

# YAŞAMIN ELEMENTLERİ

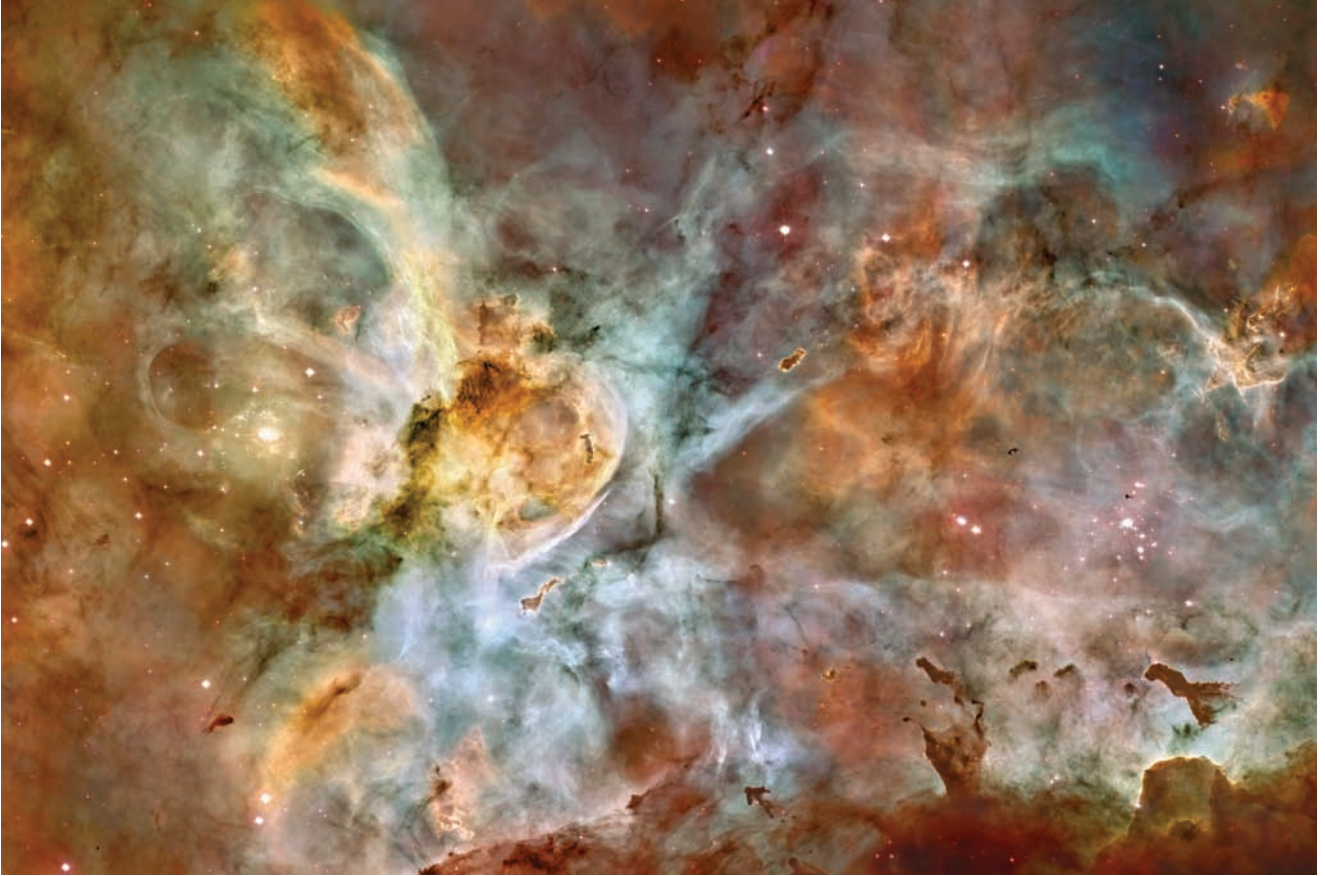
**Çevremizdeki her şey, hayvanlar, bitkiler, toprak, hava, cep telefonumuz, otomobilimiz, gezegenler, yıldızlar ve elinizde tuttuğunuz bu dergi “atom” adı verilen, maddenin temel yapıtaşlarından oluşmuştur. Peki, atomların kökeni nedir? Bu sorunun yanıtı gerçekten heyecan verici. Çünkü bizi ve çevremizdeki her şeyi oluşturan elementler, Büyük Patlama’dan süpernova patlamalarına kadar birçok olayı yaşamışlar.**

Vücudumuzdaki atomların büyük bölümü, 13,7 milyar yıl önce Büyük Patlama’nın hemen ardından oluşmuş ve o günden bu yana değişmeden kalmış durumda. Evrende en çok bulunan element olan hidrojen, vücudumuzdaki atomların da çoğunu oluşturuyor. Evrenin yaklaşık % 90’ını, vücudumuzunsa yaklaşık % 60’ını oluşturan hidrojen, ilkel evrenin oluşturabileceği, sa-

dece bir proton ve bir elektrondan oluşan en basit element.

Baştan başlayalım... Bir periyodik tabloya baktığımızda hidrojenin ardından helyum gelir. Büyük patlama sonrasında, hidrojenden çok daha az miktarda olmakla birlikte, iki proton ve iki nötrondan oluşan helyum çekirdekleri de oluştu. Ancak bir soy gaz olan helyum, yaşam için gerekli diğer element-

lerle bileşik oluşturmadığı için vücudumuzda neredeyse hiç bulunmaz. Üçüncü sırada bulunan lityumsa eser miktarda oluştu. Evren çok hızlı soğuduğu için lityumdan daha ağır elementlerin bu süreçte oluşacak fırsatları olmadı. Bu elementlerin oluşabilmesi için gereken basınç ve sıcaklığı ortaya çıkarabilecek başka türlü mekanizmalar gerekiyordu.



Başlangıçta evrende hidrojen ve helyum vardı. Günümüzün yıldızlarının ataları, evreni elementlerce zenginleştirerek sonraki nesil yıldızların daha zengin bir bileşimle doğmalarını sağladı. Bu elementler, gezegenimizin ve üzerinde yaşayan canlıların temel yapıtaşlarını oluturuyor.

Evren birkaç milyon yaşına geldiğinde, hidrojen ve helyumdan oluşan madde, kütleçekiminin etkisiyle sıkışmaya başladı. Bunlar, çeşitli düzensizliklerin etkisiyle belli bölgelerde toplanarak ilk yıldız topluluklarını yani gökada kümelerini oluşturdu. İlk yıldızların çoğunun kütlesi, Güneş'inkinden 10 ila yüzlerce kat büyüktü. Hidrojen atomu çekirdekleri, bu yıldızların içindeki yüksek basınç ve sıcaklığın etkisiyle kaynaşarak helyuma dönüştü. Bu ilk yıldızlar büyük olasılıkla, çekirdeklerinde helyum yakmaya fırsat bulamadan günümüzün süpernova patlamalarından çok daha şiddetli patlamalarla dağıldılar.

Bu patlamalarda ortaya çıkan basınç ve sıcaklık, Büyük Patlama'dan sonra hiç görülmedik derecede yüksekti. İşte hidrojen ve helyuma göre ağır elementler, ilk kez bu şekilde ortaya çıkmaya başladı ve böylece periyodik tabloya yeni kutucuklar eklendi. Sayıları görece az olan bu dev yıldızların, evrenin kimyasal yapısında çok da büyük bir değişim yaratmadığı düşünülüyor. Yine de, daha sonra bu yıldızların küllerinden oluşan yeni yıldızların kimyasal bile-

şimlerinde rol oynadıkları kesin.

İlk nesil yıldızlara göre daha zengin bir bileşime sahip olan bu ikinci nesil yıldızların çekirdeklerindeki sıcaklık 100.000.000°C'yi aşabiliyordu. Bu sıcaklıkta helyum çekirdekleri kaynaşabildiği için, bir dizi zincir tepkime sonucunda evrende ilk defa karbon atomu çekirdekleri (6 proton ve 6 nötron) kayda değer miktarlarda oluşmaya başladı.

Yıldız bir kez karbon oluşturmaya başladığında, oksijenin (8 proton, 8 nötron) oluşması için çok fazla ısı ve basınca gerek kalmaz. Karbon atomu çekirdeklerine eklenen bir helyum atomuyla oksijen oluşur. Bu aşamaya gelmiş büyük kütleli yıldızların süpernova olarak patlaması sonucu daha da fazla oksijen atomu çekirdeği ortaya çıkar.

Dikkat ettiyseniz, arada bir elementi, üstelik çok da yaygın bir elementi atladık. Çünkü, oksijenden daha hafif bir element olan azotun (7 proton, 7 nötron) oluşumu biraz karmaşık. Azot da yıldızların çekirdeklerinde oluşur; ama CNO (karbon-azot-oksijen) döngüsü denen bir dizi tepkimenin sonucunda...

Evrendeki azotun büyük çoğunlu-

ğunun orta kütleli yıldızlarda (1 ila 8 Güneş kütlesi) olduğu tahmin ediliyor. Çünkü bu yıldızlardaki CNO döngüsü daha iyi işliyor. Bu yıldızlar, evrimlerinin son aşamalarında, güçlü yıldız rüzgârlarıyla azotun da içinde bulunduğu çeşitli elementleri uzaya savuruyorlar.

## Yıldız Peşinde

Gökbilimciler, evreni oluşturan elementlerin kökenini araştırırken birer dedektif gibi kanıt peşinde koşuyorlar. Ancak bazı kanıtlara ulaşmaları pek kolay olmayabiliyor. Örneğin evreni zenginleştiren ilk nesil büyük kütleli yıldızları gözleme şansları yok. Bu yıldızlar hızlı yaşayıp genç öldüler. Çok kısa sürede ömürlerini tamamladıkları için ne kadar arasalar da bulma olasılıkları yok.

Buna karşın, kütleleri 0,8 Güneş kütlesinden daha küçük olan yıldızlar evrenin yaşı olan 13,7 milyar yıldan uzun yaşayabilirler. Bu, evrendeki ilkel maddeden yapılmış yıldızların bir yerlerde bulunabilecekleri anlamına geliyor. Bu yıldızları bulmak önem taşıyor. Çünkü onların bileşiminin incelenme-



Elementlerin kökenini araştıran gökbilimciler, büyük teleskoplar ve hassas tayfölçerler kullanarak yıldızların bileşimlerini inceliyorlar. Sloan Sayısal Gökyüzü Araştırması'nda elde edilen veriler bunlardan biri.

siyle, yaşamın temel yapıtaşlarından olan karbon, azot ve oksijenin gerçekten yıldızlarda mı “pişirildiğini” yoksa evrenin oluşumuyla birlikte mi ortaya çıktığını anlayabiliriz. Bu yıldızların, demir gibi ağır elementleri pek fazla içermesi beklenemez. Çünkü ağır elementlerin oluşumu birçok yıldız yaşam döngüsü gerektirir. Bu durumda aranması gereken, düşük kütleli ve düşük metal içerikli yıldızlar. (Gökbilimciler, hidrojen ve helyum dışındaki tüm elementleri “metal” olarak tanımlarlar).

Gözlemler, söz konusu yıldızların gerçekten var olduğunu gösteriyor. Ne var ki sayıları pek fazla değil. Üstelik çoğu Samanyolu diskinin dışındaki küresel yıldız kümelerinin içinde bulunuyor. Her biri yüz binlerce yıldız içeren ve çok uzağımızda bulunan bu kümelerdeki yıldızları tek tek incelemek kolay değil. Buna bir çözüm olarak araştırmacılar binlerce yıldızın aynı anda tayfını çekmek için bir yöntem geliştirdiler. Yıldızların tayfı, küçük bir teleskopla çekilerek bir fotoğraf plakasının

üzerine ya da CCD algılayıcıyla sayısal olarak kaydediliyor ve ağır elementlerin bulunmadığı ya da çok az görüldüğü adaylar diğerlerinin arasından seçiliyor.

Bir sonraki adım, adayların daha yüksek ayırt etme gücüne sahip tayfçekerler ve büyük teleskoplar kullanılarak incelenmesi. Bu adımı da başarıyla geçen ve en düşük ağır metal belirtisi gösteren yıldızlar, dünyanın en büyük teleskopları ve en hassas tayfçekerleriyle inceleniyor. HES (Hamburg/ESO Araştırması) olarak adlandırılan bir çalışmada, şimdiye kadar Güneş'in metal içeriğinin % 1'i kadar ya da daha az metal içeren 2000'den fazla yıldız bulundu. Bu yıldızların ikisi, Güneş'inin sadece milyonda biri kadar metal içeriyor!

HES'in yanı sıra, 2000 yılında başlatılan ve gökyüzünün yaklaşık dörtte birlik bir alanının çeşitli dalgalı boylarında görüntülenmesi ve bu bölgelerdeki gökcisimlerinin tayflarının çekilmesini amaçlayan Sloan Sayısal Gökyüzü Araştırması (Sloan Digital Sky Survey) kapsamında yapılan gözlemlerde bir seferde 640 yıldız incelenebiliyor. Bu araştırma kapsamında bulunan metal fakiri yıldız sayısı, önceki araştırmalarda bulunanların üç katına çıkmış durumda.



Evrendeki ilkel maddeden yapılmış yıldızlar, bize yaşamın temel yapıtaşlarından olan karbon, azot ve oksijenin yıldızlarda “pişirildiğini” anlatıyor. Bu yaşlı yıldızlar, Samanyolu diskinin dışındaki küresel yıldız kümelerinin içinde bulunuyor.

Araştırmaların sonuçları gösteriyor ki, Güneş'in 100'de birinden az metaliğe sahip yıldızların % 20'si atmosferindeki demire göre, yine atmosferinde çok yüksek karbon oranına sahip. Bu oran Güneş'in karbon/demir oranının 10.000 katına kadar çıkıyor. Bunun yanı sıra, bu yıldızlarda azot ve oksijenin demire oranları da çok daha yüksek. Bu gözlemler, karbon, azot ve oksijenin ilkel evrende bolca üretildiğini gösteriyor.

## Element Fırınları

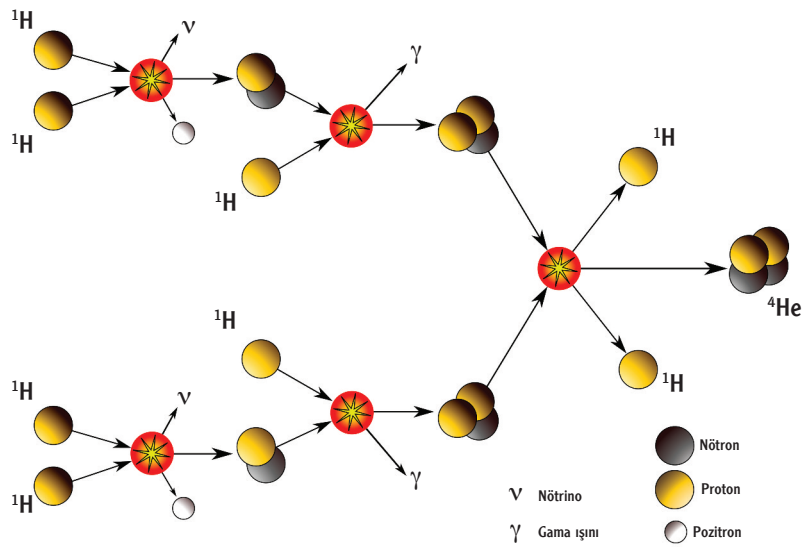
Vücudumuzu oluşturan atomların sayıca % 62'si hidrojen, % 24'ü oksijen, % 12'si karbon ve % 1'i azottan oluşuyor. Bu oranları topladığımızda, vücudumuzun % 99'unu oluşturan atomların çoğunun Büyük Patlama'nın kısa bir süre sonrasında, geri kalanınınsa ilk yıldızlarda oluştuğunu söyleyebiliriz.

Peki, geriye kalan % 1'lik oran nelerden oluşuyor? Oran küçük görünse de bunlar vazgeçebileceğimiz türden elementler değil. Bunların çoğu, yaşam için "olmazsa olmaz" yapıtaşları. Aslında sayıca % 1'i oluştursalar da, kütleleri hidrojene göre çok daha büyük olduğu için ağırlığımızın % 1'den daha fazlasını oluşturuyorlar. Bir multivitamin kutusunun üzerinde çoğunun adını söylemekte bile zorlandığımız birçok element sıralandığını görürüz. Bu elementlerin bazıları evrende çok az miktarlarda bulunur. Günlük yaşamda da gıdalardan farkında olmadığımız bir şekilde aldığımız dışında pek karşımıza çıkmazlar. Örneğin molibden Güneş Sistemi'nin yalnızca 10 milyarda birini oluşturur. Ancak çok az miktarlarda da olsa, vücudumuzun çeşitli işlevlerini yerine getirebilmesi için gereksinim duyduğumuz bir elementtir. Bu element, Güneş'ten daha büyük kütleli yıldızların yaşamının son aşamalarında, yani yıldız ölürken oluşur.

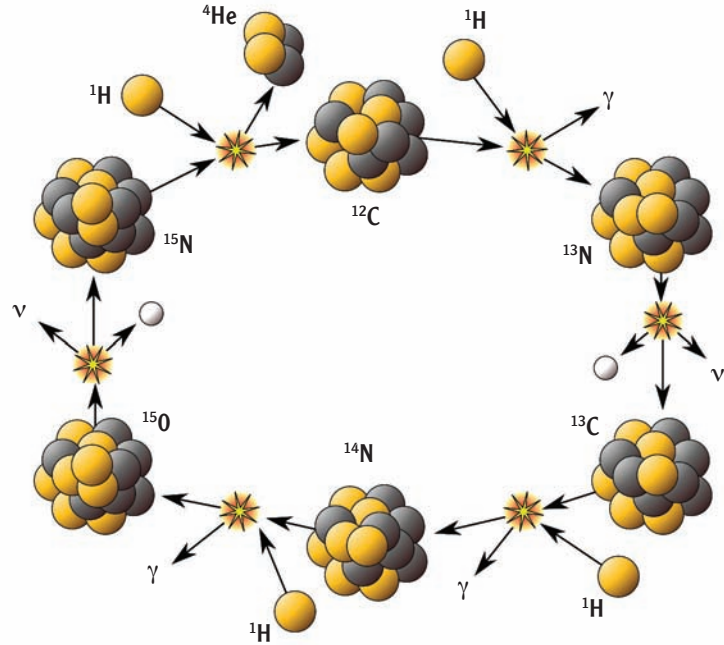
Çekirdeğinde hidrojen yakan bir yıldız, yaşamının ortalarında kararlı bir duruma gelir. Yıldızın merkezindeki tepkimeler, dışa doğru bir basınç yaratır. Kütleçekimiye buna zıt yönlü bir kuvvet uygular. Kuvvetler dengelenir ve yıldız çökmekten olduğu gibi genişleyip dağılmaktan da kurtulur.

1 ila 8 Güneş kütlesine sahip bir yıldız, çekirdeğindeki hidrojeni tükettiğinde, kütleçekimi baskın hale gelir ve

## Helyum Oluşumu



## Karbon - Azot - Oksijen Döngüsü



Yıldızlar, enerjilerini nükleer tepkimelerden alır. Hafif elementlerin atom çekirdekleri kaynaşarak daha ağır elementlere dönüşürken yan ürün olarak enerji ortaya çıkar. Güneş gibi yıldızlar, enerjilerinin çoğunu iki hidrojen atomu çekirdeğini kaynaştırarak elde eder. Bu proton - proton tepkimesi, en basit çekirdek kaynaşmasıdır. Daha büyük kütleli yıldızlarda, enerjilerinin çoğunu CNO (Karbon - Azot - Oksijen) döngüsüyle elde ederler. CNO döngüsü, özellikle azotun üretiminde önemli role sahiptir.

yıldız çökmeye başlar. Ta ki yıldızın çekirdeğindeki sıcaklık helyum çekirdeklerini kaynaştırmaya yetecek kadar yükselene dek. Bu durum yıldızın genişlemesine ve yüzeyinin soğumasına neden olur. Ardından döngü tekrarlar.

Bu zonklamalar sırasında 6 proton ve 7 nötrondan oluşan karbon-13 çekirdekleri, 2 proton ve 2 nötrondan oluş

muş helyum çekirdekleriyle kaynaşır. Bu çekirdek tepkimeleri, vücudumuzdaki atomların dörtte birini oluşturan oksijeni (8 proton, 8 nötron) oluşturur. Her bir tepkimenin sonucunda da bir nötron açıkta kalır. Çekirdeklerindeki basınç ve sıcaklık daha yüksek olan daha büyük kütleli yıldızlarda, neon-22 ve helyum-4 kaynaşması sonucu oluşan



Sarmal Bulutsu



Yengeç Bulutsusu

Yıldızlarda oluşan elementler, zaman içinde yıldızın çekirdeğinden atmosferinin üst katmanlarına kadar taşınır. Bunların çok küçük bir bölümü, yıldız rüzgârlarıyla uzaya saçılır. Evren, yıldızların ömürlerinin sonunda bir gezegenimsi bulutsu (solda) ya da süpernova (sağda) olarak patlamalarıyla zenginleşir. Güneş kütleindeki bir yıldız ömrünü tamamladığında üst katmanlarını uzaya savurur. İşte bu madde bir gezegenimsi bulutsu olarak genişler ve yıldızdan uzaklara taşınır. Süpernova patlamaları sırasında o kadar büyük bir enerji ortaya çıkar ki, oluşumları çok yüksek enerji gerektiren bazı elementler yalnızca bu şekilde oluşabilir.

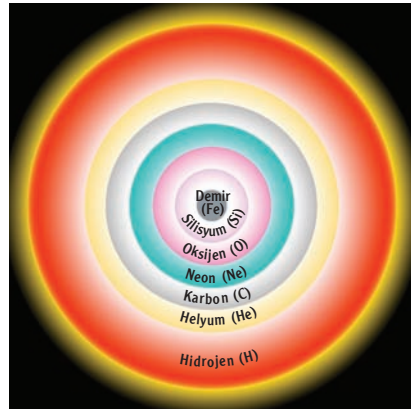
magnezyum-25 ile birlikte yine bir nötron açığa çıkar. Magnezyum, vücudumuzda eser miktarda bulunsa da protein sentezi, kasların kasılması ve sinirler arası iletişimin gerçekleşebilmesi için gerekli bir elementtir.

Açığa çıkan çok miktarda nötronsa, yıldızın çekirdeğinde kaynayan kazanın içinde kaynaşacak başka çekirdekler arar. Örneğin, nötronların bir demir çekirdeğiyle kaynaşmasıyla demirin çeşitli izotopları oluşur. Normalde demirin proton ve nötron sayıları eşitken (26 proton, 26 nötron) çekirdeğe kaynaşan nötronlar bu eşitliği bozar. Kaynaşan nötronlara karşın atom çekirdeği kararlı yapısını koruyabilir. Ancak, çok fazla sayıdaki nötron, çekirdeği kararsız hale getirir ve nötronlardan biri protona dönüşür. Bu sırada bir elektron açığa çıkar ve çekirdek böylece beta ışınımı yapmış olur (elektronlar aynı zamanda beta parçacığı olarak da bilinir). Proton sayısı değişen element artık başka bir elemente dönüşmüştür. Periyodik tabloda bir kutucuk daha...

Orta kütleli bir yıldızın zonklamaları sırasında çekirdeğinin santimetreküpünde 100 milyon kadar nötron vızır vızır uçuşur. Bu, gökbilimsel bakımdan o kadar da yüksek bir yoğunluk değildir. Böylece, yeni oluşan izotoplar yeni bir nötronla çarpışmadan önce, kendilerini nötron-proton dönü-

şümüyle dengeleyecek zamanı bulurlar.

Bu yolla giderek daha ağır çekirdeklerin oluşmasına “yavaş süreç” deniyor. Olayın bu şekilde adlandırılmasının nedeni, çekirdeğin nötronlarla kaynaşma hızının beta bozunumu hızına göre yavaş kalması. Bu mekanizmayla oluşan elementler de “yavaş süreç elementleri” olarak adlandırılıyor. Bu süreci hararetle yaşayan, yani çekirdeğinde yoğun bir şekilde çekirdek-nötron kaynaşması ve beta bozunumu gerçekleştiren yıldızlar, çekirdeklerindeki demirin bir bölümünü vücudumuzun işleyişi için gerekli olan molibden elementine dönüştürür. İşte, yaşamı oluşturan elementlerin nasıl ortaya çıktığını, yıldızların içinde neler olup bittiğini anlayarak bu şekilde bulabiliyoruz.



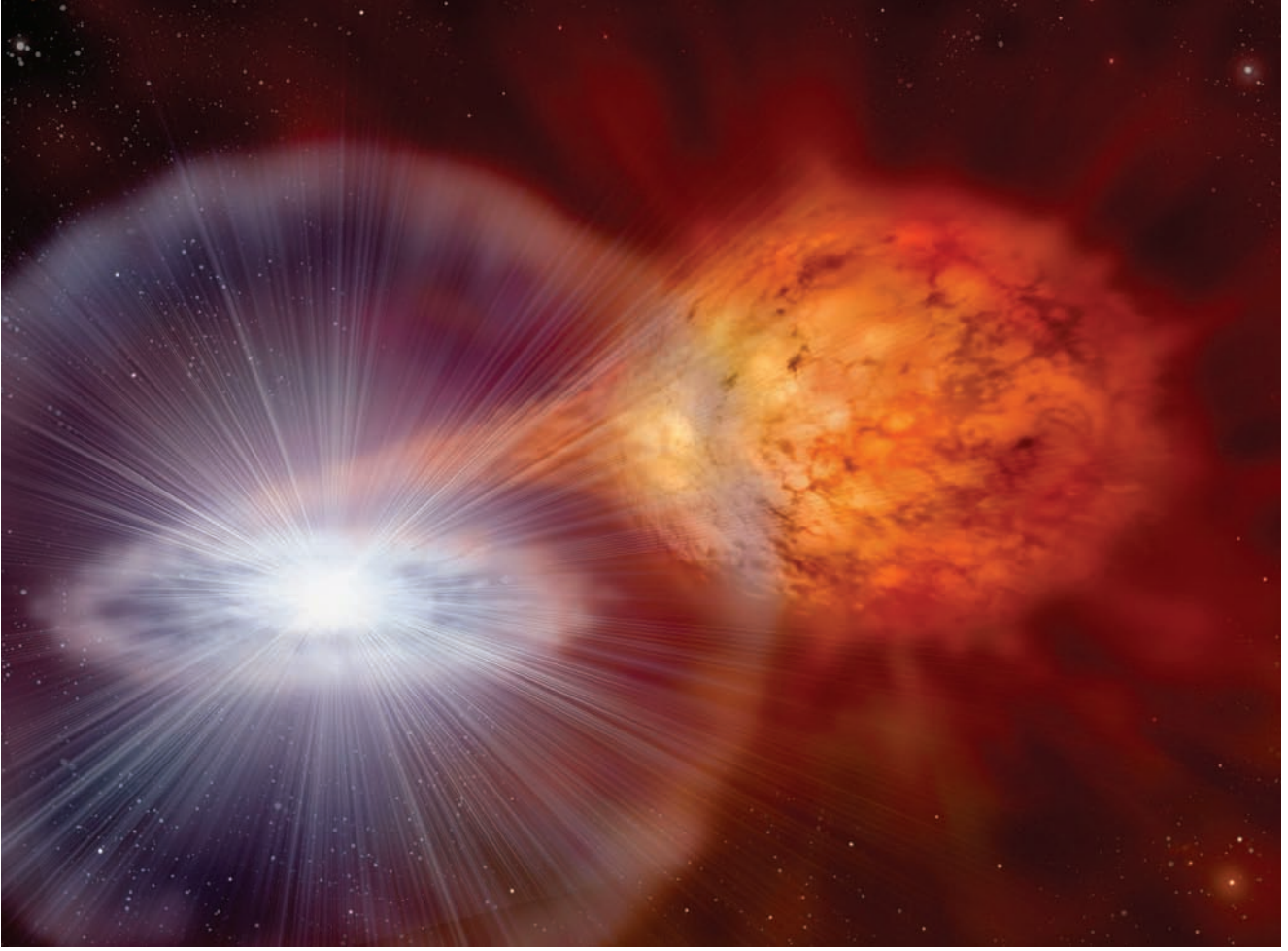
Evriminin ileri aşamasında bulunan büyük kütleli bir yıldızın iç katmanları.

Peki, nasıl oluyor da çapı milyonlarca kilometreyi bulan bu dev gök cisimlerinin çekirdeğindeki maddeler, gökadamızın her yanına yayılmış olarak bulunuyor? Yıldızları katı cisimler gibi düşünmemek gerek. Her ne kadar büyük kütleli bir yıldızın çekirdeği demirden oluşsa da buradaki sıcaklık o kadar yüksektir ki, burası kaynayan bir kazanın içi gibi sürekli hareket halindedir. Yıldızın içindeki ısı, ışınımın yanı sıra çalkantılarla dış katmanlara iletilir. Yani, yıldız oluşturan madde sürekli hareket halindedir. Böylece, çekirdekte ve çevresinde “pişirilen” yeni elementler yıldızın üst katmanlarına kadar ulaşabilir. Yıldız ömrünü tamamladığında üst katmanlarını uzaya savurur. İşte bu madde bir gezegenimsi bulutsu olarak genişler ve yıldızdan uzaklara taşınır.

Vücudumuzdaki molibdenin çoğu, ayrıca stronsiyum, itriyum, baryum, lantan, seryum ve kurşunun tamamına yakını, yıldızımız Güneş'in atalarının içinde, yavaş süreçler sırasında oluşmuş. Güneş Sistemimiz de bu yıldızların küllerinden var olmuş ve bu elementler tüm canlılara yaşam vermiş.

## Patlayan Fırımlar

Bir yıldızın içinde oluşan elementler, vücudumuzun neredeyse tüm gereksinimlerini karşılar. Ancak, örneğin



Güneş benzeri yıldızların ürünü olan beyaz cücelerin, Güneş Sistemi'ndeki demirin ana kaynağı olduğu tahmin ediliyor. Birbirlerine çok yakın yörüngede dolanan dev bir yıldız ve bir beyaz cüceden oluşan ikili sistemde, dev yıldızdan beyaz cüceye madde akımı olabilir. Eğer bir beyaz cüce aşırı miktarda kütle biriktirirse patlar ve çevresini demir bakımından zenginleştirir.

iyot olmadan sağlıklı bir yaşam süremeyiz. Bu elementse yıldızların içinde üretilmiyor. Bunun için çok daha fazlası, ne kadar büyük olursa olsun bir yıldızın içinde oluşması mümkün olmayan koşullar gerekli. İşte bu koşullar yalnızca süpernova patlaması denen çok güçlü patlamalar sırasında ortaya çıkabiliyor. Yıldızlar süpernova olarak patladıklarında, o kadar yoğun bir şekilde nötron bombardımanına uğrarlar ki beta bozunumuyla kendilerini dengeleyecek fırsatı bulamazlar.

Çok büyük kütleli yıldızların patlamasıyla oluşan tip II süpernovalarda, atom çekirdekleri nötronlar tarafından çok yoğun bir şekilde bombardımana tutulur. Bu sırada, nötron yoğunluğu santimetreküp başına yüz milyar kere trilyona çıkar. (Hatırlarsanız, yavaş süreç sırasında nötron yoğunluğu santimetreküp başına yüz milyardı.) İşte atom çekirdeklerinin beta bozunumuyla dengelenemedikleri bu sürece "hızlı süreç" deniyor. İşte bu süreç sırasında ortaya çıkan enerji, süpernovanın parlaklığını korumasına, hatta bir süre daha artırmasına neden olabilir. Ancak olay biraz yatıştıktan sonra, kararsız durumdaki atom çekirdekleri bozunarak kararlı izotoplara dönüşebilirler.

Ortalık sakinleştiğinde ortaya gümüş, altın ve platin gibi fazlaca değer verdiğimiz elementlerin yanı sıra, yukarıda sözünü ettiğimiz iyot da ortaya çıkar. Bunların yanı sıra, hızlı süreç sonunda, biyolojik açıdan önemli birçok hafif element de oluşmuş olur. Kalsiyum, magnezyum, silisyum, kükürt ve titanyum bunlardan bazıları.

Bazı elementlerinse hangi süreçlerde ortaya çıktığı tam bilinmiyor. Örneğin, her iki süreçte de selenyum oluşabiliyor. Sağlıklı bir bağışıklık sistemi için gerekli olan selenyumun yaklaşık üçte ikisinin hızlı süreçlerde, geriye kalanı yavaş süreçlerde olduğu düşünülüyor.

Canlılar için vazgeçilmez bir element olan demir, tip II süpernova sırasında uzaya belli ölçüde saçılıyor. Ancak, yıldızın çekirdeğindeki demirin çoğu, yıldızın kütesine bağlı olarak karadeliğe, nötron yıldızına ya da beyaz cüceye dönüşüyor. Gökbilimciler, Güneş benzeri yıldızların ürünü olan beyaz cücelerin, Güneş Sistemi'ndeki demirin ana kaynağı olduğunu tahmin ediyorlar. Birçok yıldız, evrende tek başına bulunmaz. Bunun yerine, ikili ya da çoklu sistemler oluştururlar. Bunlardan bazıları birbirlerine o kadar yakın do-

lanır ki, birinin diğeri üzerinde çeşitli etkileri olabilir. Dev bir yıldız ve bir beyaz cüceden oluşan ikili sistemde dev yıldızdan beyaz cüceye madde akımı olabilir. Bunun çeşitli örnekleri gözleniyor. Eğer bir beyaz cüce aşırı miktarda kütle biriktirirse patlayabilir. İşte bu patlamalar, demiri dört bir yanına saçar.

Gökbilimciler çok uzaklarda, erişmeyeceğimiz kadar uzakta bulunan gök cisimleri üzerinde çalışırken, aslında kökenimizle ilgili merak ettiğimiz, nasıl ve neden oluştuğumuz sorularının yanıtını da bulmaya çalışıyorlar. Şimdilik sahip olduğumuz bilgiler ışığında, bizi oluşturan elementlerin bir bölümünün Büyük Patlama sırasında, bir bölümünün yıldızların içinde, kalanının da süpernova patlamalarında oluştuğunu rahatlıkla söyleyebiliyoruz. Sonuçta hepimiz yıldız tozundan yapılmışız...

Alp Akoğlu

**Kaynaklar:**  
Beers, T.C., Origin of the Elements of Life, Sky & Telescope, Mart 2008  
James, C.R., Where Did You Come From?, Sky & Telescope, Mart 2008  
Altın, V., Elementlerin Oluşumu, Yeni Ufuklara (Bilim ve Teknik eki), Mart 2008  
Sloan Sayısal Gökyüzü Araştırması İnternet Sitesi (<http://www.sdss.org/>)