

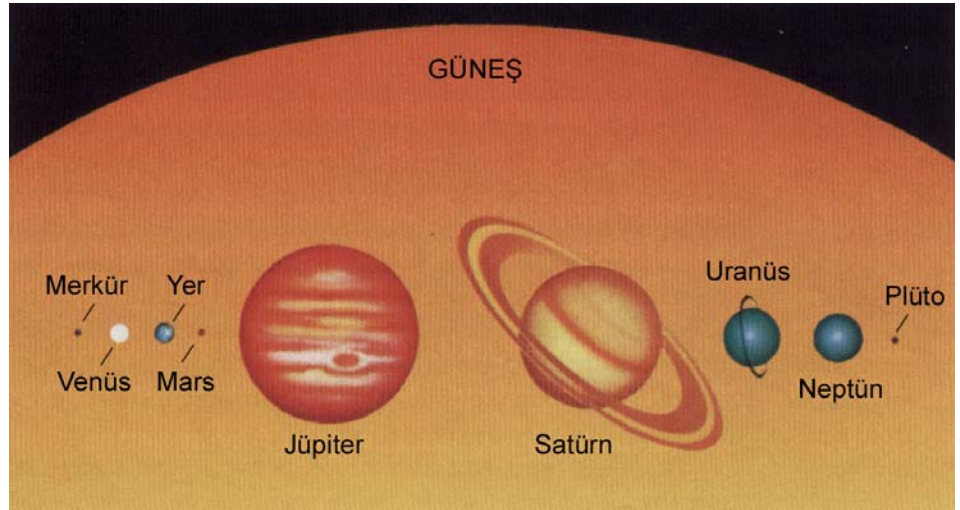
# BÖLÜM 1 Giriş

## 1.1 Tanımlar ve Genel Özellikler

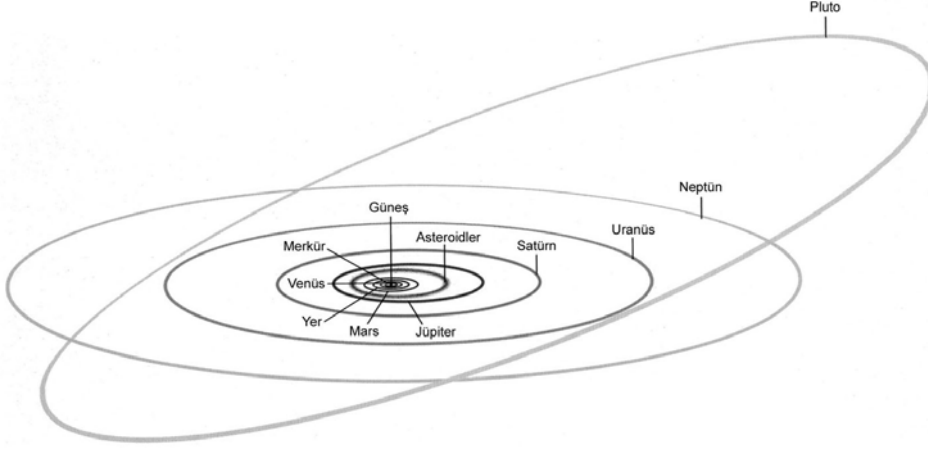
Güneş sistemimiz, birbirlerine dinamik olarak bağlı

- Güneş,
- 8 gezegen ve bunların uyduları,
- cüce gezegenler ve bunların uyduları (*Ceres, Plüto, Eris*),
- Güneş sisteminin küçük nesnelere (*asteroidler (küçük gezegenler), Neptün ötesi cisimler, kuyruklu yıldızlar, meteorlar*),
- gezegenlerarası gaz ve tozdan

oluşmuş bir organizasyondur. Bu sistemin sınırları bir cüce gezegen olan Plüto'dan daha ötelere kadar uzanmaktadır. Tanım olarak bu sınır, güneş sisteminin çekimsel etkisinin hissedilebileceği en büyük uzaklık olarak verilmektedir. Buna göre güneş sistemimizin sınırı, Güneş'imiz ile, ona en yakın ve birbirlerine çekimsel olarak bağlı 3 yıldızdan oluşmuş  $\alpha$  Centauri sisteminin (uzaklık 4.2 ışık yılı) karşılıklı çekim etkilerinin dengelendiği yerdir ve kabaca Güneş'ten 2 ışık yılı uzaklıktadır.



Şekil 1.1 Gezegenerin ve Güneş'in karşılaştırmalı boyutları



Şekil 1.2 Gezegenlerin yörüngeleri

Güneş sisteminin toplam kütesinin %90 dan fazlası Güneş'te toplanmıştır. Bu nedenle sistemin kütle merkezi Güneş'in içinde kalmaktadır. Sistemin diğer üyeleri bu kütle merkezi etrafında Kepler yasalarına uygun olarak belirli yörüngelerde dolanırlar. Yörüngelerin büyük bir çoğunluğu biçim olarak çembere yakın (dışmerkezliği çok küçük elips) olup kabaca aynı düzlemedirler. Yer'in Güneş etrafındaki yörüngesinin oluşturduğu düzleme “*ekliptik*” denir ve diğer gezegenlerin yörüngeleri bu düzlem ile çok küçük açılar yapmaktadır. Bu konuda Plüto cüce gezegeninin bir ayrıcalığı bulunmaktadır ve yörüngesinin ekliptik düzlemi ile yaptığı 17° lik açı ile diğer gezegenlerden belirgin bir şekilde farklılık göstermektedir (Şekil 1.2).

Güneş sistemindeki uzaklıklar, “*ortalama Yer-Güneş uzaklığı*”nı temel alan ve “*astronomi birimi (AB)*” olarak adlandırılan bir birim ile ifade edilir. Değeri 149,600,000 km dir. Yer'in kuzey kutbu doğrultusunda birkaç AB uzaklıktan güneş sistemine baktığımızda tüm gezegenlerin yörüngeleri üzerinde, saatin hareketinin tersi yönünde Güneş etrafında dolandıklarını görürüz. Bu hareket yönüne “*prograt (prograde)*”, ters yönüne ise “*retrograt (retrograde)*” adı verilmektedir. Gezegenlerin kendi eksenleri etrafındaki dönme hareketi ve çevrelerindeki uyduların yörünge hareketleri de büyük çoğunlukla prograt yöndedir.

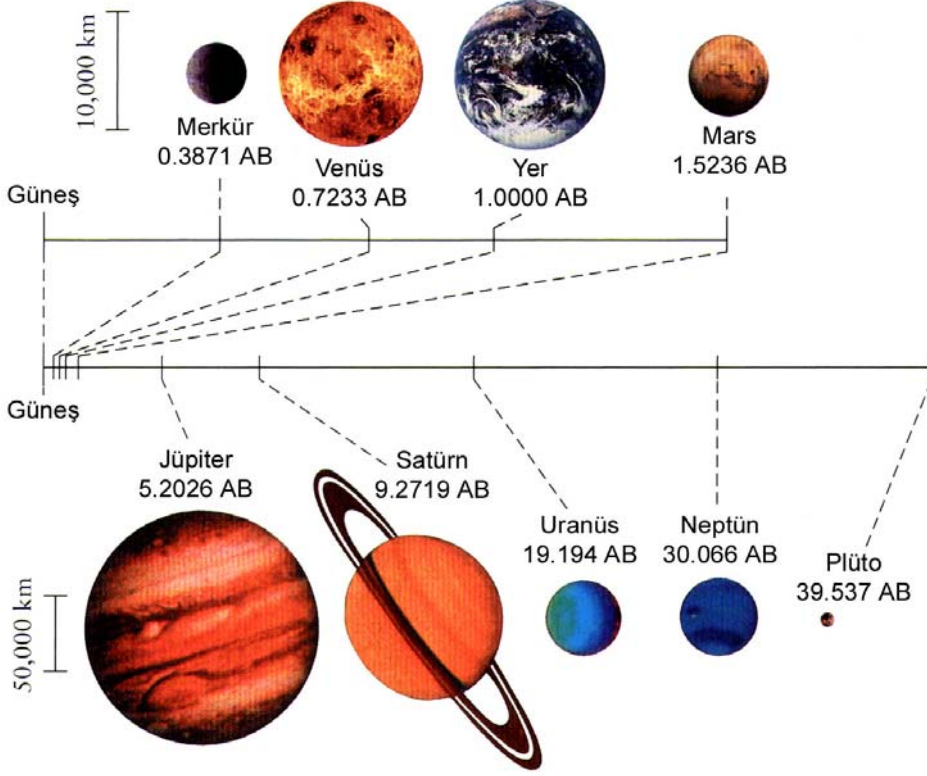
Gezegenlerin Güneş'ten olan uzaklıkları kendi boyutları ile oranlandığında, gezegenlerin son derece küçük, Güneş'e olan uzaklıklarının ise çok büyük olduğu

görülmektedir. Çarpıcı bir örnek olarak, Güneş'in bir portakal büyüklüğünde olması halinde, Yer'in bir kum tanesi büyüklüğünde olması ve bu portakaldan 7 metre uzaklıkta durması gerektiğini verebiliriz. Şekil 1.2 de kullanılan ölçek dikkate alındığında, güneş sistemimizin en büyük çaplı gezegeni olan Jüpiter'in, bu şekil üzerinde yerine işaretlenmesi için 0.00014 cm boyutlarında bir nokta konması gerekmektedir.

9 gezegen birçok yönden birbirleri ile benzer olduğu gibi, birini diğerinden farklı yapan sayısız özelliğe de sahiptir. Üzerinde yaşadığımız Yer, yüzeyinde sıvı su ve insanların soluyabileceği atmosferi barındıran tek gezegendir. Sülfirik asit damlacıklarından oluşma ve hiç dağılmayan bulutları ile Venüs'ün bir benzeri daha yoktur. Sadece Jüpiter'in atmosferinde oluşan fırtınalar yüzyıllarca kesintisiz sürebilmektedir. Benzerlikler açısından bakıldığında ise, aktif volkanlar Yer'den başka Venüs, Mars ve Jüpiter'in uydusu Io'da da görülmektedir. Jüpiter, Satürn, Uranüs ve Neptün'ü çevreleyen halka yapıları bu gezegenlerin ortak özelliğidir. Merkür, Venüs, Yer ve Mars gezegenlerinin yüzeylerinde, gezegenlerarası cisimlerle şiddetli çarpışmalar sonucu oluşmuş "kraterler" bulunmaktadır.

Benzerlikler ve farklılıkların ışığı altında gezegenleri sistematik olarak sınıflamak istersek karşımıza iki yol çıkmaktadır. Buna göre; *1. Yol:* gezegenleri Güneş etrafındaki yörünge özelliklerine göre, *2. Yol:* ise gezegenleri; çap, kütle, ortalama yoğunluk ve kimyasal bileşim gibi fiziksel özelliklerine göre sınıflamaktan geçmektedir. Gezegenler, yörünge özelliklerine göre sınıflandırılırken temel alınan parametre Güneş'e olan uzaklıktır. Şekil 1.2 den de görülebileceği gibi bu sınıflamanın sınırını Küçük Gezegenler'in yörüngeleri çizmekte olup ilgili grupları şu şekilde oluşturmaktadır (Şekil 1.3):

- a) *İÇ GEZEĞENLER:* Merkür, Venüs, Yer ve Mars. Bu gezegenlerin yörüngeleri Güneş etrafında daha dar bir bölge içine sıkışmıştır ve birbirlerine yakındırlar.
- b) *DIŞ GEZEĞENLER:* Jüpiter, Satürn, Uranüs ve Neptün. iç gezegenlere göre daha geniş bir alan içerisindeki uzaklıklara dağılmışlardır ve birbirlerine uzaktırlar.



Şekil 1.3 Gezegenlerin Güneş'e olan uzaklıkları

Fiziksel özelliklerine göre sınıflama yapıldığında ise yine iki belirgin grubun oluştuğunu görmekteyiz:

- KARASAL GEZEĞENLER:** Merkür, Venüs, Yer ve Mars. Yüzeyleri katılaşmış ve kayalıktır. Dağlar, kraterler, vadiler, ovalar ve çok sayıda volkanik oluşumlar ortak yüzey şekillerindedir. Ortalama yoğunlukları diğer gezegenlere göre daha yüksek, ancak kütleleri ve çapları düşüktür. Temel kimyasal bileşimlerinde ağır elementler baskındır.
- DEV GEZEĞENLER:** Jüpiter, Satürn, Uranüs ve Neptün. Katı yüzeyleri bulunmayan, merkezleri sıvıya yakın dış kısımları ise gaz küresi olan gezegenlerdir. Görünen yüzeyleri kalın bulutlardan oluşma atmosfer tabakasıdır.

Ortalama yoğunlukları düşük, buna karşılık kütleleri ve çapları daha büyüktür. Kimyasal bileşimlerinde hidrojen ve helyum gibi hafif elementler baskındır.

Fiziksel özelliklerine göre yapılan bu sınıflamada, Plüto her iki grubun da dışında kalmaktadır. Çapı küçük olmasına karşın dev gezegenlerin de ötesinde yer alan Plüto, ortalama yoğunluk açısından iki grubun arasında yer alırken, güneş sistemi gezegenlerinin en düşük kütleli cismi olma özelliği ile yine bir ayrıcalık göstermektedir. Bu nedenle Plüto 2006 yılında, Uluslararası Astronomi Birliği tarafından gezegen grubundan çıkartılıp yeni oluşturulan “*cüce gezegen*” kategorisine konmuştur.

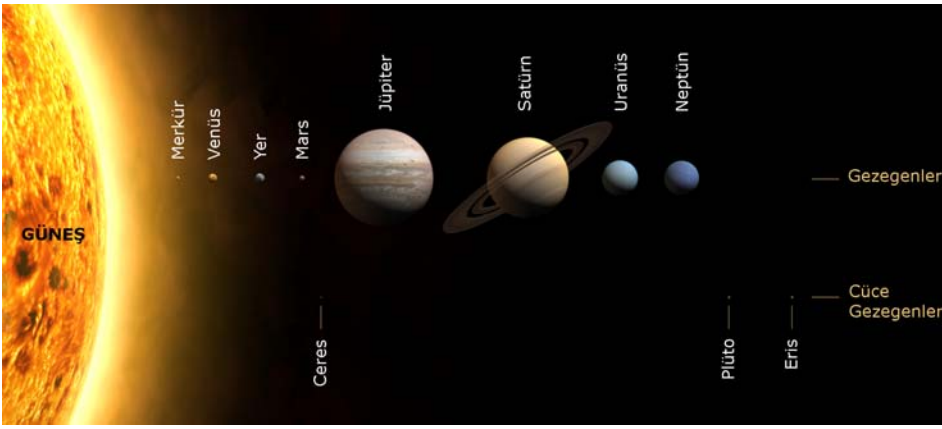
2000’li yılların başında, astronomi gözlem araçlarının ve özellikle elektromanyetik tayfın kırmızıöte bölgesine duyarlı gözlem tekniklerinin ciddi ilerlemeler göstermesi sonucu, Neptün gezegeninin ötesinde çok sayıda Plüto boyutlarında (ve Plüto’ya benzer fiziksel özellikler gösteren) gökcismi keşfedilmiştir. Son birkaç yıl içerisinde, güneş sistemi üyeleri ile uğraşan bilim adamları, keşfedilen bu cisimlere “*gezegen*” denip denmeyeceği konusunda fikir ayrılıklarına düşmüşlerdir. Aslında bu durum, bugüne kadar “*gezegen*” için resmen bir tanım yapılmamış olmasından kaynaklanıyordu. Buna bir çözüm getirilmesi amacıyla, Uluslararası Astronomi Birliği (IAU – International Astronomical Union), Çek Cumhuriyeti’nin başkenti Prag’da düzenlenen 26. Genel Kurul toplantısının 24 Ağustos 2006 tarihli oturumunda Güneş sistemi üyelerinin bilimsel temele dayalı tanımlamalarını yapmıştır. Burada önemli olan Plüto’yu “*gezegen*” kategorisinden çıkaran tanımlamadır. IAU’nun yeni kabul ettiği tanımlamaya (ölçütlere) göre;

- a) Güneş etrafında yörünge hareketi yapan,
- b) kendi kütle çekim etkisi altında küresel bir şekil alacak (yuvarlaklaşacak) kadar kütleye sahip ve
- c) yörüngesinin yakın komşuluğunu “*temizlemiş*” olan güneş sistemi üyeleri birer gezegendir

denmektedir. Bu tanımlama ışığı altında yeni oluşturulan “*cüce gezegen*” kavramı ise şu ölçütlere dayanmaktadır:

## 6 Giriş

- Güneş etrafında yörünge hareketi yapan ve diğer bir nesnenin uydusu olmayan,
- kendi kütle çekim etkisi altında küresel bir şekil alacak (yuvarlaklaşacak) kadar kütleye sahip ve
- yörüngesinin yakın komşuluğunu "temizlememiş" olan güneş sistemi üyeleri birer cüce gezegendir.

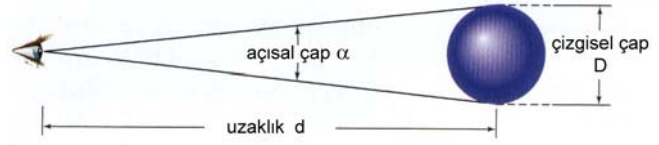


Şekil 1.4 Gezegener ve cüce gezegenler

Her iki tanımlamada da sözü edilen "*temizleme*" kavramı şu şekilde tarif edilebilir: Güneş sistemi üyeleri, devasa boyutlu bir gaz ve toz bulutundaki parçacıkların çeşitli etkiler altında sıkışarak bir araya gelmesi ile oluşmuşlardır. Bu birleşme süreci boyunca oluşan daha büyük boyutlu topaklanmalarda (yani bugünkü gezegenlerin atalarında) biriken kütlelerin çekim etkisi, yakın çevrelerindeki daha küçük kütleli parçaların serbest olarak dolaşıp dolaşmayacaklarını veya bir gezegenin parçası olup olmayacaklarını kontrol etmiştir. Dolayısıyla 8 gezegenin çevresi, bu anlamda temizlenmişken, Mars ve Jüpiter yörüngeleri arasında kalan bir kuşak bölgesinde (asteroid kuşağı) ve Neptün gezegeninin ötesinde yer alan kuşakta (Kuiper kuşağı), belirli bir boyuttan daha büyük cisimler oluşmamış ve bunların sınırlı kütleleri gereği çevreleri temizlenmemiştir. Plüto, Kuiper kuşağı içindeki cisimlerle aynı temizlenmemiş ortamı paylaştığı için, yeni tanıma göre "*gezegen*" olmaktan çıkmış ve "*cüce gezegenler*" sınıfına dahil edilmiştir. Benzer şekilde ilk keşfedilen asteroid Ceres, tüm ölçütlerini sağladığı gerekçesiyle, artık bir asteroid olarak değil, bir cüce gezegen olarak anılmaktadır.

## 1.2 Fiziksel Özelliklerin Belirlenmesi

Güneş sistemimizdeki cisimlerin çapları (veya çizgisel boyutları), bu cismin gözlenen tarihte Yer'e olan uzaklığının bilinmesi ve Yer'den



Şekil 1.5 Gezegenerin çap ölçümleri

görülen açısal çapının ölçülebilmesi halinde bulunabilmektedir. Şekil 1.5 de genel geometrisi verilen bu durumda bir gezegenin çapı (çizgisel) aşağıda verilen küçük açılar formülü yardımı ile hesaplanabilmektedir. Bu formülde  $d$  uzaklık ve  $D$  çizgisel çap büyüklükleri aynı birimde olmak zorundadır. Açısal çap  $\alpha$  ise yaysaniyesi birimindedir. 206265 sayısı ise gerekli birim dönüşümünü sağlamaktadır ve matematiksel olarak  $360^\circ$  deki yaysaniyesi sayısının  $2\pi$  ile bölümüne eşittir.

$$D = \frac{\alpha d}{206265}$$

Bir uyduya sahip olması halinde bir gezegenin kütlesi; etrafında dolanan uydunun yörünge dönemi  $P$  ve yörünge yarı-büyük eksen  $a$  ölçülerek, bunların aşağıda verilen Kepler'in 3. kanunu ifadesinde yerine konması ile bulunabilmektedir.

$$m_1 + m_2 = \frac{4\pi^2 a^3}{GP^2}$$

Bu formülde  $m_1$  ve  $m_2$  gezegen ve uydunun kg biriminde kütleleri,  $a$  uydunun yörüngesinin m biriminde yarı-büyük eksen uzunluğu,  $P$  sn biriminde uydunun yörünge dönemi,  $G$  ise evrensel çekim sabitidir ve mks birim sisteminde değeri  $6.67 \times 10^{-11}$  dir. Formülün uygulanışı sırasında genellikle uyduya ait kütle değeri gezegen kütlesi yanında ihmal edilebilir ölçüde olduğundan  $m_1 + m_2$  toplamı doğrudan gezegen kütlesinin değeri olarak dikkate alınır. Uydusu olmayan gezegenler için kütle, bu gezegenlere yollanan yapay uyduların gezegenin çekim etkisi sonucu olağan rotalarından gösterdikleri sapmaları ile oldukça duyarlı hesaplanmıştır.

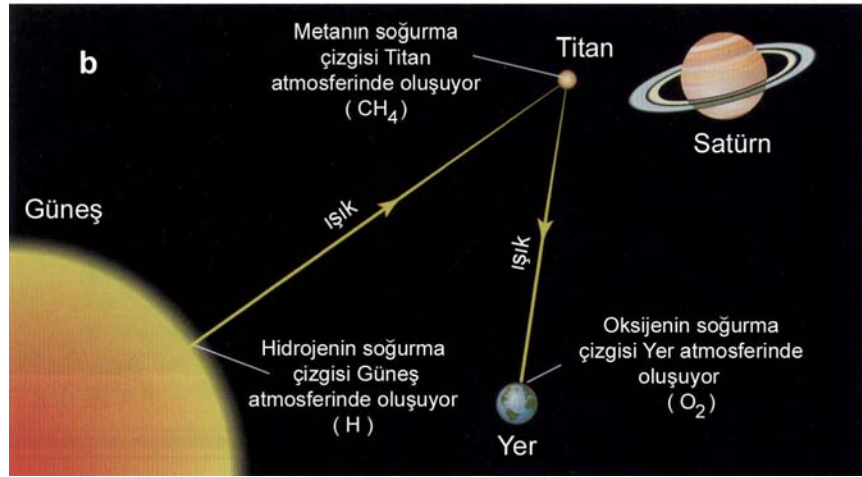
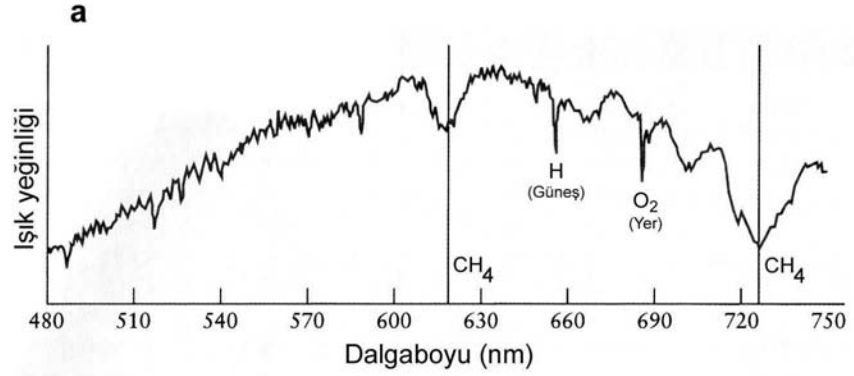
Bir gezegenin çapı ve kütlesinin bilinmesi halinde ortalama yoğunluğu, kütlesinin hacmine bölümü ile hemen elde edilebilir ( $m$  [kg],  $D$  [m],  $\bar{\rho}$  [kg/m<sup>3</sup>]):

$$\bar{\rho} = \frac{m}{\frac{4}{3}\pi\left(\frac{D}{2}\right)^3}$$

Bu yolla hesaplanan ortalama yoğunluklar gezegenlerin iç yapıları hakkında önemli ip uçları vermektedir. Örnek olarak Yer'in ortalama yoğunluğu  $5515 \text{ kg/m}^3$  dür. Buna karşılık Yer yüzeyinde bulunan tipik bir kayanın ortalama yoğunluğu daha düşüktür ve  $3000 \text{ kg/m}^3$  dür. Bu durumda Yer'in iç katmanlarının kayalardan daha yoğun maddeler içermesi gerektiği ortaya çıkmaktadır. Bu yaklaşımla yapılan hesaplamalar ve modeller sonucunda karasal gezegenlerin tamamının yoğun demir çekirdeklere sahip olması gerektiği belirlenmiştir.

Ortalama yoğunluklar, gezegenlerin kimyasal bileşimi konusunda kaba sonuçlar verebilmektedir. Kimyasal bileşimlerin kesin olarak elde edilmesi, yüzeylerindeki maddelerin (atmosfer gazları, toprak ve kayalar) ancak doğrudan analizi ile mümkündür. Bu kalitedeki bilgi ancak Yer ve yüzeylerine indirilen uzay araçlarının topladığı örnekler sayesinde Ay, Venüs ve Mars için elimizde bulunmaktadır. Diğer gezegenler için bu olanaklar elimize geçene kadar onların yüzeyinden yansıyan Güneş ışınlarının tayfsal analizleri ile yetinmek zorundayız. Atmosfere sahip bir gezegenin veya uydunun atmosferindeki kimyasal bileşimini analiz etmek için en uygun araç yansıttığı Güneş ışığının tayfını incelemektir. Şekil 1.6a da Satürn'ün uydusu Titan'dan elde edilen bir tayf görülmektedir. Şekil 1.6b de ise bu tayfın oluşumu şematik olarak açıklanmıştır. Buna göre Güneş'in iç katmanlarından çıkan ışık Güneş atmosferindeki hidrojen (H) atomlarınca soğurulmaya uğrar ve tayfda  $656 \text{ nm}$  dalgaboyunda görülen H çizgisi meydana gelir. Bu şekli ile Titan'a ulaşarak katı yüzeyinden yansıyan ışık Titan atmosferinden geçerken buradaki metan ( $\text{CH}_4$ ) molekülleri tarafından tekrar soğurulmaya uğrar ve tayfta  $620 \text{ nm}$  ve  $730 \text{ nm}$  dalgaboylarında görülen soğurma yapıları ortaya çıkar. Yansıyan ışık Yer yüzeyine ulaşırken Yer atmosferindeki oksijen molekülleri ( $\text{O}_2$ ) tarafından da soğurulur ve tayfta görülen  $\text{O}_2$  soğurma çizgisi meydana gelir. Güneş ve Yer atmosferinin yalın tayfları çok iyi bilindiğinden, Titan'ın yansımış Güneş ışığı tayfında sadece  $\text{CH}_4$  ün Titan atmosferinden kaynaklandığı kolayca ortaya çıkmaktadır. Şekil 1.6a da verilen tayf bir "görsel bölge" tayfidir. Diğer kimyasal elementlerin ve moleküllerin varlığı kızılöte ve moröte tayfların da incelenmesi ile açığa çıkmaktadır. Titan'ın moröte tayfları belirgin azot ( $\text{N}_2$ ) çizgileri içerirken, kızılöte

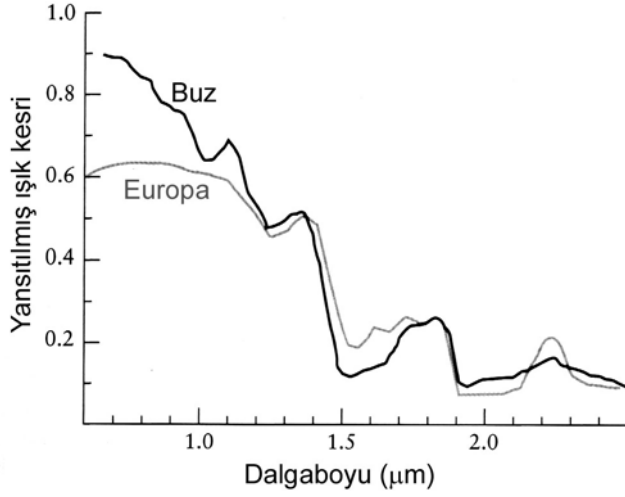




Şekil 1.6 Titan'dan yansıyan Güneş ışığının görsel bölge tayfı

tayfları karbon (C) ve hidrojenin (H) çok sayıda çizgisini vermektedir. Bu bilgiler ışığında Titanın atmosferinin oldukça karmaşık bir kimyasal yapıya sahip olduğu anlaşılmıştır.

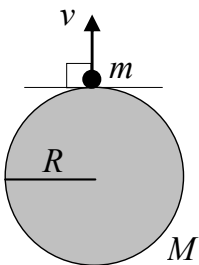
Tayfsal analiz atmosfere sahip olmayan katı yüzeyli gezegen ve uyduların yüzey bileşimlerinin elde edilmesinde de önemli bir araçtır. Bilindiği gibi katı yüzeyler üzerlerine düşen ışığın belirli bir kısmını doğrudan yansıtırken, bir kısmını da soğururlar. Cisimlerin renkli görünmesi bu temele dayanır. Örneğin bir yaprak kırmızı ve mor renkleri soğururken yeşil ışığı doğrudan yansıtır ve bu nedenle yeşil renkte görünür. Ancak katıların yansımış ışık tayflarında, gazların oluşturduğu gibi çok keskin tayf çizgileri yerine daha yaygın tayfsal yapılar görülür. Bir örnek olarak şekil 1.7 de



Şekil 1.7 Jüpiter'in uydusu Europa'dan yansıyan Güneş ışığının kızılöte tayfı

Jüpiter'in uydusu Europa'nın yüzeyinden yansıyan Güneş ışığının kızılöte bölgedeki tayfını inceleyelim. Şekilde karşılaştırma açısından, Yer'de elde edilmiş su buzundan yansıyan Güneş ışığı tayfı da verilmiştir. Yapıların ne derece benzer olduklarına dikkat edin. Böylece Europa'nın yüzeyinin büyük ölçüde su buzı ile kaplı olduğu söylenebilmektedir.

Yer'den ve uzay araçlarından yapılan tayfsal gözlemler dev gezegenlerin dış katmanlarının büyük ölçüde hidrojen ve helyum gibi hafif gazlardan oluştuğuna işaret ederken, Venüs, Yer ve Mars gibi karasal gezegenlerin yüzeylerinden elde edilen toprak ve kayaç örnekleri analizinden, bileşimlerinde demir (Fe), silisyum (Si), magnezyum (Mg), kükürt (S) ve nikel (Ni) gibi ağır elementlerin daha baskın olduğu anlaşılmıştır.



Şekil 1.8 Kurtulma hızı

Bir gezegenin veya uydunun atmosfer bulundurulması belli koşullara bağlıdır. Bu koşullar açısından bakıldığında "kurtulma hızı" adı verilen ve bir gezegenin yüzeyinden dik olarak atılan  $m$  kütleli bir cismin, gezegenin çekim etkisinden kurtularak sonsuza gidebilmesi için ona verilmesi gereken en düşük hızın ne olması gerektiğini inceleyelim (Şekil 1.8).  $M$  kütleli bir gezegenin yüzeyine yakın  $m$  kütleli bir gaz atomu veya

molekülünün  $v$  hızı ile atıldığını varsayalım. Kinetik enerjisi  $(1/2)mv^2$  olan bu atom veya molekülün sonsuza doğru giderken gezegenin çekim alanı altında kazanacağı potansiyel enerji,

$$\int_R^{\infty} \frac{GMm}{r^2} dr = \frac{GMm}{R}$$

kadar olacaktır. Hareket boyunca, kinetik enerji ile çekimsel potansiyel enerjinin toplamı, enerjinin korunumu ilkesince daima sabittir. Cismin sonsuza gidiyor olması yörüngesinin bir parabol olmasını gerektirmektedir. Parabolik yörüngelerde ise toplam enerji sıfıra eşittir. Bu koşul altında kinetik ve potansiyel enerjiler birbirine eşit olacağından kurtulma hızı

$$\frac{1}{2}mv_k^2 = \frac{GMm}{R} \Rightarrow v_k = \sqrt{\frac{2GM}{R}}$$

olacaktır.  $v_k$  hızı bir limit değerdir, yani hızı bu değere eşit veya daha yüksek olan gaz atomları veya molekülleri gezegen atmosferinde tutulamayacaklar ve uzaya kaçacaklardır. Gazların kinetik kuramından bir gaz atomunun sahip olabileceği kinetik enerjinin aynı zamanda  $(3/2)kT$  değerine de eşit olduğunu biliyoruz. Burada  $k$  Boltzmann sabiti ( $k=1.38 \times 10^{-23}$  joule/kelvin) ve  $T$  ise kelvin ( $^{\circ}\text{K}$ ) biriminde gaz ortamının sıcaklığıdır. Bu durumda iki ayrı formda gördüğümüz kinetik enerjileri birbirine eşitleyerek bir gaz atomu veya molekülünün “ortalama hızı”nı,

$$\frac{1}{2}mv^2 = \frac{3}{2}kT \Rightarrow v = \sqrt{\frac{3kT}{m}}$$

formülünden hesaplayabiliriz. Böylece gezegenlerin ve uyduların gözlenen parametrelerini kullanarak, bir atmosfere sahip olup olamayacakları, eğer atmosfer sahibi olabiliyorlarsa hangi tür gaz atomlarını veya moleküllerini tutabilecekleri tahmin edilebilmektedir. Formül gereği, verilen bir sıcaklık değeri için kütlesi büyük olan bir gaz atomu veya molekülünün, kütlesi küçük olandan daha düşük bir hıza sahip olacağı açıktır.

Yukarıdaki formülden görüldüğü gibi, bir gezegenin veya uydunun atmosfer bulundurulabilmesini kontrol eden temel parametre aslında onun yüzey sıcaklığıdır. Uzay sondaları ile yüzeyine inilen (Ay, Venüs, Mars) gezegenler ve uydular için bu değerler doğrudan sıcaklık ölçümleri ile elde edilebilmiştir, ancak diğer üyeler için sıcaklık

## 12 Giriş

ölçümleri yerden veya uzay araçlarından algılanan yansımış Güneş ışığının analizi ile dolaylı yoldan elde edilebilmektedir. Sistemimizin Güneş dışında kalan üyelerinin tamamı Güneş'ten aldıkları ışınımı yansıtırlar ve kendi enerji kaynakları yoktur. Bu ışınım ile ilgili özelliklerden yararlanarak onların “*etkin sıcaklıkları*” hesaplanabilmektedir. Güneş'in bir “*kara cisim*” gibi ışınım yaptığı kabul edilirse, birim yüzeyinden birim zamanda saldıdığı toplam ışınım akısı,

$$F_{\odot} = \sigma T_{\odot}^4$$

şeklindeki “*Stefan yasası*” ile verilir. Burada  $\sigma = 5.672 \times 10^{-5}$  [erg sn<sup>-1</sup> cm<sup>-2</sup> °K<sup>-4</sup>] Stefan-Boltzmann sabitidir,  $T_{\odot}$  ise [°K] biriminde Güneş'in yüzey sıcaklığıdır. Güneş'in tüm yüzeyinden birim zamanda çıkan  $L_{\odot}$  toplam ışınım miktarını (“*ışınım gücü*”) bulabilmek için  $F_{\odot}$  değerinin, Güneş'in toplam yüzey alanı ile çarpılması gerekir,

$$L_{\odot} = 4\pi R_{\odot}^2 * F_{\odot} = 4\pi R_{\odot}^2 \sigma T_{\odot}^4$$

burada  $R_{\odot}$  [cm] Güneş'in yarıçapıdır. Bu durumda  $d$  [cm] Yer-Güneş arası uzaklık olmak üzere, Yer'de birim alana birim zamanda gelecek Güneş enerjisi miktarı  $E_{\odot}$ , Güneş'in toplam ışınım gücü  $L_{\odot}$  değerinin  $d$  yarıçaplı kürenin yüzey alanına bölümü ile elde edilir,

$$E_{\odot} = \frac{L_{\odot}}{4\pi d^2} = \frac{4\pi R_{\odot}^2 \sigma T_{\odot}^4}{4\pi d^2} = \sigma T_{\odot}^4 \left( \frac{R_{\odot}}{d} \right)^2$$

$E_{\odot}$  değeri Yer'den yapılan gözlemlerle elde edilebilen bir değerdir ve “*Güneş sabiti*” olarak bilinir, Yer atmosferinin hemen dışında değeri  $1.359 \times 10^6$  [erg sn<sup>-1</sup> cm<sup>-2</sup>] dir. Bu durumda  $R_{\odot}$  ve  $d$  değerleri de biliniyorsa Güneş'in yüzey sıcaklığı,

$$T_{e\odot} = \sqrt[4]{\frac{E_{\odot}}{\sigma} \left( \frac{d}{R_{\odot}} \right)^2}$$

formülü ile elde edilebilir. Bu şekilde hesaplanan  $T_{e\odot}$  sıcaklığına Güneş'in “*etkin sıcaklığı*” denir. Gezegenler, Güneş'ten aldıkları ışınımın tamamını geri yansıtamazlar, bu nedenle etkin sıcaklıklarının bulunabilmesi için toplam ışınım gücü yerine toplam yansıtma güçlerinin bilinmesi gerekmektedir.

Bir gezegen için,  $a$  yörünge yarı-büyük eksen uzunluğu olmak üzere, gezegenin birim yüzeyine düşen Güneş enerjisi miktarı,

$$E_g = \frac{4\pi R_\odot^2 \sigma T_{e\odot}^4}{4\pi a^2} = \sigma T_{e\odot}^4 \left( \frac{R_\odot}{a} \right)^2$$

olacaktır. Gezegenin ortalama yarıçapı  $R_g$  olmak üzere, Güneş'e bakan yüzeyine (alanı  $\pi R_g^2$  olan disk) ulaşan toplam Güneş enerjisi miktarı ise,

$$E_g * \pi R_g^2 = \sigma T_{e\odot}^4 \left( \frac{R_\odot}{a} \right)^2 * \pi R_g^2$$

olacaktır. Gezegen Güneş'ten ulaşan bu ışınım miktarının tamamını alamaz. Alabileceği miktar onun "yansıtma gücü (*Albedo*)"ne bağlıdır. Bir gezegen veya uydu için yansıtma gücü tanım olarak,

$$A = \frac{\text{Yansıtılan toplam enerji miktarı}}{\text{Güneş'ten alınan toplam enerji miktarı}}$$

Bu durumda gezegen tarafından soğurulan enerji,  $A$  gezegenin toplam yansıtma gücü olmak üzere,

$$E_g * \pi R_g^2 * (1 - A) = \sigma T_{e\odot}^4 \left( \frac{R_\odot}{a} \right)^2 * \pi R_g^2 * (1 - A)$$

olacaktır. Dengenin sürekli sağlanması için soğurulan bu enerjinin tekrar salınması gerekir. Eğer gezegenin, ideal bir ısı iletkenliğine sahip olduğu varsayılırsa, diğer bir deyişle gezegenin karanlık kısımlarının aydınlık kısımları ile eşit ölçüde ışınım yapabilecek kadar hızlı döndüğü kabul edilirse, yaydığı enerjinin soğurduğu enerjiye eşit olması gerektiğinden,

$$4\pi R_g^2 \sigma T_g^4 = \sigma T_{e\odot}^4 \left( \frac{R_\odot}{a} \right)^2 * \pi R_g^2 * (1 - A)$$

yazılabilir. Buradan gezegenin etkin sıcaklığı,

$$T_g = \frac{T_{e\odot}}{\sqrt{2}} \sqrt{\frac{R_\odot}{a}} (1 - A)^{1/4}$$

elde edilir. Gezegenler sadece Güneş'e bakan yüzeyinden ışınım yaptıklarından, yukarıdaki eşitlikte  $4\pi R_g^2 \sigma T_g^4$  yerine  $2\pi R_g^2 \sigma T_g^4$  kullanılarak, etkin sıcaklık için daha iyi bir yaklaşım,

$$T_g = \frac{T_{e\odot}}{\sqrt[4]{2}} \sqrt{\frac{R_{\odot}}{a}} (1-A)^{1/4}$$

şeklinde verilir. Böylece,  $T_{e\odot} = 5778$  °K ve  $R_{\odot} = 696000$  km değerleri ile birlikte,  $a$  gezegenin Güneş'e olan uzaklığı ve  $A$  yansımaya gücü değerleri kullanılarak gezegenlerin ve uyduların etkin sıcaklık değerleri hesaplanabilmektedir.

### 1.3 Güneş Sisteminin Oluşumu

Güneş sistemimizde bazı kimyasal elementler oldukça bol bulunurken, bazıları ise yok denecek kadar azdır. Hidrojen (H) güneş sisteminde en bol bulunan elementtir ve tüm sistemde %75 gibi yüksek bir orana sahiptir. Helyum (He) ise ikinci bol elementtir. H ve He beraberce Güneş sistemindeki tüm maddenin %98'ini oluşturmaktadır. H ve He un bu baskın bolluğu sadece güneş sistemimizde değil, galaksimizin diğer yıldızları ve dış galaksilerin gözlemlerinde de kendini göstermektedir. Yer'in çeşitli tabakalarında bulunan demir (Fe), oksijen (O), silisyum (Si) ve canlı organizmalarca üretilen karbon (C), oksijen (O), azot (N), fosfor (P) gibi ağır elementler genel olarak evrende az bulunan elementlerdir. Bu dağılım, 10-15 milyar yıl önce evrenin "büyük patlama" ile oluştuğu sırada sadece bol miktarda H ve He, az miktar ise lityum (Li) ve berilyum (Be) dan oluştuğuna kuvvetli delil sayılmaktadır. Geriye kalan tüm elementler, bu başlangıç maddesi ile zaman içinde evrimleşen yıldızların, iç kısımlarında süre gelen nükleer tepkimelerle üretilmiş ve ömürlerinin sonunda uzay boşluğuna geri atılmıştır. Güneş sistemimizde az da olsa ağır elementlerin varlığı, oluştuğu maddenin bir zamanlar bir yıldızın içinde olması gerektiğini göstermektedir. Bu madde evrenin oluşumunu takip



Şekil 1.9 Kütle kaybeden Antares yıldızı

eden ilk yıldızların kalıntıları olmalıdır. Şekil 1.9 da görülen Antares gibi, bazı kırmızı dev yıldızlar yaşamlarının son evrelerine doğru üst katmanlarındaki maddenin büyük kısmını uzaya kaybederler. Şekil 1.10 daki Yengeç bulutsusunda olduğu gibi sadece artığını gözleyebildiğimiz, şiddetli "Süpernova" patlamalarından

sonra, merkezi yıldızdan hiç bir iz kalmamakta ve tüm yıldız maddesi uzaya dağılabilmektedir. Farklı yıldızlar, farklı ağır elementleri oluştururlar. Örneğin C, O, Si, Fe gibi ağır elementler ancak büyük kütleli yıldızların merkezinde üretilebilir. Bu şekilde yıldızlararası ortama geri dönen ve ağır elementler de içeren bu maddeler bir sonraki nesil doğacak yıldızların ve onların etrafında oluşacak gezegenlerin hammaddesini teşkil etmektedir. Şekil 1.11 de Orion takım yıldızında yer alan böylesi bir yıldız oluşum bölgesi görülmektedir. Bu bölgede gözlenen ağır element bollukları, burada oluşacak yıldız sistemlerinin etrafında gezegen, uydu, kuyruklu yıldız, asteroid gibi üyelerin de oluşmasına izin verecek boyutta olduğuna işaret etmektedir. Bizim Güneş sistemimiz de bu bölgede izlenen yol ile oluşmuş olmalıdır.

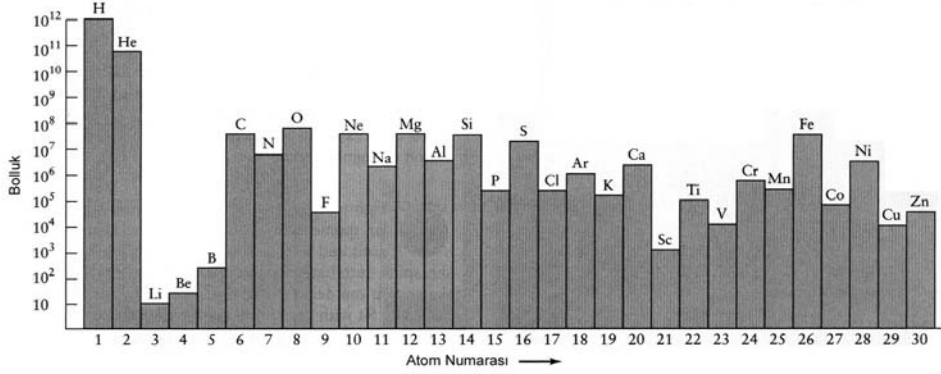


Şekil 1.10 Yengeç bulutsusu (süpernova artığı)



Şekil 1.11 Orion'daki yıldız oluşum bölgesi

Çeşitli elementlerin bolluklarını birbirleriyle karşılaştırmanın en uygun yolu, “görelî bolluklar”ını ele almaktır, yani her  $10^{12}$  hidrojen atomuna kaç tane diğer element atomunun karşılık geldiğini bulmaktır. Yıldızların tayfsal analizleri, Yer ve Ay kayaçlarının kimyasal analizleri ve meteorlar üzerinde yapılan incelemelerden, galaksimizin Güneş komşuluğundaki bölgeleri için bu dağılımın şekil 1.12 deki gibi olduğu anlaşılmıştır. Çizelge 1.1 de ise bunlardan en bol bulunan ilk onunun görelî bolluk değerleri listelenmiştir. Buna göre, yakın komşuluğumuzda her  $10^{12}$  H atomuna karşılık  $7 \times 10^{10}$  He atomu bulunmaktadır. Bu açıdan bakıldığında en nadir bulunan element altındır (Au) ve  $10^{12}$  H atomuna karşılık sadece 6 tane Au atomu vardır.



Şekil 1.12 Kimyasal elementlerin Güneş komşuluğundaki göreceli bollukları

Çizelge 1.1 En bol bulunan ilk on elementin göreceli bolluk değerleri

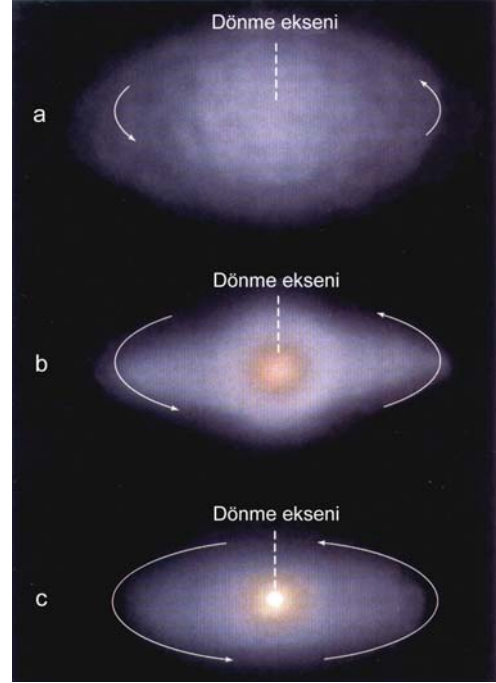
Atom No	Element	Sembol	Göreceli bolluk
1	hidrojen	H	$1 \times 10^{12}$
2	helyum	He	$7 \times 10^{10}$
6	karbon	C	$4 \times 10^8$
7	azot	N	$9 \times 10^7$
8	oksijen	O	$7 \times 10^8$
10	neon	Ne	$1 \times 10^8$
12	magnezyum	Mg	$4 \times 10^7$
14	silisyum	Si	$4 \times 10^7$
16	kükürt	S	$2 \times 10^7$
26	demir	Fe	$3 \times 10^7$

Yaklaşık 4.6 milyar yıl önce, H, He ve ağır elementler içeren bir yıldızlararası gaz ve toz bulutu Güneş'imizi ve etrafında dolanan cisimleri oluşturmak üzere bir araya gelmiştir. Vücudumuzdaki karbon atomları, nefes aldığımız havadaki oksijen atomları gibi ağır elementler, evrenin oluşumundan sonraki ilk 5 - 10 milyar yıl içinde oluşmuş ve yaşamları sona ermiş yıldızların artıklarıdır. Elementlerin "kozmetik" bollukları ile ilgilenirken ortaya ilginç bir sonuç çıkmaktadır. Çevremizde gördüğümüz canlı cansız tüm varlıklar aslında yıldız tozlarından türemişlerdir.

Güneş sisteminin oluşum teorileri astronomları son yüzyıl boyunca uğraştırmış ve bu konuda halen kesin bir sonuç alınabilmiş değildir. Burada en çok kabul gören teoriler üzerinde duracağız.



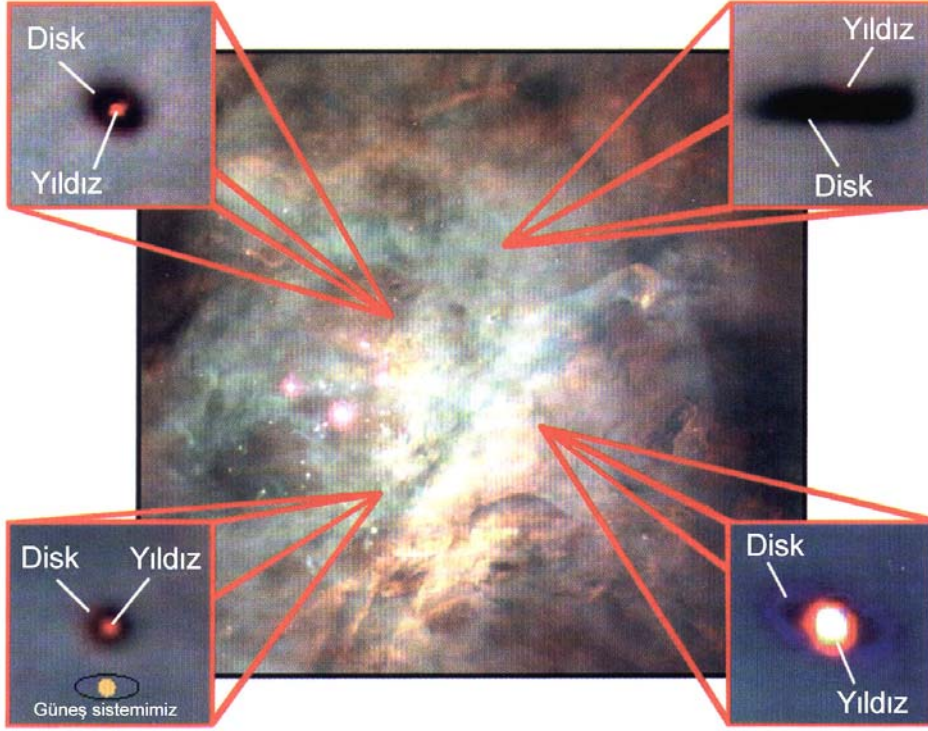
18. yüzyılda yaşamış Alman filozof Immanuel Kant ve Fransız fizikçi Pierre Simon Laplace, birbirlerinden bağımsız olarak, Güneş sistemimizin tamamının şekil 1.13a da görülen, “güneş bulutsusu” olarak adlandırılan, ekseni etrafında dönen, büyük ölçekli bir gaz ve toz bulutundan sıkışarak oluştuğunu ileri sürmüşlerdir. Kurdukları bu modeli tutarlı yapan tek ipucu, şu anda Güneş’in ve etrafında dolanan gezegenlerin tamamının aynı yönde ve kabaca aynı düzlemde dönmeleridir. Bu teori günümüz astronomlarınca halen kabul görmektedir. Bu teoriye göre dönen güneş bulutsusunun her bir



Şekil 1.13 Güneş sisteminin oluşumu

parçası diğer bir parçasına karşılıklı çekim kuvveti uygulayarak bulutun içe doğru çökmesine neden olmaktadır. Bu çökme süresince bulutun merkezinde “ön-güneş (*proto-sun*)” adı verilen daha yoğun bir bölge oluşmaktadır. Adından da anlaşılacağı gibi bu bölge daha sonra şimdiki güneşimize dönüşecek bölgedir. Gezegenler ve diğer üyeler ise bulutsunun daha az yoğun dış bölgelerinde oluşmuşlardır. Ön-güneşe doğru yaklaşan maddenin dönme hızı artmaktadır. Bu şekilde hızlanmış olan madde ön-güneşe çarptığında ortaya çıkan enerji, ısı enerjisine dönüşmekte ve bulutun iç kısımlarının sıcaklığı hızla artmaktadır. Dönerek sıkışan bir gaz bulutunun çekimsel büzülme enerjisinin ısı enerjisine dönüştürüldüğü bu süreç, 19. yüzyılda ilk kez açıklamalarını yapan fizikçilerin adı ile “*Kelvin-Helmholtz büzülmesi*” denmektedir. Bulutsu dönmüyor olsaydı, tüm madde doğrudan ön-güneş üzerine düşerdi ve sonuç olarak çevresinde gezegenleri oluşturacak hiçbir şey kalmazdı.

Oluşan ön-güneşin sıcaklığı, artan büzülme etkisi altında hızla yükselirken yüzeyindeki sıcaklık kabaca sabit kalmaktadır. İlk büzülmenin başladığı andan  $10^7$  yıl sonra ön-güneşin iç sıcaklığı birkaç milyon °K e ulaşarak, hidrojenin helyuma



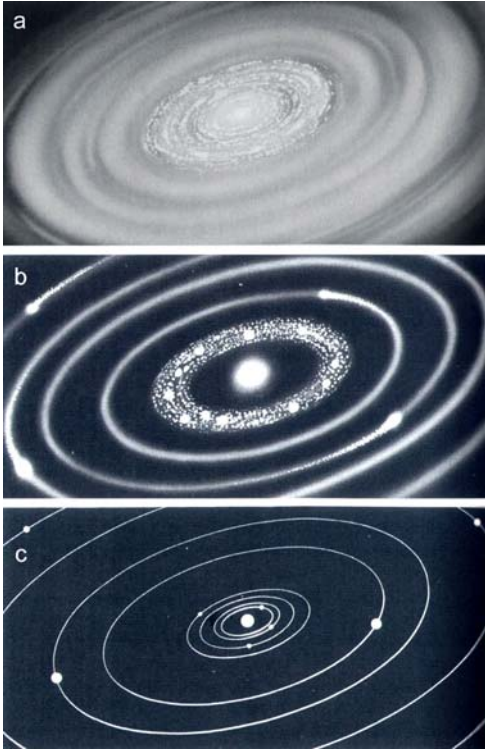
Şekil 1.14 Orion bulutsusundaki yıldız oluşum bölgesi ve gözlenen propilitler

dönüştürüldüğü nükleer tepkimeler başlar ve büzülme sona erer. Böylelikle yıldız doğmuş olur. İlk zamanlarda yavaş dönen güneş bulutsusu içeri doğru çöktükçe, açısal momentumun korunumu ilkesince daha hızlı dönmeye zorlanır. Bu ise bulutun dönme eksenini boyunca basıklaşmasına neden olur (Şekil 1.13b). Sonuç olarak güneş bulutsusu şekil 1.13c de görüldüğü gibi  $10^5$  yıl içerisinde ön-güneş etrafında bir disk şeklini alır. Güneş sistemimizin bu oluşum senaryosunu destekleyen çok sayıda olay gözlenmektedir. Şekil 1.14 de Orion bulutsusundaki yıldız oluşum bölgesinde çok sayıda genç yıldız etrafında disk yapıları gözlenmektedir. Bu disk yapılarına “gezegensiz öncesi diskler” veya “propilitler” denmektedir. Gözlenen propilitlerin merkezinde ışınım yapan yıldızların varlığı, Güneş’imizin gezegenler oluşmadan önce ışımaya başladığına önemli bir delil sayılmaktadır.

Gezegensiz öncesi disklerden nasıl oluştuklarını anlayabilmek için önce bulutsu içindeki bazı koşulları incelememiz gerekir. Bulutsu içerisindeki maddeler, basınç yeterince düşük ise sıvı halde bulunamazlar, ya katı ya da gaz halindedirler. Belirli bir



iri parçalardan yaklaşık  $10^9$  tanesinin birleşmesi ile bugünkü asteroidlere benzer, kilometre boyutlarında ve “gezegenimsi (*planetesimal*)” adı verilen cisimleri oluşturmuşlardır. Gezegenimsi’ler aralarındaki karşılıklı çekim etkisi ile çarpışarak birleşmişler ve bugünkü karasal gezegenlerin atası olan, kabaca Ay boyutlarındaki “ön-gezegen”lere dönüşmüşlerdir. Son aşamalarda ise ön-gezegenler çarpışarak bugünkü karasal gezegenleri oluşturmuşlardır. Çarpışmalar sırasında açığa çıkan yüksek ısı içerdikleri kayasal maddenin erimesine neden olmuştur. Erimiş kaya maddesi eksen etrafında dönme hareketi ile küresel şekil alırken, demir gibi yoğun olan maddeler iç bölgelere, silisyum gibi daha az yoğun maddeler yüzeye taşınmışlardır. Karasal gezegenlerin demirce zengin çekirdeklerini oluşturan bu sürece “kimyasal ayrışma” denmektedir. Dev gezegenler de karasal gezegenlere benzer şekilde gezegenimsilerin birleşmesi ile oluşmuştur. Tek farklılık kaya yapıların yanısıra,  $H_2O$ ,  $CH_4$  ve  $NH_3$  ün düşük sıcaklık etkisi ile buz yapılarını bu dış bölgelerde korumuş olmasıdır. Böylece dev gezegenlerin yapı taşı olan gezegenimsileri oluşturmak üzere daha fazla miktarda



Şekil 1.17 Gezegenlerin oluşum evreleri.

katı madde bulunmaktaydı. Sonuç olarak güneş bulutsusunun bu dış bölgelerinde, karasal gezegenlerden defalarca daha büyük gezegenler oluşmuştur. Buz ve kayaların birleşmesi ile oluşan yapılar dev gezegenlerin çekirdeğini oluşturmuşlardır. Zaman içerisinde çevredeki düşük yoğunluklu H ve He gazları, yüksek çekim etkisi altında bu çekirdeklerin üzerine sarmıştır. Bu yığılma çekirdek ve gaz kürenin kütlelerinin eşitlenmesine kadar sürmüştür. Dev gezegenlere ait halkaların oluşum mekanizması, incelemekte olduğumuz güneş sistemi oluşum teorisinin küçük ölçekli bir yansımasıdır. Yani gazla sarı bir dev

ön-gezegen büzülürken eksenini etrafındaki dönmenin etkisi ile çevresinde bir disk oluşturmuştur. Dev gezegenlerin çevresindeki uyduların da bu disk içindeki buz ve tozun birleşmesi ile oluştuğuna dair güçlü deliller vardır. Oluşum süreci boyunca bazı kaya yapılı gezegenimsiler, dev ön-gezegenlerin (özellikle Jüpiter'in, Güneş ile oluşturduğu) çekim etkisi altında bugünkü asteroidleri oluşturmuşlardır. Sistemin ilk oluşum süreçlerinde, bileşimlerinin büyük bir bölümünü buzların oluşturduğu bazı gezegenimsiler ise, dev ön-gezegenlerin yüksek çekim alanlarında oldukça basık yörüngelere oturtulmuş ve kuyruklu yıldızları oluşturmuşlardır. Kuyruklu yıldızlar, sistemin oluşum aşamalarında çok fazla değişim göstermemiş güneş bulutsusu maddesi içerdiklerinden, güneş sisteminin evriminin incelenmesinde önemli rol oynarlar.

Yapılan teorik hesaplamalara göre, Güneş ve sistemin diğer üyelerinin bugünkü denge haline ulaşmaları, yani Güneş sistemimizin oluşumu  $10^8$  yıl sürmüştür. Buna göre güneş bulutsusunun büzülmeye başladığı andan  $10^7$  yıl sonra Güneş'imiz merkezinde nükleer tepkimelerini başlatmış ve sistemin diğer üyeleri  $10^8$  yıl içinde şu andaki görünümüne kavuşmuşlardır.

