MARS GEZEGENİNİN JEOLOJİSİ HAKKINDA ÖĞRENDİKLERİMİZ

Yusuf Tatar
Emekli öğretim üyesi (KTÜ, FÜ, AİBÜ); Ataşehir Bulvarı 4. C.,
Kardelen 3/3, D.33, Atatürk Mah, Ataşehir/İstanbul
tatar5838@gmail.com

Özet

1957 yılında Sputnik 1 uydusu ile başlatılan "Uzay Çağında", gelişen uzay teknolojisi ile erişilebilir uzaklıkta olması, ayrıca kimi özellikleri ile Dünya'ya benzerliği ve çok düşük de olsa yaşanılabilir olma olasılığı Mars'ı başta ABD olmak üzere, ileri teknoloji ve güçlü ekonomi sahibi kimi ülkelerin ilgi odağı bir gezegen haline getirmiştir. Araştırmalar Mars'ta yaşanılabilirlik konusundaki düşük ümitleri tamamen boşa çıkarsa bile, elde edilen ve edilecek olan jeolojik bulgular Güneş Sisteminin ve Yerkürenin evrimi hakkında yeni ipuçları ortaya koyacak, Mars'ta bulunabilecek olası önemli minerallere erişim sağlayacak, kurulacak uzay üsleri uzay çalışmalarının daha ileri düzeylere taşınmasını kolaylaştıracaktır.

Asırlar öncesinde üzerinde teleskoplarla gözlem ve incelemeler yapılabilen Mars gezegeni, 1960'lı yılların başlarından itibaren gönderilen insansız özel uzay araçları ve bunların taşıdıkları görüntüleme ve analiz gereçleri ile yakından, çok yakından ve kısmen gereçlerle yüzeyde özel temas kurularak incelenmeye başlanmıştır.

Yarım asrı aşan bu dönemin veri yığınları değerlendirilerek Mars hakkında, özellikle de Mars'ın jeolojisi hakkında önemli bir bilgi birikimi yaratılmış; başta İngilizce olmak üzere batı dillerinde pek çok yayın yapılmıştır. Zengin yayın birikimi dışında kimi batılı üniversiteler programlarına Mars'la ilgili dersler koyarak konuya verdikleri önemin büyüklüğünü göstermişlerdir. Buna karşın, internet taramaları Türkiye'de yerbilimleri çevresinde Mars'la ilgili söz konusu gelişmelerin pek de fazla ilgi görmediğini ortaya koymaktadır. Yayın taramasına dayalı bu çalışma ile hem Mars gezegeninin jeolojisi hakkında görsel destekli özet bilgi sunulması, hem de konunun meslektaşlarımızın dikkatlerine getirilmesi amaçlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Mars, robotlar, görüntüler, jeoloji, su

WHAT WE HAVE LEARNED ABOUT THE GEOLOGY OF MARS

Abstract

In the "Space Age" which started by launching Sputnik 1 in 1957, Mars became one of the most interesting and attracting space objects for countries with high technology and strong economy, particularly for the USA. The fascination of this Planet was due to some similarities and relatively short distance between Mars and Earth, and to the expectation, although very poor, establishing human-colonies on the planet. If even the expectation, that Mars could be hospitable for humans would fail completely, Mars studies and the geological results thereof will help us gain new clues

for better understanding how our Solar System and our Earth were formed; for reaching out to potential important Mineral deposits on Mars, and for simplifying space exploration works by constructing research bases on the Planet.

Centuries ago Mars was observed and studies by only conventional telescopes. Since the early 1960's unmanned space vehicles and special imaging and analysing instruments as their payload sent to the Planet made it possible to investigate and to image Mars closely, very closely and by touching.

Within the period from the beginning of 1960's to the present a large amount of data and knowledge accumulated, and countless publications, mostly in English, were made about Mars. Furthermore certain western universities included courses about Mars in their curriculum as a sign on their strong interest on the Planet. On the other side surfing in internet revealed the scarcity of publications on Mars in Turkish language and also little concern of the Turkish earth scientists on the subject.

By this article we intent to present a summary on the geology of Mars supported by selected images, and to bring the subject to the attention of the Turkish earth scientists.

Key Words: Mars, robots, images, geology, water.

GİRİŞ

Bu paragrafta Mars'la ilgili yayınlar hakkında kısa bir tanıtım sunulması amaçlanmıştır.

İnternette erişilebilen kaynakların kimilerinde Mars'ın jeolojisi ile ilgili geniş özetler bulunmaktadır. Illinois Üniversitesi profesörlerinden Albert T. Hsui (2002) imzalı, Geology of Mars başlıklı 7 bölümlü bir çalışma *http://www.lukew.com***(1)** adresinde yayımlanmıştır. Federation of American Scientist (*http://www.fas.org*) kurumunca yayımlanan çok kapsamlı, 2005 baskılı Remote Sensing Tutorial'ın 19. Bölümü (Section 19) Geology of Mars **(2)** üst başlığını taşımaktadır. Bu bölüm de Mars'ın jeolojisi hakkında değerli bir bilimsel özetlemedir. Bir başka değerli özetleme *http://www.explanet.info* adresinde yayımlanmış Exploring the Planet; Chapter 6: TheGeology of Mars **(3)** başlıklı ve 2007 tarihli yayındır. E.H. Christiansen & W. Kenneth Hamblin imzalarını taşıyan bu yayın güncel ve önemli görsellerle desteklenmiş önemli bir yayındır. Popüler web sitesi ünlü *http://www.wikipedia.org*'ta da özellikle İngilizce nüshada Mars'la ilgili, birçok makale bulunmaktadır. Bunlardan biri de son güncellemesi 24.02.2013'te yapılmış ve çok geniş bir kaynak listesi eklenmiş, Geology of Mars **(4)** başlığı taşıyan makaledir. Bütün bunlar arasında Mars keşfinin tarihçesi hakkında özellikle iki kaynak öne çıkmaktadır. Birincisi *http://www.history.nasa.gov/-marschro.htm* adresinde A chronology of Mars exploration 23 August 2012 **(5)**, ikincisi *http://www.space.com/16575-mars-exploration* adresinde History of robotic Red Planet Missions 27 February 2013 **(6)** başlıklı kaynaktır.

Mars'la ilgili haritaların çoğu NASA için USGS tarafından hazırlanmıştır. *http://www.geopubs.wr.-usgs.gov/docs/wrgis/mars.html* **(7)** adresinde bir kısım haritanın tıklamalı listesi bulunmaktadır. Bunlardan D.H. Scott & M.H. Carr (1978) imzalı *Geological Map of Mars* tüm Mars yüzeyini

kapsamaktadır (**(8),** *http://www.lpi.usra.edu*). Benzer yapı ve ölçeklerde 3D ve renk kodlu topografik harita da(2002) yine USGS tarafından hazırlanmıştır. Hemen bütün jeolojik haritalarda litolojik birimler oldukça ayrıntılı biçimde ayırt edilmiş, ayrıca belirlenebilen tektonik özellikler de haritalarda gösterilmiştir.

Elbet de Mars'la ilgili birçok kitap formatlı yayın da bulunmaktadır. Birkaç örnek **(9),(10)**, **(11), (12),(13)**'te kaydedilmiştir.

YÖNTEM

NASA'dan henüz üzerinde çalışılmamış orijinal Mars görüntüleri alıp yorumlama şansımız bulunmadığına göre, bu çalışma doğal olarak bir yayın tarama (internette) çalışması sayılacaktır. İnternetten kaynak indirirken iki nedenle seçici olunmuştur. Birincisi çok fazla kaynak bulunmaktadır; bunların hepsinin taranmaya kalkışılması hem olanaksızdır, hem de bilgi kirliliğine götürecektir. İkinci nokta ise, her yayının güvenilir kaynak niteliği taşımamasıdır. Doğaldır ki bu bildirinin hazırlanmasında ulaşılabilen güvenilir kaynaklardan seçilen yazılı ve görsel bilgiler değerlendirilmiştir. Görsellerin orijinalleri makaleye yerleştirilirken kırpılma, küçültülme, kimi durumlarda da bir resim işleme programı ile düzeltilme işlemlerinden geçirilmiştir. Ayrıca gerekli durumlarda görüntüler üzerine bazı yazılar ve simgeler yazılmıştır.

MARS'IN KISA GEZEGEN KİMLİĞİ

Mars, Güneş Sisteminin 4 iç gezegeninden biridir. Güneş'e yakınlık sıralaması Merkür, Venüs, Dünya ve Mars şeklindedir (Şekil 1).

Diğer iç gezegenlerle birlikte Mars'ın temel gezegen parametreleri Çizelge 1'de verilmiştir.

Şekil 1. Güneş Sisteminin ölçeksiz şematik temsili resmi. Gezegenler: 1. Merkür, 2. Venüs, 3. Dünya, yanında Ay ile birlikte, 4. Mars, 5. Jüpiter, 6. Satürn, 7. Uranüs. 8. Neptün, 9. Plüton*, 10. Asteroid kuşağı, 11. Kuyruklu yıldız örneği (**14**).
(*) 1930'da keşfedilerek bir gezegen olarak tanımlanan Plüton, 2006'da "cüce gezegen" olarak yeniden tanımlanmıştır.

Şekil 2. Marsküre'nin Hubble Uzay Teleskopugörüntüsü. Ortadayaklaşık D-B doğrultulu çizgisel yapı Valles Marineris'tir (**15**).

Şekil 3. Marsküre'nin Yerküre benzeri denizleri, okyanusları, bulutları ve canlıları bulunduğu varsayılan hayali bir görüntüsü (**16**).

Çizelge 1- İç gezegenlerin bazı parametreleri.*airandspace.si.edu*'den **(17)** değişikliklerle alınmıştır.

Parametreler	Merkür	Venüs	Dünya	Mars
Güneş'ten ortalama uzaklık (*AU)	0.3871	0.7233	1	1.524
Yörünge peryodu (yıl)	0.24	0.62	1	1.88
Ortalama yörünge hızı (km/sn)	47.89	35.04	29.79	24.14
Yörünge ekzantrisitesi	0.206	0.007	0.017	0.093
Ekliptiğe eğiklik (derece)	7.00	3.40	0	1..85
Ekvator yarıçapı (km)	2439	6052	6378	3397
Kutuplar yarıçapı (km)	aynı	aynı	6357	3380
Kütle (Dünya = 1)	0.06	0.82	1	0.11
Ortalama yoğunluk (gr/cm^3)	5.43	5.25	5.52	3.95
Kendi dönüş peryodu (saat)	1408	5832	23.93	24.62
Ekvator/Yörünge açısı (derece)	2	177.3	23.45	25.19
Saptanan uydu sayısı	0	0	1	2

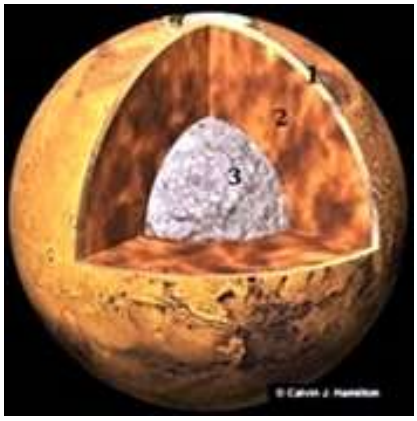
**1AU=149.6 milyon km- Güneş-Dünya merkezleri arasındaki ortalama uzaklık; birim olarak alınmıştır.*

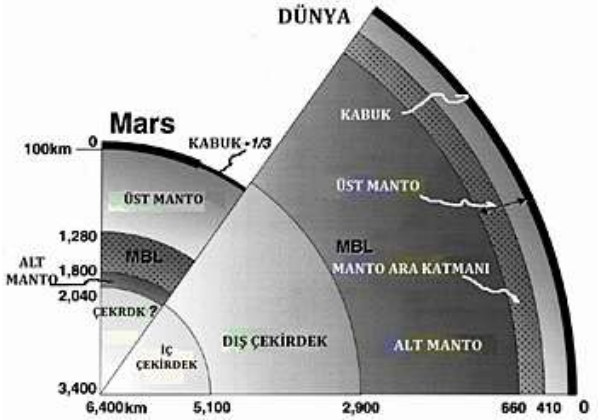
Mars'ın toplam yüzölçümü Dünya'daki karasal alanların yüzölçümü toplamı kadardır.

Mars'ın bir atmosferi vardır. Mars atmosferi Dünya atmosferine göre çok zayıf olduğundan, Mars yüzeyini güneş ışınlarından koruyamamakta ve ısının yüzeyde tutulmasını da sağlayamamaktadır. Yerçekimi Dünya'ya göre çok daha düşük olduğundan, Dünya atmosferinin kalınlığı yaklaşık 4 km kadar olmasına karşın, Mars atmosferinin kalınlığı 10.8 km'dir (**18**).Mars atmosferinin bileşiminde %95.32 CO_2, %2.7 N2, %1.6 A, **% 0.13 O_2** ve % 0.08 CO bulunmaktadır. Ayrıca zaman zaman oranı fırtınalarla yerel olarak değişen ve gezegene kızıl rengi veren demir oksitli tozlar da atmosferin bileşenleri arasında sayılmaktadır. Atmosfer basıncının ortalaması 6 milibardır; buna karşın Dünya atmosferinde basınç 1013 milibardır. 4 milyar yıl kadar önce Mars'ın çok daha yoğun, sıcak ve nemli bir atmosferi bulunduğu tahmin edilmektedir (**19**). Dönme ekseni ile ekliptik düzlemi arasındaki eğiklikten ve zayıf da olsa bir atmosferi bulunduğundan, Mars gezegeninde bir bakıma Dünya'dakine de benzer değişik iklimler ve mevsimler oluşmaktadır.

Viking 1 ölçümlerine göre ortalama ısı -17^0.2 ile -107^0 arasındadır. Kışın kutuplarda -143^0'ye kadar düşmekte, yazın sıcak günlerinde yüzeyde toprakta en yüksek sıcaklık +27^0'ye kadar çıkmaktadır.

Dünya'da olduğu gibi Mars'ta da küresel katmanlı bir içyapı bulunmaktadır. Şekil 4 ve 5 bu konuda özet bilgi içermektedir.





Şekil 4. Mars gezegenin genelleştirilmiş katmanlı içyapısı. 1. Kabuk, 2. Manto, 3. Çekirdek. Mars temel bileşim özellikleri bakımından Dünya'ya benzerlikler göstermektedir. Çekirdek esas olarak demir ve kükürt, manto silikat bileşimlidir. Mars kabuğu bazaltik yapılıdır ve demirce zengindir. Gezegenin kızıl rengi kabuğun bu bileşimiyle ilgilidir (**3**).

Şekil 5. Mars ve Dünya'nın katmanlı içyapılarını karşılaştıran kesitler. Mars üst mantosunun uçucu elementlerce zengin olan alt seviyesi, donmuş durumda olduğu varsayılan çekirdeğe oldukça yakındır. MBL (mantle boundary layer), üst ve alt manto arasında geçiş katmanıdır (**20**).

MARS KEŞFİNİN KISA TARİHÇESİ

İlk çağlardan beri bilinen bir gök cismi olan Mars gezegeni hakkında yakın zamana kadar ancak dürbünlerle ulaşılabilen bilgiler elde edilebilmişken, 1960'lı yılların başlarında başlayan, Mars yörüngesine ve Mars yüzeyine uzay aracı gönderme çabası durumu değiştirmiştir. 2012 yılı sonu itibariyle Mars'ı inceleme amacıyla Yer'den fırlatılan toplam araç sayısı 42 olmuştur. Bu araçların Mars'a yolculuğu en az 6 ay sürmektedir. 42 araçtan 15'i yörünge uçuşunda, 11'i de Mars yüzeyine inişte başarılı olmuştur. Diğerleri kalkışta veya hedefe ulaşamadan devre dışı kalmışlardır. İlk kez ABD'nin Mariner 4 (1964, Şekil 6) isimli aracı Mars yakınından uçarak Mars yüzeyinin ilk yakın çekim fotoğraflarını Dünya'ya ulaştırmıştır. Bu fotoğraflar Dünya haricinde bir başka gezegenin ilk yakın çekim fotoğrafları olmuştur (Şekil 8, **21**).

Yüzeye inen 11 araçtan 5'i **robot** (rover), diğer 6'sı ise sabit **yer aracı**dır (lander). İlk robot 1997'de ABD tarafından Mars Pathfinder yer aracı ile birlikte fırlatılan küçük (10.6 kg) ve **Sojourner** adı verilen bir robottur. Sonuncu robot ise 26 Kasım 2011'de fırlatılan ve 05 Ağustos 2012'de Mars'a iniş yapan, ABD'nin **Curiosity** (Merak) Rover'ıdır (Şekil 7 ve 9). Mars Bilim Laboratuvarı da denilen Curiosity'nin kendi ağırlığı 899 kg'dır (**22**). Bu çaba ve yarışlarda öne çıkan ülke ABD'dir. Rusya, Japonya ve ESA (Avrupa ülkeleri ortaklığı) geri planda adı geçenlerdir.

Şekil 6. Mars yakınından ilk uçuşu yapan ve Mars yüzeyinden ilk fotoğrafı gönderen ABD'nin Mariner 4 uzay

aracı. Ağırlığı 260 kg, fırlatılışı 28 Kasım 1964, ilk resim göndermesi 15 Temmuz 1965, bağlantının kesilmesi 21 Aralık 1967 (**23**).

Şekil 7. NASA'nın Mars Science Laboratory (MSL) Curiosity robotu, ressam çizimi. Çıplak ağırlığı 899 kg, fırlatılışı 26 Kasım 2011, Mars'a iniş 05 Ağustos 2012, ilk resim göndermesi 08 Ağustos 2012 (**21**).

Şekil 8. Mariner 4'ün gönderdiği resimler arasında en net olanı; kraterler net olarak seçilmektedir. 12.600 km yüksekten kaydedilmiştir, fotoğraf eni yaklaşık 250 km'dir. Mars robotlarının son yıllarda gönderdikleri ve bu makalede örnekleri bulunan yüksek çözünürlüklü görüntülerle karşılaştırınız (**21**).

Şekil 9. Curiosity tarafından kaydedilmiş Mars yüzeyi fotoğraflarından birinin küçük bir bölümü. İnce tabakalı kayaçlarda çapraz tabakalanma da görülmektedir. Artık Mars yüzeyinde yüzlerce km^2lik alanları içeren panoramik görüntüler yanında cm'lerle ve mm'lerle ölçülen, hatta mikroskobik boyutlarda görüntüler kaydedilebilmekte; toprak ve kayaç analizleri yapılabilmektedir. Şekil 8 ile karşılaştırınız (**24**).

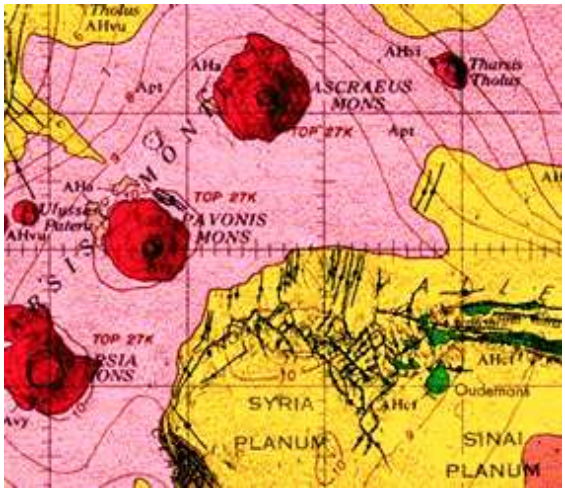
MARS JEOLOJİSİ İLE İLGİLİ JEOLOJİK BULGULARIN SATIRBAŞLARI

1964'ten bu yana Mars'a gönderilen Dünya'daki uzaktan algılama uydularının benzeri **yörünge araçları** (*orbiters; yani Mars için uzaktan algılama uyduları*); Mars'a indirilen **yer araçları** (*landers*) ve **robotlar** (*rovers*) sayesinde Mars hakkında çok büyük bir veri birikimi sağlanmıştır. Uydu görüntülerinde çözünürlük, netlik, renk, ölçek gibi kalite yükseltici özellikler başlangıca göre giderek geliştirilmiş, örneğin çözünürlük 10'lu metrelere kadar yükseltilmiştir. Yer araçları ve robotlar mikroskobik ölçülere kadar varan yakın çekim görüntü kayıtlarından başka, birtakım analitik çalışmalar da yapmışlardır.

Biriken veriler üzerinde NASA'nın uzmanları yanında batılı kimi üniversitelerdeki bilim adamları pek çok çalışma ve yayınlar yapmışlardır. Böylece Mars gezegeni hakkında büyük bir bilgi birikimi ortaya çıkmıştır.

Bildiri hacminin böyle bir konu için çok fazla sınırlandırıcı olması nedeniyle, aşağıdaki paragraflarda konu sadece bazı satırbaşlarıyla ve seçilmiş bazı görüntülerle sunulmaya çalışılmıştır. Daha ayrıntılı bilgiler için örneğin **(2, 3, 4, 8,25…)** gibi çalışmalara bakılabilir.

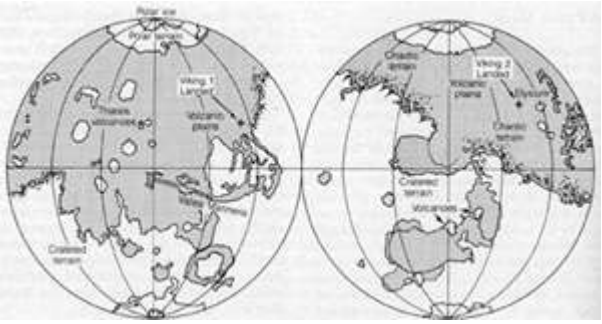
Harita Çalışmaları- Mars'ın tüm yüzeyinin ve bazı yerel kesimlerinin coğrafik, topoğrafik ve jeolojik haritaları çeşitli ölçeklerde hazırlanmıştır (örneğin Şekil 10, 11). Jeolojik haritalarda litolojik birimlerin ayırt edilmesi ve yaşlandırılması elbette ki Dünya'daki benzer haritalarda görülen ayrıntıda değildir. Çalışmalar sürdükçe ayrıntılama artacaktır. Jeolojik haritalarda tektonik kırıklar da görülmektedir. Harita çalışmalarına göre Mars yüzeyinde iki ana bölge ayırt edilmektedir**. (1)** Güney yarıkürede çok yaşlı, yoğun kraterli, yüksek rakımlı arazi, **(2)** Kuzey yarıkürede düşük rakımlı, çok daha az kraterli ve daha genç geniş düzlükler. İkisi arasındaki sınırı çok belirgin bir şev oluşturmaktadır (Şekil 13). Şev batı kesimde (Tharsis bölgesi) lavlarla kısmen örtülmüştür. Bazı kesimlerde büyük sel vadileri şevi keserek kuzey düzlüklere bağlanmaktadır **(3**).



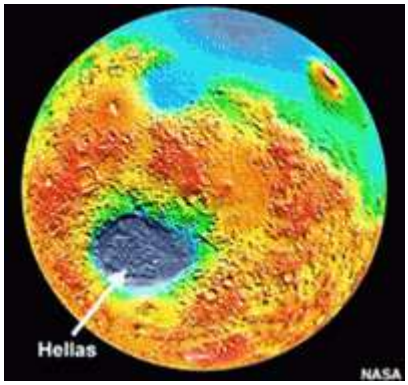
Şekil 10. Oldukça ayrıntı içeren büyük ölçekli (1/25.000.000), geniş açıklamalı lejandı bulunan bir jeolojik harita 1978'de NASA tarafından D.H. Scott ve M.H. Carr isimli araştırmacılara hazırlatılmıştır (**8**). Haritada Mars'ın özellikleri dikkate alınarak ayırt edilmiş litolojik birimler yanında, tektonik özellikleri gösteren işaret ve simgelere de yer verilmiştir. Bu çalışmada Mercator projeksiyonlu ana haritanın yanına kutup bölgelerinin stereografik projeksiyon üzerindeki jeolojik haritaları (1/12.549.000) ayrıca eklenerek, tüm dosyaya Mars Atlası adı verilmiştir.

Şekil 11. Şekil 10'da genel tasarımını göstermek amacıyla çok küçültülmüş olarak verilen haritanın sol orta kesiminden bir küçük bölüm ayrıntısı. Tharsis bölgesi volkanları ile Syria Planum kuzeyinde Noctis Labyrinthus adı verilen yoğun kırık-graben sistemi bu bölümde yer almaktadır.

Şekil 12. Mars'ın çok genelleştirilmiş jeolojik haritası. Açıklama için yukarıdaki paragrafa bkz. (**3**).

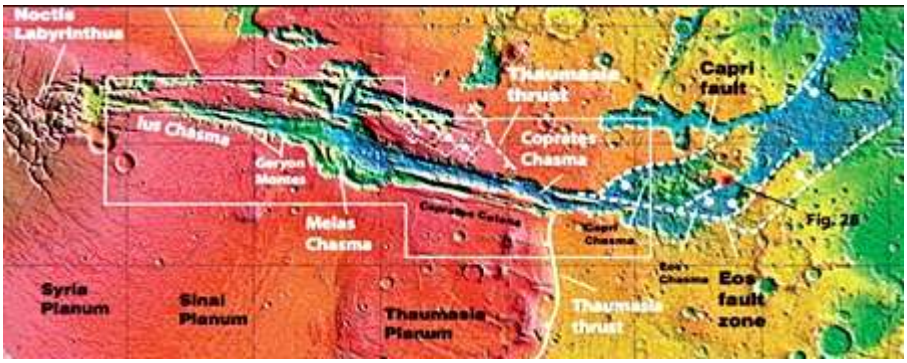


Dev Yapılar- Mars'ta birçok jeolojik özellik dev boyutludur. Sadece Güneş Sisteminin en büyük volkanı (Olympus Mons, Şekil 14), en büyük krater havzası (Hellas Planitia, Şekil 15) ve en büyük kanyonu (Valles Marineris, Şekil 16) değil, en büyük sel felaketlerinin izleri de Mars yüzeyinde görülmektedir. Volkanların dev yükseklikli olmalarındaki etkenlerden biri Mars'taki yerçekiminin küçük oluşu (Dünya'dakinin %38'i kadar) olarak gösterilmektedir.

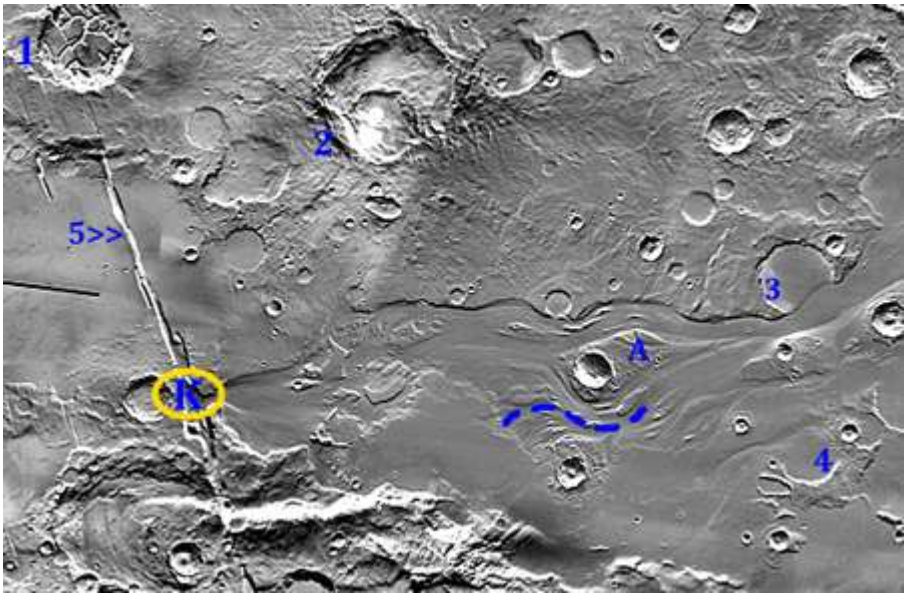


Şekil 13. Olympus Mons (Olympus Dağı). Mars'taki ve tüm Güneş Sistemindeki en büyük sönmüş yanardağ; dev yapılı bazaltik kalkan şekilli volkan. Taban çapı 625 km; gerçek yüksekliği 25.000 m, çevredeki düzlüğe göre ise 21.229 m. Çevresindeki dik şevin yüksekliği 6 km'ye kadar çıkar **(3,26).** Bazı araştırmacılar Mars'ta volkanların bu denli büyük boyutlara ulaşmasını Mars'ta levha hareketlerinin olmadığı, aynı bir sıcak noktadan beslenen volkanların yüzlerce milyon yıl boyunca büyüdükleri yorumuna dayandırmaktadırlar.

Şekil 14. Hellas Planitia (Hellas Havzası). Güney yarıküredeydir. 2254 km (1400 mil) çapı ve 7.152 m derinliği ile Mars'ın en büyük krater havzasıdır. Güneş Sistemindeki "Geç Yoğun Meteor Bombardımanı" döneminde, yaklaşık 4.1-3.8 milyon yıl önce oluştuğu tahmin edilmektedir. Tabanda bazı kesimlerde katmanlı, dönmeli-kıvrımlı yapılar görülür **(27).**

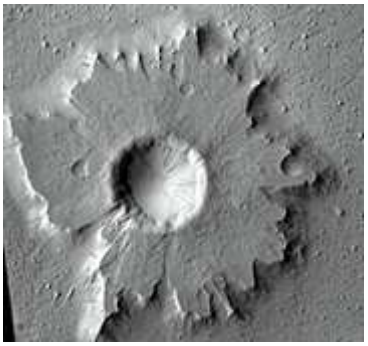


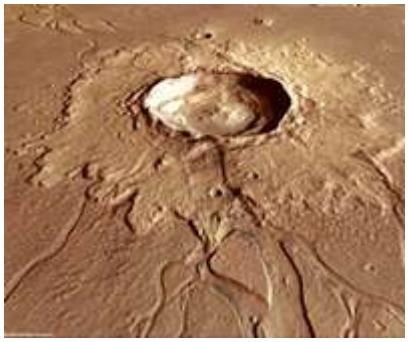
Şekil 15. Mariner Vadisi (Valles Marineris) orta kesimi. Bu "vadi" Güneş Sistemindeki en uzun ve en derin kanyondur. Mariner 9 tarafından (1971-72) keşfedilmiştir. Hubble Teleskopu görüntüsünde de kolaylıkla tanınmaktadır (Şekil 1). Tharsis bölgesinin doğusunda, ekvator bölgesinde, yaklaşık doğu-batı doğrultulu çok büyük bir kanyon sistemidir. Uzunluğu 4000 km'dir; derinliği 7 km'ye, genişliği 200 m'ye kadar çıkmaktadır. Çoğu araştırmacılar bu vadiyi Tharsis bölgesinin yükselimi sırasında oluşmuş ve daha sonra erozyonla genişlemiş büyük bir kırık sistemi olarak yorumlamaktadırlar **(28).**



Şekil 16. Mars'taki sel yataklarından biri, Mangala Vallis'in yukarı kısmı, THEMIS görüntüsü (**29**). Fayın (5) genişlemesiyle (K) noktasında birkaç safhada suyun fışkırıp çıktığı tahmin edilmektedir. Fay Mangala Fossae olarak adlandırılmıştır. Üst Yazılar (Y.T.) 1- Tabanı kaotik yapı kazanmış bir krater, 2- Kısmen erozyona uğramış krater üstünde krater, 3- ve 4- Sel suları ile yarısı ve kenar yükseltileri aşınmış, tabanı sel tortusu ile dolmuş kraterler, A- Sel yatağı içinde kalmış adalar. Kesik mavi çizgi akıntı izini belirtmek için konulmuştur. Şekil eni yaklaşık 900 km'dir.

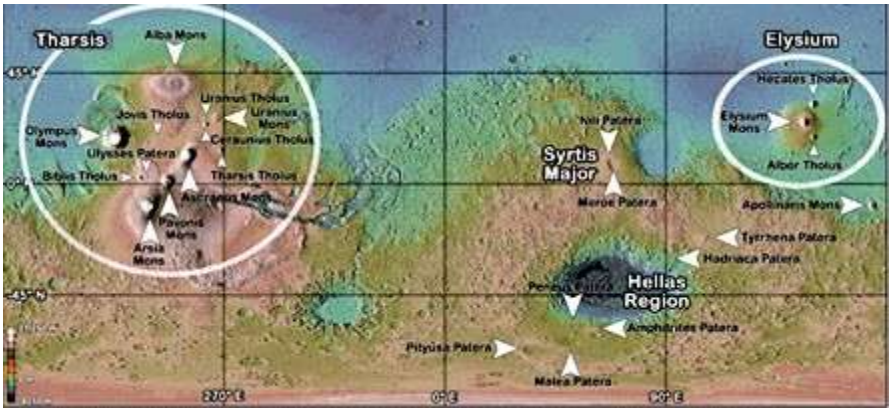
Kraterler- Mars yüzeyinde en fazla görülen ve göze batan yapılar meteor kraterleridir. Kraterler pek çok sayıda, çok değişik genişlik ve derinliklerde, farklı özelliklerde ve farklı göreli yaşlardadır. American Geophysical Union (AGU) tarafından 2012'de hazırlanan *Impact Atlas Catalogs over 635.000 Martian Craters* – 635.000'in Üzerinde Mars Meteor Krateri Kataloğu- başlıklı çalışma krater sayısıyla ilgili bir fikir vermektedir **(30).** Ancak belirtilen rakam herhalde Mars'taki krater sayısını tam olarak gösteremez. Çünkü henüz Mars yüzeyinin yeterince incelenmemiş bölgeleri de bulunmaktadır. Kraterlerin tazelikleri veya kısmen aşınmışlık durumları, başka morfolojik öğeleri kesip kesmedikleri bunların göreli yaşları hakkında genel fikir vermektedir. Kraterlerin bazılarının çevresinde meteor çarpması ile eriyen yeraltı buzulunun suyunun veya zaten var olan yeraltı suyunun etkisiyle çamurlaşan malzemenin katılaşması sonucunda oluşmuş halkalar bulunmaktadır. Malzeme daha kıvamlı ise Şekil 17'deki gibi çevreye göre yükseklik farkı olan bir halka, daha akıcı ise Şekil 18'deki gibi akıntı dillerine sahip daha yayvan bir halka oluşur. Birincisi için pedestal krater, ikincisi için ise rampart krater terimi kullanılmaktadır. Bunların dışındakiler de Ay-tipi kraterlerdir **(31,32).** Yukarıda da belirtildiği gibi kraterlerin en büyüğü Hellas Planitia krater havzasıdır.





Şekil 17. Amazonis Planitia bölgesinde bir pedestal krater örneği. Pedestal kraterlerin çoğu kutup yakını bölgelerde bulunmaktadır; bu durum bunların oluşumunda iklimin de etkili olduğuna işaret eder. Fazla açıklama için metne bkz. **(33).**

Şekil 18. Hephastus Fossae, bir rampart krater örneği. Fossae çukur anlamındadır. Yeri 21^0 N/126^0 E. Krater çukurluğunun çapı 20 km, çevresiyle birlikte 150 km^2. Mars'taki suyun çoğu yer altı buzulu durumunda. Bir meteor çarpması yeterince derini etkilediğinde buzu eritmekte, krater çevresinde sonradan sertleşen, kenarları dil şekilli akıntı yapıları, akıntı kanatları gösteren "çamur" akıntıları oluşmaktadır. Küçük kraterlerin çevresinde bu özelliklerin bulunmayışı "yer altı buzu" yorumunu desteklemektedir **(34).**

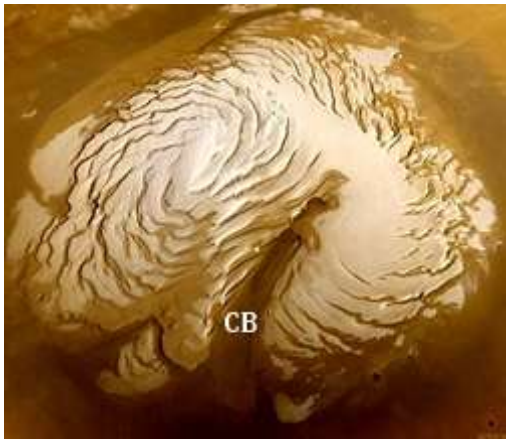


Şekil 19. Mars gezegeninde göze batan başlıca volkanları gösteren harita **(35).** Haritada işaretlenmiş volkanların adları şunlardır: Tharsis bölgesinde Olympus Mons, Alba Mons, Arsia Mons, Pavoni Mons, Ascreaus Mons, Uranius Mons; Elysium bölgesinde Elysium Mons; Hellas bölgesinde Amphitrites Patera, Peneus Patera, Pityusa Patera, Maleo Patera; Hariaca Patera, Tyrrhena Patera; Syrtis Major bölgesinde Nili Patera, Meleo Patera; Elysium güneydoğusunda Apollinaris Mons.

Volkanlar- Yüzeyinin büyük bir bölümü volkanik kayaçlarla kaplı olan Mars'ın geçmişinde volkanik etkinliğin önemli bir yer tuttuğunu belirtebiliriz. Mars jeolojik haritasında öne çıkan belli başlı volkanlar Şekil 19'da görülmektedir. Bunlardan Güneş Sisteminin en büyük volkanı olan Olympus Mons'un bir görüntüsü Şekil 13'te verilmiştir. *Şekil 19'da şekilde geçen **Mons** Latince dağ, çoğulu Montes; **Patera** sığ ve tüm kenarı taraklı yapıda, krater ve yamaçları az eğimli olan kalkan şekilli volkan; **Tholus** kubbe, dom anlamındadır.* Volkanların büyük çoğunlukla ekvator bölgesi ve yakınlarında yer alması dikkat çekmektedir.

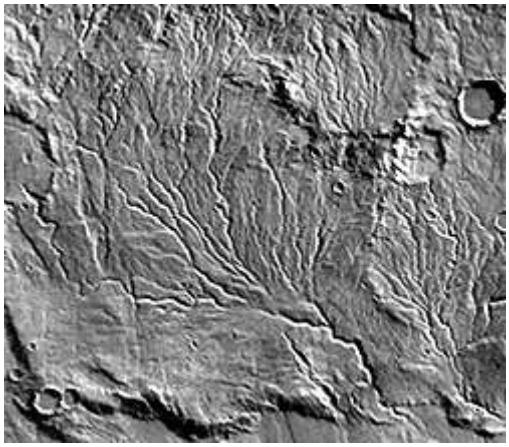
Kutup buzulları- Mars'ın her iki kutbunda da örtü buzulu bulunmaktadır. Mevsimlere bağlı olarak buzulların genişleyip daraldıkları gözlenmiştir. Kuzey kutuptaki örtü su buzuludur. Kış mevsiminde bunun üzerine yaklaşık 1 m kalınlığında CO_2 buzu (kuru buz) çökelmekte; yaz mevsiminde bu kuru buz süblimleşme ile yok olmaktadır. Yaz mevsiminde kuzey kutup örtüsünün boyutları 1000 km,

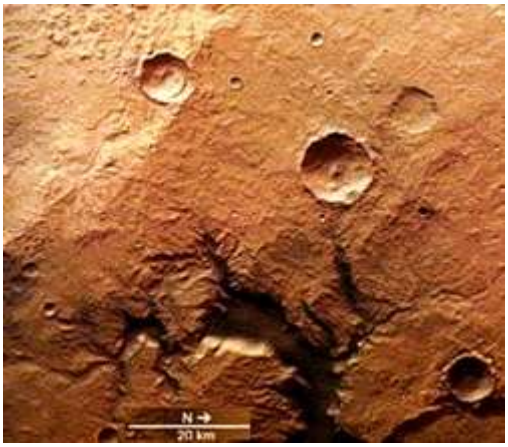
kalınlığı ortalama 2 km kadardır (Şekil 20 ve 21). Güney kutuptaki buz örtüsünde su ve CO_2 buzu karışımı vardır. Son araştırmalar burada da su buzunun baskın olduğunu göstermiştir **(36).** Burada sürekli olan kuru buzun kalınlığı ortalama 8 m'yi bulur. Güneydeki buzul örtüsünün boyutları 350 km, kalınlığı 3 km kadardır.



Şekil 20. Mars kuzey kutbundaki örtü buzulu. Mars Global Surveyor aracındaki Mars Orbiter Kamera tarafından 13 Mart 1999'da, Mars kuzey yarıküre yaz mevsimi başlangıcında kaydedilmiştir. Açık renk su buzulunu gösterir, bunun çevresindeki koyu renkli halka bazaltik kum ve toz içerikli kumulların bulunduğu alandır. Helezoni halkaların ve uzunluğu 500 km'yi bulan derin Chasma Borealis'in (CB= kutup kanyonu) kutup rüzgârları tarafından oluşturulduğu yorumu yapılmaktadır **(37).**

Şekil 21. Kuzey kutup buzul örtüsünden yüksek çözünürlüklü bir görüntü. ESA'nın Mars Express aracındaki yüksek çözünürlüklü kamera tarafından kaydedilmiştir. Şekilde su buzu ve aralarında toz birikintisi seviyeleri bulunan tabakalı yapı gözükmektedir. Yarım daire şeklindeki falezlerin tabanda bulunan kraterlerden kaynaklanmış olabileceği tahmin edilmektedir **(38).**

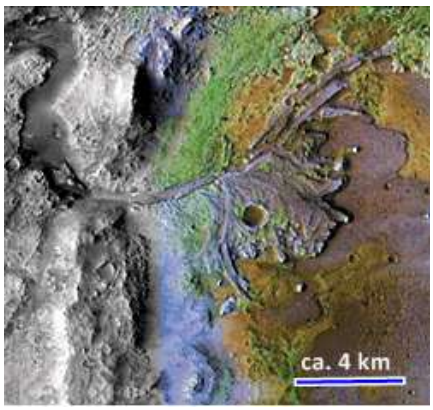




Şekil 22. Viking Orbiter'den kaydedilmiş bir görüntü. Şeklin eni 160 km kadardır. Dünya'daki dentritik (ağaç şekilli) drenaj ağlarına benzer bir drenaj ağı görülmektedir. Ana vadi ve bunun ikinci, üçüncü derecede kolları akarsu dışında başka bir etken tarafından meydana getirilmiş olamaz **(39).**

Şekil 23. Palos Krateri güneybatısında Tinto Vadisi. 13.01.2013'te yüksek çözünürlüklü kamera ile kaydedilmiştir. Uzunluğu 190 km olan vadinin, volkanik etkinliğin erittiği yer altı buzulu suyu ile 3.7 milyar yıl önce oluştuğu tahmin edilmektedir. Mars'ta Tinto Vadisi benzeri vadilerin ya volkanik etkinliğin veya meteor çarpmalarının etkisiyle açığa çıkan yeraltı suyu ya da yeraltı buzulu suyu ile oluştukları yorumu yapılmaktadır **(40).**

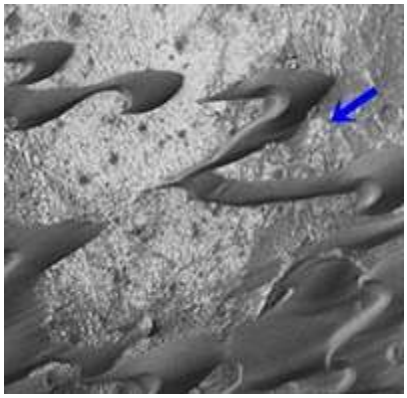
Drenaj kanalları- Mars yüzeyinde, güneyin yüksek rakımlı bölgelerinde akarsu ve sel vadileri olarak nitelendirilen yüzey şekilleri bulunmaktadır. Kimileri yüzlerce kilometreler uzunluğunda, Dünya'dakine benzer dentritik drenaj ağlarının varlığı Mars'ın erken döneminde yağış ve akarsu bulunduğunun kanıtıdır (Şekil 22 ve 23). Bazıları genç de olan sel yataklarından bir örnek Şekil 16'da verilmiştir. Geçmiş dönemde akarsu ve durgun su varlığının kanıtlarından biri de delta yapılarının bulunmasıdır (Şekil 24). NASA'nın Curiosity robotu tarafından kaydedilen yuvarlık ve karışık çakıllı konglomeralar da Mars'ta bir zamanlar akarsu bulunduğunun güçlü, su götürmez bir kanıtıdır (Şekil 24).

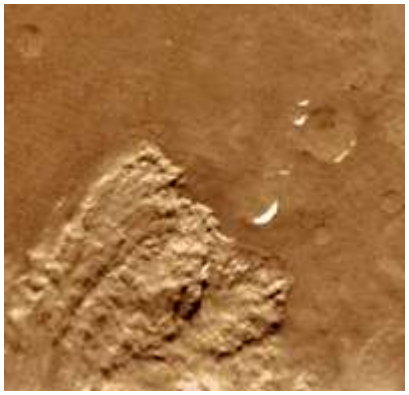


Şekil 24. Gale Kraterinde Curiosity tarafından 02 Eylül 2012 tarihinde kaydedilmiş **Mars konglomerası** görüntüsü. Bilindiği gibi yuvarlak ve değişik litolojiye sahip çakıllar uzunca bir mesafeden, uzun süreler akan akarsu taşıması ile oluşmaktadır. Bu bulgu Mars'ta bir zamanlar Dünya'dakine benzer akarsu bulunduğunun, yukarıda da belirtildiği gibi, su götürmez kanıtıdır denirse yanlış olmaz **(41).**

Şekil 25. Jezero Deltasının batı yelpazesi. Bu deltanın Mars'ın erken tarihindeki bir krater gölünde oluştuğu tahmin edilmektedir. Kaliforniya teknoloji Enstitüsünde yapılan son araştırmalar Mars'ın erken tarihinde iklimin daha sıcak ve nemli olduğu yönünde ipuçları ortaya çıkarmıştır. Günümüzde Mars'ın ortalama sıcaklığı -63^{0}C'dır. Mars robotları Mars'ta gerçekten akarsu bulunduğunu gösteren eski deltalar, akarsu ve göl yatakları, kil minerali yatakları keşfetmişlerdir **(42).**

Kumullar- Mars'ın jeolojik evriminde rüzgâr önemli etkenlerden biri olmuştur; günümüzde de etkinliği sürmektedir. Gezegen yüzeyi birçok kesimde kum birikintileri ile örtülmüştür. Çeşitli kumul tiplerinin birçoğu Dünya yüzeyinde gördüklerimize benzerdir (Şekil 26). NASA son çalışmalarda kumullardan bazılarının zaman içinde yer değiştirdiği saptaması yapmıştır. Zaman zaman aktif kum fırtınaları da gözlemlenmektedir (Şekil 27).



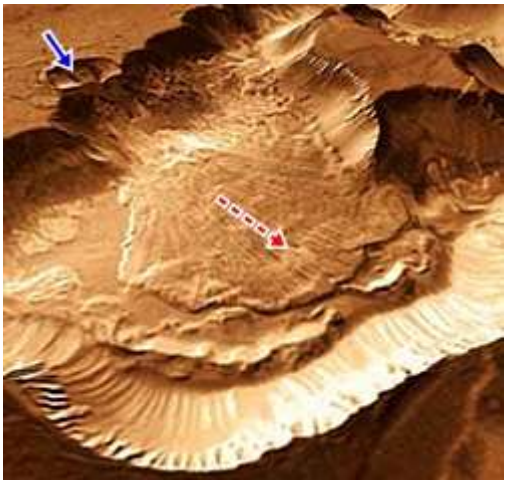


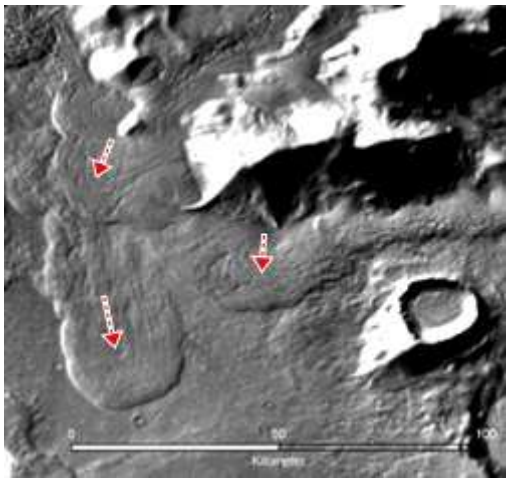
Şekil 26. Syrtis Major Nili Patera bölgesinde barkanlar. Mars Global Surveyor tarafından Mart 1999'da kaydedilmiştir. Ok rüzgâr yönünü göstermektedir **(43).**

Şekil 27. Mars yüzeyinde bir kum fırtınası. Her ne kadar Mars atmosferi çok seyrek ise de (basıncı Dünya atmosferi basıncının 1/200 kadarı), yüzeyin güneşle ısıtılmasına bağlı olarak bu atmosferde de yüksek hızlı (95-160 km/saat) mevsimsel rüzgârlar oluşmakta; bu rüzgârlar bölgenin yüzey örtüsüne bağlı olarak kum fırtınaları da meydana getirmektedir. Bir Viking kaydı olan bu görüntünün sol alt tarafında yoğun bir kum fırtınası görülmektedir **(44).**

Heyelanlar- Mars yüzeyinde görülen jeomorfolojik yapılardan biri de kütle hareketleri, özellikle heyelanlardır. Mars'ta görülen (görüntülenmiş olan) heyelanların çoğu Büyük Mariner Vadisi (Valles Marineris) ve kollarının yamaçlarındadır. Derinlikleri kilometrelerce olan bu kanyonların sarp yamaçlarında büyük heyelanlar ve moloz-toprak akması şeklindeki kütle hareketleri görülmektedir (örneğin Şekil 28). Bunların oluşumunda yerçekimi etkisine ilaveten meteor çarpmaları ile bu çarpmalar sonucu açığa çıkan yeraltı suları ya da eriyen yeraltı buzulları suyunun etkili olduğu anlaşılmaktadır **(45).**

Kaya-buzullarını da bir anlamda kütle hareketlerinden sayarsak, Mars'ta bunun örneklerinin bulunduğunu da belirtebiliriz (Şekil 29).



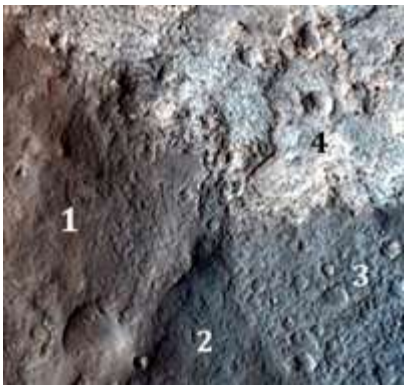


Şekil 28. Noctis Labyrinthus kanyonu kenarındaki bir meteor çarpması ile kanyon içine büyük bir heyelanın tetiklendiği anlaşılmaktadır. Mars Odyssey verisi 2000. Heyelan, çapı 6.5 km kadar olan kraterin (mavi ok) yarısını da götürmüştür. Vadi tabanına yayılan heyelan gövdesinin uzunluğu 25 km kadardır (kırmızı ok). Meteorun çarpması ile açığa çıkan yeraltı buzulu suyu heyelan molozunu çamurlaştırarak daha fazla akıp, yayvan bir gövde oluşturmasını sağlamış olmalıdır **(45).**

Şekil 29. Mars'taki kaya-buzullarından bir örnek. Mars Global Surveyor'dan kaydedilmiş kızılötesi görüntünün bir bölümü. Bazı araştırmalar Mars'taki kaya-buzulların 5-10 milyon yıl gibi geç dönemden kalmış, hatta bazılarının günümüzde de aktif durumda olabileceğini düşünmektedirler. Üzerlerinde pek krater görülmemesi bu görüşü desteklemektedir. Molozun su buzu ve kuru buzla karışık olabileceği varsayılmaktadır. Alttaki çizgi ölçeğin bütünü 100 km'dir. Oklar akış yönünü göstermektedir **(46).**

Litoloji- 1965'ten bu yana Mars'a gönderilen yörünge ve yer araçları ile araştırma robotlarının sağladıkları düşük veya yüksek çözünürlüklü sayısız görüntüler; uydular, yer araçları ve robotlarla yapılan mineral ve kayaç analizleri Mars'ın litolojisi hakkında da oldukça geniş veri ve bilgi birikimi sağlamıştır. Bu veri ve bilgilerle hazırlanan jeolojik haritalarda Mars'ın birçok kesiminde oldukça ayrıntılı durumda farklı litolojik birim ayırımları yapılmıştır (Şekil 10 ve 11). Bugüne kadar elde

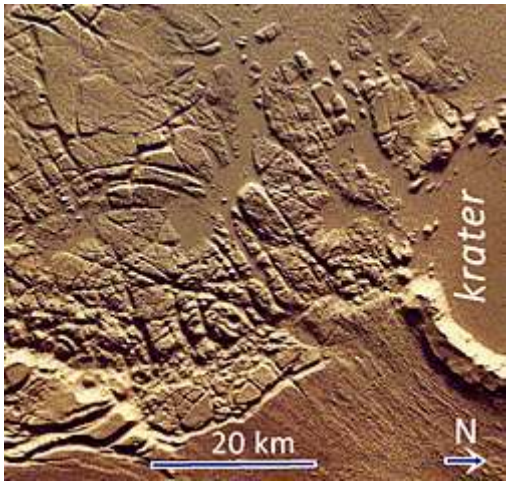
edilen bilgilere göre Mars'ta volkanik ve tortul kayaçlar bulunduğu anlaşılmaktadır. Taramalarımızda plütonik ve metamorfik kayaçlarla ilgili bir bilgiye rastlanmamıştır. Derinlerde plütonik kayaçlar ve kontak metamorfik kayaçlar bulunabilir, ancak varsa da bunlar herhalde yüzeye çıkmamıştır.

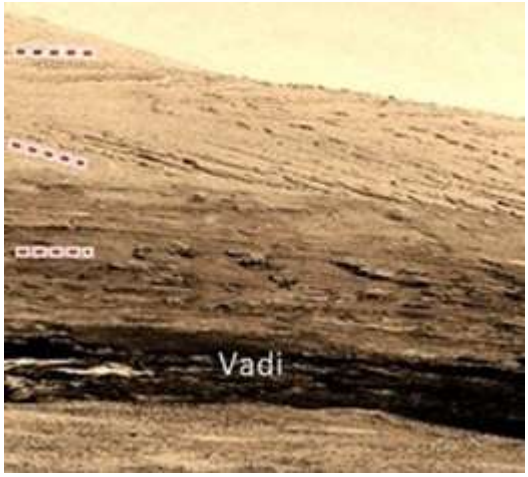


Şekil 30. Mars'ta kayaç türlerinin renk ve yüzey dokusu farklarıyla ayırımını gösteren bir örnek. Mars Reconnaissance Orbiter kaydının bir bölümü. Curiosity'nin iniş noktası yakınında Glenelg (Şekil ortası) olarak adlandırılan ve "triple junction" (üçlü birleşme noktası) nitelekli noktanın çevresi. 1- Siyahımsı gri, yüzeyi görece düz, fazla kraterleşme yok; 2-Koyu mavimsi gri, yüzeyi düz; 3- Mavimsi gri, yüzeyde yoğun kraterleşme; 4- Açık gri, yüzey kaba dokulu, az sayıda krater. Şekil eni yaklaşık 500 m. Buradaki kayaçlar volkanik kökenli olmalıdır **(47).**

Şekil 31. Açık renkli bir damar. Mars Exploration Rover Opportunity'nin panoramatik kamerası tarafından Endeavor Kraterinin batı kenarında, doğal rengiyle kaydedilmiştir. Robotun incelemesine göre damar Ca ve S'çe zengin olup jips içerdiği; dolayısıyla sulu bir ortamda çökelmiş olduğu tahmin edilmektedir. Kalınlığı 2-2.5 cm, uzunluğu 45 cm'dir **(48).**

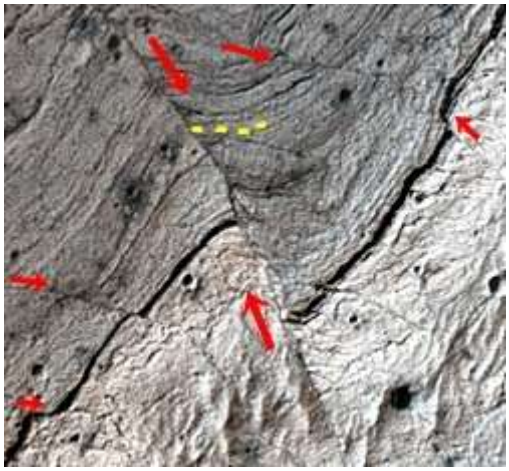
Tektonik- Mars'ta tabakalı yapılar mevcuttur. Şekil 21, 24, 31, 33, 35 ve 36'da tabakalı yapının bazı örnekleri görülmektedir. Bu tabakalı yapılardan bazılarının varlığı Mars'ta bir zamanlar akarsulardan başka, tortulaşmanın yaşandığı durgun su ortamlarının da bulunduğuna; buralarda oluşan tortuların herhalde diyajenez geçirerek tortul kayaç haline dönüştüğüne işaret etmektedir. Tabakalı yapıların yatay, eğik, yaklaşık düşey konumda olanları vardır (Şekil 31, 35, 36). Bu durum da çökelme sonrasında tabaka serilerinin tektonik kuvvetler etkisinde kaldığını göstermektedir. Tam bilinemeyen, bu kuvvetlerin ne tür kuvvetler olduğudur.





Şekil 32. Kassei Valles ve Sacra Fossae arasındaki bölgeye ait görüntünün kuzey bölümü. Mars Express'in yüksek çözünürlüklü kamerası tarafından 11 Kasım 2008'de kaydedilmiştir. Çözünürlük 21 m'dir. Kraterin güneybatı çevresi ileri derecede aşınmıştır. Aşınma etkeni ağırlıklı olarak akarsudur. Akarsu bölgenin 850 km güneybatısındaki Echus Chasma bölgesinden gelmiştir. Akarsu olasılıkla krater tabanını da birikinti ile doldurmuştur. Sol üstteki alanda çok sayıdaki düzensiz kırıklar alana kaotik bir yapı kazandırmıştır. Kaotik yapının oluşumunda olasılıkla yeraltında kayaçların eriyip kısmen su tarafından uzaklaştırılmış olmasının etkisi bulunmaktadır **(49).**

Şekil 33. Robot Curiosity'nin Gale Kraterinde Mount Sharp'ın bir yamacından kaydettiği görüntünün küçük bir bölümü. Alttaki koyu renkli formasyon yaklaşık yatay tabakalı, üstteki açık renkli formasyon 30^0 kadar eğik, bunun da üstündeki kayaçların tekrar yatay oldukları gözlenmektedir (kesik çizgiler). Kaynaklarda görüntünün bu özelliği ile ilgili yoruma rastlanmamıştır. Ancak dokunak ilişkileri orta seride bir çapraz tabakalanmaya işaret etmektedir; değilse seriler arasındaki dokunakların tektonik nitelikli olması gerekir **(50).**



Şekil 34. Valles Marineris kanyon sisteminde Candor Chasma'nın güneybatı kesiminde yatay tabakalı tortul kayaçlar. Mars Global Surveyor tarafından Mart 1999'da kaydedilmiştir. Görüntü üzerinde çalışan bilim adamları kanyonların bir zamanlar kısmen göl durumunda olduklarını düşünmektedirler. Burada her biri tahminen 10 m kalınlığında 100'den fazla tabaka saymışlardır. Şekilde bunların sadece bir kısmı görülmektedir **(2).** Kırmızı ok şekildeki küçük faylardan birini işaret etmektedir.

Şekil 35. Mars Reconnaissance yörünge aracının yüksek çözünürlüklü kamerası tarafından kaydedilmiş görüntünün bir bölümü; Valles Marineris sisteminin batı kesimindeki Ius Chasma kanyonu tabanı. Kanyonun genişliği 900 km, derinliği 8-10 km'dir. Kanyon tabanı Geryon Montes (Geryon Dağı) denilen bir

sırtla ikiye bölünmüştür. Şekilde görülen tabakalı tortul kayaçlar açık ve koyu değişik renklerdedir. İrili ufaklı yatay faylarla kesilmişlerdir. Küçük faylarda atım 1-1.5 m, ortadaki büyük fayda 70-75 m kadardır. Sağ yönlü büyük fay tabakaları da bükmüştür (drag fold, sarı çizgi); yani küçük boyutta bir bükülme-kıvrımlanma meydana gelmiştir **(51).**

Tektonik konu edildiğinde Mars'ta levha tektoniğinin etkin olup olmadığı sorusu da öne çıkmaktadır. **(3)**'e *göre:*

- Mars'ta ne kıvrımlı kayaçlardan oluşan bir sıradağ, yani orojenik kuşak, ne de hareket halinde aktif bir levha sistemi bulunmamaktadır.
- Mars'ın en önemli iki tektonik özelliği Tharsis ve Elysium bölgelerindeki güçlü yükselmelerdir. Bu yükselmeler Mars yüzeyinin görüntüsünü büyük ölçüde değiştirmiştir. Tharsis bölgesindeki büyük yükselmenin etkisiyle çok büyük ışınsal kırık sistemleri oluşmuştur. Valles Marineris ve bunun batısındaki karmaşık yapılı Noctis Labyrinthus isimli dev kanyon-graben sistemleri bu oluşumlara dâhildir.
- Sıkışma gerilmeleri de Mars'ta geniş bölgeleri etkilemiş ve buralarda buruşuk (bükülmüş) sırtlar (wrinkel ridges) meydana getirmiştir. Bu sırtlar Dünya'daki orojenik kuşakların benzeri değildir.
- Mars'taki tektonik yükselmeler, domlar, grabenler ve volkanik yapılar sıcak noktaların etkinliğine (mantle plumes) işaret etmektedir.
- Küresel ölçekte bir kontraksiyon (büzülme) etkisi görülmemektedir. Sıcak ve plastik mantodaki iç dolaşımlar tektonik etkinlikleri yöneten kuvvetler olarak kabul edilmektedir. Bu iç hareketler litosferde dev kubbemsi yükselmeleri ve büyük boyutlu kırılmaları oluşturmuş ve volkanik etkinliklerin konumlarını belirlemiştir. Ancak Mars litosferinde görünürde yoğunluğu fazla farklı kısımlar bulunmadığından, litosfer kalınlaşması hızlı olmuş ve litosfer levhalara bölünememiştir. Buna karşılık litosfer altındaki sürekli ergime dev volkan yığınlarının konumlarını belirlemiştir. Mars'ta Dünya'dakine benzer volkanik zincirler de bulunmaz. **Kısacası Mars'ta levha tektoniği görülmemektedir.**

Yukardaki yorumların aksine Kaliforniya Üniversitesi bilim adamlarından An Yin ise **Mars'ta ilkel safhada levha tektoniği bulunduğunu** ileri sürmüştür. Gerekçe olarak da Valles Marineris sisteminin Melas Chasma kesiminde eski bir çarpma kraterinde 150 km'lik sol yanal kaymayı göstermektedir (Şekil 16, **52**). Yin incelediği çok sayıdaki yüksek çözünürlüklü Mars görüntüsünde gördüğü özelliklerden bazılarının Himalayalar'daki ve Kaliforniya'daki özelliklere benzediği görüşündedir. Araştırmacı büyük kanyon kenarlarının faylı oluşu ve volkanik konilerin çizgisel dağılımı gibi özellikleri de levha tektoniğinin işaretleri olarak kabul etmektedir.

KAYNAKLAR

01- Hsui A T, 2002, Geology of Mars. http://www.lukew.com, 25 Mart 2013.

02- FAS (Federation of American Scientists), 2005, Remote Sensing Tutorial, Section 19, Geology of Mars. http://www.fas.org, 21 Şubat 2013.

03- Christiansen E H & W K Hamblin 2007, Exploringthe planet, Chapter 6: Geology of Mars. http://www.explanet.info, 21 Ocak 2013.

04- Wikipedia, 2013, Geology of Mars. http://www.en.wikipedia.org, 25 Şubat 2013.

05- NASA, 23 August 2012, Achronology of Mars exploration. http://www.history.nasa.gov, 21 Ocak 2013.

06- Tate K, 27 February 2013, Occupy Mars: History of robotic Red Planet missions (infrographic). http://www.space.com, 26 Mart 2013.
07- U.S. Geological Survey, (nodate), Reference list of Maps of Mars, published by the U.S. Geological Survey. http://www.geopubs.wr.usgs.gov, 21 Şubat 2013.
08- Scott D H & M H Carr, 1978, Geological map of Mars. http://www.lpi.usra.edu, 23 Ocak 2013.
09- Mutch T A (editor), 1976, The geomorphology of Mars. Princeton Univ. Press.
10- Carr M, 2007, The surface of Mars. Cambridge Planetary Science. http://www.books.google.com, 21 Şubat 2013.
11- Chapman M, 2007, The geology of Mars: Evidence from Earth-based analogs. Cambridge Planetary Science. http://www.books.google.com, 21 Şubat 2013.
12- Bell J (editor), 2008, The Martian Surface: Composition, mineralogy, and physical properties. http://www.cambridge Univ. Press, 26 Mart 2013.
13- Greely R, 2013, Introduction to planetary geomorphology. Cambridge Univ. Press. http://www.cambridge.org, 26 Mart 2013.
14- WIKIPEDIA, 08 Mart 2013, Gezegen. http://www.tr.wikipedia.org, 26 Mart 2013.
15- Ambrose E, (tarih yok), NASA Missionto Mars, Mars Geography. http://www.edb.utexas.edu, 27 Ocak 2013.
16- Myslewisky R, 05 Ocak 2013, Ancient Mars.http://www.theregister.co.uk, 26 Mart 2013.
17- Smithsonian Air and Space Museum, 2002, Planetary physical data.http://www.airandspa-ce.si.edu, 23 Ocak 2013.
18- Coffey J, 2008, Atmosphere of Mars. http://www. universetoday.com, 26 Mart 2013.
19- Space.com, (nodate), Mars' atmosphere: Composition, climate and weather. http://www.space.com, 21 Ocak 2013.
20- Baker V R, 2006, Water and the evolutionary geological history of Mars. Boll.Soc. Geol. It., 125, http://www.lpi.usra.edu, 21 Ocak 2013.
21- NASA, 15 July 1985, Mariner 4 fliesby Mars. http://www.nasa.gov, 21 Ocak 2013.
22- NASA, (nodate), Discovery guide: Mars Rover Curiosity. http://www.jpl.nasa.gov, 26 Mart 2013.
23- NASA, 06 January 2005, The Mariner Mars mission. http://www.nssdc.gsfc.nasa.gov, 21 Ocak 2013.
24- NASA, 07 December 2012, Shaler Unit's evidence of stream flow. http://www.mars.jpl.nasa.-gov, 21 Ocak 2013.
25- Tatar Y, 24 Mart 2013, Mars-Jeoloji. http://www.yusuftatar.net, 25 Mart 2013.
26- LPI (Lunar and Planetary Institute), 2012, Olympus Mons, Evolution of our Solar System-Gallery. http://www.lpi.usra.edu, 26 Mart 2013.
27- Nanjing University, (nodate), Hellas Planitia. http://www.astronomy.nju.edu.cn, 26 Mart 2013.
28- Carpenter I S, 17 July 2012, The grandest canyon; New insight into Mars Valles Marineris. http://www.planets.ucla.edu, 26 Mart 2013.
29- NASA/JPL, (nodate), Volcanic dike spawns giant flood. http://www.themis.asu.edu, 26 Mart 2013.
30- AGU (Amerikan Geophysical Union), 11 June 2012, Impact atlas catalogs over 635.000 Martian craters.http://www.agu.org. 23 Şubat.2013.

31- ISSET (International Space School Educational Thrust), (nodate), Geology of Mars: Craters. http://www.isset.org, 22 Ocak 2013.
32- Wikipedia, 15 Mart 2013, Rampart craters. http://www.en.wikipedia.org, 25 Ocak 2013.
33- Courtland R, 13 July 2009, Martian "eggcups" could trace past climate. http://www.newscientist.com, 21 Ocak 2013.
34- Satnews, 08 June 2009, Mars pics revea lregion of blemished countenance. http://www.satnews.com, 26 Mart 2013.
35- Planetary Science Research Discoveries, 27 May 2011, Timeline of Martian volcanism. http://www.psrd.hawaii.edu, 26 Mart 2013.
36- Trafton A, 21 September 2007, M.I.T. observations give precise estimate of Mars surface ice. http://www.mit.edu, 26 Mart 2013.
37- O'Connell R W, 2012, Selected Mars images, NASA/JPL- http://www.astro.virginia.edu, 26 Mart 2013.
38- ESA (European Space Agency), (nodate), Ice and dust at Martian poles. http://www.flickr.com' a göre esa.int, 26 Mart 2013.
39- Department of Geological Sciences, Idaho State University, (nodate), Compare drainage channels on Earth and Mars. http://www.geology.isu.edu, 21 Şubat 2013.
40- ESA-Freie Universitaet Berlin, 06 November 2009, Kassei Vallis- Sacra Fossae, Planetary Sciences and Remote Sensing. http://www.dlr.de , 21 Şubat 2013.
41- University of Oregon, 17 September 2012, Earthscience in the News, Sedimentology grabs headlines on Mars. http://www.pages.uoregon.edu, 21 Ocak 2013.
42- NASA, 16 July 2008, NASA spacecraft shows diverse, wet environments on ancient Mars. http://www.jpl.nasa.gov, 26 Mart 2013.
43- Smithsonian Air and Space Museum, (nodate), Understanding Mars. http://www.airandspace.si.edu, 27 Mart 2013.
44- NASA, 2001, Recent Mars and Earth dust storms compared. http://www.thelivingmoon.com, 27 Mart 2013.
45- Luk R, 2000, Mars Odyssey. http://www.click.si.edu' ya göre, NASA/JPL- caltech/Arizona State University, 21 Ocak 2013.
46- Scientific American, 28 November 2011, Glaciers from Mars. http://www.blogsscienti-ficamerican.com, 26 Mart 2013.
47- Lakdawalla E, 15 Ocak 2013, Curiosity update, sol 157. http://www.planetary.org, 28 Mart 2013.
48- NASA, 07 December 2011, Mars Rover finds mineral vein deposited by water. http://www.jpl.nasa.gov, 21 Ocak 2013.
49- Freie Universitaet-Berlin, 16 November 2009, Kassei Valles, Sacra Fossae. http://www.geoinf-.fu-berlin.de, 21 Ocak 2013.
50- NASA 27 August 2012, NASA Rover returns voice and telephoto views from Mars. http://www.jpl.nasa.gov, 21 Ocak 2013.
51- HIRISE Operations Center, 23 November 2006, First HIRISE image of Mars from mapping orbit: Ius Chasma, Valles Marineris; fault in Ius Chasma. http://www.hiro.lpl.arizona.edu, 21 Ocak 2013.
52- IOP (Institute of Physics), 17 August 2012, Geologist claimes to have found plate tectonics on Mars. http://www. physicsworld.com, 26 Mart 2013.