
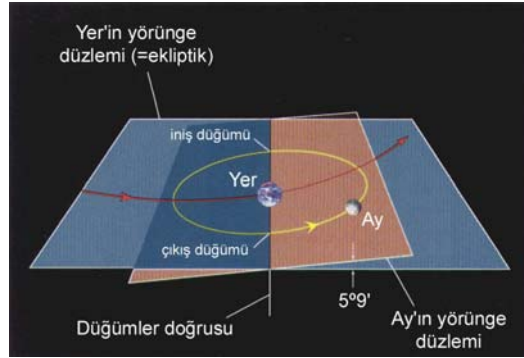


BÖLÜM 3 Ay

Yer'e ortalama uzaklık	384,400 km	
Yer'e en büyük uzaklık	405,500 km	
Yer'e en küçük uzaklık	363,300 km	
Yörünge dışmerkezliği	0.0549	
Ortalama yörünge hızı	3680 km/saat	
Yörünge (yıldız) dönemi	27.322 gün	
Kavuşum (sinodik) dönemi	29.531 gün	
Ekvatorun yörüngeye eğikliği	6.68°	
Yörünge'nin ekliptiğe eğimi	5.15°	
Ekvator çapı	3476 km	
Kütle	$7.349 \times 10^{22} \text{ kg} = 0.0123 M_{\text{yer}}$	
Ortalama yoğunluk	3344 kg/m^3	
Kurtulma hızı	2.4 km/sn	
Yansıtma gücü	0.11	
Ortalama yüzey sıcaklığı	Gündüz $130^\circ\text{C} = 403^\circ\text{K}$ Gece $-180^\circ\text{C} = 93^\circ\text{K}$	

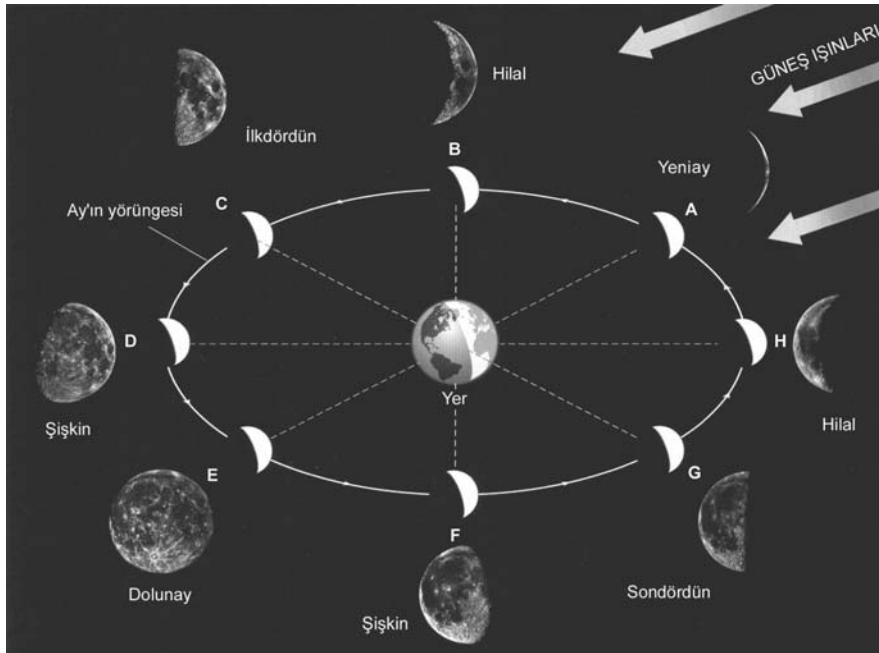
3.1 Ay'ın Yörüngesi ve Hareketleri

Yer'in tek doğal uydusu olan Ay, Yer etrafında dışmerkezliği 0.0549 olan elips bir yörünge üzerinde dolanır. Yörüngesi üzerinde, Yer'e en uzak olduğu enöte konumu "*apoge noktası*", en yakın olduğu enberi konumu ise "*perige noktası*" olarak adlandırılmaktadır. Ay'ın bu noktalarda Yer'e olan uzaklıkları yukarıdaki tabloda verilmiştir. Ortalama Yer-Ay uzaklığı ise 384,400 km dir. Ay'ın yörüngesi ekliptik düzlemi ile $5^\circ 9'$ lık bir açı yapmaktadır (Şekil 3.1). Ay'ın ve Yer'in yörünge düzlemlerinin arakesitine "*düğümler doğrusu*"



Şekil 3.1 Ay'ın yörüngesi

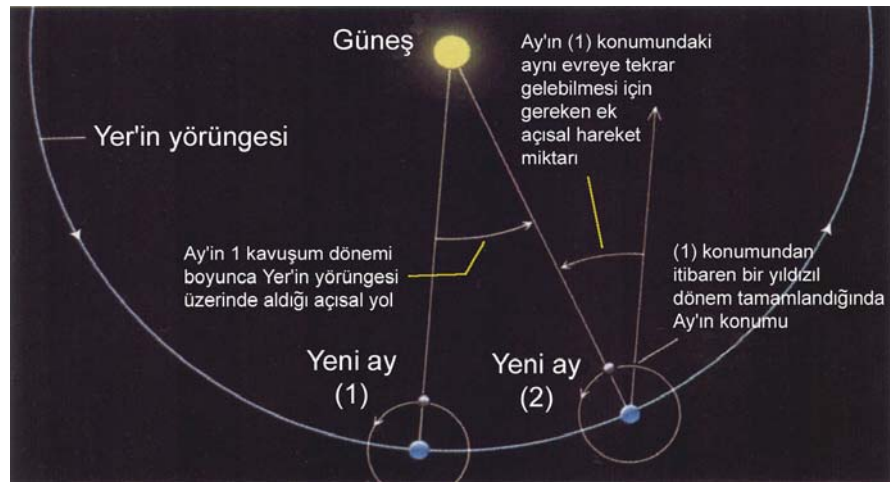
adı verilir. Ay yörüngesinin düğümler doğrusu ile kesiştiği noktalara ise “*düğüm noktaları*” denmektedir. Ay’ın yörüngesi üzerindeki hareketi prograd yöndedir ve bu yörünge üzerinde ekliptiğin kuzeyinden güneyine geçtiği düğüm noktasına “*iniş düğümü*”, güneyinden kuzeyine geçtiği noktaya ise “*çıkış düğümü*” adı verilir. Yer’den bakıldığında, Ay’ın aydınlık görünen kısmının gündün güne değiştiği gözlenir. Ay, Güneş’ten aldığı ışığı yansıtmaktadır ve yer-merkezli yörüngesi üzerinde hareket ettiği sürece, Güneş-Yer-Ay doğrularları arasındaki açı sürekli olarak değişmektedir. Bu durum, Ay’ın “*evreleri*” olarak adlandırılan ve aydınlık görünen kısmının boyutlarının dönmeli olarak değişmesini sağlayan olguyu ortaya çıkarmaktadır. Şekil 3.2 de, Güneş ışınlarının geliş yönüne göre Ay’ın Yer’den görülen temel 8 evresine ait geometri verilmiştir. Şekle göre Ay, yörüngesi üzerindeki A konumunda bulunurken bize bakan yüzeyi Güneş’ten hiç ışık almaz ve gökyüzünde kabaca Güneş ile aynı doğrultuda bulunur. “*yeniay*” adı verilen bu evrede Ay, Yer’den görülemez. Yeniay evresinden kabaca 3-4 gün sonra Ay, yörüngesinde B konumuna gelir ve Yer üzerinde günbatımı zamanında güneybatı yönüne bakan bir gözlemci, Ay’ın sağ tarafının aydınlık olduğunu görür. Bu evreye “*hilal*” denmektedir. Yeniay evresinden kabaca 7 gün sonra, Ay



Şekil 3.2 Ay’ın evreleri

yörüngesinde C noktasına ulaşır ve günbatımında güneye bakan bir gözlemci Ay'ın tam olarak sağ yarısının aydınlanmış olduğunu görür. Bu evreye ise “*ilkdördün*” denmektedir. Ay bu şekilde yörüngesi üzerinde harekete devam ederken D noktasına ulaştığında, Yer'deki gözlemci günbatımında Ay'ı güneydoğu yönünde ve sağ tarafındaki aydınlık büyümüş olarak “*şişkin*” evrede görecektir. Yeniay evresinden kabaca 14 gün sonra E noktasına gelindiğinde ise, Ay günbatımının hemen sonrasında doğu ufkundan henüz yeni yükseliyor olacaktır ve tamamının aydınlık olduğu “*dolunay*” evresinde görülecektir. Bunu takip eden F, G ve H noktalarında evreler tersine bir şekil gösterir ve Ay'ın sol tarafında kalan aydınlık, ilerleyen günlerde yavaşça azalarak tekrar yeniay evresine ulaşılır. Ardışık olarak, aynı evreden iki kez üst üste geçiş için gereken süreye, Ay'ın “*kavuşum dönemi*” denir ve süresi 29.531 gündür. Dikkat edilecek olursa, Ay'ın kavuşum dönemi yıldızlı döneminden daha uzundur. Bunun sebebi, Ay'ın yörünge hareketi boyunca, Yer'in de yörüngesi üzerinde hareket etmesidir. Şekil 3.3 den de görüleceği gibi (1) konumunda yeniay evresinde olan Ay, yörünge hareketi ile bir yıldızlı dönemini tamamladığında bir sonraki yeniay evresine, yani şekildeki (2) konumuna ulaşabilmek için bir miktar daha yörüngesi üzerinde yol alması gerekmektedir. Bu durum, Ay'ın kavuşum döneminin yıldızlı döneminden kabaca 2 gün daha uzun olmasına neden olmaktadır.

Ay'ın kendi eksenini etrafındaki dönme süresi, yörüngesi üzerinde bir turunu tamamladığı yıldızlı dönem süresine eşittir. Bu nedenle Yer'den bakıldığında Ay'ın hep

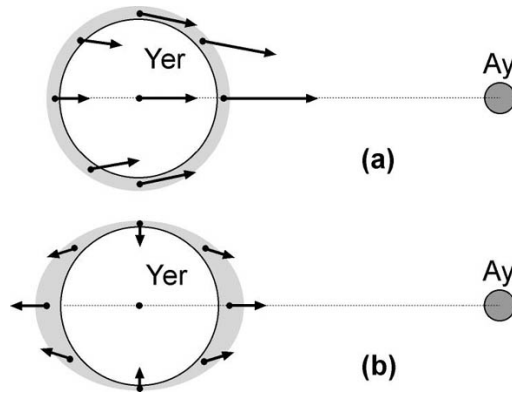


Şekil 3.3 Ay'ın yıldızlı dönemi ile kavuşum dönemi arasındaki fark

aynı yüzü bize dönük görülmektedir. Bir gök cismi için dönme ve dolanma dönemlerinin eşit olduğu bu duruma “eş-dönme (senkronize-dönme)” denmektedir. Ancak Ay’ın elips şeklindeki yörüngesi üzerinde dolanma hızının sabit olmaması nedeniyle görünen yüzey, bir yörünge hareketi boyunca doğu-batı doğrultusunda bir salınım yapar. Buna ek olarak dönme ekseninin yörünge düzlemine dik olmayışı (Ay’ın ekvatoru ile yörünge düzlemi arasında $6^{\circ}41'$ lik bir açı vardır) ise görünen yüzeyin kutuplar doğrultusu boyunca da salınmasına neden olur. Böylelikle, Ay, ortalama olarak bize hep aynı yüzünü gösterirken, bir yörünge dönemi boyunca Yer’den bakıldığında yüzeyinin %59 unun görülebilmesini sağlamaktadır. Ay’ın Yer’den izlenen bu salınım hareketine “librasyon” denmektedir.

3.2 Yer ve Ay’ın Karşılıklı Çekim Etkisi - Tedirginlikler

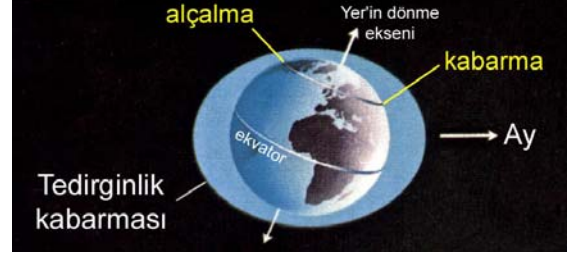
“*Tedirginlik kuvvetleri*”, bir cismin değişik noktalarında hissedilen kütle çekim etkisi farklılıklarıdır. İki cisim arasındaki kütle çekim kuvveti, cisimler arasındaki uzaklığın karesi ile ters orantılıdır. Dolayısıyla bir cismin kütle çekim etkisi, üzerine etkimekte olduğu bir cismin değişik noktalarında farklı şiddette hissedilecektir. Buna bağlı olarak Ay’ın Yer üzerinde yarattığı çekim etkisi belirli bir anda şekil



Şekil 3.4 Ay’ın kütle çekiminin Yer’de yarattığı tedirginlik kuvvetleri

3.4a da görüldüğü gibi, Yer’in Ay’a en yakın yüzünde daha fazla, merkezine yakın bölgelerinde daha az ve Ay’a en uzak yüzünde ise en az şiddette hissedilir. Merkezde oluşan çekim kuvveti, diğer noktadaki tüm kuvvetlerden vektörel olarak çıkarılırsa geriye Yer üzerine etkiyen net kuvvetler yani tedirginlik kuvvetleri kalır. Şekil 3.4b den görüleceği gibi bu kuvvetler Ay-Yer doğrultusu boyunca uzamaya ve buna dik tüm doğrultularda basıklaşmaya neden olacaktır. Sonuç olarak bu etki altında Yer, bir “dönel elipsoid” şeklini almaya zorlanmaktadır. Yer’in katı kabuğu bu kuvvetlere yeterli

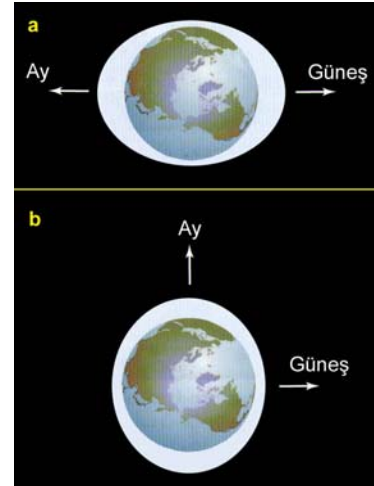
ölçüde karşı koyabilmekte ve şekil bozulmasına uğramamaktadır. Ancak okyanus ve denizlerdeki sular bu etki altında Yer-Ay doğrultusu boyunca kabarmakta ve bu doğrultuya dik yönlerde ise alçalmaktadır (Şekil 3.4b). Böylelikle Yer'in eksenini



Şekil 3.5 Yer eksenini etrafında döndükçe, üzerindeki bir noktada okyanusların kabardığı ve alçaldığı hissedilir

etrafında bir günlük dönüşü boyunca, katı yüzeydeki belirli bir noktada okyanus ve deniz sularının kabarıp alçaldığı hissedilir (Şekil 3.5). Yer sularında gözlenen bu harekete “gel-git olayı” denmektedir. Gel-git olayının basitleştirilmiş bu açıklamasında, Yer yüzeyinin tamamının sularla kaplı olduğu varsayılmıştır. Gerçekte durum oldukça karmaşık olup kıtaların kıyı şekilleri ve rüzgarların etkisi de dikkate alınmalıdır. Yer üzerinde yaratılan tedirginlik etkilerine Güneş'in kütle çekim etkisi de katkıda bulunmaktadır. Ancak Ay'a göre çok uzakta olduğundan, net etkisi Ay'ın etkisinin yarısı kadardır. Yer-Ay-Güneş aynı doğrultuda iken (yeniay ve dolunay evrelerinde) kabarma ve alçalmaların şiddeti en fazladır, buna karşılık Yer-Ay ve Yer-Güneş doğrultuları arasındaki açı 90° iken (ilkdördün ve sondördün evrelerinde) bu şiddet en aza iner (Şekil 3.6).

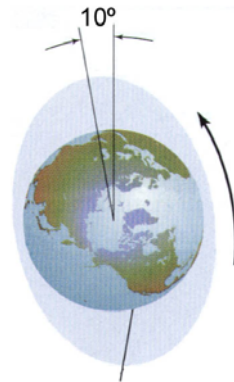
Apollo 11, 14, ve 15 uzay araçları ile Ay yüzeyine inen astronotlar, yüzeye bir dizi reflektör bırakmışlardır. Yer'den bu reflektörlere yollanan lazer ışınlarının gidiş-dönüş süresinden, ± 1.5 cm hata ile, Ay'ın uzaklığı her an hesaplanabilmektedir. Uzun süreli yapılan ölçümler sonucunda Ay'ın her yıl Yer'den 3.8 cm uzaklaştığı bulunmuştur. Bu uzaklaşma Apollo 11 uçuşundan yaklaşık 70 yıl önce İngiliz astronom George Darwin tarafından da tahmin edilmişti. Ay'ın Yer üzerine uyguladığı tedirginlik etkileri üzerinde çalışan



Şekil 3.6 Gel-git kabarmalarına Güneş'in katkısı

Darwin, Yer'in kendi eksenini etrafında dönüş hızının, Ay'ın Yer etrafındaki dönüş hızından çok büyük olması nedeniyle, elipsoid şeklinde uzayan yapının büyük eksen doğrultusunun Ay'dan 10° sapsmış olduğunu göstermiştir (Şekil 3.7). Bu durumda şişkinliğin Ay'a yakın tarafı, küçük ancak sürekli bir çekim etkisi ile Ay'ı yörüngesinde daha hızlı hareket etmeye zorlamaktadır. Sonuç olarak Yer-Ay sisteminin toplam açısal momentumunun korunabilmesi için, Ay daha büyük yarıçaplı bir yörüngeye oturmak zorunda kalmaktadır. Yer'den bu şekilde uzaklaşan Ay'ın yörünge dönemi de uzamaktadır. Aynı etki Yer'in suları ile karaları arasında bir sürtünme kuvvetinin de doğmasına neden olmaktadır ve Yer'in eksenini etrafındaki dönüş hareketinin frenlenmesine yol açmaktadır. Buna bağlı olarak Yer'de bir günün uzunluğu yüzyılda 0.002 saniye gibi çok düşük bir değerle artmaktadır. Bu sonuçlar, geçmişte Yer'in eksenini etrafında daha hızlı döndüğüne ve Ay'ın Yer'e şu andakinden çok daha yakın olduğuna delil sayılmaktadır.

Ay'ın ileri doğru çekilmesi daha geniş bir yörüngeye oturmasına neden olur



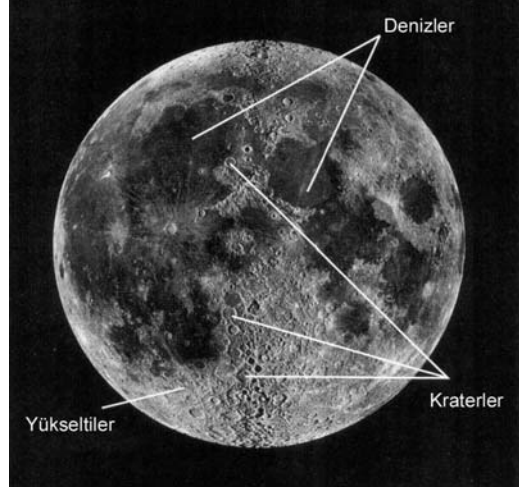
Karalarla sular arasındaki sürtünme Yer'in dönmesini yavaşlatır

Şekil 3.7 Gel-git kabarmaları Ay'ın yörüngesine ve Yer'in eksenini etrafında dönmesine etki eder

3.3 Ay'ın Yüzey Şekilleri ve Yüzey Bileşimi

Ay'da yüzey çekim ivmesi Yer'dekinin altıda biridir. Bu nedenle yüzeyinden kurtulma hızı çok küçük bir değere sahiptir ve gaz moleküllerini tutabilecek güçte değildir. Sonuç olarak Ay'ın dikkate alınabilecek ölçüde bir atmosferi yoktur ve buna bağlı olarak Yer'dekine benzer bulutlar ve hava hareketleri oluşmamaktadır. Bu durum, Ay yüzey şekillerinin, Yer'den doğrudan izlenebilmesine olanak tanır. Ancak eş-dönme özelliği nedeniyle, Yer'den bakıldığında Ay yüzey şekillerinin sadece bize bakan yüzüne ait olanları izlenebilmektedir. Ay'ın arka yüzüne ait yüzey şekilleri detaylı olarak, ancak 1950 lerin sonlarında başlayan insanlı ve insansız uzay uçuşları ile izlenebilmiş ve

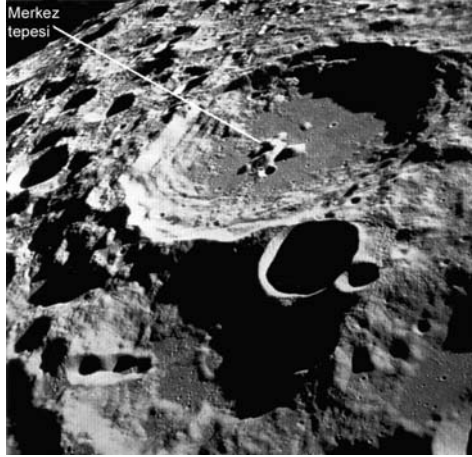
haritalanmıştır. Ay yüzeyinin karanlık ve aydınlık alanlarla kaplı olduğu Yer'den çıplak gözle bakıldığında bile görülebilmektedir. İzlenen yüzey şekilleri genel olarak “*krater*” adı verilen dairesel yapılı çukurlar, koyu gri renkte görülen ve “*denizler*” olarak adlandırılan geniş düzlükler ve açık gri veya beyaz renkte görülen tepe ve dağlardan oluşma “*yükseltiler*”dir (Şekil 3.8)



Şekil 3.8 Ay'ın genel yüzey şekilleri

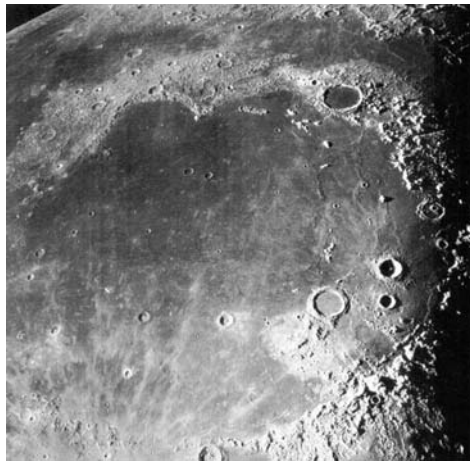
Yer'deki teleskoplarla yapılan incelemeler sonucu, Ay'ın görünen yüzünde 30,000 e yakın kraterin varlığı saptanmıştır. Ay çevresinde yörüngeye yerleştirilen uzay araçları sayesinde bu sayının çok daha fazla olduğu ve Yer'den gözlenemeyen sayısız irili ufaklı kraterin de var olduğu görülmüştür. 17. yüzyılda başlayan ve bugün de takip edilen bir alışkanlıkla, Ay'daki belirgin kraterlere ünlü bilim ve devlet adamlarının isimleri verilmiştir (Plato, Aristo, Pisagor, Kopernik, Kepler gibi). Ay yüzeyindeki kraterler, meteorik cisimlerin bombardımanı sonucu oluşmuştur. Dolayısıyla “*çarpma-kraterleri*” olarak da adlandırılırlar. Alman astronom Franz Gruithuisen, kraterlerin kökenini meteor çarpmalarına bağlayan ilk kişidir ve kraterlerin oluşum kuramını 1824 yılında ortaya koymuştur. Ancak kraterlerde izlenen en çarpıcı özellik, hepsinin dairesel şekillere sahip olmasıdır. İlk bakışta, yüzeye dik gelmeyen meteorların eliptik şekilli uzamış kraterler yaratması gerektiği düşünülmüş ve bu durum Gruithuisen'in kuramının önemli bir açığı olarak yorumlanmıştır. Gruithuisen'den ancak bir asır sonra, meteor çarpması sonucu, çarpma noktasında “*şok dalgaları*”nın oluştuğu ve bu dalgaların, meteorun çarpma açısından bağımsız olarak dairesel görünimleri yarattığı anlaşılmıştır. Şekil 3.9 da büyük bir kraterin kenar bölgelerinde, çarpma sırasında oluşan şok dalgalarının izleri açıkça görülebilmektedir. Çarpma sırasında açığa çıkan yüksek ısı, çarpma noktası civarındaki Ay kayalarının erimesine yol açmış ve oluşan şok dalgaları, sıvılarda yayılan dalgalar gibi ilerleyerek kraterlerin dairesel yapılı şekiller almasını

sağlamıştır. Şok dalgaları, kendisini oluşturan meteorların boyutlarından çok daha büyük boyutlu alanlara yayılabilmektedir. 100 km den daha büyük çaplı kraterler, birkaç km çaplı meteorların yüksek hızlarla Ay yüzeyine çarpması sonucu oluşmaktadır. Bu boyuttaki büyük kraterlerin çoğunda, şekil 3.9 da görüldüğü gibi, bir “*merkez tepesi*” oluşmaktadır. Bu yapılar çarpışma hızlarının çok yüksek olduğunun bir göstergesidir.



Şekil 3.9 Ay yüzeyinde büyük bir krater

17. yüzyılda kısıtlı olanaklara sahip gözlemciler, şekil 3.10 da görülen koyu renkli alanları, su dolu geniş denizler olarak yorumlamışlar ve genelde Latince kökenli romantik isimler vermişlerdir. Günümüzde de kullanılan bu isimlerden birkaçı, “*Mare Tranquillitatis – Sakinlik Denizi*”, “*Mare Nubium – Bulutlar Denizi*” ve “*Mare Imbrium – Sağanak Denizi*”dir. Bu alanların, erimiş lav akıntılarının toplandığı büyük çukurluklar olduğu anlaşılmıştır. Denizler çevresine oranla daha koyu olan renklerini, içlerinde toplanarak katılmış lavlardan almaktadır. Ay’a yapılan yolculuklar sırasında elde edilen yakın görüntülerden (Şekil 3.11), deniz alanları içerisinde az da olsa kraterler ve lav akıntılarında kalma kanallar izlenmektedir. Çevrelerine oranla daha az sayıda kraterleşme göstermeleri, denizlerin daha yakın zamanda şekillenmiş olduğuna delil sayılmaktadır. Buna bağlı olarak lav akıntılarının, Ay’ın jeolojik geçmişinin son evrelerinde gerçekleştiği ortaya



Şekil 3.10 Sağanak Denizi

çıkılmaktadır. Denizlerin Ay yüzeyinde kapladıkları geniş alanlar, aynı kraterlerde olduğu gibi dairesel şekillere sahiptir ve bu yapıların da çarpışma sonucu ortaya çıktıklarına bir işarettir. Buna göre, birkaç 10 km çapında asteroid benzeri cisimlerin Ay yüzeyine çarpması sonucu yüzeyde öncelikle büyük çukurluklar oluşmuştur. Özellikle çukur tabanlarında çatlayan Ay kabuğundan yüzeye çıkan lavlar “nehirler” boyunca akarak bu geniş çukurlukları



Şekil 3.11 Sakinlik Denizi'nden bir detay

doldurmuş ve katılarak denizlerin bugünkü görünümünü almalarını sağlamışlardır. Denizlerden toplanan kayaç örneklerinin ağırlıklı olarak volkanik karakterler göstermesi bu fikri desteklemektedir. Denizleri oluşturduğu düşünülen bu şiddetli çarpışmalar, deniz alanlarının dış sınırlarında yüksek dağ sıralarının de oluşmasını gerektirmektedir. Şekil 3.10 de Sağanak Denizi'ni çevreleyen yüksek dağların varlığı bu düşüncenin doğru olduğunu göstermektedir.

Denizler tüm Ay yüzeyinin %15 ini kaplamaktadır ve Ay'ın ortalama yüzey yüksekliğinden 2-5 km aşağıda bulunurlar. Geriye kalan %85 lik alanı kaplayan açık renkli bölgeler ise, ortalama yüksekliğin üstünde yer alan ve yüksek oranda kraterleşme gösteren Ay yükseltileridir. 1959 yılında Rus'ların “Luna 3” uzay aracı ile Ay'ın Yer'den görülemeyen arka yüzü ilk kez görüntülenmiş ve ilginç bir sonuç olarak hiç deniz bulunmadığı görülmüştür. Denizlerin neden sadece Ay'ın Yer'e bakan yüzünde yer aldıkları sorusuna halen yerine oturan tatmin edici bir cevap bulunmamakla beraber, Ay'ın arka yüzündeki kabuk katmanının ön yüzüne oranla daha kalın olduğu ve en şiddetli çarpışmalara dahi direnç gösterebildiği düşünülmektedir. Ay, Yer'de izlenen levha hareketleri açısından bakıldığında, tek levhadan oluşmuş bir cisim gibidir. Dolayısıyla Yer yüzeyinde izlenen tektonik hareketler Ay'da gerçekleşmemektedir. Atmosfer kökenli erezyon ve tektonik hareketlerin bulunmaması sonucu, Ay yüzeyi oluşumundan bu yana çok az değişim göstermiştir. Sonuç olarak milyarlarca yıl yaşa

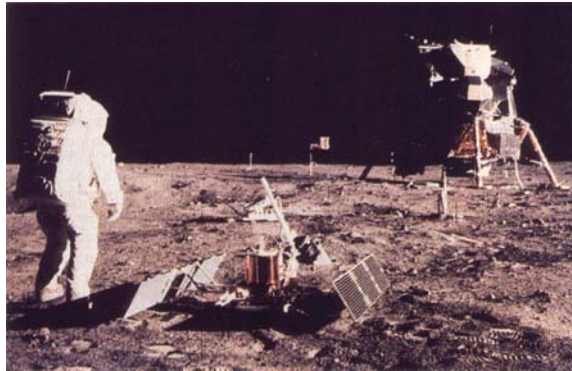
sahip kraterler, ilk oluştukları andan günümüze kadar hiç bozulmadan görünümlemlerini korumuşlardır. Bu özelliklerden hareketle şöyle bir genelleme yapabilmek mümkündür:

“Yüzeyi çok sayıda krater ile kaplı bir gezegen veya uydunun yüzeyi yaşlıdır, belirgin bir atmosferi yoktur ve jeolojik olarak aktif değildir”.

Bu kural güneş sistemi üyesi tüm cisimler için kullanılabilen genel bir yaklaşımı ifade etmektedir.

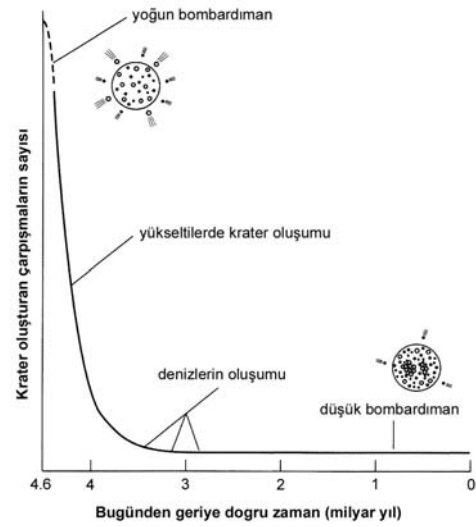
Ay çevresinde yörüngeye sokulan ve yüzeyine indirilen insanlı/insansız çok sayıdaki araç ile toplanan veriler, Ay yüzeyi hakkında daha detaylı bilgilere ulaşmamızı sağlamıştır. 1959 yılında Rus’ların “Luna” serisi 3 uzay aracı ile başlayan bu macerayı hemen ardından Amerika’lıların 1960 daki “Ranger” araçları takip etmiş, 1966-67 yılları arasında Amerika’lıların Ay’a yolladığı 5 adet “Lunar Orbiter” aracına Rus’lar geliştirilmiş Luna serisi araçlarla cevap vermiş ve Ay’a yolculuk, Rus’larla Amerika’lılar arasında bir yarışa dönüşmüştür. Ay yüzeyinde milyarlarca yıl süren meteor bombardımanı sonucu yüzeyin inişe elverişli olup olmadığı, 1966-68 yılları arasında yüzeye indirilen 5 adet Amerikan yapısı insansız “Surveyor” aracı ile test edildikten sonra, 20 Temmuz 1969 tarihinde Ay yüzeyine “Apollo 11” astronotları ayak basmıştır (Şekil 3.12). Bunu, Apollo 12, 14, 15, 16 ve 17 uçuşları ile insanlı, Luna 9-24 araçlarından bazıları ile de insansız inişler takip etmiştir. Ay yüzeyinde çeşitli bölgelere inen bu araçların topladığı ve yeryüzüne getirdiği örneklerin analizinden, yüzey bileşimi hakkında kesin sonuçlar çıkartılmıştır. Astronotların ilk ilgisini çeken yüzey olgusu, yoğun meteor bombardımanı sonucu ufak parçalara dağılan Ay kayalarının yüzeyi pudra kıvamında bir toz

tabakası ile kaplanmış olmasındır. “Regolit” adı verilen bu yapı, Ay yüzeyinin farklı bölgelerinde 2 ile 20 m arasında değişen kalınlığa sahip bir tabaka oluşturmuştur. Regolit, Güneş ışınlarını fazlasıyla soğurabilen bir yapıya



Şekil 3.12 Apollo 11’in iniş modülü Ay yüzeyinde

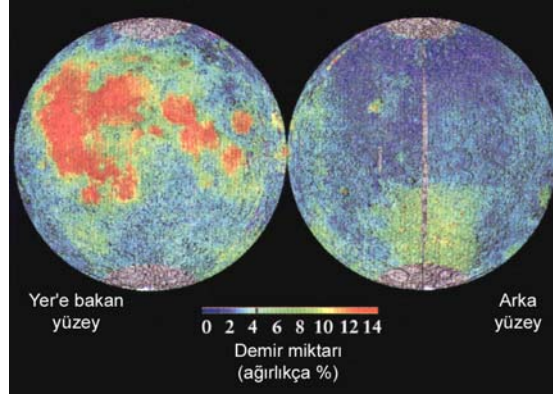
sahiptir ve Ay'ın albedosunun neden düşük olduğu sorusuna cevap vermektedir. Ay'dan toplanan taş örneklerinin tamamı volkanik kökenlidir. Yer'de bulunan, tortul veya başkalaşım kayalarına benzer yapılara Ay yüzeyinde rastlanmamaktadır. Bu bulgu, Ay yüzeyinin bir zamanlar tamamen erimiş halde bulunduğuna bir delil sayılmaktadır. Denizlerden toplanan örnekler demir, magnezyum ve titanyum gibi ağır elementlerce zengin "bazalt" kayalar iken, yükseltillerden alınan örnekler silisyum, kalsiyum ve alüminyum gibi daha hafif elementler içeren "anortozit" benzeri kayalardır. Anortozit bazalttan daha açık bir renge sahiptir. Yükseltillerin denizlerden daha açık renkte görülmelerinin nedeni budur. Ay kayalarının yaşları radyoaktif yaş belirleme yöntemleri ile bulunmuştur. Buna göre anortozitlerin 4.0 – 4.3 milyar yıl, bazaltların ise 3.1 – 3.8 milyar yıl yaşında oldukları tespit edilmiştir. Ay kayaç yaşlarının, toplandıkları farklı bölgelerdeki krater sayıları ile beraber analiz edilmesi sonucu, yüzeye çarpan meteorların birim zamandaki sayısının zaman içerisinde değişim gösterdiği belirlenmiştir. Yükseltillerde yer alan çok sayıda çarpma kraterlerinin boyutları görece olarak daha küçüktür ve Ay'ın küçük boyutlu parçalar tarafından yoğun bombardıman altında kaldığı dönemleri yansıtmaktadır. Bu



Şekil 3.13 Krater oluşum süreçleri

bölgelere ait kayaç örnekleri, Ay'ın oluşumunu takip eden ilk 800 milyon yılda gerçekleşen oluşumları barındırmaktadır (Şekil 3.13). Bunu takip eden 1 milyar yıl içerisinde, güneş sisteminin kökenini oluşturan küçük parçacıklar birleşerek daha büyük boyutlu cisimlere dönüşmüşlerdir. Buna bağlı olarak Ay yüzeyine düşen meteor sayısında ciddi bir azalma olmuştur. Ay denizleri ise sayıca az olan asteroid büyüklüğündeki bu parçaların yüzeye çarpması ile, daha yakın zamanda meydana gelmişlerdir. Denizleri oluşturan çarpışmalar, çarpma bölgesindeki daha yaşlı ve küçük kraterleri silmiştir. Denizlerin içinde yer alan küçük kraterlerin sayıca az olması, son 3 milyar yıldan beri meteor çarpma oranında belirgin bir azalma olduğuna işaret eder.

90'lı yıllarda yapılan insansız uçuşlarla Ay'ın incelenmesine devam edilmiştir. Jüpiter'i incelemek amacı ile geliştirilen "Galileo" uzay aracı, 1990 ve 1992 de, Yer etrafındaki hızlandırma yörüngesi üzerinde bulunurken, Ay'a iki yakın geçiş yapmış ve bugüne kadar elde edilmiş en detaylı yüzey



Şekil 3.14 Ay yüzeyinde demir bolluğu dağılımı

haritasını çıkartmıştır. 1994 yılında ise "Clementine" uzay aracı, Ay çevresinde bir yörüngeye oturtulmuş ve iki ay boyunca yüzey bileşimi incelenmiştir. Clementine'nin moröteden kızılötesine kadar geniş dalgaboyu aralığına duyarlı tayfçekerleri ile yüzeyden yansıyan Güneş ışığı tayfi incelenmiş ve farklı elementlerin yüzey bolluk dağılımları haritalanmıştır. Şekil 3.14 te Clementine verilerinden oluşturulan, demir elementinin yüzey dağılım haritası görülmektedir. Yükseltilere oranla denizlerde daha bol demir bulunduğu bu haritalardan hemen fark edilebilmektedir. Clementine'in görevi boyunca elde ettiği en önemli bulgu, güney kutup bölgesinde buz varlığına ilişkin gözlemleridir. Şekil 3.15 te görülen ve "Aitken Çukuru" olarak adlandırılan bölgeye, Clementine'den yollanarak yansıtılan radyo dalgaları, tipik buz yüzeyinden yansıma özellikleri göstermiştir. Bu buzların Ay'a çarpan kuyruklu yıldızlar tarafından depolandığı fikri ortaya atılmıştır. Güneş ışınlarının çok az ulaşabildiği Aitken çukurunun, yakın zamanda gerçekleşmiş bir çarpışma ile şekillendiği düşünülmektedir. Ay'ın yere bakan yüzündeki denizlerden tek farkı, içinin lav ile doldurulmamış olmasıdır. Dolayısıyla çarpan cismin, Ay yüzeyini sıyrarak



Şekil 3.15 Galileo aracından Ay'ın görüntüsü

geçtiği ve bu bölgedeki kabuk katmanını soyduğu düşünülmektedir. Sonuç olarak Aitken Çukuru tabanında açığa çıkan manto yüzeyi katılarak bugünkü görünümünü almıştır. Denizlere oranla daha düşük ancak yükseltilere oranla daha yüksek demir bolluğu göstermesi bu fikri doğrular niteliktedir. 1998 de “*Lunar Prospector*” aracı ile Ay kutuplarındaki derin kraterlerde buz varlığı denetlenmiştir. Lunar Prospector alıcıları, kutup bölgelerinde hidrojen var olduğunu tespit etmiştir. Bilim adamları gözlenen hidrojenin donmuş su moleküllerinde veya başka minerallerde hapsedilmiş olabileceğini söylemişlerdir. Haziran 1999 da görevi sona erdiğinde, Lunar Prospector aracı güney kutup bölgesinde yer alan ve içinde buz bulunma olasılığı en yüksek olan bir krater içine düşürülmüştür. Amaç, çarpma anında açığa çıkacak yüksek ısı sonucu, buzun subuharına dönüşerek yükselmesini sağlamak ve bunu Yer’den gözleyerek, buz varlığına kanıt aramaktır. Ancak, çarpışma anını Yer’den izleyen bir düzineye yakın büyük teleskopla, beklenen buharlaşmanın gerçekleşmediğini görmüştür. Dolayısıyla kutup buzları halen çözülme bekleyen bir bilmece olarak durmaktadır.

3.4 Ay’ın Manyetik Alanı ve İç Yapısı

Ay yüzeyine indirilen çok sayıdaki teknik cihaz sayesinde detaylı ölçümler yapılmıştır. Örneğin manyetik alan şiddeti ve yönünü belirleyen manyetometre ölçümleri sonucu, Ay’ın belirgin bir manyetik alanının olmadığı görülmüştür. Ancak astronotlar tarafından Yer’e getirilen kayaç örnekleri üzerinde yapılan incelemeler, Ay’ın milyarlarca yıl önce katılarken zayıf bir manyetik alana sahip olabileceğini göstermiştir. Buna göre Ay’ın ilk zamanlarında sıvı olan iç bölgeleri zamanla soğuyarak katılaşmış olmalıdır.

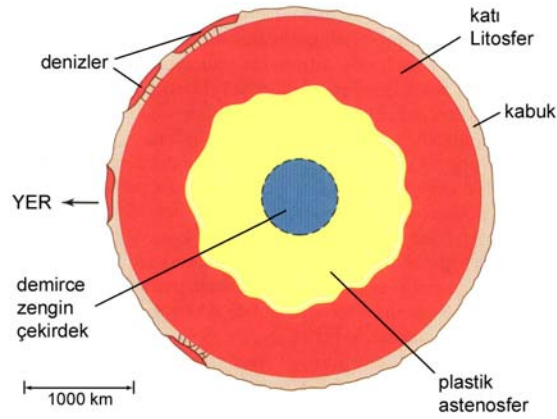
Yer’deki kadar şiddetli olmamakla birlikte Ay’da da depremlerin oluştuğu, şekil 3.12 de biri görülen ve Apollo astronotları tarafından Ay yüzeyinin çeşitli noktalarına yerleştirilmiş sismograf ölçümlerinden anlaşılmıştır. Yer’deki büyük depremler “*Richter ölçeği*” ile 6-8 şiddetinde iken, Ay’da oluşan depremlerin şiddeti 0.5-1.5 arasındadır. Ay’ın tek levhadan oluşma bir kabuk yapısına sahip olduğunu Bölüm 3.3 de açıklamıştık. Buna göre zayıf şiddetteki Ay depremlerini meydana getiren süreçler Yer’dekilerden farklı olmalıdır. Ay depremlerinin kaynağı, Yer’in Ay üzerine uyguladığı tedirginlik etkisi ve bu tedirginliğin ölçüsünün, Ay’ın eliptik yörünge hareketi boyunca değişmesidir. Ay yörünge hareketi boyunca Yer’e yaklaşım

uzaklaştıkça, üzerine etkiyen kuvvetlerin değişmesi sonucu bir yay gibi sıkışıp gevşemektedir ve bu hareketler Ay depremlerini tetiklemektedir. Yılda tespit edilen Ay depremleri sayısı 1000 civarındadır. 2. Bölüm'de Yer'in iç yapısının depremler yardımı ile nasıl belirlendiğini görmüştük. Ay'daki sismik ölçümler üzerinde, aynı yöntemlerle yapılan incelemeler sonucu iç yapısı belirlenmiştir. Bu verilere ek olarak Ay'ın Lunar Prospector aracına uyguladığı çekim etkilerinin zamanla değişimi ve Ay'ın Yer'in manyetik alanı ile etkileşmelerinden de yararlanılmıştır. Bu veriler birleştirildiğinde ortaya çıkan sonuç şekil 3.16 daki gibidir. Merkezde akışkanlığını büyük ölçüde yitirmiş, demirce zengin 700 km çaplı bir çekirdek bulunmaktadır. Yer çekirdeği,

toplam kütleinin %32 sini barındırırken, Ay çekirdeğinde bu oran %2-3 ü geçmemektedir. Çekirdeği 500-550 km kalınlıklı, plastik yapıları bir astenosfer katmanı sarmaktadır. Astenosfer

üzerinde ise 800 km kalınlıklı, katı bir litosfer katmanı yer almaktadır. Ay'daki sismik ölçümler, depremlerin litosfer ile astenosferi birbirinden ayıran sınır bölgelerde

oluşturduğunu göstermektedir. Astenosfer ve litosfer, merkezden yüzeye doğru çıkıldıkça yoğunluğu azalan, demirce zengin kayalardan oluşmuştur. Litosferinin üstü, Yer'e bakan yüzey tarafında 60 km, arka yüzde ise 100 km kalınlıklı bir kabuk tabakası ile kaplıdır. İç yapı açısından bakıldığında Ay, Yer'e oranla daha katı bir cisimdir. Levha tektoniği oluşturabilecek akışkanlıkta tabakalar bulunmadığından, tektonik kökenli yüzey hareketleri izlenmemektedir. Ay yüzeyinde meydana gelen değişimler sadece meteor çarpmaları ile gerçekleşmiştir. Bu çarpmaların yarattığı sismik dalgalar, Ay yüzeyine bırakılan sismograflar tarafından kaydedilebilmektedir. Ay sismografları, yüzeyine düşen portakal büyüklüğünde bir meteoru hissedebilecek duyarlılıktadır. Yapılan ölçümler sonucu, Ay yüzeyine her yıl, kütleleri 0.1 kg – 1 ton arasında değişen 80 – 150 adet meteorun çarptığı saptanmıştır.



Şekil 3.16 Ay'ın iç yapısı

Katı cisimler iç ısılarını elektromanyetik ışıyım yolu ile dışarı vererek bir soğuma sürecinden geçerler. Farklı boyutlardaki cisimler farklı sürelerde soğurlar. Bu süre cismin yüzey alanının hacmine oranı ile ilgilidir. Yarıçapı büyük olan bir gezegen hacmine göre daha düşük yüzey alanına sahip olacağından daha yavaş soğur. Ay Yer'e oranla daha küçük bir cisimdir ve bu nedenle daha çabuk soğuyarak Yer'e oranla daha katı bir cisim haline gelmiştir. Bu özellikten hareketle Güneş sistemi üyeleri için bir başka genelleme daha yapmak mümkündür:

“Bir gezegen veya uydu ne kadar küçük boyutlu ise o derece daha az iç ısıya sahip olacak ve daha hızlı katılaşacaktır. Bunun sonucu olarak yüzeyinde daha az jeolojik aktivite gösterecektir.”

Bu genellemenin, Jüpiterin uydusu Io gibi bazı uç örneklerde geçerli olmadığını, ancak çoğu güneş sistemi üyesi için iyi bir yaklaşım olduğunu göreceğiz.

3.5 Ay'ın Kökeni

Bölüm 3.2 de, Yer'in geçmişte ekseni etrafında daha hızlı döndüğüne ve Ay'ın Yer'e daha yakın konumda bulunduğuna ilişkin delillerin var olduğunu görmüştük. George Darwin, bu özellikleri kullanarak Ay'ın oluşumuna ait “parçalanma kuramı”nı 1898 de geliştirmiştir. Bu kurama göre, ekseni etrafında “dağılma hızı” civarında dönen genç yerkürenin ekvatorundan kopan dış katman parçaları zaman içerisinde birleşerek Ay'ı oluşturmuştur. Karşıt bir görüş olarak ortaya çıkan “yakalanma kuramı” ise, Ay'ın Güneş etrafında bir yörüngede, Yer'den bağımsız olarak oluştuğunu ve daha sonra Yer tarafından yakalanarak çevresinde bir yörüngeye oturtulduğunu ileri sürmektedir. Üçüncü bir kuram olarak karşımıza çıkan “beraber-oluşma kuramı” ise, Yer ve Ay'ın aynı zamanda, kabaca aynı yerde, ancak birbirlerinden bağımsız olarak meydana geldiklerini öngörmektedir.

Parçalanma kuramını destekler nitelikteki bir gerçek, Ay'ın düşük ortalama yoğunluk değerinin, Yer'in dış katmanlarının ortalama yoğunluğuna çok yakın olmasıdır. Ancak Yer'in ekvatorundan dışarı fırlatılan parçalarla oluşacak Ay'ın, ekliptik düzlemi ile belirgin açı yapan (23.5°) bir yörünge üzerinde dolanması beklenir.

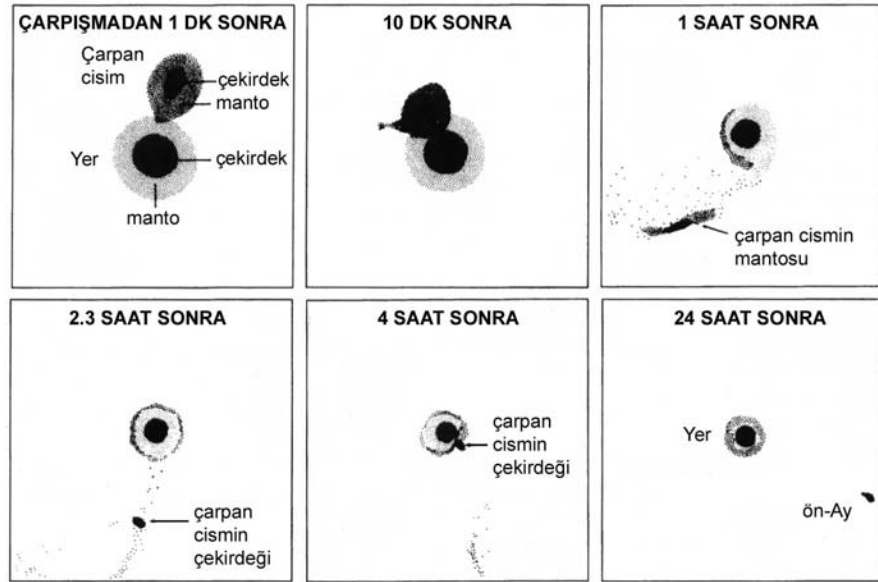
Buna karşılık Ay'ın yörüngesinin ekliptiğe çok yakın olduğu bilinen bir gerçektir (5.15°). Ayrıca bu kuram, Yer ve Ay kayalarının benzer kimyasal bileşimler göstermesini de gerektirmektedir. Ay'dan toplanan kaya örnekleri bu durumun tersini işaret etmektedir. Potasyum (K) ve Sodyum (Na) gibi “*uçucu elementler*”in kaynama noktası görel olarak daha düşüktür ve 900 °C civarındadır. Buna karşılık titanyum (Ti), kalsiyum (Ca) ve alüminyum (Al) gibi “*güç-eriyen elementler*”in kaynama noktaları 1400 °C ın üstündedir. Ay kayalarındaki uçucu element bolluğu, güç-eriyen element bolluğundan daha düşüktür. Halbuki Yer’de durum bunun tam tersidir. Bu durum Ay’ın zaman içerisinde çok yüksek sıcaklıklara kadar ısıtılmış maddeden oluştuğuna ve bu ısıtılma süreci içinde uçucu elementlerini kaybettiğine bir delil sayılmaktadır. Bu özellikler parçalanma kuramını büyük ölçüde geçersiz kılmaktadır.

Yer ve Ay kayaları arasında izlenen bu farklılık, yakalanma kuramını öne sürenler tarafından destekleyici nitelikte bir özellik olarak dikkate alınmaktadır. Ay’ın Yer etrafındaki yörüngesinin, ekliptik düzlemine çok yakın olması da bu kuram için ayrı bir destekleyici delil olarak gösterilmiştir. Ancak yakalanma kuramının karşılaştığı önemli bir güçlük vardır. Ay boyutlarındaki bir cismin, Güneş etrafındaki yörüngesinden kopartılıp, Yer etrafında bir yörüngeye (üstelik Yer’e çarpmadan) oturtulabilmesi için sayısız dinamik koşulun aynı anda sağlanması gerekmektedir ve bu koşulların gerçekleşme olasılıkları son derece düşüktür.

Berber-oluşma kuramı ise, ön-güneş etrafında henüz gelişimini tamamlamamış Yer’in yörüngesi üzerinde bulunan kaya parçalarının, şiddetli çarpışmalar sonucu uçucu elementlerini yitirdiği ve zaman içerisinde birleşerek Ay’ı oluşturduğu düşünülmektedir. Bu kuramın önerisine göre, aynı materyal içinden sadece gezegenimsilerle Yer, aşırı ısıtılmış kaya artıklarıyla da Ay oluşmak zorundadır. Bu derece net bir ayırım pek olası görülmemektedir.

Günümüzde varılan bilimsel fikir birliği altında bu üç kuramın da geçerli olmadığı ortaya konmuş durumdadır. Temelleri 1975 yılında William Hartmann, Donald Davis, Alastair Cameron ve William Ward tarafından atılan ve büyük ölçüde kabul gören “*çarpma-fırlatma kuramı*” Ay oluşum sürecini büyük bir yaklaşıklıkla açıklayabilmektedir. Buna göre ön-gezegen halindeki Yer’e Mars boyutlarında bir başka ön-gezegen çarpmış ve çarpışma sırasında dışarı fırlatılan artıklardan Ay

oluşturmuştur. Bu kuram, Güneş sisteminin oluşum kuramıyla da uyum içerisindedir. Bundan 4.6 milyar yıl önce bugünkü iç gezegenlerin yer aldığı bölgede birkaç düzine ön-gezegen bulunmaktaydı. Bunlardan ön-gezegen aşamasındaki Yer ile Mars boyutlarındaki bir başka cisim “*merkezsel olmayan*” bir çarpışma gerçekleştirmişlerdir. Şekil 13.17 de bu çarpışma anını temsil eden bilgisayar simülasyonundan alınmış görüntüler verilmiştir. Yer’in çarpma noktası civarındaki dış katmanları soyularak çarpan cismin mantosu ile beraber uzaya dağılmıştır. Çarpan cismin çekirdeği yoğun olduğundan Yer tarafından geri yakalanmıştır. Dışarı fırlatılan ve daha hafif elementler içeren maddedeki uçucu elementler bu çarpışma sırasında üretilen yüksek ısı ile buharlaşmış ve bugün Ay’da uçucu element bolluğunda izlenen düşük değerlerin ortaya çıkmasına neden olmuştur. Fırlatılan bu artık madde birleşerek ve soğuyarak Ay’ı meydana getirmiştir. Çarpışma, Yer’de kimyasal ayrışmanın büyük ölçüde tamamlandığı bir anda gerçekleşmiş olmalıdır. Bu koşullar altında Ay’ın, çekirdeğinin Yer’e oranla neden çok daha küçük ve ortalama yoğunluğunun neden daha düşük olduğu açıklanabilmektedir.



Şekil 3.17 Çarpma-fırlatma kuramına ait bilgisayar simülasyonundan seçilmiş önemli anlar