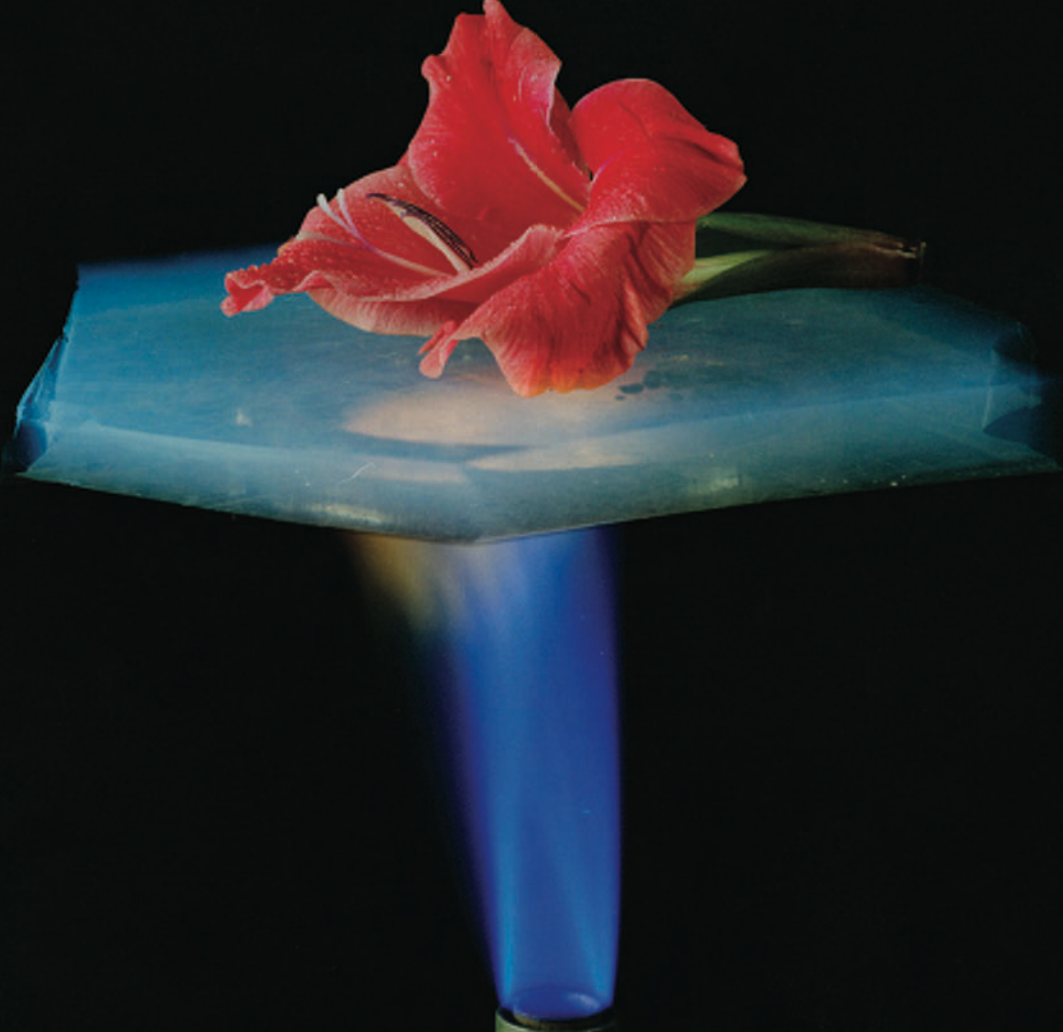


DÜNYANIN EN HAFİF KATISI

AEROJEL



Aerogel (aerogel) dünyanın en hafif ve yoğunluğu en düşük katısı, öyle ki %99'u, yani neredeyse tamamı hava. Bir katı için bu kadar gazla dolu olmak pek alışık olunan bir durum değil. Yalnızca bir gramının yüzey alanı 250 m²den 3000 m²ye kadar çıkabiliyor. Yani 2-3 cm³ aerogeli bir futbol sahasından daha büyük bir alana yayabilirsiniz. Aerogelin bu düşük yoğunluğu onun çok hafif bir malzeme olarak kullanılmasını, çok büyük yüzey alanıysa süper-yalıtkan bir katı malzeme olmasını sağlıyor. Bu özellikleriyle aerojeller uzay çalışmalarından süs eşyalarına değin geniş bir kullanım alanı sunuyor.

Modern teknolojinin yeni bir buluşmuş gibi görünse de aerogelin bulunuşu biraz daha eskiye, 1930'lu yılların başına rastlıyor. O zamanlar Kaliforniya'daki Pacific College'da çalışan Steven S. Kistler, ıslak jel maddelerle çalışırken bunlarla aynı boyutta ve bi-

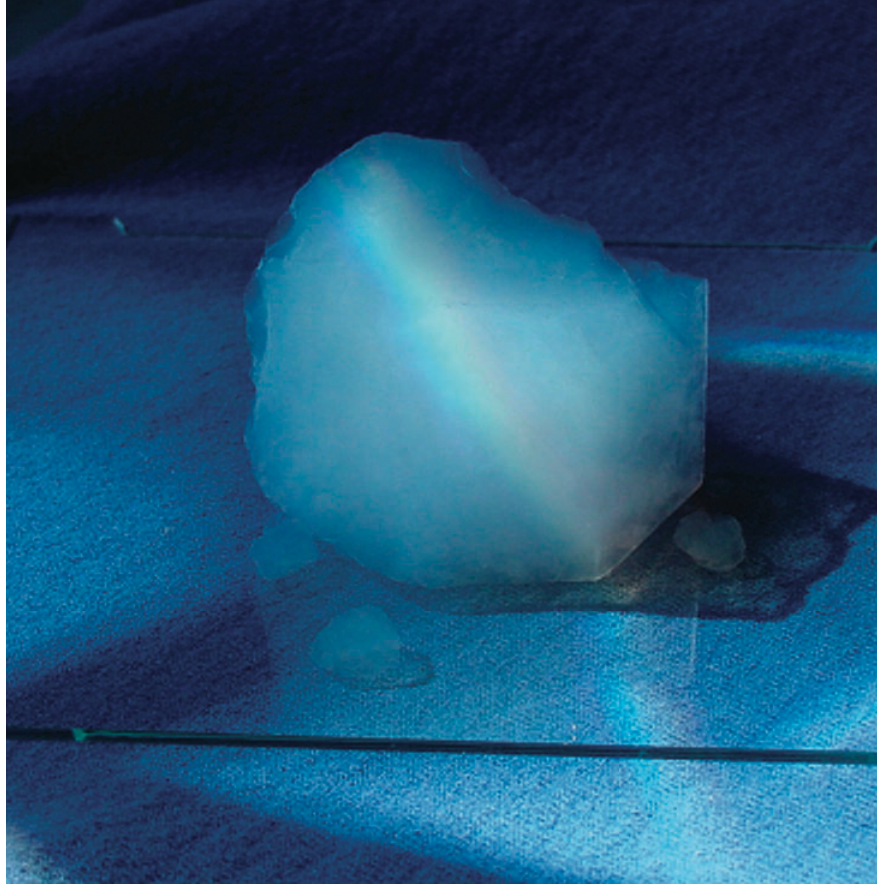
çimde katı bir jel oluşturmanın yolunu arıyordu. Bunu yapmanın en kolay yolu da bu ıslak jelin yapısına zarar vermeden içindeki suyu ayırmak gibi görünmüştü. Ancak bunu işlemin önünde kimi engeller belirmişti; örneğin suyu bünyesinden ayırmak için kuruma-

ya bırakıldığında jel, büzülerek boyu küçülecek ve biçimi de bozulacaktı. Kistler bu noktada doğru bir akıl yürütmeye, jelin katı kısmının mikro gözenekli olduğunu, buharlaşan suyun da bu gözenekli yapıyı bozacak bir yüzey gerilim kuvveti yaratacağını dü-

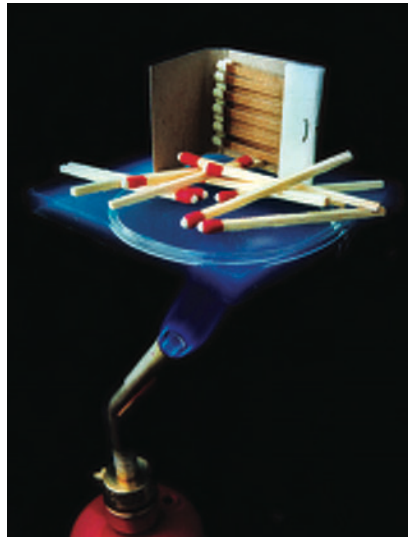
şündü ve çözüme ulaşmanın yolunu böylelikle fark etti. Kistler, aerojel yapmak için en iyi yolun, jelin içindeki suyun yerini havanın almasıyla gerçekleşeceğini düşünmüştü. Aslında “aerojel” sözcüğünü de tam bu noktada buldu (air gel, yani hava jeli sözcüklerinden geliyor). Kistler’e göre, sıvıyı buhar basıncından daha yüksek bir basınç altında tutup sıcaklığı artırdığımızda, kritik sıcaklıkta bu sıvı gaz haline geçecek ve böylece sıvının yerini gaz alacaktı. Bu yöntemle ilk aerojelini üreten Kistler’in bu garip malzemeyle ilgili makalesi de 1931’de Nature dergisinde yayımlandı.

Kistler aerojel yapmak için ilk olarak silika jelleri kullanmıştı. Ancak bu jellerdeki suyu süperkritik akışkanlara dönüştürmeyi başaramadı. Kistler bu kez, silika jeli suyla dikkatlice yıkadı ve böylece jelden tuz bileşiklerini ayırdı. Ardından suyun yerine alkol kullanıp bunu süperkritik akışkana dönüştürdü, sonra da jelin içinden bu akışkanın çıkmasına izin verdi. Bu ilk başarılı aerojel üretme denemesidir ve bugün de hazırlanan aerogeller hemen hemen bu yolla yapılır. İzleyen birkaç yıl içinde Kistler aerogelle ilgili bilimsel ve teknik ayrıntıları çok daha iyi kavradı. Ardından da alüminyum, selüloz, jelatin, yumurta akı ve kauçuk gibi maddelerden aerojel hazırladı. Birkaç yıl sonra da üniversitedeki görevinden ayrılıp Monsanto adında bir şirkete geçti ve kısa süre içinde bu şirket ilk ticari aerogelleri piyasaya sürdü. Monsanto’da üretilen aerogeller Kistler’in ilk ürettiklerinden biraz farklıydı; tanecekli yapıda bir silika malzemeydi. Bu aerogellerin nasıl yapıldığına ilişkin çok şey bilinmemekle birlikte, üretim sürecinin yine Kistler’in özgün çalışmasındakine benzer olduğu düşünülüyor. Monsanto’nun ürettiği bu aerogeller kozmetik sanayinde ve diş macunlarında katkı maddesi olarak kullanıldı. Bunu izleyen 20 yıl boyunca aerogeller üzerine pek yeni çalışma yapılmadı. Sonunda 1960’lı yıllarda daha ucuz bir malzeme olan “dumanlı” silikaların geliştirilmesi, aerogellerin tahratını sarstı ve kısa süre sonra da firması aerojel üretimini durdurmak zorunda kaldı.

1970’li yıllara kadar aerogeller neredeyse unutuldu, ta ki Fransız hükümetinin Claud Bernard Üniversitesi ile



işbirliğine gidip gözenekli malzemelerde oksijen ya da roket yakıtı depolamanın yollarını aramasına kadar. Üniversitede görevli Stanislaus Teichner bu uygulama için bir öğrencisine tez konusu olarak aerogelleri verdi. Kistler’in yöntemiyle ilk aerogeli üretmeleri iki haftalarını aldı. Teichner daha sonra öğrencisine, tezini tamamlayabilmesi için çok miktarda aerojel örne-



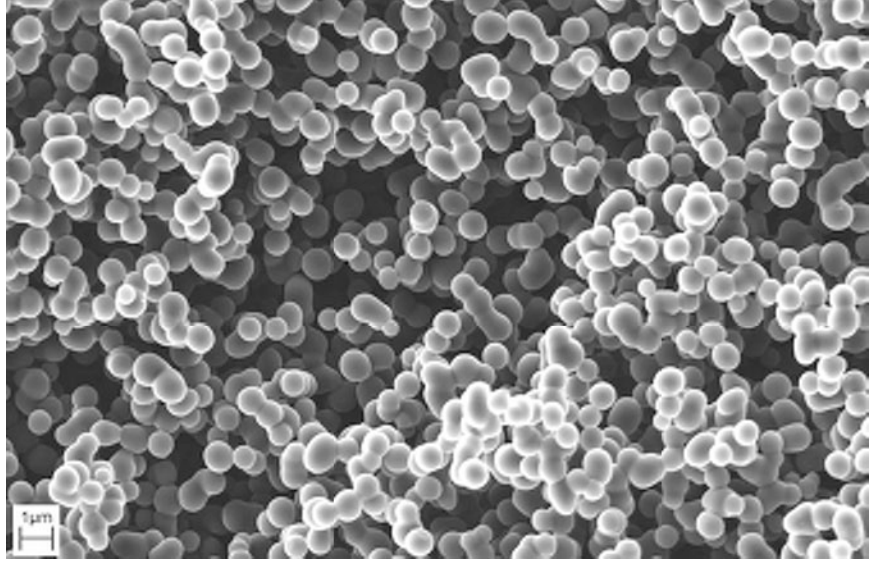
Aerogel, hem çok hafiftir hem de çok iyi bir yalıtıcıdır. Altında yanan alevin kaldırdığı aerojel, yalıtıcılığı sayesinde de üzerindeki kibritler yanmadan durabiliyor.

ğine gereksinimi olduğunu söyledi. Bir tane aerojel üretmek için bile iki hafta harcayan ve istenen miktarı hazırlamak için yıllar gerektiğinin farkına varan öğrenci, moral bozukluğuyla Teichner’in laboratuvarından ayrıldı. Kısa bir dinlenme süresinin ardından laboratuvara geri dönen öğrenci, daha hızlı bir aerojel hazırlama süreci bulmak için motive de olmuştu. Bu, aerojel bilimindeki en önemli uygulamalardan birine de öncülük edecekti. Sol-gel kimyasının uygulaması olarak ortaya çıkacak bu yeni süreçte, Kistler’in kullandığı sodyum silikat yerine, TMOS (tetramethyorthosilicate) kullanılıyordu. Metanol çözeltisi içinde TMOS’u hidrolize sokarak ilk adımda bir jel elde ediliyordu ve buna da alkojel adı veriliyordu. Bu alkojelleri süperkritik koşullarda kurularak yüksek kalitede aerojel üretilebiliyordu. Bu gelişmenin ardından Teichner’in ekibi bu yöntemi daha da geliştirip çok geniş bir metal oksit aerojel ailesi hazırlamayı başardı. Bu gelişmenin ardından da aerojel bilimi ve teknolojisinde yeni gelişmeler ardı ardına geldi. Birçok araştırmacı da bu ilgi çekici alana yönelerek, aerojelin bugünkü halini almasına katkıda bulundu.

Aerojelin Kimyası

Aerojeller ilk önce jel haldedir. Bu jel, silika ve etanol gibi bir sıvı çözücünden oluşur ve alkojel adı verilir. Alkojeller de silikon alkoksitin ($\text{Si}(\text{OR})_4$) bir çözücü içinde suyla polimerize edilmesiyle oluşturulur. Buradaki tepkimede alkoksit molekülleri hidrolizle bir araya gelerek silikon-oksijen bağları yapar ve böylece mini polimerler olan oligomerler oluşur. Bu oligomerler de bir araya gelerek daha sonradan jelin katı bölümünü oluşturacak olan büyük molekülleri oluştururlar. Alkojellerdeki silika dizilimi minik etanol paketçikleriyle doludur. Jel içerisindeki bu minik etanol paketlerine nano-gözenek adı verilir (Nano, milyarda bir anlamına gelen metrik bir kısaltmadır; örneğin bir nanometre (nm) bir metrenin bir milyar da biri demektir ki bu da kimi atomların boyutlarıyla aynı büyüklük mertebesine karşılık gelir.)

İşte arojel, bu alkojellerin kurutulması ve katı silika bileşeninden sıvının ayrıştırılmasıyla elde edilir. Buharlaştırılan sıvı çözücü maddenin jelden tümüyle çıkarılması jelin biraz büzülmesine ve boyutunun da %10 kadar küçü-



Aerojelin elektron mikroskobu altındaki görünüşü

lerek daha yoğun bir katının oluşmasına neden olur. Bu katıya xerojel (buradaki "xero" öneki sert anlamındadır) adı verilir.

Aerojel üretilirken çözücüyü buharlaştırmak yerine, jelin süperkritik koşullarda kurutulması yöntemine başvurulur. Süperkritik kurutma, jelin biçimini bozmadan sıvının uzaklaştırılması sürecidir. Bu süreçte kullanılan süperkritik akışkanlar, genellikle yük-

sek sıcaklık ve yüksek basınçtaki yarı-sıvı/yarı-gazlardır. Aslında tüm sıvıları süperkritik akışkan hale getirilebilir. Bu akışkanların gazlar gibi genişleme yeteneği olsa da yoğunlukları ve ısıletkenlik özellikleri sıvı hale daha yakındır. Süperkritik olarak alkojelin kurutulması işleminde, jel içindeki çözücünün kritik sıcaklığına ulaşabilmesi için ilk olarak ısıtma işlemi devreye girer. Kritik sıcaklığa ulaşıldığında jelden

Aerojelin geliştirilmesinde önemli adımlar

- 1980'lerin başında parçacık fizikçileri, silika arojellerin Cherenkov ışımalarının üretimi ve algılanması için uygun bir ortam sunduğunu fark ettiler. Ancak bu deneyler için hatırı sayılır miktarlarda şeffaf silika arojel blokları gerekiyordu. TMOS yöntemi yardımıyla iki adet dev detektör yapıldı. Bunlardan bir tanesi 1700 litre silika arojel kullanılan Almanya'daki ünlü parçacık hızlandırıcı merkezi DESY'deki TASSO detektörü, diğeryse 1000 litre arojel kullanılarak yapılan CERN'deki detektörlerden birisi. CERN için kullanılan arojeli İsveç'teki Lund Üniversitesi hazırlamış.
- TMOS yöntemiyle silika arojel blokları üretecek ilk pilot fabrika İsveç'teki Lund grubu tarafından kuruldu. Ancak 1984 yılında arojel üretimi sırasında fabrikanın 3000 litrelik otoklavında bir sızıntı oluştu ve dev taşıma kaplarının bulunduğu oda metanol buharıyla dolup sonra da patladı. Şans eseri herhangi bir can kaybı yaşanmasa da fabrika tümüyle yıkıldı. Fabrika daha sonra yeniden in-

şa edildi ve üretimini sürdürdü. Şu an özel bir firma tarafından işletiliyor.

- 1983 yılında Berkeley'den Arlon Hunt ve Mikroyapılı Malzemeler Grubu toksik TMOS yerine daha güvenli bir bileşik olan TEOS (tetraethylorthosilicate) kullanılabileceğini buldu. Üstelik bu madde üretilen arojelin kalitesinde herhangi bir düşüşe de neden olmuyordu.

- Mikroyapılı malzemeler grubu yine aynı sıralarda jelin içindeki alkol yerine karbondioksit (CO_2) kullanılabileceğini buldu. Karbondioksit süperkritik kurutma evresinden önce kullanılıyor ve arojele herhangi bir zarar da vermiyordu. Karbondioksitin kritik değere 31°C ve 1050 psi'lik basınçta ulaşması, metanol'ün 240°C ve 1600 psi'lik değeriyle karşılaştırıldığında çok daha güvenli koşullar sağlıyordu. Bu yöntem ilk olarak, TEOS'tan şeffaf arojel üretiminde kullanılmaya başlandı.

- Bu gelişmeyle eşzamanlı olarak Almanya'daki BASF firması CO_2 yöntemiyle sodyum silikat'tan küçük silika arojel parçaları üretmeye başladı.

- Aerojeller Üzerine Sempozyum (ISA) ilk kez 1985 yılında Almanya'nın Würzburg kentinde düzenlendi. Tüm dünyadan araştırmacıların katıldığı sempozyumda 25 bildiri sunuldu. Daha sonra bu sempozyum sırasıyla 1988 yılında Fransa'nın Montpellier kentinde, 1991 yılında yeniden Würzburg'da, 1994 yılın-

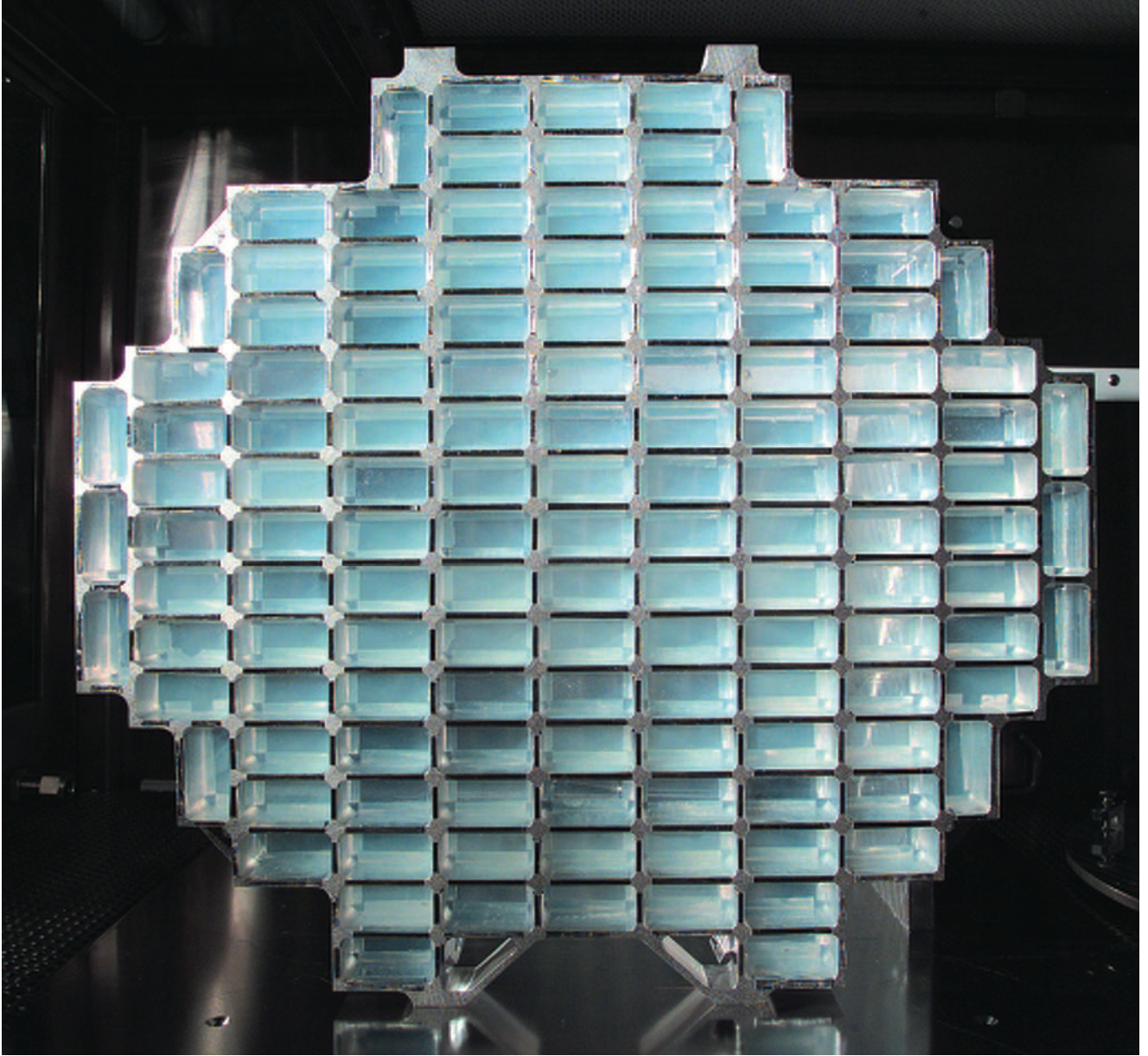
da da ABD'nin Kaliforniya kentindeki Berkeley'de yapıldı. Bu dördüncü sempozyuma tüm dünyadan 151 araştırmacı katıldı. Beşinci sempozyum 1997 yılında yine Montpellier'de yapıldı ve bu sempozyuma 200 kişi katıldı. Sempozyumun altıncısı 2000 yılında New Mexico'da, yedincisiyse 2003 yılında Washington'da yapıldı.

- 1980'lerin sonunda Larry Hrubesh'in başında bulunduğu Lawrence Livermore Ulusal Laboratuvarı'ndan (LLNL) bir ekip dünyanın en düşük yoğunluklu silika arojelini (dolayısıyla en düşük yoğunluklu katı maddeyi) ürettiler. Bu arojelin yoğunluğu 0.003 g/cm^3 , yani havanınkinden yalnızca üç kat daha fazlaydı.

- Kısa bir süre sonra yine LLNL'den Rick Pekala, yeni bir teknik geliştirerek inorganik arojel üretti ve bu teknik arojel araştırmalarında yeni bir dönem başlattı.

- JPL'de (Jet Propulsion Laboratory) üretilen silika arojeller uzay araçlarında kullanılmaya başlandı. Bu uçuşlarda arojeller yüksek hızlı kozmik toz örneklerinin toplanmasında kullanıldı.

- New Mexico Üniversitesi'nden bir grup araştırmacı jelin yüzeyini kimyasal olarak değiştirmeyi deneyerek, arojel üretiminde süperkritik kurutma aşamasını çıkarmayı başardılar. Bu çalışma arojellerin düşük maliyetle pazara çıkmasının da önünü açtı.



Stardust'ın silika aerojelden yapılmış örnek toplama tepsileri.

ayrılan sıvının yeri gazla doldurulur. Sonuçta ortaya çıkan mavi renkli katı madde, silikadan yapılmış, içi %50 ile %99 oranında havayla dolu nano paketler bulunan aerojeldir. Aerojellerin mavi renkli olmasının nedeni gökyüzünün mavi olmasıyla aynı ilkeye dayanır. Her ikisine de mavi rengi veren süreç Rayleigh saçılımıdır. Rayleigh saçılımı, beyaz bir ışığın kendi dalgaboyundan daha küçük olan (örneğin 5-200 nm)

parçacıklardan saçılmasıyla açıklanan optik bir olgudur. Bu minik parçacıklar, üzerlerine gelen beyaz ışığın içindeki küçük dalgaboylarını büyüklerden daha kolay saçılma uğratar. Bunun anlamı da mor ve maviye karşılık gelen dalga boylarının daha çok saçılacağıdır. Gözümüz de mavi dalgaboylarına mor olanlara göre daha çok duyarlı olduğundan, biz yalnızca maviyi görürüz. Aerojellerde de atomlardan yalnızca birkaç yüz kat daha büyük olan hava dolu nano-gözenekler bulunur. Beyaz ışığın saçılımından ve aerojelin mavi görünmesinden sorumlu olan işte bu nano-gözeneklerdir. Hem bu mavi rengi hem de çok hafif olması nedeniyle aerojellere "mavi duman" denildiği de olur.

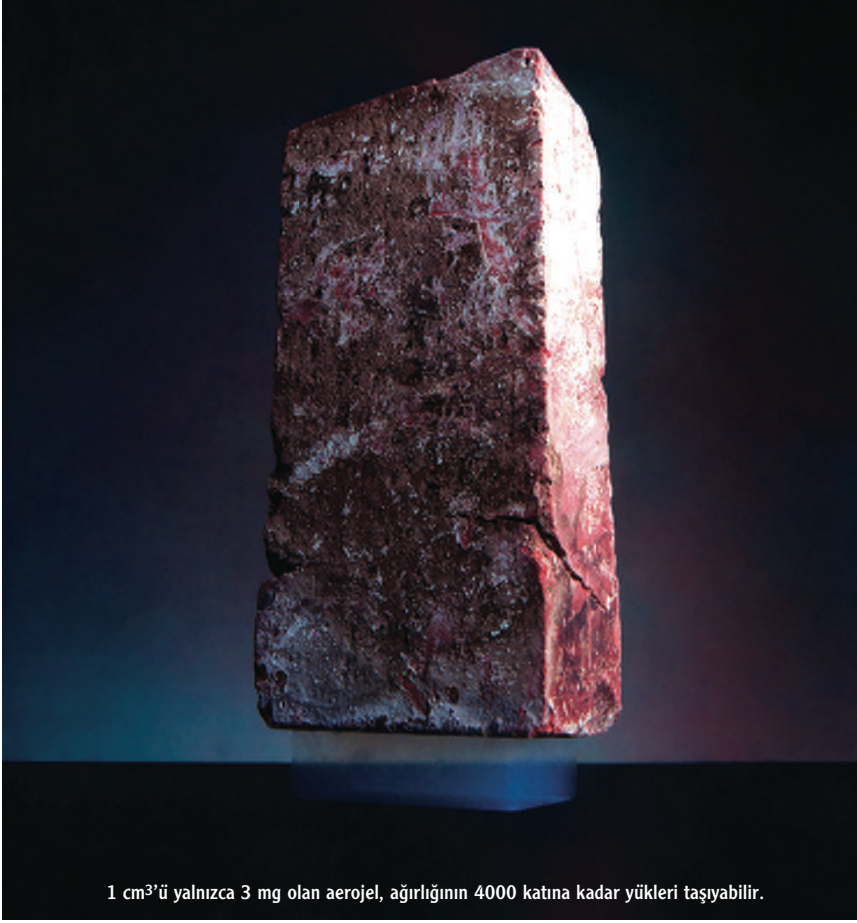
Maharetli katı

Aerojellerin belki de en önemli özelliği çok iyi birer ısı yalıtkan olmalarıdır. Çünkü ısı iletiminin üç türünün, yani taşınım, iletim ve ışımanın etkilerini büyük oranda etkisiz hale getirebilirler. İçerideki hava, kristal örgü içinde dolamıdığı için taşınım pek etkili olmaz.

Aerojellerin temel bileşeni olan silika çok zayıf bir ısı iletkeni olduğundan, iletim yöntemiyle ısı transferi de işe yaramaz. Ancak metal temelli bir aerojel bu konuda daha etkisiz bir yalıtıcı olabilir. Karbon aerojel de ışımaya karşı iyi bir yalıtıktır, çünkü karbon, ısıyı iletken kızıltötesi ışımayı soğurur. En iyi yalıtkan aerojelse karbon eklenmiş bir silika aerojeldir.

Aerojelin Fiziksel Özellikleri

Yoğunluk	0.003-0.35 g/cm ³
İç yüzey alanı	600-1000 m ² /g
İçindeki katı miktarının oranı	% 0.13- %15
Ortalama gözenek çapı	~20 nm
Aerojelde sesin hızı	100 m/s



1 cm³'ü yalnızca 3 mg olan aerjel, ağırlığının 4000 katına kadar yükleri taşıyabilir.

Aerjel ailesinin en tanınmış üyeleri silika temelli olanlardır. Ancak, karbon aerjeller ve alüminyum aerjellerin de içinde bulunduğu daha birçok türü vardır. Bunlar arasında üzerine en çok araştırma yapılmış olanı yine silika aerjeller, yani "silika jel"den türetilmiş, silika temelli aerjel ailesidir. Dünyanın en düşük yoğunluklu aerjeli (dolayısıyla katısı) 1 mg/cm³ ile yine silika aerjeldir. Silika aerjellerin de kızılötesi ışımayı soğurma yeteneği vardır. Bu özelliği sayesinde Güneş ışığını geçirip, ısınımsı hapsedecek olan binalar için iyi bir yapı malzemesi olmaya en önemli adaylardandır.

Ailenin bir başka bireyi olan karbon aerjeller de nanometre ölçeğindeki parçacıklardan oluşur. 100 nm'den daha küçük çaplı milyonlarca gözenegi vardır. Yoğunluğuna bağlı olarak elektriği iletebilirler; bu özellikleri de yeni kuşak kapasitörler gibi kimi elektronik devre elemanlarının yapımı için uygun olmalarını sağlıyor. Karbon aerjellerin bir başka özelliği kızılötesi spektrumda kapkara olmaları; 250 nm ile 14,3 m arasındaki ışımanın yalnızca %0,3'ünü yansıtırlar. Bu da karbon aerjellerin çok daha verimli güneş kolektörlerinin

yapımı için en önemli malzemelerden birisi olmasını sağlıyor.

Alüminyum oksitten yapılan aerjellerse daha çok katalizör olarak kullanılıyor. Ayrıca NASA bu aerjelleri çok hızlı parçacıkları yakalamada kullanmak için denemeler yapıyor.

Bunların dışında, öteki metallere ya da maddelerden yapılan birçok aerjel ailesi daha var. Bunların da kendilerine özgü özellikleri ve olası kullanım alanları araştırılıyor.

Bu sıradışı özellikleri, aerjellerin uygulama alanlarındaki zenginliğe işa-



ret ediyor. Bilim insanları yeni kuşak tenis raketlerinden süper-yalıtkan uzay giysilerine değin geniş bir yelpazeye yayılan uygulamalar üzerinde çalışıyor. Bu tıpkı, 1930'lu yıllarda bakalitin, 1980'li yıllarda karbon liflerinin ve 1990'lı yıllarda da silikonun malzeme bilimlerinde yeni bir dönem açmasına benzer bir süreci simgeliyor. Aerjellerin kirli suları filtre etme işleminden aşırı sıcaklıklara karşı yalıtıcı olarak kullanılmaları, hatta mücevhercilikte bile yer bulmaları ilk akla gelen uygulamalarından yalnızca bir bölümü.

NASA, çalışmalarında yararlanmak ve daha pratik kullanımlarını bulmak üzere bu malzemelere ilk ilgi gösterenlerden. 1997 yılında Mars Pathfinder görevinde, yüzey aracı Sojourner'in elektronik donanımının Mars'ın soğuk çevre koşullarından etkilenmemesi için aerjel yalıtımı kullanıldı. 2004'ün başlarında Mars'a gönderilen uzay araçlarında akünün, elektronik devrelerin, bilgisayarın ve ısınan elektronik parçaların ısı yalıtımında yine aerjellerden yararlanıldı. NASA, 1999'da Stardust görevinde, bir kuyruklu yıldızın kuyruğundan örnekler toplamada tümüyle aerjellerden yapılmış bir sistem kullanıldı ve Stardust hiçbir zarar görmeden toplanmış zengin bir örnek koleksiyonuyla geri döndü. 2002 yılındaysa NASA tarafından kurulan bir şirket aerjellerin daha sağlam ve daha esnek bir türünü üretti. Bu malzemeler de şimdi, 2018 yılı için planlanan insanlı Mars görevlerinde astronotların giyeceği giysileri geliştirmede kullanılıyor. Çünkü 18 mm kalınlığında bu aerjellerden yapılmış bir katmanın astronotları -130°C'a kadar koruyacağı düşünülüyor. Bu da şimdiye değin bilinen en iyi ısı yalıtıcısı.

Aerjeller ayrıca bombalara karşı zırh olarak kullanılmak üzere de test ediliyorlar. Yapılan laboratuvar testlerinde, 6 mm kalınlığında aerjelle kaplanmış bir metal plakanın bir dinamik patlamasının doğrudan etkisinde kalmasına karşın hiç hasar görmeden çıktığı gözlenmiş.

Aerjeller çevreci projelere de göz kırıyor. Araştırmacılar, yüzeyindeki milyonlarca minik gözenegiyle bu malzemelerin sudaki kirliliği emmeye yarayacak olağanüstü bir sünger gibi kullanılabileceğini düşünüyor. Şimdiden sudaki cıva ve kurşun kalıntılarını te-



NASA'nın kendi çalışmalarını temel alarak hazırladığı aerojel zaman çizelgesi.

mizleyecek aerojeller üretilmiş ve deneme aşamalarında. Petrol atıklarını temizleyecek olanlarsa yolda.

Bilimsel ve endüstriyel amaçlı kullanım alanlarının yanında aerojeller günlük yaşamda kullanıma uygun seçenekleri de sunuyor. Spor malzemeleri üreten bir şirket aerojelle donatılmış yeni kuşak tenis raketleri geliştirdi. Henüz yaygın olarak kullanılmaya başlanmamış olsa da çok daha verimli oldukları imdiye değin yapılan denemelerin ilk verileri. İy birer ısı yalıtkanı olmaları, aerojellerin dağcılık ve kampçılık malzemelerinde kullanılabileceklerini de gösteriyor. Ünlü bir İngiliz dağcısı erojel kullanılarak üretilmiş dağcılığa özel ayakkabı ve uyku tulumuyla 2007 başlarında Everest'e tırmanmış ve tek sorununun ayaklarının çok ısınması olduğunu söylemiş. Bununla birlikte moda dünyasında aerojellerin her zaman uygun olmadığı da acı bir deneyimle ortaya çıkmış. Ünlü bir giyim firması aerojel kullanarak ürettiği montları, aşırı sıcak tutmasından şikayetçi olan müşterileri yüzünden piyasadan çekmek zorunda kalmış.

Saydam bir görünümde olmalarına karşın, mavi renkli olmaları aerojellerin yakın akrabaları camlar gibi pencerelerde kullanılmalarını engelliyor. Ancak araştırmacılar bu mavi rengin nedeni olan Rayleigh saçılımına müdahale edilebileceğini düşünüyor. Gözeneklerin boyutlarını küçülterek mavi renge neden olan dalgaboylarının saçılmadan geçmesini sağlamak ve böylece renksiz bir görüntü vermek olanaklı gibi görünüyor. Böylelikle normal pencere camının onda biri kalınlığında pencere aerojeliyle aynı yalıtım sağlanmış olacak.

Aerojelin uygulamalarının bir başka bölümü de teknolojik yenilikleri peşinden getireceğe benziyor. Örneğin aerojel temelli kapasitörler, enerji depolama aygıtları olarak, cep telefonlarında ve otomobillerde kullanılabilecek. Çünkü çok büyük yüzey alanı olan karbon aerojeller geleneksel pillere göre çok daha fazla elektrik yükü depolamaya uygun. Bunlara ek olarak alü-

minyum nano-parçacıklarla zenginleştirilmiş ve oksitlenen jellerle tepkimeye giren demir oksit aerojeller çokşiddetli ısı açığa çıkarabiliyor. Bu da onların roket iticilerinde ateşleyici olarak kullanılmalarının kapılarını açıyor.

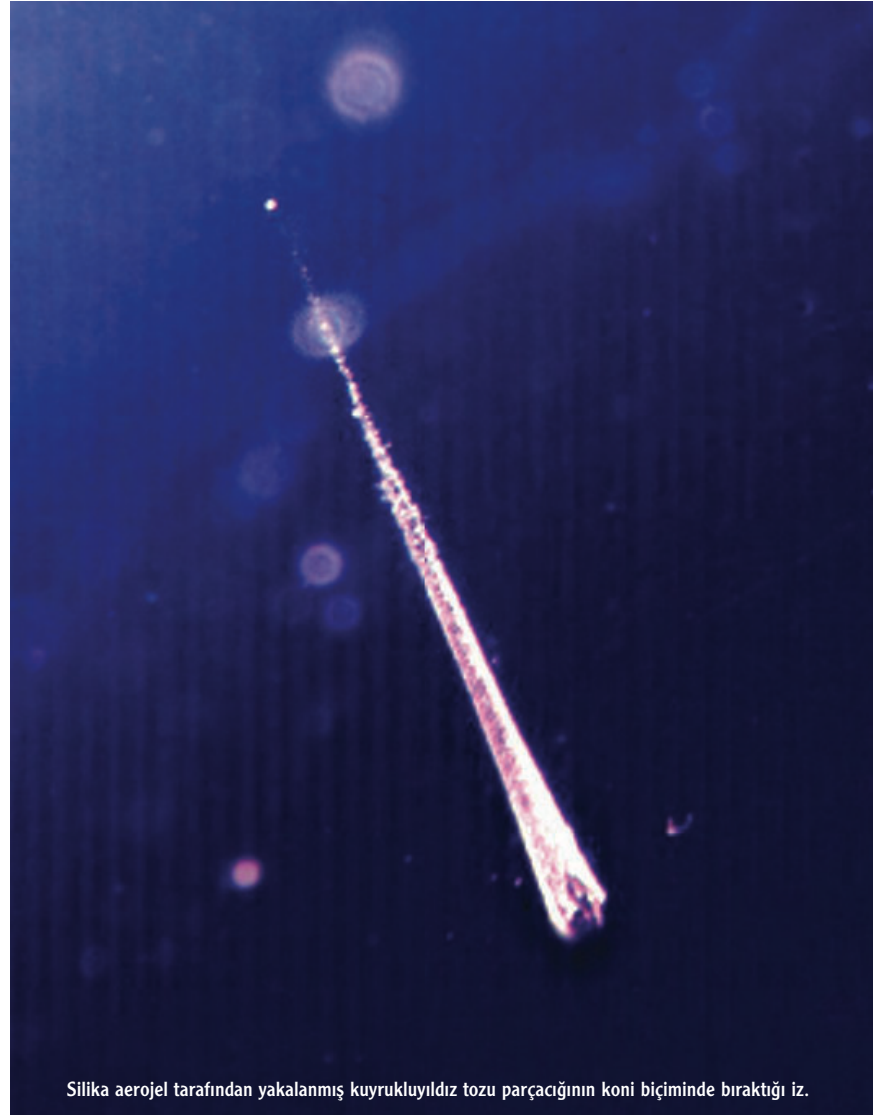
Araştırmacılar platin gibi kimi maddelerden elde edilen aerojellerin hidrojen üretimini hızlandıracağını ve böylelikle hidrojen temelli yakıtların yapımında kullanılabileceklerini düşünüyor.

1930'lu yıllardaki ilk örneklerinden bu güne, aerojellerin hem özellikleri çok geliştirildi hem de daha kolay elde edilebilir hale geldiler; üstelik çok

daha ucuza mal edilebiliyorlar. Henüz marketlere kadar inmese de bir parça aerojel örneği ya da aerojel kullanılarak yapılmış kimi süs eşyalarına sahip olmak mümkün. Bulunuşundan bu yana 75 yıldan çok zaman geçmiş olmasına karşın, pratik uygulama alanlarıyla son yıllarda ancak kıymete binen aerojellerin teknolojiye getireceği yenilikler çok daha kısa sürede olacak gibi.

İlhami Buğdaycı

Kaynaklar:
<http://eetd.lbl.gov/>
<http://curator.jsc.nasa.gov/stardust/aerogel.cfm>
<http://homepages.cae.wisc.edu/%7Eaerogel/index.html>



Silika aerojel tarafından yakalanmış kuyrukluYıldız tozu parçacığının koni biçiminde bıraktığı iz.