

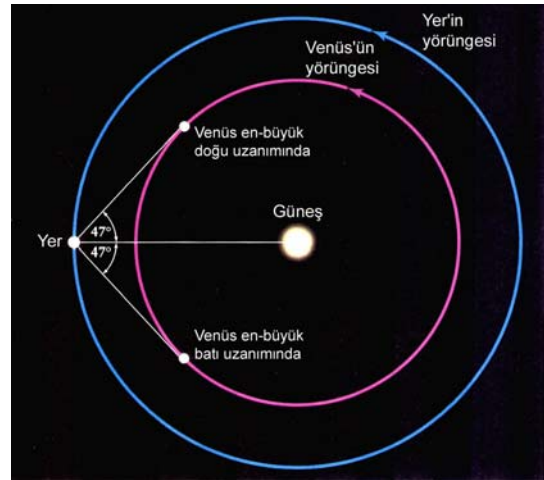
BÖLÜM 5 Venüs

Güneş'e ortalama uzaklık	0.723 AB = 1.082×10^8 km
Güneş'e en büyük uzaklık	0.728 AB = 1.089×10^8 km
Güneş'e en küçük uzaklık	0.718 AB = 1.075×10^8 km
Yörünge dışmerkezliği	0.0068
Ortalama yörünge hızı	35.0 km/sn
Yörünge (yıldız) dönemi	224.70 gün
Kavuşum (sinodik) dönemi	584 gün
Dönme dönemi	243.01 gün
Ekvatorun yörüngeye eğikliği	177.4°
Yörüngenin ekliptiğe eğimi	3.39°
Ekvator çapı	12104 km = $0.949 R_{\text{yer}}$
Kütle	4.869×10^{24} kg = $0.815 M_{\text{yer}}$
Ortalama yoğunluk	5243 kg/m^3
Kurtulma hızı	10.4 km/sn
Yansıtma gücü	0.59
Ortalama yüzey sıcaklığı	$460^\circ\text{C} = 733^\circ\text{K}$



5.1 Venüs'ün Yörüngesi ve Hareketleri

Venüs, Merkür'ün aksine, Yer'den daha kolay gözlenebilen bir gezegendir. Yörüngesinin boyutları, Merkür'ün yörüngesinin yaklaşık iki katıdır. Bunun sayesinde en büyük doğu ve batı uzanım açıları 47° ye kadar ulaşabilmekte ve bu konumlarda Güneş'ten yeterince uzakta izlenebilmektedir (Şekil 5.1). En büyük doğu uzanımında iken,

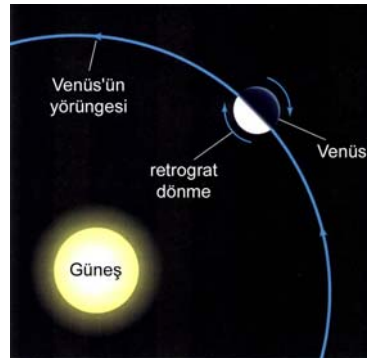


Şekil 5.1 Venüs'ün Güneş etrafındaki yörüngesi

günbatımında, batı ufkunun üzerinde oldukça yüksekte görülür ve yüzyıllardan beri süregelen bir gelenekle “*akşam yıldızı*” olarak adlandırılır. En büyük batı uzanımında ise, Güneş’ten yaklaşık 3 saat önce doğar ve aynı gelenekle “*sabah yıldızı*” olarak adlandırılır. Güneş ve Ay’dan sonra, Yer’den izlenebilen en parlak gök cisimidir. Yaklaşık Yer boyutlarında olması, hem Yer’e hem de Güneş’e yakın olması ve görelî olarak yüksek bir albedoya sahip olması (0.59), Venüs’ün en parlak yıldızdan 16 kat daha parlak görünmesini sağlamaktadır.

Venüs’ün yörünge dönemi 224.7 gündür ve yörüngesi ekliptik düzlemine 3.39° eğiktir. Dolayısıyla Güneş önünden geçişleri (transitleri) her iç-kavuşumda gerçekleşmez. Yörüngesi üzerindeki düğüm noktalarından birine çok yakın iken gerçekleşen bir iç-kavuşumda, Venüs’ün Güneş önünden geçişi izlenebilir. Aslında Venüs geçişi, Merkür’de izlenen sıklığa oranla çok daha ender rastlanan bir olaydır. Son iki Venüs geçişi 1874 ve 1882 de gerçekleşmiştir ve 20. yüzyıl boyunca hiç meydana gelmemiştir. Venüs geçişleri, aralarında 8 yıl süre olan çiftler halinde oluşur ve ardışık çiftler arası süre çok uzundur (yaklaşık 100 yıl). Buna göre takip eden çift, 8 Haziran 2004 ve 6 Haziran 2012 tarihlerindedir.

Venüs, eksenî etrafında son derece yavaş dönmektedir. Yıldızıl dönme dönemi 243.01 gündür ve görüldüğü gibi yörünge döneminden bile daha uzundur. Üstelik bu dönmenin yönü retrograttır (Şekil 5.2). Venüs’ün oldukça yoğun bulutlardan oluşma bir atmosferi vardır ve görsel bölge dalgaboylarında katı yüzeyinin görülmesine izin vermez. Dolayısıyla görsel bölgede yapılacak gözlemler, Venüs’ün dönme dönemi hakkında yanıltıcı sonuçlar verecektir, çünkü yoğun atmosferde yer alan yapılar, rüzgarların etkisi ile katı yüzeye göre sürekli hareket halindedir. Bulutlar genel olarak gaz molekülleri, toz parçacıkları ve sıvı damlacıklarından oluşmaktadır. Dalgaboyu, parçacıkların boyutlarından daha büyük olan bir elektromanyetik ışınım, böylesi bir atmosferi geçerek yüzeye kadar ulaşabilmektedir. Venüs bulutlarının içerdiği parçacık türleri göz önüne



Şekil 5.2 Venüs eksenî etrafında retrograt yönde döner

alındığında, sadece radyo dalgaları ve özellikle dalga boyları 10^{-3} m ile 0.1m arasında olan mikrodalgaların, yoğun bulutlardan geçerek yüzeye kadar ulaşabileceği anlaşılmaktadır. 1960 ların hemen başında gelişen radyo teleskop teknolojisiyle, katı yüzeyinden yansıtılan mikrodalgalarda oluşan Doppler etkisi kullanılarak Venüs'ün dönme dönemi bulunmuş ve retrograd yönde olduğu kanıtlanmıştır. Venüs'ün, eksenini etrafında ters yönde dönmesini açıklamak üzere geliştirilen kuramlar, genelde büyük boyutlu bir gezegenimsinin Venüs'e çarparak dönme yönünü değiştirmiş olabileceği üzerinde durmaktadır. Ancak böylesi bir çarpışmanın geçmişte gerçekleştiğine dair doğrudan kanıtlar bulunmamaktadır. 1 Venüs günü'nün uzunluğu (yüzeyindeki bir gözlemci için Güneş'in ardışık iki meridyen geçişi arasındaki süre) yaklaşık olarak 116.8 Yer günüdür. Kavuşum dönemi ise (Venüs'ün ardışık iki iç-kavuşum durumu arasında geçen süre) 584 Yer günüdür.

5.2 Venüs'ün Atmosferi

Venüs'ün kalın bir atmosfer tabakasına sahip olduğu ilk olarak 19. yüzyıl başlarında, gezegenin, iç kavuşum civarında teleskoplarla çekilen fotoğraflarında görülmüştür. İç kavuşum anında Yer'den bakıldığında arkadan aydınlatılan Venüs'ün yarı geçirgen atmosferi, Güneş ışığının saçılmasına neden olmaktadır ve şekil 5.3 de görüldüğü gibi yüzük şeklinde ışıyan bir yapı olarak kendini göstermektedir.



Şekil 5.3 Venüs'ün kalın bir atmosfere sahip olduğu, iç kavuşum sırasında çekilen fotoğraflarından anlaşılmıştır

Bölüm 2. de, Yer'in atmosfer bileşiminde bulunan su buharı (H_2O) ve karbon dioksit (CO_2) gazlarının, Yer yüzeyinden yapılan kızılöte ışınımın bir bölümünü hapsedtiğini görmüştük. Sera etkisi olarak adlandırılan bu olgu hem atmosfer hem de yüzey sıcaklığının belli oranda yükselmesini sağlamaktaydı. 1932 yılında Walter S. Adams ve Theodore Dunham Jr., Venüs'ten yansıyan Güneş ışığı tayfında CO_2 in soğurma çizgilerini görmüşlerdir. Venüs atmosferinde CO_2 varlığına delil sayılan bu bulgu, Venüs atmosferinde de sera etkisi özelliğinin bulunmasını gerektirmektedir.

1962 yılında Venüs'e ilk yakın geçişi yapan insansız "Mariner 2" uzay aracı, 1.35 cm ve 1.9 cm dalgaboylarındaki mikrodalgalara duyarlı alıcılar taşımaktaydı. Venüs atmosferi bu dalgaboylarındaki elektromanyetik ışınımına büyük ölçüde geçirgendir. Dolayısıyla Mariner 2 alıcıları tarafından, Venüs'ten algılanan ışınım tamamen yüzeyden gelmektedir ve bu yolla yüzey sıcaklığının 400 °C nin üstünde bir değere sahip olması gerektiği belirlenmiştir. Bu sıcaklıkta yüzeyde sıvı su bulunması

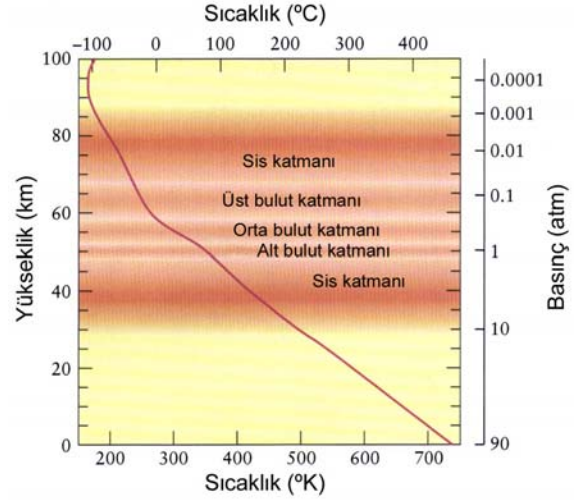


Şekil 5.4 Mariner 2, bir gezegene yakın geçiş yapan ilk uzay aracı ünvanına sahiptir

imkansızdır. Subuharı 1.35 cm dalgaboyuna sahip mikrodalgaları güçlü bir şekilde soğurabilmektedir. Bu dalgaboyunda Venüs'ten çok güçlü ışınım alınıyor olması, atmosferinde de subuharının yer almadığının bir göstergesidir. Sonuç olarak Mariner 2 uzay aracının en önemli bulgularından biri, Venüs'te su bulunmayışıdır. Mariner 2 uzay aracından sonra 60 lı ve 70 li yıllarda çok sayıda Amerikan ve Rus yapısı insansız araç Venüs'ü incelemek amacıyla yakın geçiş yapmış veya doğrudan atmosferine girmiştir. Bunlardan yüzeye kadar inen ve yüzeyden birkaç dakika boyunca Yer'e veri iletebilen Rus yapısı "Venera 7" aracının doğrudan ölçümleri sonucu, yüzey sıcaklığının 460 °C da kabaca sabit olduğu anlaşılmıştır. Hemen ardından yüzeye inmeyi başaran diğer araçlarla Venüs yüzeyindeki atmosfer basıncı da ölçülmüştür ve 90 atm gibi oldukça yüksek bir değere sahip olduğu görülmüştür. Bu değer, Yer okyanuslarında, yaklaşık 1 km derinlikte ölçülen değerlere eşittir. Dolayısıyla, Venüs yüzeyi civarında atmosfer yoğunluğu da oldukça yüksektir (Yer'dekinin 50 katı) ve Venüs atmosferinin oldukça yüksek bir kütleye sahip olduğuna işaretler. Atmosferik kütlenin yüksek olması, ısısını kolay kaybetmeyeceği anlamına gelmektedir. Bu durum, belli bir anda, Venüs'ün aydınlık ve karanlık taraflarında sıcaklıkların neredeyse aynı olmasını açıklamaktadır.

Atmosfer boyunca alçalarak yüzeye kadar ulaşan araçların ölçümleri ile, Venüs'ün atmosfer bileşimi büyük ölçüde belirlenmiş durumdadır. Buna göre %96 CO₂, %3.5 N₂ ve %0.5 diğer gaz atomları ve moleküllerinden oluşmaktadır. Yer

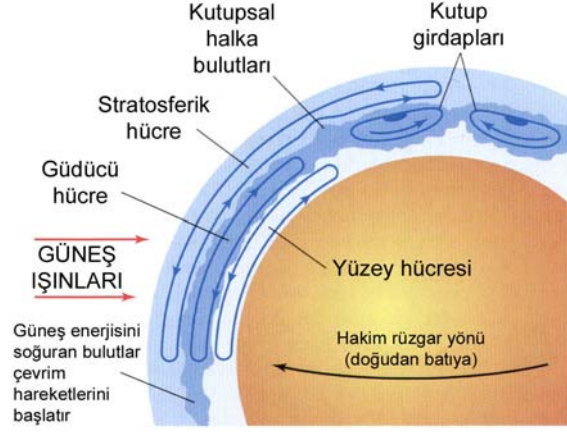
atmosferindeki sera gazlarının (H_2O ve CO_2) toplamdaki oranının %1 ler yoresinde olduğu göz önünde bulundurulduğunda, CO_2 nin Venüs atmosferindeki %96 lık bolluğu ile ne derece etkin bir sera etkisi yaratacağı ve yüzey sıcaklığının $460^\circ C$ ye nasıl yükseltildiği kolayca tahmin edilebilir. Atmosfer boyunca alçalan araçlar, Venüs bulutlarının, yükseklikle değişen 3 farklı



Şekil 5.5 Venüs atmosferindeki bulut katmanları ve sıcaklık ve basıncın, yükseklikle değişimi

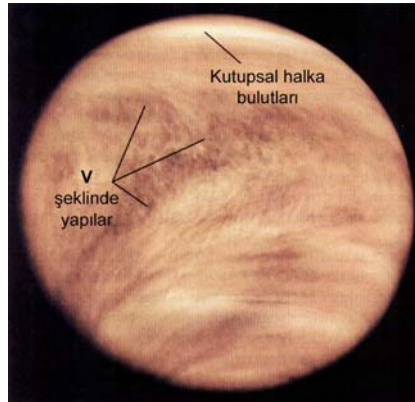
katmanda yoğunlaştığını tespit etmişlerdir. Şekil 5.5 den de görüleceği gibi, yüzeyden 48-52 km yükseklikler arasında yer alan en yoğun bulut katmanı “alt bulut katmanı” olarak adlandırılmıştır. Bunu azalan yoğunlukla 52-58 km ler arasında “orta bulut katmanı”, 58-68km ler arasında ise “üst bulut katmanı” izlemektedir. Bulut katmanlarının alt ve üst sınırlarında ise 20 şer km kalınlıklı “sis katmanları” yer almaktadır. Yüzeye yakın olan sis katmanının altında atmosferik görüş açık ve temizdir. Şekil 5.5 den atmosfer boyunca sıcaklık ve basıncın, yükseklikle değişimi de izlenebilmektedir. Bu açıdan bakıldığında Yer’deki karmaşık yapıya oranla fiziksel büyüklüklerin yükseklikle daha düzenli bir değişim gösterdiği söylenebilir. Uzay aracı ölçümleri, bulutların temel bileşiminde kükürt bazlı bileşiklerin (sülfür bileşikleri) hakim olduğunu göstermiştir. Ağırlıklı olarak kükürt dioksit (SO_2), hidrojen sülfid (H_2S) ve sülfrik asit (H_2SO_4), bulutların genel bileşimindeki baskın yapılarıdır. Yer’deki bulutlar ağırlıklı olarak yoğunlaşmış subuharından oluşurken, Venüs bulutları yoğunlaşmış sülfrik asit damlacıklarından meydana gelmiştir. Venüs’teki yüksek yüzey sıcaklığı nedeniyle bu damlacıklar hiç bir zaman gezegen yüzeyine yağmazlar ve belirli bir yükseklikte buharlaşırlar. Atmosfer ve bulutların bu genel kimyası, canlı yaşam için hiç de uygun değildir.

Venüs atmosferi, Yer atmosferine göre, genel hava hareketleri açısından da belirgin farklılıklar göstermektedir. 80 li yılların başında, Venüs çevresinde yörüngeye oturtulan “Pioneer Venus Orbiter” aracının moröte alıcılarıyla, genel bulut hareketleri izlenmiş ve üst atmosfer katmanlarının gezegen



Şekil 5.6 Venüs atmosferindeki çevrim hareketleri

etrafında 4 günde bir döndüğü saptanmıştır. Gezegenin katı kısmının yavaş dönmesine göre oldukça hızlı olan bu hareketin yönü de dönme yönü gibi retrograttır. 1978 yılında “Pioneer Venus Multiprobe” aracının gezegen atmosferine bıraktığı 4 ölçüm aracı ile atmosferdeki hakim hava hareketleri (çevrimleri) incelenmiştir. Bulut katmanının ekvatora yakın bölgelerinde, Güneş ışınları ile ısınan gazlar bir miktar yükselerek üst bulut katmanı boyunca daha soğuk olan kutup bölgelerine doğru hareket etmektedir. Kutup bölgesine ulaşan bu gazlar soğuduğundan inişe geçerek alt bulut katmanına kadar çökmekte ve bu katman boyunca da ekvatora doğru hareket etmektedir. Bu hareket bir döngü şeklinde devam ederek kalıcı bir konvektif hücre yaratmaktadır (Şekil 5.6). Bulut katmanında gerçekleşen bu konvektif hücreler, alt ve üst tabakalarda, çevrim yönü zıt olmak üzere iki konvektif hücrenin daha oluşmasına neden olmaktadır (dişlilerin birbirlerini çevirmesi gibi). Bunlardan, bulut katmanının altında olana “yüzey hücresi”, üstünde olana ise “stratosferik hücre” denmektedir. Bulut katmanında oluşan hücreye ise işlevine uygun olarak “güdücü hücre” denmektedir. Hücreler tarafından yapılan bu çevrim hareketleri ısının düzgün olarak tüm gezegen atmosferine etkin bir



Şekil 5.7 Venüs'ün bulutları

şekilde dağıtılmasını sağlamakta ve ekvator ile kutup bölgeleri arasındaki sıcaklık farkının az olmasına neden olmaktadır. Gezegen etrafında 4 günde bir dönen hakim rüzgarlar, atmosferin üst katmanlarındaki 350 km/saat lik hızlarıyla hücreleri etkilemekte ve Yer atmosferinde de izlenen karmaşık yapılı hava hareketlerini doğurmaktadırlar. Venüs'ün şekil 5.7 de yer alan sonradan renklendirilmiş moröte görüntüsünde, çevrim hareketleri ve hakim rüzgarlarla etkileşme sonucu bulutlarda oluşan biçim bozulmaları açıkça görülebilmektedir ("V" şeklinde yapılar). Kutup bölgelerine yakın bulut katmanlarında oluşan girdaplar ile güdücü hücre sınırlarında ise parlak ve açık renkte görünen "kutupsal halka bulutları" oluşmaktadır.

5.3 Venüs'ün Volkanik Etkinliği ve Atmosferine Etkileri

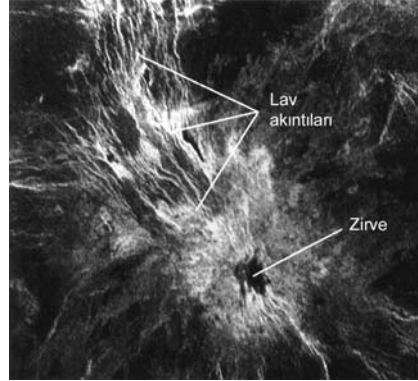
Sülfür bileşikleri, Yer atmosferinde milyarda bir gibi düşük bir orana sahip iken, Venüs atmosferinde, genel bileşimin %0.015 i gibi bir oranla bulutlarda yoğunlaşmış durumdadır. Bulutların bileşiminde yoğun olarak yer alan, özellikle SO₂ gibi kükürtlü gazlar, Venüs'te gerçekleşen volkanik süreçlerle atmosfere püskürtülmüştür.

1950 li yılların sonuna doğru Yer'den yapılan gözlemlerde, Venüs bulutları üzerinde yer alan sis katmanındaki parçacık yoğunluğunda anormal artışlar gözlenmiştir. 1978 de Venüs'e ulaştığında, Pioneer Venus Orbiter aracının moröte alıcıları, bulutlardaki kükürtlü bileşik miktarının beklenenden çok daha fazla olduğunu ve takip eden birkaç yıl içerisinde ise düzenli olarak azaldığını gözlemlemiştir. Etkin Yer volkanlarının atmosfere yoğun miktarda kükürtçe zengin gazlar püskürttüğü bilinmektedir. Bu bilgiden hareketle Venüs'te de aktif volkanların var olduğu ve kükürtçe zengin bulutların sürekli olarak bu volkanlardan gerçekleşen gaz çıkışları ile beslendiği öne sürülmüştür. Venüs yüzeyinde aktif volkanların var olduğuna ilişkin ilk deliller Pioneer Venus Orbiter, Venera 11 ve Venera 12 uzay araçlarının ölçümleri ile ortaya çıkmıştır. Bu araçlar, Yer volkanlarında da görülen ve püskürtülen duman içinde oluşan şimşek benzeri elektrik atlamalarından kaynaklanan radyo dalgalarını algılamışlardır. Venüs volkanların ilk kez doğrudan görüntülenmesi, Yer'den yollanan mikrodalgaların katı yüzey üzerinden yansıtılması ile gerçekleşmiştir. Arecibo radyo teleskobu ile yollanan mikrodalgaların, farklı yüzey şekilleri üzerindeki yansıma

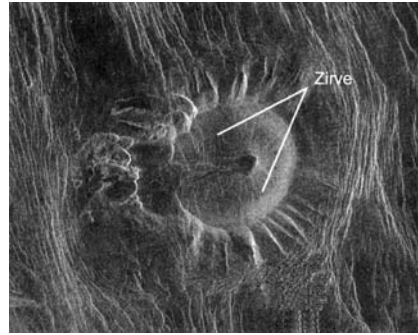
özellikleri kullanılarak, yüzeyin ve volkanların haritası çıkarılmıştır. Şekil 5.8 de bu yöntemle görüntülenen “Theia” yanardağı görülmektedir. 6000 m yüksekliğe sahip bu oluşum, yüzeyde 1000 km çaplı dairesel bir alan kaplamaktadır. Bu tür volkanik yapılar yüzey altında sıcak bir bölgenin, uzun zaman boyunca, erimiş kayaları yüzeye doğru itmesi ile oluşmaktadır ve “sıcak-nokta volkanizması” olarak adlandırılmaktadır.

Venüs yüzeyinin en detaylı görüntüleri, yine radar tekniği kullanılarak, 1990 da Venüs çevresinde yörüngeye oturan “Macellan” uzay aracı ile elde edilmiştir. Gezegen yüzeyinin %98 inin, 100 m çözünürlükle görüntülediği bu çalışmada 1600 civarında büyük ölçekli yanardağın var olduğu anlaşılmıştır. Şekil 5.9 da, Macellan gözlemlerinden elde edilen “Tick” yanardağının görüntüsü verilmiştir. 83 x 73 km boyutlarında olan bu görüntüde yanardağın 35 km çapındaki yaygın zirvesi, bunu saran ve lav akıntıları ile şekillenmiş olan sırtlar ve aralarında oluşan vadiler açıkça görülmektedir. Macellan uzay aracı aynı zamanda radar tekniği kullanan duyarlı bir yükseklikölçere de sahipti. Yükseklik bilgilerinin yüzey görüntüleri ile

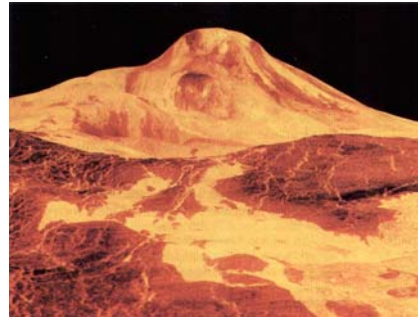
birleştirilmesi sonucunda Venüs yüzeyinin 3 boyutlu haritaları da yapılmıştır. Şekil 5.10 da bu teknik ile görüntülenen, 8 km yüksekliğindeki “Maat” yanardağı ve çevresindeki lav akıntılarının izleri görülmektedir. Venüs’deki yanardağların büyük bir çoğunluğu



Şekil 5.8 Theia yanardağının radar görüntüsü



Şekil 5.9 Tick yanardağının Macellan radarı ile elde edilen görüntüsü



Şekil 5.10 Maat yanardağının 3 boyutlu görüntüsü



Şekil 5.11 Venera 13 uzay aracından Venüs yüzeyinin görüntüsü

günümüzde etkin değildir. Macellan aracı ile yapılan radar yansımaya gücü ölçümleriyle volkanik bölgelerin yaşı belirlenmiştir. Buna göre en genç lav akıntısı Şekil 5.10 da görülen Maat yanardağının tepe bölgelerinde elde edilmiştir ve 10 milyon yıldan daha yaşlı değildir. Yer'deki genç volkanik kayaların yaşları ve bugünkü volkanik etkinlik düzeyi göz önünde bulundurulduğunda, Venüs'te düşük düzeyli volkanik etkinliklerin devam etmesi gerektiği beklenmektedir. Şekil 5.11 de, 1981 yılında yüzeye inen *Venera 13* uzay aracının Yer'e gönderdiği yüzey görüntüsü görülmektedir. Venera 13 yüzey üzerinde ince ve soğurken çatlaklar oluşturmuş bir lav bölgesine indirilmiştir. Araçta bulunan bir kol sayesinde toplanan kaya örneklerinin araç içinde analiz edilmesi sonucu, Ay denizlerinde ve Yer'de bulunan bazalt yapılarla büyük benzerliklerin var olduğu görülmüştür. Venera 13'den sonra yüzeye inen diğer araçların da aynı bulgulara ulaşması ile Venüs yüzeyinin ve atmosferinin büyük ölçüde volkanik etkinliklerle şekillenmiş olduğu kesinlik kazanmıştır.

Venüs'ün volkanik etkinliği, yalnızca gezegenin yüzeyini şekillendirmekle kalmayıp, yeni gazlar ekleyerek atmosfer bileşiminin de değişmesine yol açmıştır. Yer'deki volkanik etkinlikler de benzer etkiler yaratmış ancak iki gezegenin atmosferleri zaman içerisinde oluşan farklı koşullar altında farklı şekilde evrimleşmiştir. Yer, görelî olarak daha ince olan atmosferinde çok az miktarda CO₂ bulundururken, Venüs'ün kalın atmosferinin neredeyse tamamı CO₂ gazından oluşmaktadır. Yer okyanuslarında ve bulutlarında bol miktarda su bulunurken, Venüs yüzeyi son derece kuraktır ve atmosferindeki su buharı neredeyse yok denecek kadar azdır (%0.003 oranında). Kabaca boyutları aynı olan bu iki gezegenin atmosfer bileşimlerinin ve yoğunluklarının zaman içerisinde nasıl evrimleştiklerini inceleyelim.

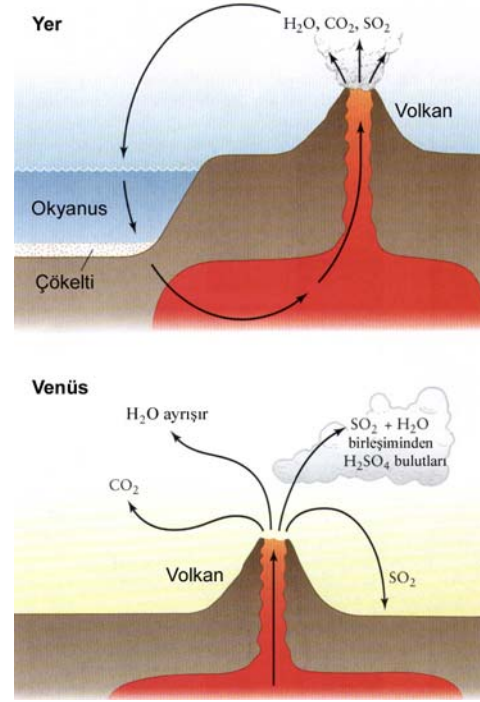
Venüs ve Yer'in oluştuktan hemen sonraki ilkel atmosferleri, volkanik gaz çıkışları ile önemli ölçüde değişikliğe uğratılmıştır. Günümüzde etkinliğini sürdüren

Yer volkanlarından, ağırlıklı olarak subuharı (H_2O), karbondioksit (CO_2) ve kükürtdioksit (SO_2) gaz-çıkışları gözlenmektedir. Başlangıçta Venus atmosferinde de, en az Yer atmosferindeki kadar su bulunduğu tahmin edilmektedir. Oluşum zamanlarında, yüzeylerine çarpan çok sayıda buzlu kuyruklu yıldızların, kabaca aynı sayıda olduğu ve her iki gezegenin de temel su kaynağını oluşturdukları düşünülmektedir. Böylece, ilk zamanlarında Venus volkanlarının da en az Yer volkanları kadar subuharı çıkardıkları zannedilmektedir. Yıldız evrimi çalışmaları, ilkel Güneş'in, bugünkü ışınım gücünün %70 i kadar bir ışınım yaptığını önermektedir. Bu sırada ilkel Venus atmosferindeki sıcaklık bugünkü değerinden çok daha düşük ve atmosferindeki subuharının bir kısmı, yüzeyinde okyanuslar oluşturmak üzere sıvılaşmış olmalıdır. Başlangıçta her iki gezegenin atmosferinde de kabaca aynı miktarda subuharı ve karbondioksit varken, Yer'deki CO_2 ve Venus'teki H_2O ya ne olmuştur?

Aslında Yer'de CO_2 bol miktarda bulunmaktadır, ancak bölüm 2 de gördüğümüz gibi büyük bir kısmı okyanuslarda çözülmüş olarak veya okyanus tabanlarında oluşmuş kireçtaşı ve mermer gibi karbonatlı kayalarda kimyasal olarak hapsedilmiş durumdadır. Eğer Yer yüzeyi de Venus kadar ısıtılmış olsaydı, kaynayan okyanus sularından ve pişirilen kayalardan açığa çıkan CO_2 atmosfere karışacak ve Venus'ün şimdiki atmosferi gibi CO_2 ağırlıklı bir bileşimi olacaktır. Venus'te suyun yok oluşunu anlayabilmek için, gezegenin geçmişine ait ilk dönemlerine geri dönmek gerekir. Başlangıçta Venus okyanusları, aynı Yer'deki gibi, CO_2 in büyük bir kısmını içinde çözülmüş veya tabanındaki karbonatlı kayalarda hapsedmiştir (Şekil 5.12). Zaman içerisinde okyanuslardan buharlaşan sular yoğun bulutlar oluşturarak sera etkisine arttırıcı bir katkıda bulunmuştur. İlk zamanlarda sera etkisi ile, yüzey sıcaklığının $100^\circ C$ in üstüne çıkmasına rağmen, atmosferdeki yüksek basınç okyanus sularının sıvı kalmasına yardımcı olmuştur. Bu sıcak ve nemli yapı birkaç yüz milyon yıl sürdükten sonra, Güneş'in, ışınımını bugünkü değerine arttırmasıyla, Venus yüzey sıcaklığı $374^\circ C$ a yükselmiştir. Bu sıcaklıkta atmosferik basınç ne olursa olsun artık su sıvı halde bulunamaz ve kaynayarak buhar haline geçer. Böylece Venus okyanusları hızla buharlaşarak atmosfere karışmış ve sera etkisinin sürekli olarak artan bir dozla etkin olmasını sağlamıştır. Bu şekilde sürekli artış gösteren "*kontrolden çıkmış*" sera etkisi ile, okyanuslarda çözülmüş halde bulunan CO_2 de serbest kalarak atmosfere

yükselmiştir. CO₂ de sera etkisine ek bir kaynak yaratarak sıcaklığın daha da hızlı artmasına neden olmuş ve karbonatlı kayalarda hapsedilen CO₂ in de serbest kalarak atmosfere katılmasına neden olmuştur. Atmosferde toplanan subuharı molekülleri, Güneş'in morötesi ışınımı ile parçalanmış, hafif olan hidrojen uzaya kaçarken, kalan oksijen atmosferdeki diğer atomlarla farklı bileşikler oluşturmuştur. Sonuçta yüzeyindeki ve atmosferindeki suyun neredeyse tamamını kaybeden ve tüm CO₂ bileşimini atmosferinde toplayan Venüs'te, sera etkisi bir doyma noktasına ulaşarak yüzey sıcaklığını bugünkü 460°C değerinde

sabitlemiştir. Volkanik gaz çıkışları Venüs'te halen devam etmektedir ve atmosferine çok az da olsa subuharı ilave etmektedir. Bir kısmı Güneş'in moröte ışınımı ile parçalanırken bir kısmı da gaz çıkışları ile püskürtülen SO₂ ile birleşerek sülfirik asit bulutlarını oluşturmaktadır (Şekil 5.12). Venüs'te bugün için izlenen bu kurak ve aşırı sıcak iklimin, aslında evrimleşmeden önce bol miktarda su bulundurmasına bağlı olması oldukça ilginçtir.

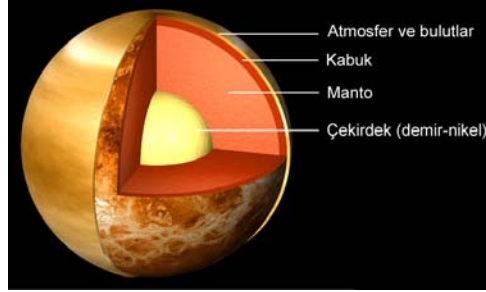


Şekil 5.12 Venüs ve Yer'de volkanik kimyasal çevrim

5.4 Venüs'ün İç Yapısı ve Yüzey Şekilleri

Venüs'ün iç yapısı hakkındaki bilgilerimiz Venera, Pioneer Venus ve Macellan uzay araçlarının kısıtlı ölçümlerine dayanmaktadır. Yüzeyinden alınmış sismik ölçümler bulunmadığından, bu konudaki bilgilerimiz halen belirsizdir. Volkanik etkinliklerin devam etmesi, iç yapısında erimiş bölgelerin var olduğuna işaretler. Ancak, sıvı veya

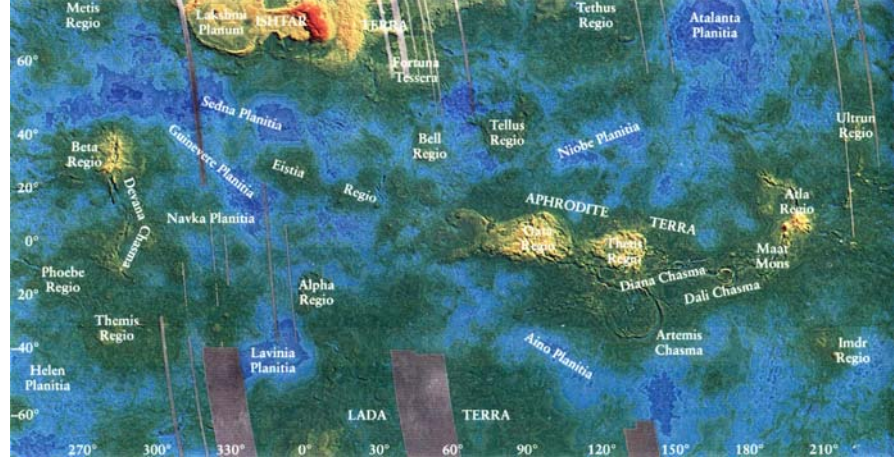
akışkan iç katmanları olmasına rağmen Venüs'ün kayda değer bir manyetik alanı olmadığı Macellan ölçümlerinden görülmüştür. Bu durum, gezegenin eksenini etrafında çok yavaş dönmesinin bir sonucu olarak yorumlanmaktadır. Bu dönme yapısı, akışkan iç katmanlardaki parçacıkları harekete geçirerek



Şekil 5.13 Venüs'ün iç yapısı

elektrik alanlar oluşturacak kadar hızlı değildir. Bu nedenle bir manyetosphere sahip olmayan Venüs, Güneş rüzgarı ile gelen yüklü parçacık akısına daima açıktır. Şekil 5.13 te görülen Venüs'ün iç yapı modeli, Macellan ve ondan önceki uzay araçlarının çekim alanı ve manyetik alan ölçümlerine dayanmaktadır. Buna göre kalın atmosferin altında yer alan kabuk katmanının kalınlığı ortalama 25-40 km ler arasında değişmektedir. Bazı yerlerde bu kalınlık 50-60 km yi bulabilmektedir ve yüksek yüzey sıcaklığı etkisi altında plastik bir yapı göstermektedir. Yüzeğe inen Venera araçlarının kimyasal analizleri sonucu ağırlıklı olarak volkanik kökenli bazalt kayalar ve silikatlardan oluştuğu bilinmektedir. Venera araçlarının diğer bir önemli bulgusu ise, Venüs kabuğunun tek levhadan oluşma bir yapı göstermesidir. Dolayısıyla levha tektoniği kökenli hareketler Venüs'te yer almamaktadır ve bu özelliği ile de Yer'den farklılık göstermektedir. Venüs'ün, demir ve nikelden oluşma 3000 km yarıçaplı bir çekirdeği bulunduğu sanılmaktadır ancak bu çekirdeğin katı, sıvı veya kısmen akışkan olduğuna dair ölçümler henüz elimizde bulunmamaktadır. Kabuk ve çekirdek arasında kalan manto bölgesi ağırlıklı olarak silikat bileşiklerinden oluşmuştur.

Şekil 5.14 te, Macellan radar ölçümleriyle oluşturulan Venüs'ün topografik haritası görülmektedir. Bu ölçümlerle Venüs yüzeyinin %98 i haritalanmış durumdadır. Buna göre, Venüs yüzeyinin %80 inin lavlarla doldurulmuş volkanik düzlüklerle kaplı olduğu anlaşılmıştır. Dolayısıyla yüzey şekillerinin %60 mın yükseklikleri ortalama yüzey yüksekliğinden çok farklı değildir (yaklaşık 500 m içinde kalmaktadır). Yalnızca birkaç yüksek ve geniş plato, Yer'deki kıtalar gibi görünmekte ve üzerlerinde yer alan volkanlar genel yüzey seviyesinden çok daha yüksekte durmaktadır. Kuzey yarımkürede yer alan "Isthar kıtası", "Maxwell dağları" olarak adlandırılan en yüksek



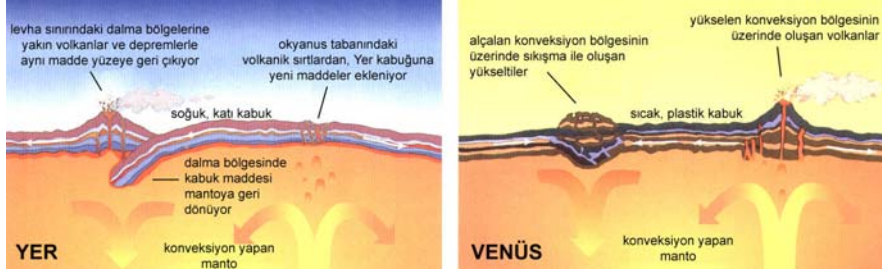
Şekil 5.14 Macellan aracının radar gözlemleri ile oluşturulan Venüs'ün topografik yüzey haritası

dağları üzerinde bulundurmaktadır (en yüksek zirvesi 12 km dir). Yüzey kaplama alanı bakımından en geniş plato ise ekvator civarında 16000 km boyunca uzanan “Aphrodite kıtası”dır. Şekil 5.15 deki Venüs'ün genel radar görüntüsünde ekvatorda görülen açık renkli kısımlar Aphrodite kıtasına ait bölgelerdir ve çok sayıda fay/çatlak hatları ile kaplı olduğu görülmektedir. Yer'deki volkanların büyük bir çoğunluğu, bir levhanın diğeri altına



Şekil 5.15 Venüs'ün genel radar görüntüsü

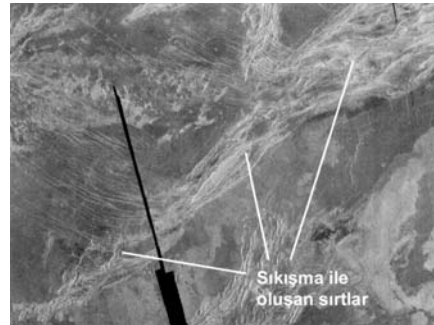
girdiği ve “dalma bölgesi” olarak adlandırılan levha sınırlarında, diziler halinde oluşmuştur. Ancak Venüs volkanları yüzey üzerinde buna benzer dizi şeklinde bir dağılım göstermemektedir. Ayrıca Yer'in okyanus tabanlarında, kıta ayrışması sonucu ortaya çıkan sırtların çevresindeki derin ve uzun fay hatları gibi yapılar da Venüs yüzeyinde yer almamaktadır. Venüs'teki bu görüntüler, kabuk katmanında levhalar arası dalma bölgesi bulunmadığına bir işaret olarak yorumlanmıştır ve gezegenin kabuğunun, aynı Ay ve Merkür'deki gibi tek levhadan oluştuğu anlaşılmıştır. Venüs'te su bulunmayışı, levha tektoniği hareketlerini engellemiştir.



Şekil 5.16 Yer ve Venüs'te gerçekleşen jeolojik yüzey hareketlerinin karşılaştırılması

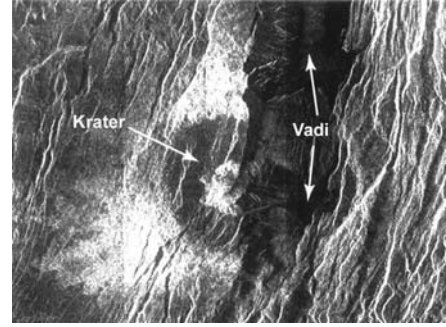
Dalma bölgelerinden gelen su katkısının, Yer'in kabuk katmanının hemen altındaki maddelerin kaynama noktası sıcaklıklarını düşürdüğünü ve daha plastik yapılar içeren bir astenosfer katmanının oluşmasını sağladığını 2. bölümde görmüştük. Venüs'de su ve dalma bölgeleri bulunmadığından, kabuk altında bir astenosfer katmanı da yer almamaktadır. Venüs'deki tektonik hareketler, yüksek yüzey sıcaklığı altında plastik bir karaktere bürünen kabuk katmanının, doğrudan mantodaki konvektif hareketlerle etkileşmesi sonucu açığa çıkmaktadır. Venüs'te izlenen jeolojik yüzey etkinlik süreçleri, Yer ile karşılaştırmalı olarak şekil 5.16 da görülmektedir. Buna göre Yer'de, yükselen konveksiyon hareketlerinin tepe bölgelerinde yer alan okyanus tabanlarında oluşan çatlaklar boyunca yüzeye yeni kabuk maddesi eklenmektedir. Bu yeni madde, konveksiyon hareketlerinin içe döndüğü dalma bölgelerine ulaştığında tekrar astenosfere geri dönmekte ve bu bölgenin hemen üzerinde yer alan volkanlarca yüzeye çıkarılabilmektedir. Venüs'te ise, yükselen konveksiyon hareketlerinin tepe bölgelerinde doğrudan volkanlar oluşmakta ve iki yanında yer alan plastik yapılu kabuğu dışa doğru itmektedir. Konveksiyon hareketlerinin içe döndüğü bölgelerde bu plastik yapılu kabuk sıkışarak hem yukarı hem de aşağı doğru uzamaktadır. Bu sıkışmalar sonucu, geniş lav düzlüklerinde şekil 5.17 deki gibi sırtlar ve şekil 5.18 deki gibi vadiler oluşmaktadır.

Macellan radar gözlemleriyle, Venüs yüzeyine dağılmış ve çapı birkaç km den büyük 1000 e yakın çarpma

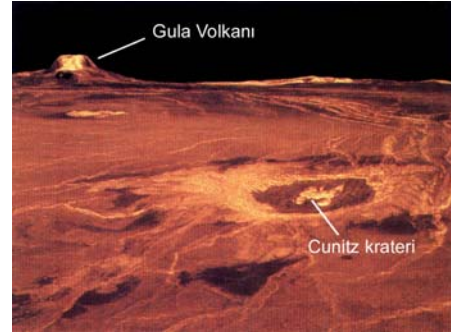


Şekil 5.17 Venüs düzlüklerinde görülen sırtlar

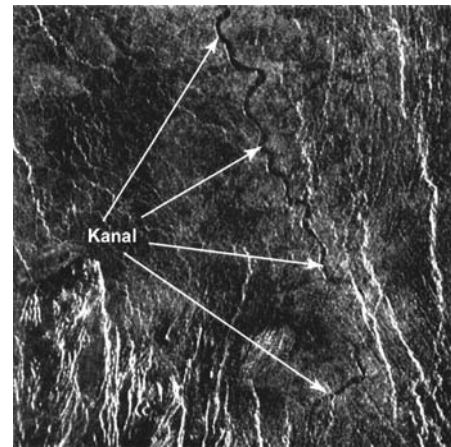
krateri de görüntülenmiştir. Şekil 5.19 da “Gula volkanı” yakınlarındaki 45 km çaplı “Cunitz krateri” görülmektedir. Bölüm 3 te, çarpma krateri sayısının, yüzey yaşının önemli bir göstergesi olduğunu görmüştük. Bu açıdan bakıldığında Venüs yüzeyindeki çarpma krateri sayısı, Merkür ve Ay’a oranla çok düşüktür ve yüzeyinin genç olduğuna bir işaretidir. Delilleri şekil 5.18 den de görülebileceği gibi, volkanik süreçlerle gerçekleşen tektonik yüzey hareketleri, gezegenin yüzeyini yakın zamanda yenilemiş ve çok sayıdaki çarpma kraterinin izlerini silmiştir. Bu görüntülerden hareketle Venüs yüzeyinin yaşı ortalama 500 milyon yıl olarak tahmin edilmektedir ve Yer’in ortalama yüzey yaşının iki katı kadardır. Venüs’teki çarpma kraterlerinin, yüzey üzerinde düzgün bir dağılım göstermesi, tüm yüzeyinin kabaca aynı yaşta olduğunun bir göstergesidir. Dolayısıyla yüzeyin bir zamanlar tamamen lav akıntıları ile kaplanmış olabileceği fikri ortaya çıkmıştır. Buna en güzel deliller şekil 5.20 de bir örneği görülen ve Venüs yüzeyinde birçok yerde rastlanan, lav akıntılarında kalma uzun kanal yapılarıdır.



Şekil 5.18 Venüs düzlüklerinde görülen vadiler



Şekil 5.19 Gula volkanı ve Cunitz krateri



Şekil 5.20 Venüs yüzeyinde bir kanal

