

# Yıldız Tozu

*Yıldızlara, en azından onların atalarına sandığımız kadar uzak değiliz. Hatta, onların çocukları olduğumuzu bile öne sürebiliriz. Dünya'yı, bizi, elinizde tuttuğunuz bu derginin sayfalarını oluşturan elementlerin yüzde 99'undan fazlası, yıldızlarda pişirildi. Güneş sisteminin, ondan önce yaşamış yıldızların mirasçısı olduğunu söylemek, çok yerinde bir saptama olur.*

**E**VREN, büyük patlamayla ortaya çıktığında, çok büyük oranda hidrojen ve az miktarda helyumdan oluşuyordu. Daha ağır elementler, yıldız adını verdiğimiz bu dev nükleer fırınlarda ve büyük kütleli yıldızların süpernova olarak patlamasıyla oluştu. Bizi ve çevremizdeki tüm cisimleri oluşturan maddenin yıldızlarda oluştuğunu bilmek gerçekten heyecan verici.

Evrendeki madde, zamanla topraklaşarak gökadalari; gökadalarda yoğunlaşan madde de yine kütleçekiminin etkisiyle biraraya gelerek yıldızları oluşturdu. Evrende ilk yıldızlar, başka element bulunmadığından, çok büyük oranda hidrojen ve az miktarda helyumdan oluşmuştu. Eğer kütleçekiminin etkisiyle topraklaşan gaz yeterli kütleye ulaşırsa, merkezindeki basınç ve sıcaklık, nükleer tepkimeleri başlatır. Bir yıldız, kendi kendine oluşmuş, devasa bir nükleer reaktöre benzetebiliriz. Nükleer tepkimeler sonucu, aşama aşama daha ağır elementler oluşur. Hidrojenlerin birleşmesiyle helyum oluşur. Yeterli helyum oluştuğunda, yıldızın çekirdeği daha da ısınır ve yıldız bu sefer helyum yakmaya başlar. Bu tepkime-

ler, demir oluşumuna değin sürer. Bir yıldızın içindeki sıcaklık ve basınç, demirden ağır elementlerin oluşumuna yetecek enerjiyi sağlayamaz. Bu elementler, ancak, çok yüksek enerjinin ortaya çıktığı süpernova patlamalarında oluşabilir.

Bir yıldızda pişirilen elementler, yıldızın ömrünü tamamlamasıyla, süpernova patlaması ya da daha az şiddetli patlamalarla gaz ve toz biçiminde uzaya savururlar. Daha çok yıldız patladıkça evren giderek ağır elementlerce zenginleşir. Bu zengin gaz ve tozdan, gezegenlere sahip yeni yıldızlar oluşabilir. İşte, Güneş sistemi, bu elementlerin yeniden biraraya gel-

mesiyle oluştu. Ancak, sistemin oluşumundan bu yana geçen süre içinde, elementlerin karşılaştığı bazı kimyasal değişimler, onların geçmişiyle ilgili pek çok bilgiyi sildi. Neyse ki, bu elementlerin bozulmadan saklandığı yerler var: göktaşları.

Göktaşlarında sıkışmış yıldız tozunun Güneş sisteminin oluşumuna ışık tutabileceği düşüncesi, bundan yaklaşık otuz beş yıl öncesine gidiyor. Her biri gramın milyarda birinden daha hafif olan toz parçacıkları, yaklaşık  $10^{28}$  ton kütleli yıldızlar hakkında bilgi sağlayabiliyor.

Göktaşlarının, bozulmamış yıldız tozunu içerebileceğinin ilk ipuçları, 1964'te California Üniversitesi'nden Grenville Turner ve John Reynolds'un İtalya'da bulunan Renazzo adlı bir göktaşındaki ksenon (Xe) gazındaki alışılmadık izotop dağılımını fark etmesiyle ortaya çıktı. Renazzo, ksenonun şaşırtıcı derecede yüksek oranda en ağır ve en hafif izotoplarını içeriyordu. Bu izotoplara daha sonra Xe-HL adı verildi. Daha sonra incelenen kimi göktaşlarında da aynı yapıya rastlandı. O zamanlar, pek çok bilim adamı, Güneş sisteminin oluşumu sırasında ortaya çıkan yüksek sıcaklıkların, geçmişin tüm kimyasal izlerini sildiği-



*Antarktika'da bulunan bir göktaşının kesiti.*

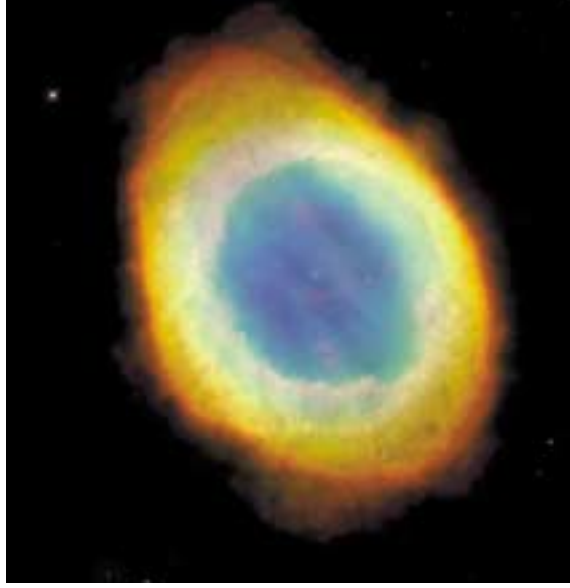
ni düşündüğü için, Xe-HL'nin kaynağı da bir gizemdi.

Bazı araştırmacılar,1970'lerin başlarında, Xe-HL'nin Güneş sisteminin oluşumunun öncesinin izleri olduğunu öne sürdüler. Ancak, 1987 yılına kadar, bu bir varsayımdan öteye gidemedi. O yıl, Chicago Üniversitesi'nden Edward Anders ve Roy Lewis, milimetrenin sadece birkaç milyonda biri büyüklüğündeki çok küçük elmas parçacıklarında ksenon atomlarına rastladı. Bu elmasların en küçükleri, sadece birkaç yüz atomdan oluşuyordu.

Bu minyatür mücevherlerdeki ilginç ksenon izotopları, Anders ve çalışma arkadaşlarının, onların Güneş sisteminden önce oluştuğunu düşünmelerine yol açtı. Bu elmaslar, bir şekilde, geçmişlerini "silecek" olaylardan kurtulmuş olmalıydı.

Elmaslardan her biri, bir ya da pek çok farklı yıldızdan gelmiş olmalıydı. Ancak, çok küçük olmaları, incelenmelerini çok güçleştiriyordu. Neyse ki, Anders'in keşfinden sonra, pek çok göktaşında benzer türde yıldız tozuna rastlandı. Bunlar arasında, silisyum karbid (SiC) önemli yer tutuyordu. Üstelik, bu parçacıkların çapları, milimetrenin birkaç binde birine kadar ulaşabiliyordu. Bu da onların daha ayrıntılı biçimde incelenmelerine olanak tanıdı. Bu yıldız tozları, 1988'de, Washington Üniversitesi'nden Ernst Zinner tarafından bir iyon mikrosondasıyla incelendi. Bunun sonucunda, her göktaşındaki SiC taneciklerinin çok farklı izotoplar içerdiği ortaya çıktı.

Karbonun iki kararlı izotopu bulunuyor. Bunlar, karbon-12 ve kar-



*Küçük bir teleskopla bile görebildiğimiz Yüzk Bulutsusu, Güneş benzeri yıldızların sonuna güzel bir örnek. Yıldız dış katmanlarını uzaya savurarak, evreni hidrojenen ağır elementlerce zenginleştirir.*

bon-13. Yeryüzünde ve belki de Güneş sisteminin büyük bölümünde, bu ikisinin oranı 88:1 ile 92:1 arasında. Ancak, bu ilkel SiC taneciklerinde bulunan oranlar çok farklı; 2:1 ile 7000:1 aralığında değişiyor. Bildiğimiz kadarıyla, böylesine geniş bir dağılım, Dünya'da doğal işlemlerle ortaya çıkamaz. Bu, ancak, bir yıldızdaki nükleer tepkimelerin eseri olabilir. Hatta, tek bir yıldızın da böyle bir dağılım oluşturması zor. Bu nedenle, bu tepkimeler pek çok farklı türden yıldızda oluşmuş olmalı.

Bu yıldız tozunun kaynağı için en iyi adaylar, karbonca zengin kırmızı dev yıldızlar. Gökbilimciler, bugüne değin, 30 kadar kırmızı devdeki karbon izotoplarını incelediler ve izotop oranlarının 20:1 ile 80:1 aralığında değiştiğini buldular. Başka yıldızlarda aynı dağılıma rastlanmadı.

Kırmızı devler, bir-beş güneş kütleli, yaşamlarının son aşamasına gelmiş yıldızlardır. Kırmızı dev aşamasında, yıldızlar genişleyerek, eski çaplarının birkaç yüz katına ulaşabilirler.

Bu durumda, doğal olarak atmosferleri de soğur ve SiC gibi taneciklerin oluşmasına olanak tanır. Daha sonra bu tanecikler, ömrünü tamamlayan yıldızın dış katmanlarını savurmasıyla uzaya dağılır.

İtalya'daki Turin Üniversitesi'nden yıldız fizikçisi Roberto Gallino, uzun zamandır kırmızı devler üzerine çalışıyor. 1991'de, SiC taneciklerini duyduğundan bu yana kırmızı devlerin atmosferlerindeki SiC izotoplarıyla ilgili araştırmalar yapıyor. Silisyum izotoplarının oluşumu, gökadamızın evrimiyle ilişkili. Çünkü, daha önce değindiğimiz gibi, yıldızlar yeni elementler oluşturdukça, gökadamızın kimyasal bileşimi değişiyor. Bu, izotoplar için de geçerli. Silisyumun en hafif izotopu olan Si-28, çoğunlukla gökadamızın erken dönemlerinde; daha ağır izotoplarsa (Si-29 ve Si-30), büyük oranda daha sonraki dönemlerde oluştu. Bu nedenle, göktaşlarındaki SiC'nin içerdiği silisyum izotopları farklı zamanlarda patlamış pek çok yıldızdan gelmiş olmalı.

Buraya kadar her şey yolunda gitmiş olsa da, Güneş'teki izotoplara baktığımızda, ortaya bazı soru işaretleri çıktı. Taneciklerin pek çoğundaki ağır silisyum izotopu oranı, Güneş'tekinden daha yüksekti. Bu, daha önce sözünü ettiğimiz evrendeki elementlerin evrimleşme sürecine aykırı görünen bir durumdu. Bu tanecikler, sanki Güneş'ten daha sonra oluşmuş gibiydi. Doğal olarak, bu olası değildi; çünkü, Güneş oluşurken onlar da oradaydı.

Bu bilmecenin içinden çıkmanın yolu bulundu: Kimyasal evrim her yerde aynı işlemiyor. Bu nedenle, Güneş'in biraz sıra dışı bir bölgede oluştuğunu düşünebiliriz. Ayrıca, gökyüzü gözlemlerinden biliyoruz ki, gökadamızın farklı bölgeleri, gökada merkezinden uzaklığına bağlı olarak evrim sürecini değişik hızlarla yaşıyor. Madenin çok daha yoğun olduğu gökada merkezine yakın yıldızlar, oluşum aşamasını çok daha hızlı geçiriyorlar. Yani, gökada merkezine yakın yıldızların kenardakilere göre biraz daha çabuk evrimleştiğini söyleyebiliriz. Güneş, gökadanın kenarlarında bir yerde kaldığı için biraz daha yavaş evrimleşmiş



*Evrendeki madde, zamanla topaklaşarak gökadalari; gökadalarda yoğunlaşan madde yıldızları oluşturdu. Güneş sistemi, yıldızlarda "pişerek" zenginleşen ve yıldızın patlamasıyla uzaya saçılan maddenin yeniden bir araya gelmesiyle oluştu.*



*Kartal Bulutsusu, bir yıldız fabrikasıdır. Buradaki yoğun gaz ve toz bulutunun içinde yeni yıldızlar oluşuyor.*

olabilir. 1998'de, Güney Carolina'daki Clemson Üniversitesi'nden Donald Clayton, SiC taneciklerinin "gökadanın otostopçu rehberi" olabileceğini, yani, Güneş'ten önce yaşamış yıldızların göçünü anlamamıza yardımcı olabileceğini öne sürmüştü. Merkezde oluşup çabuk evrimleşen yıldızlar, dış bölgelere ilerleyerek, Güneş'i oluşturan bulutsuyu SiC ile beslemiş olabilirler.

SiC'nin keşfinin yapıldığı günden bu güne pek çok değişik tanecik keşfedildi. Ancak, yine de, araştırmacılar menünün tamamlanmadığı düşüncesinde. SiC'nin bir kırmızı devin yaşamının sonunda olduğu ortada. Peki, daha önceki aşamalarda hangi parçacıklar oluşabiliyor? Bu tanecikler çok da iyi saptanabilmiş değil; çünkü, genellikle ilkel tanecikler, onları buldukları taştan çıkarmak için yapılan asit uygulamalarından pek sağlam çıkamıyorlar. İğneyi bulmak için samanlığı yakmak gibi bir şey bu. Bu nedenle günümüze kadar oksijen içerdiği keşfedilen ilkel tanecikler, sadece korundum, hibonit ve rutil gibi aside dayanıklı mineraller.

Oksijen içeren taneciklerin neredeyse hepsinin, kırmızı devlerden geldiklerinin ipuçlarını veren izotop-

ları var. Onlar da tek bir yıldızın ürünü olamayacak kadar çok çeşitliler. İşin ilginç yanı, hiçbiri, SiC taneciklerinin geldiği yıldızdan gelmiş gibi görünmüyor. Gallino'nun yıldız evrimi modeline bakarsak, SiC, oksitlere göre kimyasal bakımdan daha fazla evrimleşmiş yıldızlardan geliyor olmalı.

SiC ve oksit taneciklerinden bildiğimiz kadarıyla, gezegenimizdeki elementlerin en azından bir bölümünün kaynağı kırmızı devler. Ancak, bundan fazlası da var. Bazı taneciklerin de süpernova patlamalarıyla uzaya saçıl-



*Yıldız tozu. Bu minyatür cam şişe, bir trilyondan fazla mikroskobik elmas taneciği içeriyor. Bu tanecikleri göktaşlarından çıkarmak için asit kullanılıyor. Bu minyatür elmaslar, Güneş sisteminin oluşumundan önce patlamış yıldızlarda oluşmuş.*

lan yıldız enkazlarından kaynaklandığı düşünülüyor. SiC taneciklerinin yaklaşık yüzde biri (bunlar X tanecikleri olarak da biliniyor) kırmızı devlerden gelenlerden farklı bileşime sahip. Tanımlanmış öteki olası süpernova tanecikleriyse grafit, korundum ve silisyum nitrit bakımından zengin. Bu elementlerin olduğu süpernova patlamalarına Tip II Süpernovaları da deniyor. Bu süpernovalar, en azından 10 güneş kütleindeki yıldızların patlamasıyla oluşuyor. Bu yıldızların patlaması gerçekten çok şiddetli oluyor. Yıldız, çekirdeği dışındaki tüm katmanlarını uzaya savuruyor.

Elmaslara dönersek, onlar, ilk keşfedilen tanecikler. SiC ve pek çok öteki mineralin tersine, incelenmek için çok küçük olmaları işi zorlaştırıyor. Bununla birlikte bu tanecikler, Güneş'ten önce oluşmuş moleküllerin en yaygın olanı. NASA'nın Ames Araştırma Laboratuvarı'ndaki gökbilimciler, yıldızlararası ortamda bulunan gaz ve toz bulutlarının önemli miktarlarda elmas tanecikleri içerebileceğini öne sürüyorlar. Eğer haklılarsa, gökadamızdaki karbonun yüzde 20'ye varan oranı elmas formunda demektir.

Kozmik elmasın sadece milyonda biri ksenon atomu içerse de, bu element, mücevherlerin kaynağı hakkında en iyi ipuçlarını sağlıyor bize. Xe-L (hafif ksenon izotoplarınca zengin) çok miktarlarda serbest nötronların bulunduğu ortamlarda; Xe-H (ağır ksenon izotoplarınca zengin) nötronlarla çok kısa süre etkileşime girerek oluşuyorlar. Tüm bu etkileşimler, yıldızların değişik katmanlarında ya da süpernovalarda gerçekleşiyor.

Bu minyatür mücevherler, bize gökadamızın nasıl işlediğine ilişkin önemli ipuçları sağlıyor. Bundan da öte, nereden geldiğimizi bir kez daha anımsatıyor bize. Her biri şimdi bir beyaz cüce, nötron yıldızı ya da kara delik olan yıldızların geri kalanı, Güneş sistemimizi ve bizi oluşturdu. Varlığımızı kırmızı devlere ve süpernova patlamalarına borçlu olduğumuzu rahatlıkla söyleyebiliriz. Sonuçta, hepimiz yıldız tozundan oluşmuşuz.

Alp Akoğlu

Kaynaklar  
Beatty, J.K., Petersen, C.C., Chaikin, A., *The New Solar System*, Sky Publishing Corporation, New York, 1999  
Haggerty, S.E., A Diamond Trilogy: Superplumes, Supercontinents and Supernovae, *Science*, 6 Ağustos 1999, 285: 851-860  
Russell, S., Stardust, *New Scientist*, 13 Mayıs 2000