işaretinin yerine gelecek olan şekli bulunuz.



HARF SAYILARI

İki farklı doğal sayının yazılışlarındaki harf sayılarının toplamı bu sayıların toplamındaki harf sayısına eşittir.

Bu iki sayının toplamı en az kaç olabilir?

KOD

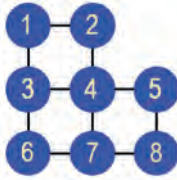
A, B, C, D, E, F, G ve I harfleri birer kez kullanılarak 8 harfli bir kod üretilecek.

Koşullar:

- Sesli harfler dikkate alındığında iki sesli harf yan yana bulunmayacak.
- Sessiz harfler dikkate alındığında B harfi diğer sessiz harflerden önce kullanılacak.

Bu koşullara göre kaç farklı kod üretilebilir?

ROTA



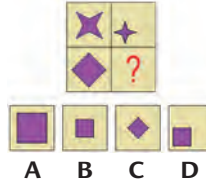
Herhangi bir daireden başlayıp diğer tüm dairelerde tam olarak

1 kez bulunacağınız bir rota oluşturacaksınız. Bulduğunuz daireden komşu bir daireye gidebilirsiniz.

Bu rota kaç farklı biçimde oluşturulabilir?

SORU İŞARETİ

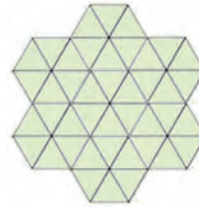
Soru işaretinin yerine aşağıdakilerden hangisi gelmelidir?



ALTİGEN SAYISI

Bu şekilde toplam kaç adet düzgün altıgen sayabilirsiniz?

- Her boyuttaki altıgenler dikkate alınacak.
- Tüm kenar uzunlukları ve açıları eşit olan altıgen, düzgün altıgendir.



SPORCULAR

Üç sporcunun adları Ege, Mert ve Burak; yaşları 18, 19 ve 20; ilgilendikleri spor dalları ise futbol, basketbol ve voleyboldur.

Sporcuların adlarındaki harf sayısı ve yaşlarının toplamı PUAN olarak adlandırılmıştır. Bir tam sayının tek mi çift mi olduğunu belirten özelliğe, o sayının paritesi denir.

- Futbolcunun puanı, basketbolcunun puanından büyüktür.
- Mert'in puan paritesi, voleybolcu arkadaşının puan paritesiyle aynıdır.
- Ege basketbolcu değildir.
- En genç olanın puanı tek sayıdır.
- Voleybolcunun puanı tek sayıdır.

Bu bilgilere göre her birinin yaşını ve spor dalını bulunuz.

VEZİR YERLEŞTİR

8x8'lik bir satranç tahtasına aşağıdaki kurallara göre vezirler yerleştireceksiniz.

- Herhangi iki vezir ya birbirlerine komşudur (yatay veya dikey) ya da aralarında en az üç kare (yatay veya dikey) vardır.
- Herhangi iki vezir birbirine çaprazdan komşu değildir.

Bu koşullara göre en fazla kaç vezir yerleştirebilirsiniz?

Soru 5x5'lik bir tahta için sorulsaydı en fazla 8 vezir yerleştirilebilirdi. Örnek bir yerleşim:

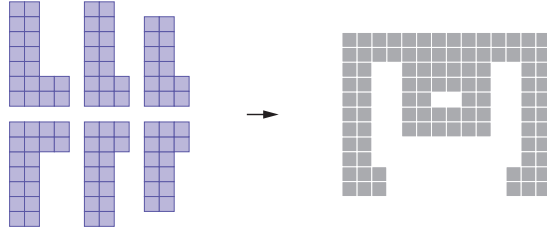


DOKUZLAR

1'den 1000'e kadar olan sayılar arasında en az bir adet 9 rakamının bulunduğu kaç adet sayı vardır ve bu sayıların toplamı kaçtır?

ALTI "L"

Altı "L" parçasını bir araya getirerek sağdaki şekli elde ediniz. Parçalar döndürülebilir ve ters çevrilebilir.

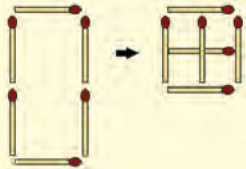
**GEÇEN SAYININ ÇÖZÜMLERİ****DOĞRU OLUŞTUR****GÜNLER**

3/7

Bu koşulu sağlayan günler: Salı, Cuma ve Pazar.

DİKDÖRTGENDEN KAREYE

Bir büyük, dört küçük kare.

**DOKUZ SAYI VE EŞİTSİZLİKLER**

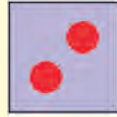
1	<	8	>	7
^		v		v
6	>	3	>	2
v		^		^
5	>	4	<	9

PALİNDROM

64.

Palindrom şeklindeki kodlar XYZYX biçiminde olacağı için ilk üç karakteri dikkate almak yeterlidir.

Bu üç karakter de A, B, C ve D olabileceği için toplam sayı $4 \times 4 \times 4 = 64$ 'tür.

SORU İŞARETİ

B

SAYIYI BUL

512349

ÜÇ ARKADAŞ

Arda Kaya, esmer.

Baran Yalçın, kumral.

Cem Demir, sarışın.

ÇARP VE BÖL

59.

Bu sayı x olsun.

$$2x \equiv 1 \pmod{3} \rightarrow x \equiv 2 \pmod{3}$$

$$3x \equiv 1 \pmod{4} \rightarrow x \equiv 3 \pmod{4}$$

$$4x \equiv 1 \pmod{5} \rightarrow x \equiv 4 \pmod{5}$$

$$x \equiv 4 \pmod{5} \rightarrow x = 5a + 4$$

$$x \equiv 3 \pmod{4} \rightarrow 5a + 4 \equiv a + 0 \equiv 3 \pmod{4} \rightarrow a \equiv 3 \pmod{4}$$

$$a = 4b + 3$$

$$x = 5(4b + 3) + 4 \rightarrow x = 20b + 19$$

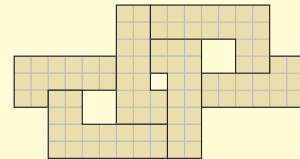
$$x \equiv 2 \pmod{3} \rightarrow 20b + 19 \equiv 2b + 1 \equiv 2 \pmod{3} \rightarrow 2b \equiv 1 \pmod{3} \rightarrow b \equiv 2 \pmod{3}$$

$$b = 3k + 2$$

$$x = 20(3k + 2) + 19 = 60k + 59$$

Soruda "Sayı en az kaç olabilir?" denildiği için $k=0$

$$x = 59$$

ALTI "L"

Yayın Dünyası

Dr. Özlem Kılıç Ekici [TÜBİTAK Bilim ve Teknik Dergisi



Şifre Bilim Bulmacaları

Umut Uludağ

TÜBİTAK Popüler Bilim Kitapları
Başvuru Kitaplığı, 2025 (1. Basım)

Şifrebilim; genel anlamda ileti, yazı ve verilerin yetkisizce okunmasını engellemek ve bunların güvenli bir şekilde alıcısına ulaşması için çalışmalar yapan, bu alanda yöntemler geliştiren bir bilim dalıdır. Bu kitapta yer alan 101 soru ve açıklamalı cevaplarıyla şifrebilimin tarihi, popüler uygulamaları, ayrıca şifrebilim ile ilgili kaynaklar hakkında bilgi sahibi olacaksınız. Eğlenceli ve eğitici, zaman zaman oldukça zor ama hepsi uğraşmaya değer bulmacalar sizleri bekliyor.



Bozkırdaki Flamingolar

Koray Haktanır

Çizim: Gonca Mine Çelik

TÜBİTAK Popüler Bilim
Kitapları
Çocuk ve Gençlik Kitaplığı,
2025 (1. Basım)

Bu hafta sonu babam ve arkadaşı bilimsel bir çalışma yapmayı planlıyormuş. Ama hem mevsimin güzelliği hem de gideceğimiz yerin ilginçliği nedeniyle hepimizin hoşuna gidecek bir gezi olacağını düşünmüşler. Çok iyi düşünmüşler! Göksu ve muhteşem ekibi, bozkırda keşfe çıkıyor. Pembe bir rüya... Büyüleyici bir şölen... Ama bir saniye... Burası da mı bozkır yani?



Nesiller büyüten Bilim ve Teknik ile
keşfetmenin sonu yok!



**Bilim
ve
Teknik**
Podcast

Bilim ve teknoloji dünyasındaki güncel gelişmeleri ve önemli konuları alanında uzman kişilerle yaptığımız bilim sohbetlerinde ele alıyoruz. Her hafta yeni bir konu ve konukla sizlerle buluşuyoruz.



Spotify, Apple Podcast, SoundCloud ve
YouTube kanallarından dinleyebilirsiniz.

