

GEZİCİ MİKRO AY ROBOTU PROTOTİP TASARIMI

Necmi Cihan ÖRGER*, Bilgehan ÖZCAN† ve Turgut Berat KARYOT‡
İstanbul Teknik Üniversitesi/Uçak ve Uzay Bilimleri Fakültesi, İstanbul

ÖZET

Gezici mikro uzay robotu araştırma ve geliştirme çalışmaları son yıllarda birçok araştırma kurumunda yaygın bir şekilde gerçekleştirilmektedir. İnsanlı görevler ile karşılaştırıldığında robotik görevler birçok avantaj sağlamakla birlikte, robotların insanlı görevlerde yardımcı etmen olarak kullanılması öngörülmektedir. Bu çalışmada mikro boyutlarda olan hafif bir gezici Ay robot platformu tasarımı önerilmiştir. Çalışmanın hedefi, Ay yüzeyindeki kraterler etrafında çarpışma sonrası oluşan dışa atım bölgelerinde araştırma yapabilecek bir aracın yüzeyden örnek alabilmesini sağlayacak manipülatörünün ve genel olarak aracın kendisinin tasarımının yapılmasıdır. Bu araç hareketli bir platform olmalı ve bulunduğu zeminde ilerleyerek yüzeyden örnek alabilmesini sağlayacak bir manipülatörü barındırmalıdır. Yapılan çalışmanın sonucunda dört tekerlekli bir gezici araç, bu araca tümleşik dört hareketlilik dereceli robotik bir manipülatör kol/uç organ tasarımı öngörülmektedir. Söz konusu aracın güvenli seyir edebilmesi için gerekli görülen çevre algılama, özellikle görüntüleme teknolojisinin gereklilikleri belirlenmiş olup üzerinde çalışma yapılmaktadır. Bu çalışmalar sonucunda, yüzeydeki gölgelerden yararlanarak tanımlama yapan bir sistem ile bu sistemin eksiklikleri doğrultusunda geliştirilen laser tarama sistemi tanımlanmıştır.

GİRİŞ

Ay, Mars ve diğer gök cisimleri üzerindeki yüzey keşifleri, gün geçtikçe bilimsel açıdan önem kazanmaktadır. Jeolojik olarak ilgi çekici bölgelerde araştırma yapılması, gelecekte yapılması planlanan insanlı görevler gibi birçok bilimsel çalışma için katkı sağlamaktadır [Schafer, Leite ve Rebele, 2011]. Bir gezici mikro robot platformu tasarlandıktan sonra küçük değişiklikler yapılarak farklı görevlere uyarlanabilirliği, özgün tasarım tamamlandıktan sonra hızlı ve daha ucuz şekilde tekrar üretilebilirliği, fırlatma ve yere inişinin daha kolay yapılabilmesi gibi birçok avantaja sahiptir. Bu özellikteki mikro robotlar, grup halinde saha çalışması yaptıklarında daha yüksek oranda veri toplama ve daha karmaşık davranışlar sergileyerek daha zor görevleri tamamlayabilme özelliklerine sahiptir [Levinson, 2008].

Dünya'nın manyetik alanı ve atmosferi radyasyondan koruma sağlarken, Ay yüzeyinde her ikisinin de eksikliği görülmektedir. Uzay ortamındaki radyasyonu belirleyen dört ayrı çeşit ışın kaynağı bulunmaktadır. Bunlar düşük enerjili Güneş rüzgarı parçacıkları (SWPs), yüksek enerjili galaktik kozmik ışınlar (GCRs), Güneş enerjisi yüklü proton (SEP) olayları sırasında açığa çıkan düzensiz hareket eden yüksek enerjili parçacıklar ve bu ışın kaynaklarının Ay yüzeyindeki ve yüzeyin bir metre derindeki malzemelerle etkileşimi sonucu oluşan ikincil ışınlardır. İkincil ışınlar Ay yüzeyi yapısındaki ve uzay aracı içindeki malzemelerle etkileşimden de oluşabilmektedir. Yüzey üzerindeki birkaç mikron derinliğindeki iyonizasyon ise Güneş'ten gelen ultraviyole (UV) ve X ışını

* Yüksek Lisans Öğr., Uçak ve Uzay Müh. Böl., E-posta: norger@itu.edu.tr

† Yüksek Lisans Öğr., Uçak ve Uzay Müh. Böl., E-posta: ozcanbi@itu.edu.tr

‡ Y.Doç.Dr.,Uzay Müh. Böl., E-posta: karyot@itu.edu.tr

fotonlarından meydana gelmektedir. Gelecekte yapılacak Ay keşifleri için ortam özelliklerinin iyi anlaşılması ve zarar verebilecek etkilerin hafifletilmesi oldukça önemli konulardır [Carpenter, 2012].

Pozitif yüklü iyonlar yüksek yoğunluklu malzemeler ile çarpıştığında, bölünüp birçok ikincil parçacık üretirler. Bu yüzden, ikincil parçacıkların durdurulması için daha kalın malzeme ile koruma sağlanması gereklidir. Hafif malzemeler protonların enerjisini daha iyi zayıflattığı için, bu malzemelerin kullanılması ikincil parçacık tehlikesini azaltacaktır; ancak, düşük yoğunluklarından dolayı bu tipteki malzemelerden daha fazlası radyasyon koruması için gerekmektedir. Ayrıca, yüksek yoğunluklu malzemelerin aksine, foton ve elektronların enerjisini düşüremeyeceklerdir. Kalın korumaların kullanılması, malzeme kabuğu ile çarpışmadan kaynaklanan nötron ve gamma ışını gibi tehlikeli ikincil radyasyonlara sebep olabilecektir [Wilson, 1999]. Bu yüzden, en iyi korumanın sağlanabilmesi için düşük yoğunluğa sahip malzemeler gibi yüksek yoğunluğa sahip malzemeleri de içeren çok katmanlı koruma kullanılmalıdır [Zeynali, Masti ve Gandomkar, 2012]. Kullanılan elektronik donanımın radyasyon toleransları üretici firmaların kataloglarından incelenip radyasyon koruması tasarımı yapılması gerekmektedir.

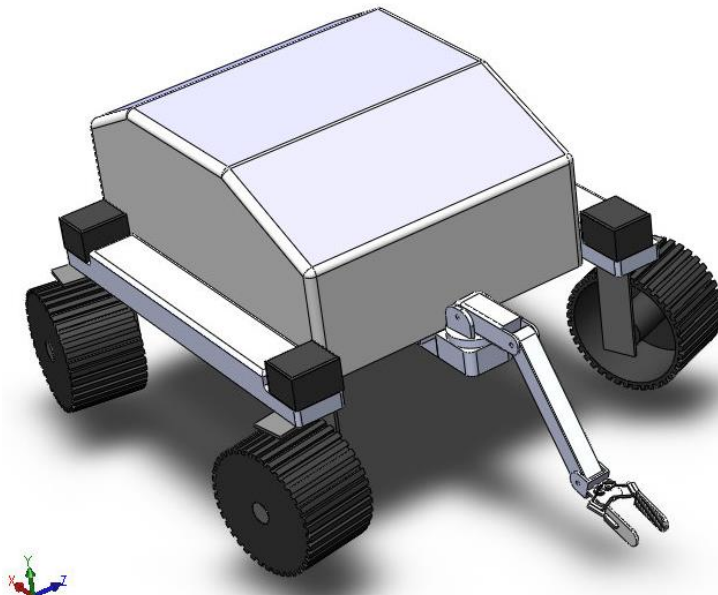
GEZİCİ AY ROBOTU TASARIMI

Ön tasarım aşamasında, gezici mikro robotun süspansiyon sistemi öndeki iki tekerleği döner bir ekleme bağlı olan altı tekerlekli bir yapı olarak öngörülmüştür, ancak bu boyutlardaki mikro bir aracın ağırlık ve enerji kısıtlamaları göz önüne alındığında daha hafif olan dört tekerlekli bir tasarıma geçilmiştir. Bu sayede her bir tekerleği dönme hareketi ile yönelimini değiştirebilen, sekiz hareketlilik derecesine sahip bir süspansiyon sistemi tasarlanmıştır. Bu tipte bir mikro robot, pozisyonunu değiştirmeden kendi etrafında dönerek yönelimini değiştirebilmekte, daha keskin açılı dönüşler yapabilmekte ve engeller etrafında daha rahat hareket edebilmektedir.

Genel Mimari

- Gövde yapısı ve mekanik yapılar
- Elektronik donanım ve bilgisayar donanımı
- Algılayıcılar ve eyleyiciler
- Gerçek-zamanlı yerleşik yazılım
- Görev yazılımı ve araçları

Tasarlanan mikro Ay robotu yaklaşık 10,0 kg ağırlığa sahip olup, 365,0 mm yükseklik, 575,0 mm uzunluk ve 575,0 mm genişliğe sahiptir. Tekerleklerin dönme eksenleri arasında 420,0 mm açıklık vardır ve her bir tekerleğin yarıçapı 75,0 mm'dir.

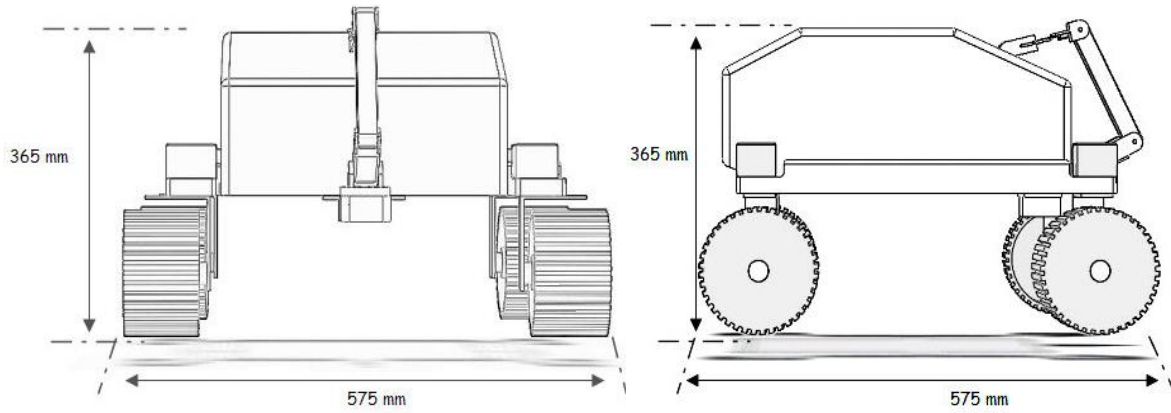


Şekil 1: Gezici Ay Robotu Tasarımı

Tasarımı yapılan aracın süspansiyon sistemi hareket kabiliyeti konusundaki en önemli etmenlerinden biridir, bu yüzden tasarım sırasında tekerlekli sistemler gibi diğer mekanik sistemler de göz önünde bulundurulmuştur. Ancak, tekerlekli sistemler basit ve gelişmiş bir teknoloji olup, daha hafif ve düz yüzeyler üzerinde daha yüksek hızlarda yol alma kabiliyetine sahiptir. Ayrıca, daha düşük enerji tüketimine sahip olduğu gibi daha yüksek faydalı yük/mekanizma ağırlığı oranı sağlamaktadır. Dezavantaj olarak, tekerleklerin kaymasından kaynaklanan daha düşük tırmanma açısı ve yüksek engelleri aşamama gösterilebilir.

Genel hareketlilik ve çevre ile etkileşim sisteminden beklenen özellikler şu şekilde sıralanabilir:

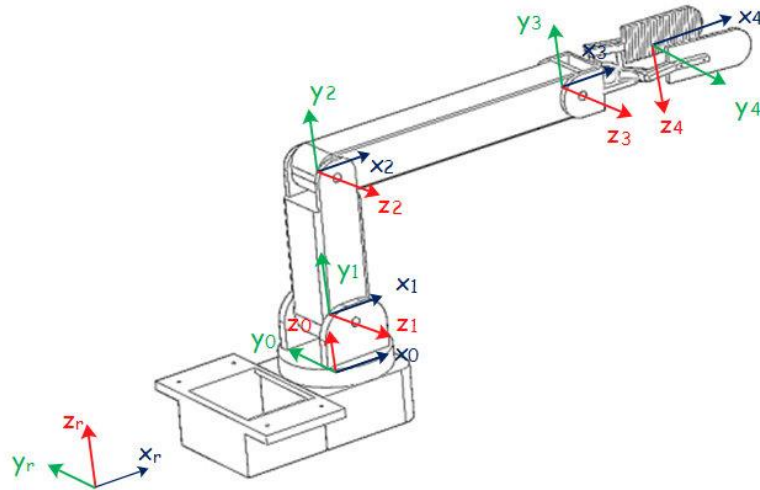
- Birbirinden bağımsız tahrik ve kumanda edilebilen 4 tekerlekli süspansiyon
- Ortalama hız ~ 3 cm / s
- Hareket halinde engelleri algılama uzaklığı ~ 20 cm
- Engellerden güvenli alt açıklık $\sim 13,8$ cm
- Aşabileceği en yüksek engel 7,5 cm
- Çoklu sürüş biçimleri (yerinde dönme, "yengeç", aktif pasif sürüş vb.)
- Aracın önüne yerleştirilmiş 4 hareketlilik dereceli robot kolu



Şekil 2: Gezici Ay Robotunun Ölçüleri

Robotik Kol Tasarımı

Robotik kol, araçtan yaklaşık 240,0 mm uzağa erişerek yüzeydeki bir örneği kavrayıp ardından robotun üzerinde bulunan bir hazneye bırakabilecek şekilde tasarlanmıştır. Dört hareketlilik derecesine sahip olan manipülatör kolun uç organı, ulaştığı zeminde olası bulunan 2-3 cm³ hacimli örnek cisimleri kavrayacak şekilde ölçülendirilmiştir. Tek eyleyici kullanılarak açma-kapama tutma-bırakma hareketi yapması sağlanacaktır.



Şekil 3: Robotik Kolun Eksen Atamaları

Robotik Kolun Mekanik Tasarım Amaçları

- Bir gezici mikro robotun üzerine monte edilebilecek bir robot kolu tasarlamak
- Yeterli sayıda hareketlilik derecesine sahip olmak
- Çalışma alanını olabir en yüksek seviyeye çıkarmak
- Ana araca eklenen ağırlığı en düşük seviyede tutmak
- Eyleyiciler ve algılayıcılar gibi donanımı barındırmak için yeterli hacme sahip olmak
- Manipülâtörün eklemlerinin çarpışma riskini en düşük seviyede tutmak
- Uç organını Ay yüzeyine uzatabildiği gibi, ardından gezici robotun üzerindeki hazneye örnekleme için ulaştırabilmek

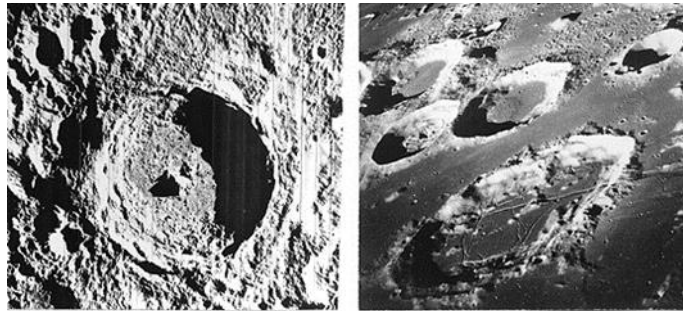
	a	α	θ	b	<i>Hazır-ol Durumu</i>
R ← 0	220 mm	0°	0°	164 mm	-
0 ← 1	0	90°	θ_1	30 mm	0°
1 ← 2	80 mm	0°	θ_2	0	90°
2 ← 3	160 mm	0°	θ_3	0	0°
3 ← 4	81,3 mm	90°	θ_4	0	0°

Çizelge 1: Denavit-Hartenberg Parametreleri Tablosu

Bilimsel Hedefler

Araştırmanın öncelikli ilgi alanı Ay yüzeyindeki kraterlerin etrafındaki çarpışma sonrası oluşan dışa atım bölgelerinin incelenilmesidir. Çarpışma sonrası oluşan bu bölgelerde meteordan koparak yayılmış örnekler olduğu gibi Ay yüzeyine ve yüzey altına ait maddeler de bulunmaktadır.

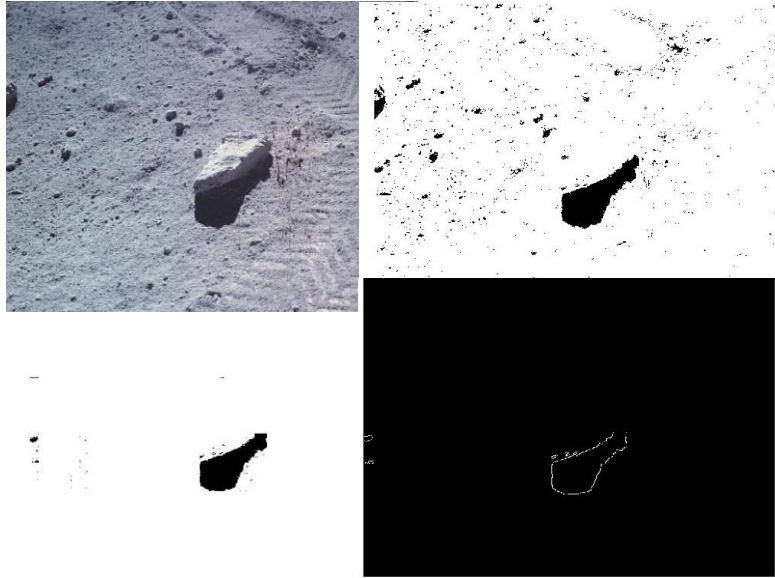
Gezici robotun ana görevi, keşif yaptığı alandaki yüzey örneklerini görsel olarak tanımlamak ve ardından robotik manipülâtör kolunu kullanarak hacim ve kütle özellikleri uygun örnekleri gövdesinde bulunan hazneye aktarır, bilimsel inceleme için saklamaktır. Yüzeyden alınan her bir örneğin 2-3 cm³ arasında hacme sahip olması öngörülmektedir, bu yüzden robot kolunun uç organı yüzeye uzatıldığında yerden katı bir örneği mekanizması ile kavrayabilecek şekilde tasarlanmıştır.



Şekil 4: Ay Yüzeyindeki Krater Görüntüleri

Görüntü İşleme

Yüzeydeki kaya örnekleri, robot üzerindeki kamera ile alınan siyah beyaz görüntüler kullanılarak algılanabilmesi amaçlanmaktadır. Öncelikle, yazılım kaya görüntülerini kullanarak histogramındaki dağılıma göre ayarlamalar yapmakta, böylece örnekteki kayanın karanlık olan yan yüzeyinin de gölge olarak algılanması önlenmektedir. Diğer bir sorun da yüzeydeki küçük gölge alanlarıdır, bu yüzden sisteme bu alanları temizlemek üzere bir filtre yazılmıştır. Güneş ışınlarının geliş açısı, gölgenin boyutları ve kameranın bakış açısı kullanılarak kayanın boyutuna ve (eğer örnek olarak alınacaksa) robot kolunun yüzeye yaklaşma açısına karar verilebilmesi amaçlanmaktadır.



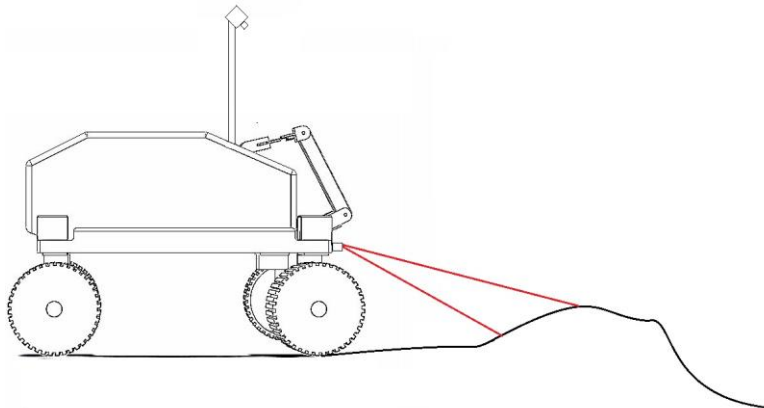
Şekil 5: Örnek Kaya Görüntüsü ve İşleniş Sırası

Bu sistemin ana problemi, çukurların içindeki karanlık bölgelerle kayalar gibi yükseltilerden kaynaklanan gölgeleri birbirinden ayıramamasıdır [Simmons, 1998]. Bu yüzden, çözüm olarak laser tarama sistemi önerilmiştir.

Laser Tarama Sistemi

Laser tarama sistemi; renkli kamera, laser kaynağı, silindirik mercek, laser huzmesinin yönelme hareketini sağlayan mekanizma ve mekanizmayı hareket ettirecek olan adım motorundan oluşmaktadır. Üçgenleme yöntemini aktif olarak kullanacak olan laser tarama sistemi, laser kaynağından gelen kırmızı renkli ışını silindirik mercekten geçirerek yüzeye çizgi halinde yansıtmaktadır. Bu şekilde, yüzeyin şeklini alan laser ışınının düzleminden gelen yansıma görüntülenmekte, hazırlanan yazılımla birlikte kırmızı pikseller algılanmaktadır. Bu sistem kullanılarak yüzey geometrisinin algılanmasında düşük hesaplama yükü ve enerji ile yüksek seviyede doğruluk oranı sağlanabilmektedir [Pedersen, Han ve Vitus, 2008]. Bu sistem için yüzey ve kamera arasındaki açı, laser ve yüzey arasındaki açı, laser ve kameranın yüzeyden yükseklikleri ve aracın duruş açıları bilinmesi gereken parametrelerdir.

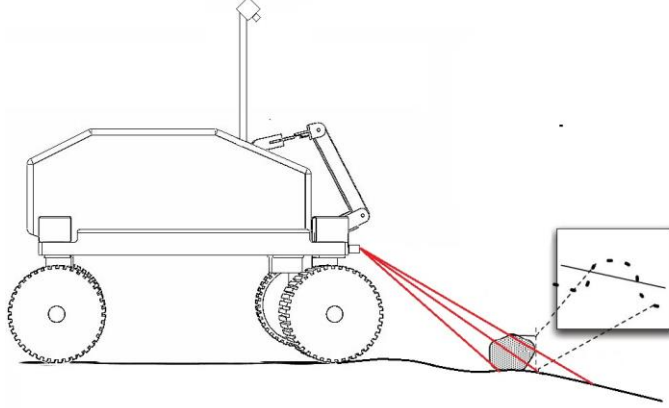
Kullanılan adım motoru, kamera sabitken laser ve silindirik mercekli mekanizmayı belirli bir açı ile döndürmektedir. Bu şekilde, kameranın görüş açısındaki tüm alan tarandıktan sonra robotun kendi başına bir sonraki davranışına karar verebilmesi amaçlanmaktadır. Robot hareket halinde iken ışın düzlemini 20 santimetre önüne yansıtarak olası engelleri ve çukurları algılayabilecek, verilen hedefe doğru güvenli şekilde ilerleyebilecektir.



Şekil 6: Laser Tarama Sistemi

Gezici Robot Sınırlamaları	Ay Yüzeyinde Tehlikeli Olabilecek Etmenler
Pozitif eğim	Çeşitli boyutlarda kayalar, yüzeye ait olan yükseltmeler
Negatif eğim	Kraterler, hendekler, aşınmış kaya yüzeyleri
Alt yüzeyde takılma	Çapraz eğim üzerindeki nesnelere

Çizelge 2: Robot Tarafından Algılanması Gerekli Olan Tehlikeli Etmenler



Şekil 7: Ay Yüzeyindeki Kayaların Algılanması

SONUÇ

Keşif ve araştırma görevlerinde kullanılan gezici mikro uzay robotları daha büyük araçlara göre daha güvenli ve düşük maliyetli olma ve ayrıca tekrar üretilebilme nitelikleri ile ön plana çıkmaktadır. Bilimsel araştırmalar için de kullanılması planlanan bu araçlar farklı görevler doğrultusunda geliştirilerek, geçmişte kullanılmış daha büyük robotlardan daha hızlı bir şekilde göreve hazır hale getirilebilmektedir.

Bu çalışmanın amacı; dört tekerlekli, hareket kabiliyeti yüksek, Ay yüzeyindeki kraterlerin etrafındaki dışa atım bölgelerinden yüzey örneği alabilecek bir araç tasarlamaktır. Araca entegre edilmesi planlanan teknolojiler için gereklilikler ve hedefler belirlenmiş, şu anda üzerinde çalışılmaya devam edilmektedir.

Araç üzerine konulması planlanan dört serbestlik derecesine sahip manipülâtörün tasarımı yapılmış ve gerçekleştirilmesi beklenen hareketlerin Matlab/Simulink üzerinde simülasyonuna başlanmıştır.

Kaynaklar

Carpenter, J.D., Fisackerly, R., De Rosa, D., Houdou, B., 2012. *Scientific Preparations for Lunar Exploration with the European Lunar Lander*, Planetary and Space Science, Cilt.74, s.208-223

Pedersen, L., Han, C. S., Vitus, M., 2008. *Dark Navigation : Sensing and Rover Navigation in Permanently Shadowed Lunar Craters*, 9th International Symposium on Artificial Intelligence, Robotics and Automation in Space, Los Angeles, ABD, Şubat 2008.

Schafer, B., Leite, A. C., Rebele, B., 2011. *Development Environment for Optimized Locomotion System of Planetary Rovers*, Proceedings of the XIV International Symposium on Dynamic Problems of Mechanics, São Paulo, Brezilya, Mart 2011.

Simmons, R., Henriksen, L., Chrisman, L., Whelan, G., 1998. *Obstacle Avoidance and Safeguarding for a Lunar Rover*, Proc. AIAA Forum on Advanced Developments in Space Robotics, Madison WI. Ağustos 1998.

Wilson, J.W., Cocinotta, F.A., Miller, J., Shinn, J.L., Thibeault S.A., Singleterry, R.C., Simonsen, L.C. ve Kim, M.H., 1999. *Materials for Shielding Astronauts from the Hazards of Space Radiations*, Materials Research Society Symposium Proceedings, Massachusetts, ABD, Kasım-Aralık 1998.

Zeynali, O., Masti, D., Gandomkar, S., 2012. *Shielding Protection of Electronic Circuits Against Radiation Effects of Space High Energy Particles*, Advances in Applied Science Research, Cilt.3 , s. 446-551