

MARS YOLCULUĞUNDA ALINACAK KOZMİK IŞIN DOZU ve SAĞLIK RİSKİ?

Mars'a Gitmek için Sıraya Giren 200.000 kişi !

Yüksel Atakan, Dr.Radyasyon Fizikçisi, [Almanya](#)

Sunuş

„Gazeteci yoldan geçenlere mikrofonu uzatıp soruyor: Bize, Mars mı, yoksa Hindistan mı daha uzak? Çok kişi Hindistan daha uzak diyor!“ Belki de gece gökyüzünde Mars'ı görüp, Hindistanı göremediklerinden olacak!!

Mars'ın yörüngesindeki yerine göre, bize, ortalama uzaklığı 250 milyon km. Mars'ta halen araştırmalar yapan insansız Curiosity Rover aracı tam 253 günde (8,5 ayda) günde bir milyon km yol alarak 2012'de Mars'a ulaşmış. Ya da saatte dünyanın çevresi kadar giderek..

Mars kupkuru bir gezegen, bol karbondioksitli basıncı çok düşük bir atmosferi var, yani bizdeki soluyacağımız hava orada yok, su da yok, taş, toprak, toz fırtınaları ve iyice soğuk bir yer. Ama şimdiden Mars'a yolculuk için sıraya giren 200.000 kişi ve orada koloni kurmak isteyen şirketler var. NASA 2030'da Mars'a insanlı araç yollamayı planlıyor.

Önemli bir sorun Mars yolunda alınacak yüksek kozmik ışın dozu. Kanser, beyin hasarı gibi hastalıklar yapabilir.

Radyasyon düzeyini ölçmek için Mars'taki Rover aracına diğer aletlerin yanı sıra bir radyasyon aleti konmuş. Bununla hem yolda hem de Mars'ta ölçümler yapılarak ileride oraya gideceklerin ne kadar radyasyon dozu alacakları ve bunun sağlık riskinin ne olacağı hesaplanmaya çalışılıyor. Bu arada epey de ölçüm değeri birikmiş.

Öte yandan bizleri 3 saatlik uçak yolculuğu bile sıkarken, küçücük kapsülde en azından 6 ay geçirecek 3-4 kişinin birbirleriyle olabilecek sorunları incelenmeye çalışılıyor. Sataşma, saldırı ve şiddet olaylarına ise hiç şaşmamak gerekecek..

İleride kupkuru bir yerde, basınçlı giysilerle, buradan götürülecek hava ve suyla idare etmeleri gerekecek insanlara dönüşte de fazla kozmik ışın dozu alıp kanser riskini daha da arttırmamaları için dönüş bileti de verilmeyecekmiş.Yani giden büyük bir para ödeyip ONE WAY TICKET alabilecek ve ölene kadar orada kalmak zorunda!.

Bu gezileri düzenleyenlerin söyledikleri:- Bu dünyayı ileride düzeltmekle uğraşmaktansa, Mars'ta işe baştan başlamak daha kolaydır !!

- Mars yolculuğunda alınacak kozmik ışın dozu ve sağlık riski?

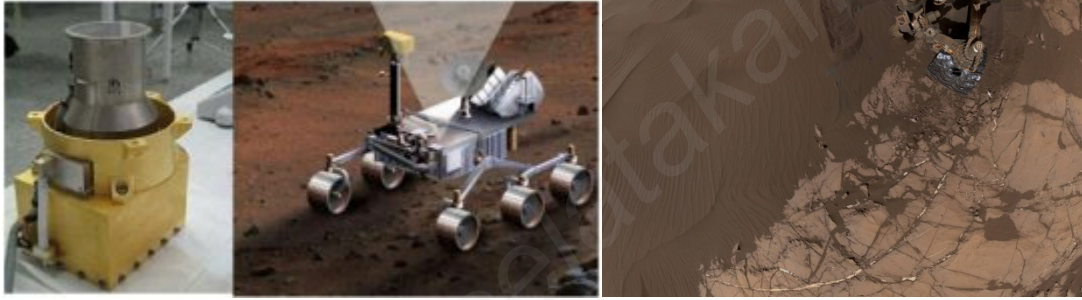
NASA'nın 'Curiosity Mars Rover' insansız uzay aracı 253 gün (8,5 ay!!) yolculuktan sonra 6 Ağustos 2012'de Mars'a inmiş ve o günden beri de Mars yüzeyinde çalışmalarını sürdürüyor. Başlangıçta, Mars'ta iki yıl kalması planlanan (kısaca)Rover, birbirinden ilginç çalışmaları sorunsuz yapabildiği için, süresi 2018'e kadar uzatılmıştır. Bu arada, Rover'daki özel kameralar, laser ve spektrometrelerle (Bkz. Şekil 1 ve 3) toprak ve kayalarda yaptığı inceleme ve analizlerin NASA kontrol merkezinde değerlendirilmesiyle, Mars'ın derinliklerinde eskiden su olacağına ve mikro organizmaların da yaşayabileceğine uygun bir ortamın bulunabileceği sonucu çıkarılmıştır /1/.

Rover aracının önemli bir görevi de ileride Mars'a yollanacak **insanlı araçlarda**, gerek yol boyunca gerekse Mars'ta, astronotların kozmik ışınlardan ne kadar radyasyon dozu alabileceklerini ölçmektir ve araçta bu amaçla RAD radyasyon ölçü aleti bulunuyor (The Radiation Assessment Detector/ Bkz.Şekil 3). Mars'a olan uzun yolculuğu boyunca RAD radyasyon ölçüm aleti her 15 dakikada bir radyasyon ölçümleri yapıp sonuçları NASA'ya bildirmiştir/1/.

Mars yolunda ve Mars'ta ölçülen radyasyon dozları ve sağlık riski?

Genel olarak, uzay yolculuklarında astronotlar kozmik ışınlar yoluyla azımsanmayacak bir radyasyon dozu alıyorlar. Örneğin Uluslararası Uzay Aracında (ISS) 6 ayda boyunca bir astronotun aldığı doz 90 miliSievert'e (mSv) yakındır (Çerçeve içindeki Sievert'in tanımına bkz). Bu miktar dünyamızda doğal

radasyondan 1 yılda aldığımız ortalama doz olan 2,4 mSv'in 37 katıdır. Kozmik ışınlar olarak adlandırılmalarına rağmen, ışın tanecikleri olan foton'lardan değil, büyük çoğunluğu, enerjileri çok yüksek protonlar başta olmak üzere enerjileri yüksek daha büyük kütleli atom çekirdeklerinden oluşan hızlı tanecikler, maddenin ve bu arada insan vücudunun da derinliklerine, hücrelere ve DNA'ya girerek etkili olabiliyorlar, bunları bozabiliyorlar (Kozmik ışınlarla ilgili diğer yazımıza bkz). Astronotlar, kozmik ışınların sıklıklarının ve şiddetlerinin zamanla değişimine, kendilerinin de uzay yolculuğu sırasında kapsülde kalma sürelerine ve zırlama durumuna göre değişen miktarlarda radyasyon dozu alabiliyorlar. Benzer durum Mars yüzeyinde kalındığında da geçerli. RAD aletiyle yapılan ölçümlerin değerlendirilmesi, 253 günlük Mars yolculuğu sırasında **günde alınabilecek radyasyon dozunun ortalama olarak 1,8 miliSievert (mSv)** olabileceğini gösteriyor (Şekil 2). Bu **günlük değer**, dünya üzerinde, deniz düzeyinde kozmik ışınlardan alınmakta olan **yıllık** radyasyon dozu olan ortalama 0,30 mSv'lik dozun 6 katıdır. Mars yolculuğunda 1 günde alınabilecek 1,8mSv'lik doz, dünyada 1 yılda alınan 2,4 mSv'lik /2/ ortalama doğal radyasyon dozunun ise %75'i kadar olup, az değildir.



Şekil 1: Sol yukarıdaki resim RAD, radyasyon ölçüm aletini, sağda Mars Rover uzay aracı Mars yüzeyinde dağa tırmanırken görülüyor.

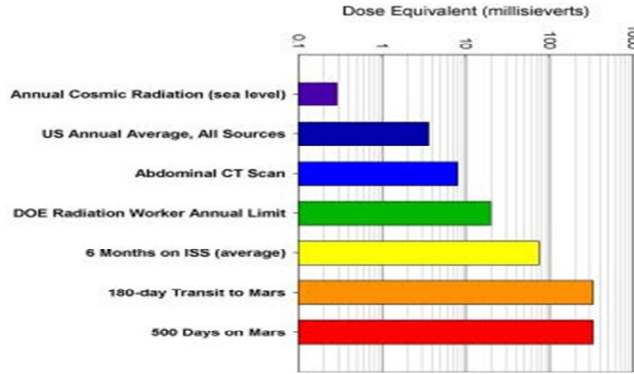
Rover'deki RAD aletiyle yapılan ölçümlerin değerlendirilmesine göre **Mars yüzeyinde günde alınabilecek radyasyon dozu ise 0,7 mSv kadardır** (Mars'ın düşük yoğunluktaki atmosferine rağmen kozmik ışınlar epey frenleniyor, Bkz.Şekil 2).

İleride NASA, insanlı Mars yolculuklarında daha hızlı uzay araçları kullanarak yolculuğu 253 günden 180 güne indirmeyi planlıyor/1/. Bu durumda gidiş geliş 360 gün yolculukta alınabilecek ortalama kozmik ışın dozu: $1,8 \times 360 = 650$ mSv kadar ve Mars yüzeyinde 500 gün kalındığında da orada alınabilecek ortalama günlük 0,7 mSv'lik doz da eklendiğinde: $650 + 0,7 \times 500 = 1000$ mSv=1 Sv'lik ortalama toplam bir dozun alınması beklenebilir.

Mars yolculuğunda ve Mars'ta 500 gün kalındığına (ve hatta ileride daha uzun sürelerde kalındığında) ardı sıra oluşacak 1 Sv'lik toplam (ortalama) dozların, vücutta ne gibi bir hasar yapabileceği ise tam olarak kestirilemez. Japonya'da 2.Dünya Savaşında atılan atom bombalarından yaşamda kalanlar üzerinde yapılan doz/etki/risk araştırmalarından edinilen deneyimlere ve bunlardan çıkarılan çok tartışmalı yaklaşıma göre bu 1 Sv'lik doz, halk arasında zaten %25 olan kanser riskini %5 artırıyor sonucu çıkarılabilir (tüm dünyada ortalama olarak, ölenlerin %25'i kanserden ölüyor/2/). Daha uzun Mars yolculuklarının ve Mars'ta kalma sürelerinin kanser riskinin yanı sıra beyin hasarı gibi daha başka hastalıkları artıracaklarını ileri süren tıp araştırmacıları bulunuyor.

Şekil 2: Curiosity Mars Rover RAD ölçüm aletiyle ölçülüp değerlendirilen dozlarla, diğer dozların karşılaştırmaları gösteriliyor/1/. Absiste Eşdeğer Doz (mSv), Ordinatta yukarıdan aşağıya sırasıyla: 1. Dünyada deniz düzeyindeki yıllık

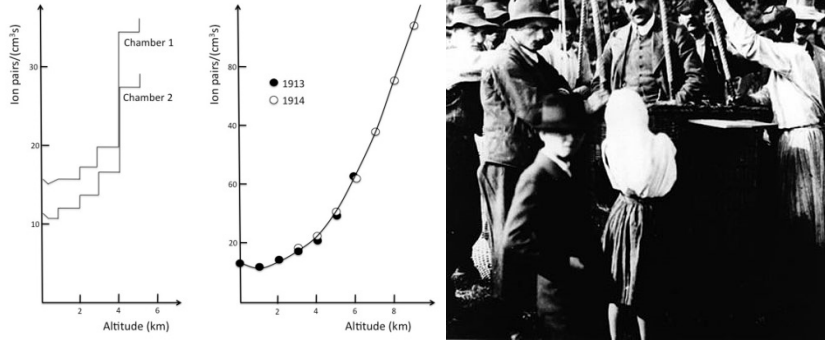
ortalama kozmik ışın dozu, 2. ABD’de yılda tüm kaynaklardan alınan ortalama doz, 3. Bilgisayar tomografi dozu, 4. Uluslararası uzay aracında (ISS) 6 ayda alınan doz, 5. Mars yolculuğunda 180 günde alınacak ortalama doz ve 6. Mars’ta 500 gün kalındığında alınacak ortalama doz gösteriliyor.



- Kozmik Işınlardan Nereden Geliyor, Kim, Nasıl Buldu ve Nobel Aldı?

Kozmik ışınları ilk kez fizikçiler laboratuvar çalışmaları sırasında, elektrik yüklü cisimlerin, elektrik yüklerini azar azar yitirmelerinin nedenini araştırırken buldular. Havayı iyonlaştıran (atomlardan elektron söken) ve böylelikle havanın elektriksel iletkenliğini sağlayarak, elektrik yüklü cisimlerden elektriksel yük kaçaklarına yol açan birşey, bir etken olmalıydı? Birçok fizikçi, önceleri, yerde, toprak ve kayalarda az miktarda bulunan doğal radyoaktif maddelerden yayılan ışınların havayı iyonladığını düşündü. En sonunda Avusturyalı fizikçi Victor Hess’in aklına harika bir fikir geldi ve 1912 yılında bir balona binip, elektroskopunun göstergesini gözledi (Bkz.Şekil 3). Balonla yükseldikçe, elektrik yüklerin gitgide azaldığını elektroskopun göstergesinden izleyince göklerden, uzaydan gizli bir şey gelip havayı iyonluyor ve elektroskoptaki yükler bu nedenle gitgide azalıyor sonucuna vardı. 1925’de R.Milikan bu gizli etkene ‘kozmetik ışınlar’ adını verdi. Sonradan bilimsel çalışmasını yayınlayan Hess 1936’da bu buluşu nedeniyle Nobel ödülü aldı. 1950’lerde fizikçiler ‘kozmetik ışınlar’ın, ışık taneciklerinden (fotonlardan), elektromanyetik dalgalardan oluşmadığını, bunların çok büyük hızlardaki çoğunlukla protonlardan ve alfa taneciklerinden ve az miktarda da daha ağır parçacıklardan (C, N, O ve Fe’e kadar çeşitli atom çekirdeklerinden) oluşan sürekli bir ‘iyon akımı’ olduğunu belirlediler. Buna rağmen, eskiden takılan ve yerleşen ‘kozmetik ışınlar’ adı, tanecik akımına, uygun olmasa da değiştirilmedi. Kozmik ışınların iki kaynağı var: ilki, güneş sisteminin dışındaki galaksidedeki süpernova patlamaları, ikincisi ise güneş rüzgarı. Güneş sisteminin çok ötesinde uzayın derinliklerindeki galaksiden sürekli olarak dünyamıza gelmekte olan bu girici iyonların çok yüksek enerjileri var. Bu yüksek enerjili kozmik ışınların, güneş sistemimize girdiğinde, güneşin yaydığı ‘Güneş Rüzgarı’ denilen ve çoğunlukla elektronlardan oluşan dev akımın ürettiği manyetik alanın direncini yenmeleri gerekiyor. Ancak Güneş Rüzgarının şiddeti sabit olmayıp her 11 yılda bir değişim gösteriyor. Güneş rüzgarını yenip dünyaya yaklaşmakta olan ‘daha girici iyonları’ bu kez dünyanın manyetik alanının saptırmasının yanısıra, geçmeleri gereken yoğun hava tabakalarının molekülleri frenliyor (Dünyanın her cm² yüzeyi üstünde 1 kg hava var!). Bu ‘çok hızlı’ ve dolayısıyla ‘çok yüksek enerjili’ protonlar, ağır iyonlar, havada yolları boyunca çarptıkları atomlardan, sayıları çığ gibi artan mezonları ve daha birçok girici ikincil parçacıkları üretip atmosferde ve yeryüzünde bizleri etkiliyorlar ki bunların başında yerin derinliklerine kadar girebilen müonlar geliyor.

Dünyanın çevresindeki manyetik alanın kozmik ışınları saptırması ve atmosfer katmanlarının da bunların enerjilerini soğurması sonucu, deniz yüzeyine yaklaştıkça bunların etkileri ve dolayısıyla bunlardan oluşan radyasyon dozları da gitgide azalıyor. Bu nedenle 2000 metre gibi yüksek yerleşim yerlerinde kozmik ışınlardan oluşan radyasyon dozu, deniz düzeyindeki 2-3 katından daha fazladır. Buna rağmen, bu dozun oralarda yaşayanların sağlığına olumsuz bir etkisi olduğu belirlenmemiştir. Dünya üzerinde diğer doğal kaynakların da katkılarıyla (evlerdeki radon gazı, besinlerdeki ve havadaki doğal radyoaktif maddelerden) aldığımız toplam radyasyon dozu ise, yılda ortalama olarak 2,4 mSv kadardır (Ayrıntılar için bkz.: /2/).

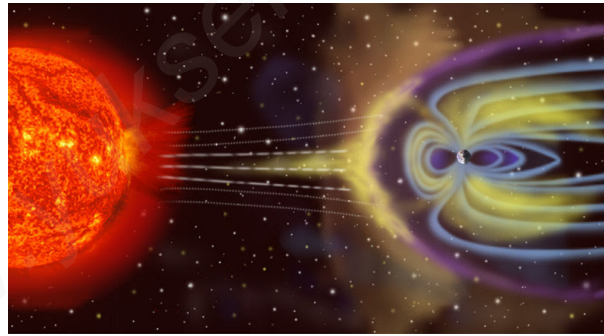


Şekil 3: Saniyede havanın her cm^3 başına iyon çiftlerinin yükseltiyle artması ve Nobel Fizik ödüllü(1936) Victor Hess'in (1883-1964) balonu (ilk kez 1912'de Victor Hess balonla yükselirken her iki iyon odasıyla (elektroskopla) ölçümler yaparak kozmik ışınların varlığını kanıtlamıştır).

- **Mars'ta doğal radyoaktif maddelerin olmayışıyla, manyetik kuşağın, atmosferin ve suyun zamanla yok oluşu-Sorumlusu: Güneş Rüzgarı**

Mars çevresinde manyetik kuşak olmadığından güneş rüzgarlarını saptıramıyor ve güneş rüzgarları zaman zaman Mars'ta etkili olduğundan, ileride insanların orada olabilecek yaşam koşullarını ağırlaştıracaktır. Güneş rüzgarları, güneşten saniyede 400 ile 900 km hızla yayınlanan başta proton, elektron ve helyum çekirdekleri olan alfalar olmak üzere diğer atom çekirdeklerinden oluşuyor.

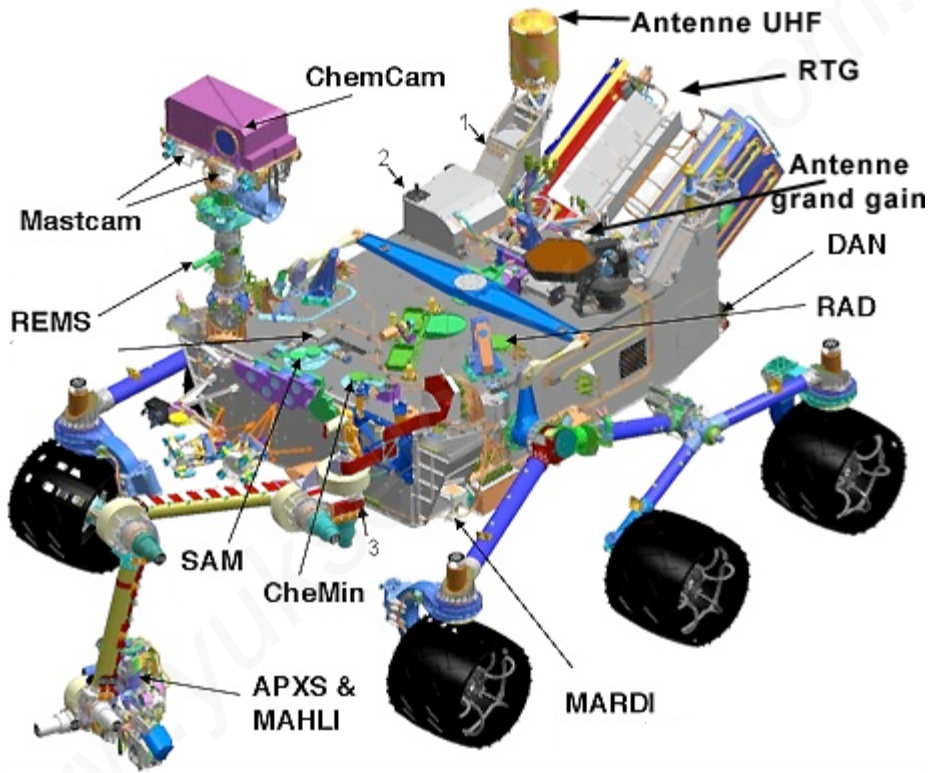
Şeki 4 Güneş Rüzgarı: Solda güneş, ortadaki çizgiler Güneş Rüzgarı, sağda küçük bir küre olarak gösterilen dünyamız ve çevresindeki manyetik kuşak çizgileri görülüyor. Bu manyetik kuşak, dünyamızı güneş rüzgarlarından koruyarak atmosferin ve suyun kaybolmasını önüyor. Mars'ta ise manyetik kuşak zamanla yok olmuş .



Mars'a daha önce yollanan uzay araçlarından elde edilen bulguların değerlendirilmesi sonucu, Mars'ta 3-4 milyar yıl önce su ve dünyadakine benzer bir atmosfer olabileceğine işaret ediyor. O zamanlar henüz sıcak olan Mars, kendi rotasyon hareketiyle, çekirdeğindeki sıvı metaller de dinamo gibi dönerken, çevresinde bir manyetik kuşak oluşturuyordu. Mars zamanla soğurken yapısında radyoaktif maddelerin yeterince bulunmayışı nedeniyle olacak, bunlardan yayınlanan yüksek enerjili alfa tanecikleri ve diğer radyasyonlarla (dünyadaki durumun aksine) içten ısıtılamadığından, çekirdeği katılaşmış ve Mars çevresindeki manyetik kuşak zamanla yok olmuştur. Manyetik kuşak kaybolunca, güneş rüzgarları saptırılamamış ve bunlar da Mars yüzeyindeki atmosferi süpürüp uzaya götürmüşlerdir. Arta kalan çok düşük atmosfer basıncında ise Mars'taki suyun çabucak buharlaşmış olacağı açıktır. Kısacası Mars'ta dünyadaki gibi yeterli miktarda radyoaktif maddeler bulunsaydı, Mars, zamanla kendiliğinden soğumasına karşın ısıtılabilecek ve bunun sonunda da manyetik kuşak yok olmayacak, güneş rüzgarları saptırılacak, Mars'ta atmosfer de su da dünyadaki gibi bulunabilecekti. Öte yandan, Mars'ta bölgesel manyetik alanların bulunduğunu belirten yazılara literatürde rastlanıyor.

- Curiosity Mars Rover aracı nasıl işliyor ve Mars'taki çalışmaları

Curiosity Mars Rover aracı, amacına uygun olarak, Mars'ta mikro organizmalar düzeyinde geçmişte ve bugün bir yaşam olup olmadığını araştırabilecek şekilde yapılmış ve donatılmıştır. 900 kg kütlesindeki Rover, 3m x 2,7m x 2,3m büyüklüğünde olup Mars yüzeyindeki 75 cm büyüklüğüne kadar olan molozları, serbest taşları 90 metreye kadar götürebilirken saatte 30 metre ortalama hızıyla da ilerleyebiliyor. Rover, diğer uzay araçları gibi güneş panellerinden elde edilen enerjiyle değil, 43 kg kütlesindeki bir 'plütonyum aküsü'ndeki 87,7 yıl yarılanma süreli plütonyum 238 radyoizotopunun yayınladığı alfa taneciklerinin enerjisinin termoelementlerde elektrik enerjisine dönüştürülmesiyle çalışıyor (Radioisotope Thermoelectric Generators /RTG/). 5,6 MeV enerjili alfa tanecikleri yayınlayan Pu 238 izotopu, aküdeki 4,8 kg PuO₂ maddesinin yapısında bulunuyor. Pu238 radyoizotopunun 1 gramı 0,5 Watt güçte yüksek bir enerji verdiğinden uzay araçlarında kullanılıyor. Rover, örneğin, Ekim 2016'da, kaya ve kil örnekleri almak için 5.000 metre yüksekliğindeki bir dağın yamaçlarına da bu enerjiyle kolayca tırmanabilmiştir (Şekil 1).



Şekil 5: Curiosity Mars Rover aracı ve üzerindeki aletlerden bazıları: Chem Cam: kuvvetli bir laser, bir spektrometre ve camera içeriyor, **REMS:** Rover Environmental Monitoring / çevre monitörü, **CheMin:** Toprak örneklerinin incelendiği kimyasal mineraloji sistemi. Diğer aletlerin kısaltmaları için bkz: /https://www.nasa.gov/mission_pages/msl/index.html

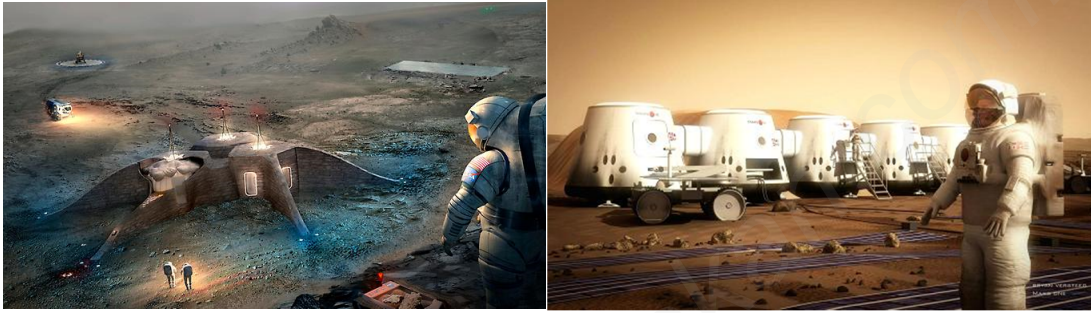
Aracın üzerinde Şekil 5'de gösterilen kameralar, laser ve spektrometreler gibi çeşitli aletlerle kimyasal ve diğer analizler yapıp sonuçlar NASA'ya, aracın üstündeki verici antenden, radyo dalgalarıyla iletilmektedir. Mars'tan dünyaya olan büyük uzaklık (ortalama 250 milyon km) nedeniyle, ışık hızındaki sinyaller, NASA kontrol merkezine 15 dakika kadar bir gecikmeyle ulaşabiliyor. Gerek Rover'in dünya üzerinde hazırlanması ve yapımı gerekse Mars'a yollanması ve orada çalıştırılmasıyla ilgili olarak harcanan para 2,5 milyar usd'yi bulmuştur. Ekim 2016'ya kadar Rover'in NASA'ya yolladığı fotoğraf sayısı 180.000 kadardır. Öte yandan, NASA'nın 2030 yılında 4 astronotu Mars'a yollamakla ilgili bir proje üzerinde çalıştığı medyada yer alıyor.

- Mars'ta yaşanabilir mi? 200.000 kişilik koloni kurma girişimleri!

Mars, dünyadan ortalama 250 milyon km uzaklıkta (aramızdaki uzaklık, Dünya ve Mars'ın yörüngelerinde buldukları yere göre 56 milyon km ile 401 milyon km arasında değişebiliyor).

Mars'a 253 günde varan Rover, ortalama olarak günde 1 milyon km'lik bir yol almış demektir. Mars atmosferinin basıncı dünyadaki %1'i bile değil. Çekim kuvveti de çok az, dünyadaki %38'i kadar. Mars atmosferi %95 CO₂'den, %2,7 azot, %1,6 argon ve eser miktarda da CO, oksijen ve su buharından oluşuyor. İnce toz parçacıkları, sıcaklık farklarından oluşan rüzgarlarla orada bir çok yerde olabilir. Mars'ta ancak kapalı yerlerde kalınabileceği ya da özel basınçlı giysilerle dışarıda dolaşılabilmesi açık (Bkz. Şekil 6). Mars'a epey su ve basınçlı hava da götürmek gerek. Sıcaklık +20 ile -80 hatta -150 derece arasında değişebiliyor. Ay'da +130 ile -160 C° , Venüs'te ise 400 C° olduğundan, Mars oldukça yaşanabilir bir yer olarak görüldüğünden Mars'a gitmek için ilgi epey büyük. Son yıllarda Mars'a insan götürüp orada koloni kurmak girişimlerinin epey çoğaldığı medyada yer alıyor /3/. 200.000 kişiyi barındırabiliriz diyenler var. Öte yandan Mars'a gitmek için başvuran her kişinin, uzay yolculuğuna katlanabilecek astronot sağlığında ve becerisinde olması beklenemeyeceğinden bir çok kişinin eleneceği beklenir.

Şekil 6: Science Fiction resimlerinden : Kozmik ışınlardan, toz fırtınalarından ve aşırı sıcaklık değişimlerinden korunmak için çoğu Mars yüzeyinin altında olacak şekilde tasarlanan yerler ve Mars'ta yaşam modelleri



Dünyanın %1'i kadar bile olmayan Mars'ın ince atmosferi, buna rağmen, kozmik ışınlarının etkisini bir miktar azaltabiliyor ve radyasyon dozu bu nedenle Mars yolculuğunda alınan dozun yarısından daha az. Uzun dönüş yolculuğunda kozmik ışın dozu, gidiş dozuyla birlikte kanser riskini artıracığından gidenlerin orada ölene kadar kalmasının gerektiğini ileri sürüp dönüş bileti verilmeyeceği medyada yer alıyor. Mars'ta kapalı yerlerde sebze meyve yetiştirilebileceği de belirtiliyor.

Mars'ta hastalanan, ivedi ilaç ya da tedavi ve ameliyat bekleyen insanlara ise ancak 6 ay sonra dünyadan yardım gelebileceğinden (o da uzay aracı hemen yola çıkarsa!), insanlar, bu yardım gelmeden önce, daha da hastalanıp ölebilirler. Mars'a gidecek insanları, orada hiç de kolay uyum sağlayamayacakları nasıl bir yaşamın beklediği, ne çeşit basınçlı giysi ve barınaklarda uzun süre hava yokluğundan, soğuktan, radyasyondan ve diğer etkenlerden korunmalı olarak nasıl kalabilecekleri sorgulanabilir. Böyle bir yaşamın ise, dünyada alışageldiğimiz yaşamla bir ilgisinin olmayacağı açık. Ayrıca yolcuların, gerek Mars yolundaki küçük kapsülde gerekse Mars'taki barınaklarda geçirecekleri uzun sürede psikolojik sorunlar yaşamaları, birbirlerine sataşmaları hatta saldırmaları da beklenebilir. Daha büyük şiddet olaylarının yanı sıra beyin hasarı, kanser ve diğer hastalık riskleri de göz önüne alındığında, Mars'ta yaşamın hiç de özenilecek bir yaşam olmayacağı ve 'science fiction' olarak kalacağı daha büyük bir olasılıktır. Belki, ISS uzay istasyonunda olduğu gibi, bilimsel araştırmalar yapacak sınırlı sayıda astronotun ileride Mars'ta kurulabilecek bir istasyonda **sürelili** olarak kalabileceklerini, eğer bulunabilirse bazı değerli madenleri ya da taşları orada işleyebileceklerini ya da ilaç gibi bazı maddeleri üretilip dünyaya getirebileceklerini düşünebiliriz. Ancak bu işler için bile ilerideki araştırmalara göre Mars ya uygun olmayabilir ya da bugünden bilinmeyen başka nedenlerle, değerli madenlerin asteroid'lerde (göktaşlarında) elde edilmeleri ve ilaçların da ISS gibi uzay istasyonlarında üretilmesi belki de daha uygun olabilir /Bkz. 4/. Uzay'la ilgili genel bilgiler için Bkz. /5/.

Radyasyon fiziğinin yazıda geçen kavram ve birimleri

İyon Çifti :

Atomlarla etkileşme sonucunda, ışınların atomların dış yörüngesinden elektron söküp, normal olarak elektriksel olarak yüksüz bir atomu, elektriksel yüklü duruma' getirmesi ve böylelikle bir iyon çifti oluşturması. Örneğin bir gama fotonunun havadaki bir azot atomunun dış yörüngesinden bir elektron sökmesi sonucu, serbest bir elektronla, geriye bir elektronu eksik bir azot atomu (iyonu) kalmasıyla oluşan 'iyon çifti'(Ayrıntılı bilgiler: /2/).

Radyasyon doz birimi: Gray

Radyasyonun maddeye aktardığı enerji kg başına 1 Joule ise bu 1 Gray doz olarak tanımlanıyor.

Aslında hücreler için çok büyük enerji olan ve hücrenin işlevini bozabilen 1 Joule'lük enerji, pratikte çok küçük bir enerji miktarıdır: Örneğin 100 gramlık bir çukulata paketini 1 metre yukarı kaldırmak için 1 Joule'lük bir enerji gerekiyor.

Radyasyon eşdeğer doz birimi: Sievert

Radyasyonun kalite katsayısıyla, Gray cinsinden dozun, çarpımı eşdeğer doz olarak tanımlanan Sievert'i veriyor. Kalite katsayısı radyasyonların cins ve enerjilerine göre değişiyor. Protonlar için 2 ve daha büyük, alfalar için 20 iken gama ve betalar için 1. Sievert dozu, hücreler için çok büyük bir birim olduğundan bunun binde biri olan miliSievert kullanılıyor.

Kaynaklar:

/1/ *Messung der Strahlenbelastung auf dem Mars*, Ralf-Mirko Richter, 11.Dez.2013, JPY Planetary Society ve *Measurements of Energetic Particle Radiation in Transit to Mars on the TheMars Science Laboratory* C.Zeitlin el al. /

<http://science.sciencemag.org/> January 2017 devam...

/2/ *Radyasyon ve Sağlığımız?* kitabı Nobel yayınları, 2014, Yüksel Atakan

https://www.nobelkitap.com/kitap_113005_radyasyon-ve-sagligimiz.html

/3/ <https://de.wikipedia.org/wiki/Marskolonisation>

/4/ Uzay Madenciliği, Herkese Bilim Teknik dergisi, 31.Sayı, 28 Ekim 2016, Sf.6, Mehmet E.Özel

/5/ „Uzay“ kitabı, Fuat İnce, Nobel Yayınları, 2015