

ARAŞTIRMA AMAÇLI MODÜLER BİR HAREKETLİ ROBOT PLATFORMU TASARIMI

G. Bayar¹, A. B. Koku¹, İ. Konukseven¹

¹ Orta Doğu Teknik Üniversitesi Makina Mühendisliği Bölümü 06531, Ankara
bayar@metu.edu.tr, kbugra@metu.edu.tr, konuk@metu.edu.tr

Özet

Robotik üzerine yapılan çalışmalar arasında hareketli robotlar hızla gelişen bir araştırma alanını oluşturmaktadır. Hareketli robotların potansiyel uygulama alanları, eğitim kurumlarının, sanayinin, devlet kurumlarının ve güvenlik şirketlerinin ilgisini çekmeye başlamıştır. Günümüzde hareketli robotlar bir çok alanda değişik görevleri üstlenmişlerdir. Yakın gelecekte bu robotların daha da yoğun şekilde kullanılması beklenmektedir. Hareketli robotlarla yapılacak farklı araştırma konuları farklı robotlar gerektirmektedir. Ayrıca, robot üzerindeki duyucuların kolaylıkla eklenip çıkartılabilmesi ve yerlerinin değiştirilebilmesi araştırmacılar için çok önemlidir. Bu nedenle hareketli robot alanında çalışmalar yapan araştırmacıların beklentilerine çözüm üretmek amacıyla, değişik uygulama alanlarında kullanılabilecek hareketli bir robot platformunun tasarımına ODTÜ Makina Mühendisliği Bölümü'nde başlanmıştır. Bu çalışmada amaç esnek ve modüler bir yapıyı meydana getirmektir. Bu makalede günümüzde kullanılan hareketli robotlar hakkında kapsamlı bir inceleme sunulduktan sonra tasarımı tamamlanmış olan robot hakkında bilgi verilecektir.

Anahtar Terimler: Hareketli robot, modüler robot

Abstract

Mobile robotics has become a rapidly developing field of interdisciplinary research within robotics. The potential application areas of mobile robots have attracted the attention of academy, industry, several government agencies. Mobile robots are being used for various tasks. In the near future, it is expected that mobile robots usage will sharply increase. In order to get ready for what seems to be coming up, we have already started to design a mobile robot base in Mechanical Engineering Department at METU. This paper presents a detailed overview of some mobile robots and then focuses on the mobile robot base design completed at our university.

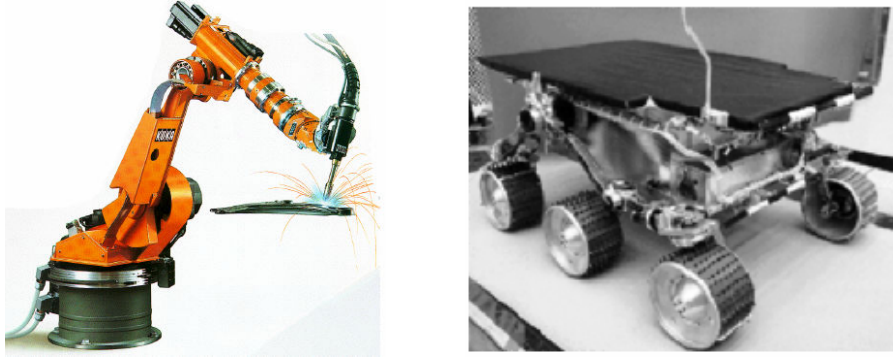
Key Words: Mobile robot, modular robot

1. GİRİŞ

Hareketli robotlar, robotik alanında disiplinler arası yapısı ile hızlı gelişen bir araştırma alanı oluşturmaktadır. Son yıllarda hareketli robotlar, eğitim kurumlarından araştırma merkezlerine, devlet kurumlarından güvenlik şirketlerine kadar geniş bir kesimin ilgisini çekmiş ve popüler bir robotik çalışma alanı haline gelmeye başlamıştır. Her geçen gün hareketli

robotların kullanım alanı genişlemekte olup yakın gelecekte bu alana olan ilgi daha da artacak [1] ve bu robotlar hayatımızda önemli görevler üstlenecektir.

Hareketli robot tasarımı, disiplinler arası çalışma gerektiren en kapsamlı çalışma alanlarından birisidir. Hareketli robotlar, sabit bir noktada çalışmanın aksine, sürekli yer değiştiren ve bu sırada kontrol edilmesi gereken mekanik bir ana yapıyı içerir [2]. Robotun sürekli hareket etmesi, değişen ve birçok belirsizlikle dolu bir ortamda bulunması ve dolayısı ile denetlenebilmesinin zorlaşması anlamına gelmektedir. Ayrıca, hareketli robotlarda, sabit bir noktada çalışan bir robot kol ve kullanıcısı arasındaki etkilişime göre çok daha gelişmiş bir arayüze ve haberleşme teknolojisine ihtiyaç duyulmaktadır. [3] (Şekil 1).



Şekil 1. Kuka kaynak robotu ve Sojourney hareketli robotu.

Hareketli bir robot, bağımsız hareket edebilmek için ihtiyaç duyacağı enerji kaynağını da yanında taşımak durumundadır. Görev yapacağı duruma göre, hareketli bir robot düz engebesiz zeminde kuru bir havada, asfalt zeminde yağmurlu bir havada ya da bunun yanı sıra çamurlu, taşlı bir zeminde yavaş veya yüksek hızlarda hareket etmek ve bu sırada da etrafındaki canlı ve cansız varlıkları da göz önünde bulundurmamak durumundadır. Hareketli bir robotun çevresinin belirsizlikler nedeni ile önceden detaylı bir şekilde modellenememesi, algı sistemleri ile karar verme yetilerinin endüstriyel robotlara göre daha karmaşık olmasını gerektirmektedir. Bu nedenlerle hareketli robotlar, endüstriyel robotlardan önemli bir şekilde ayrılmakta ve çok geniş bir araştırma alanını oluşturmaktadırlar.

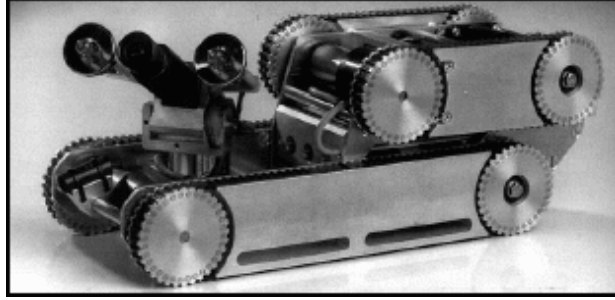
Günümüzde hareketli robotlar genellikle belirli görevler ve bu görevleri gerçekleştirecekleri ortamlar dikkate alınarak tasarlanmakta ve genel amaçlı tamamlanmış hareketli bir robot platformu tasarımından söz etmek mümkün görünmemektedir.

Bu çalışma kapsamında, öncelikle hareketli robot araştırmalarında kullanılacak, esnek bir robot platformunun geliştirilmesi hedeflenmektedir. Bu robot platformunun mümkün olduğunca değişik uygulama alanlarında kullanılabilmesi için de modüler bir yapıda olması amaçlanmıştır. Rahatlıkla taşınabilmesi, kısa zamanda konfigürasyonunun değiştirilebilmesi, engebeli arazi koşullarında hareket edebileceği gibi iç ortamlarda da rahatlıkla hareket edebilmesi, tekerlekli, paletli ve hem tekerlekli hem de paletli olarak tahrik edilebilmesi tasarım çalışmasının ana hedeflerindedir. Bu tasarım sonucunda esnek ve modüler bir araştırma robotu elde edilecek ve değişik uygulama alanlarında hareketli bir robot platformu üzerinde araştırma yapmak isteyen araştırmacıların hizmetine sunulacaktır. Akademik uygulamalarda da modüler bir robot platformu olarak kullanılması öngörülen bu çalışma ile robot tasarımcılarına tasarım sürecinde nasıl bir yol izleyebilecekleri hakkında ışık tutması da hedeflenmektedir.

2. HAREKETLİ ROBOT PLATFORMLARI

Cam temizliğinden nükleer atık temizliğine, arama kurtarma çalışmalarından hasta refakatine, su altı araştırmalarından uzay araştırmalarına kadar bir çok alanda kullanılabilen hareketli robotlardan günümüzde çok sayıda üretilmiştir. Robotlar insanlar için rutin, tehlikeli, uzak ve sağlık açısından sakıncalı ortamlarda en etkili şekilde kullanılabilmektedirler. Bu nedenlerle robotlar insan hayatını daha da kolaylaştırıcı rol oynamaktadırlar. Hareketli robotlar görev aldıkları yerin ortam bilgilerini toplayıp, analiz ederek bu verileri kullanıcıya gönderme yetisine sahiptirler. Daha önce ulaşılamamış yerlerin keşfi bu tarz robotlarla gerçekleştirilebilmektedir.

4500 yıl önce inşa edilen eski Mısır piramitlerinden Giza Büyük Piramidi içinde ulaşılamamış birçok bölge vardı. Bu keşfi sonlandırmak için iRobot firmasının mühendisleri Pyramid Rover (Şekil 2) adlı hareketli robot platformunu geliştirdiler [4]. Bu robot sayesinde piramidin keşfi başarıyla tamamlandı ve 4500 yıllık gizem ortaya çıkarıldı. Maksimum hızı 4.5 m/dak olan Pyramid Rover 12 cm genişliğinde, 28 cm yüksekliğinde, 30 cm uzunluğunda ve piramidin içerisindeki havalandırma kanallarında rahatça hareket edebilecek şekilde tasarlandı. Üzerinde kamera, sensör ve ışık kaynağının yanı sıra bir de robot kol bulunmaktadır.



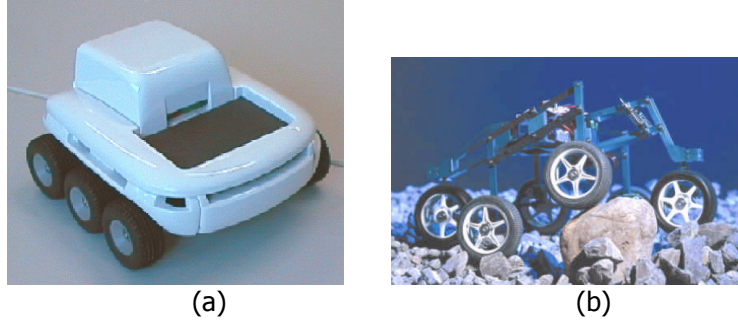
Şekil 2. iRobot firması tarafından geliştirilen Pyramid Rover

NASA için üretilen Nomad adlı robot (Şekil 3) önemli hareketli robot platformlarından birisidir. Bu robot 1997'de Antartika'da meteor araştırmaları için kullanılmıştır. 4 adet tekerlek kullanan Nomad, otomobil sürüş sistemini kullanmaktadır [5]. Nomad'ı diğerlerinden üstün kılan özellik ise tekerleklerinin her durumda yerle temas etmesidir.



Şekil 3. Nomad Robot

Koala robot platformu (Şekil 4-a) kolay taşıma ve kullanım için tasarlanmıştır [6]. İç ortamların yanı sıra dış ortamlarda da kullanılabilir. Kolay kullanımı ve hafifliği onu farklı kılan özelliklerdendir. Bu robot platformu daha çok akademik araştırma amaçlı kullanılmaktadır.



Şekil 4. Koala (a) ve Shrimp (b) hareketli robot platformları

Arazi şartlarında insan taşıma amaçlı tasarlanan Hybtor hareketli robot platformunda 4 tekerlek ve 4 bacak kullanılmaktadır. 3 kW'lık içten yanmalı motoru ile sadece tekerleklerini kullanarak saatte 7 km hıza ulaşabilmektedir. Bu da ona dış ortamlarda etkin bir şekilde çalışabilme olanağı sağlamaktadır. Tekerlekli, yürüyen ve tekerlekli-yürüyen mod olmak üzere bu robot 3 farklı konfigürasyonda kullanılabilir. 1.2 m uzunluğunda, 1 m genişliğinde ve 60 kg ağırlığında olan bu platform 160 kg yük taşıma kapasitesine sahiptir.

Uzay araştırmaları için tasarlanmış olan Rocky7, Shrimp (Şekil 4-b) and Octopus isimli hareketli, hafif ve küçük robot platformları tekerlekli-bacaklı konfigürasyonunu kullanmaktadırlar. 8 tekerlekli Rocky7, Mars araştırmaları için tasarlanan Sojourner hareketli robot platformunun (Şekil 1) bir üst versiyonudur [7]. 61x49x31 cm ölçülerinde ve 11.5 kg ağırlığında olan bu robot 6 serbestlik derecesine sahiptir. Shrimp, 6 DC motor ve 6 tekerlek kullanmaktadır. 60x35x23 cm ölçülerinde ve 3.1 kg ağırlığındadır. Bu robotun önünde ve arkasında manevra yapabilen ikişer tekerlek ve orta kısmında birer tekerleği bulunmaktadır. Bu sayede Shrimp engellerin üstünden kolaylıkla geçebilmektedir.

Nükleer atık araştırma ve taşıma amaçlı tasarlanan ve üretilen Urban hareketli robot platformu, palet kullanan robotların içerisinde önemli robotlardan birisidir. Bu robotun her iki tarafında 68.6 cm uzunluğunda birer palet ve yine her iki tarafında 360° dönebilen paletli kollar vardır. Bu sayede robot engebeli ve engelli ortamlarda rahat hareket edebilmektedir.

Packbot hareketli robot platformu (Şekil 5) kimyasal atık arama, bulma ve taşıma görevi için tasarlanmıştır. Askeri uygulamaların yanısıra bomba imha görevinde de emniyet güçleri tarafından kullanılmaktadır. Palet kullanan bu robot platformu değişik arazi koşullarında hareket edebilecek şekilde tasarlanmıştır.



Şekil 5. Packbot

Günümüzün en popüler hareketli robot platformu Talon robot (Şekil 6) her türlü hava koşulunda çalışabilecek şekilde tasarlanmıştır [8]. Palet kullanan bu robot platformu küçük

modüller takılarak değişik konfigürasyonlara dönüşmekte ve değişik görevler için kullanılabilir.



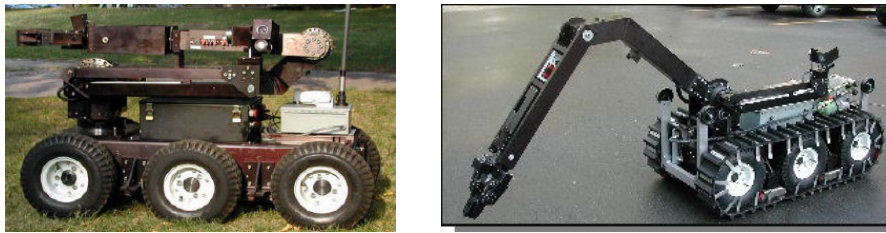
Şekil 6. Talon Robot

ATRV Micro hareketli robot platformu değişik arazi koşullarında hareket edebilecek şekilde tasarlanmıştır (Şekil 7). Ağırlık merkezinin yere yakın oluşu, her türlü hava koşulunda çalışabilmesi ve büyük tekerleklere sahip olması onun ayırt edici özelliklerindedir. Askeri uygulamalarda kullanılabildiği gibi, araştırma kurumlarında kullanılmak üzere üretilen modelleri de vardır.



Şekil 7. ATRV Micro hareketli robot platformu

Kimyasal ve nükleer atık araştırma ve taşıma amaçlı tasarlanan MR-5 hareketli robot platformu değişik konfigürasyonlarda kullanılabilmekte ve üzerine çeşitli ekipmanlar takılabilmektedir [9] (Şekil 8).



Şekil 8. MR-5 Uzaktan kontrollü hareketli robot

Verilen örneklerden de görüldüğü gibi değişik amaçlara hizmet edebilecek bir çok hareketli robot platformu tasarlanıp üretilmiştir. Bu robotlar tekerlekli, paletli yada bacaklı olarak tasarlanmıştır. Bunlar içinde en popüler olanları mekanik karmaşıklığı en az olan tekerlekli ve paletlidir. Palet kullanımı çok farklılık göstermemekle birlikte tekerlek kullanımı farklılıklar göstermektedir. Tasarlanıp üretilen hareketli robot platformlarının bir çoğu bir insanın rahatlıkla taşıyabileceği ağırlığın çok üstündedir ya da ölçüleri çok büyüktür. Hareketli robot

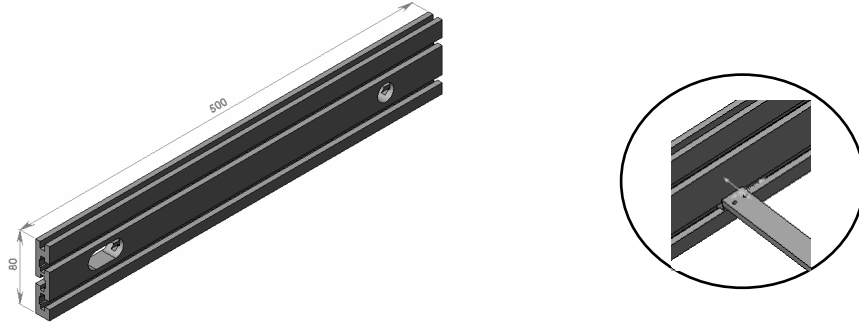
platformlarının yukarıda bahsedilen koşullarda kendi başına ya da bir yardımcı ile birlikte görev alması düşünüldüğünde hareket etmenin yanında ölçülerinin ve ağırlığının da mutlaka belirli sınırlar içerisinde olması, tasarım esnasında mutlaka göz önünde bulundurulması gereken, önemli kriterlerdendir.

3. ÇALIŞMA KAPSAMINDA GELİŞTİRİLEN TASARIM

Robot tasarımında hareketli robot araştırmaları çok değişik çalışma alanlarını içermekte ve disiplinler arası çalışmaları gerektirmektedir. Bu çalışmalar araştırma ve keşif görevlerinden taşıma ve takip görevlerine, işbirliği ve yardımlaşma hizmetlerinden insan etkileşimine kadar geniş bir perspektifte yer almaktadır. Günümüzde kullanılacak hareketli robot platformları yalnızca iç ortamlarda ya da dış ortamlarda kullanılmak üzere tasarlanmışlardır. Örnek olarak Packbot engebeli şartlarında yavaş bir hızla çalışabilmekte, bunun yanı sıra Koala dış ortamda düz zeminde hızlı bir şekilde çalışabilmektedir. Bu çalışma kapsamında değişik ortamlara zahmetsizce uyarlanabilecek, üzerine yeni duyucu ve eyleyiciler kolaylıkla eklenebilecek ve dolayısı ile çok geniş bir kullanıcı kitlesine hitap edebilecek bir robot altyapısının tasarlanması hedeflenmiştir. Esnek bir robot altyapısı oluşturmak için tahrik sistemi ve yapısal eleman seçimi konularında alternatifler değerlendirilmiş ve 3 farklı tahrik yöntemi ile yapı malzemesi olarak alüminyum profil kullanımına karar verilmiştir.

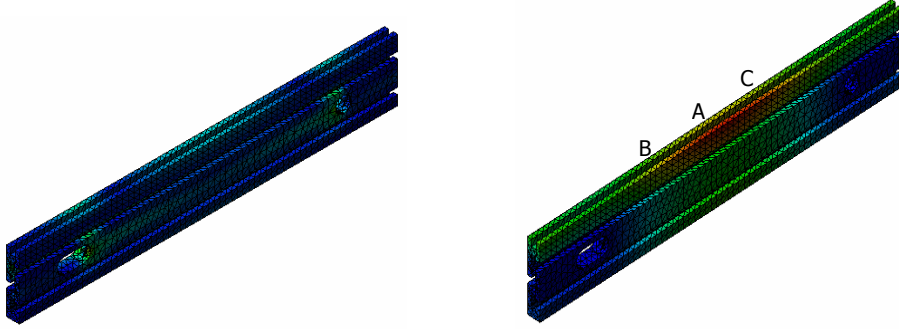
Değişik ortam koşullarında kullanılacak modüler, hareketli bir robot platformu fikri ile başladığımız tasarım sürecimiz 3 konfigürasyonu içinde barındıran, çeşitli amaçlar için rahatlıkla kullanılacak bir robot platformunun ilk modelinin tasarlanması ile devam etmektedir. Bu tasarımda günümüzün hareketli robot platformlarına göre en önemli fark tekerlek ve paletin tek bir robot üzerine yerleştirilmesidir. Düzgün zeminlerde hareketli robot tekerlekleri ile hızlı bir şekilde ilerlerken, engebeli arazi şartlarında paletler robotun zemin tutuş kabiliyetini arttırmaktadır. Yukarıda da bahsettiğimiz gibi Koala tekerlek kullanmakta ve hareketinin kısıtlı olduğu ortam koşullarında genişlemeye veya değişmeye kesinlikle izin vermemektedir. Aynı şekilde Packbod palet kullanmaktadır ve genişlemeye ve değişmeye kapalıdır. Çalışma kapsamında elde edilen tasarımda 3 ayrı konfigürasyonu kullanabilen hareketli robot platformu değişik koşullarda çalışabilme özelliğine sahip olmaktadır.

Hareketli robot platformu tasarımında hafifliği ile birlikte genişleme, esneklik ve modüler yapıya olanak vermesi nedeni ile alüminyum oluklu profil kullanılması düşünülmüştür. Şekil 9'da görüldüğü gibi platformun içine yerleştirilecek ekipmanlar profil oluklarında kayabilen çubuklar üzerine bağlanabilmektedir. Bu sayede iç alandan kazanıldığı gibi gerekli durumlarda platformun ağırlık merkezi de değiştirilebilmektedir. Bu da bugün standart olarak kullanılan robot platformu yapısına göre önemli bir esneklik sağlamaktadır. Yukarıda verdiğimiz örneklerden de görüldüğü gibi şimdiye kadar tasarlanan hareketli robotların genişlemesi ve boyutlarının sonradan değiştirilmesi düşünülmemektedir. Bunun yanı sıra robotun işlevini değiştirecek olan çeşitli ekipmanlara göre robotu yeniden yapılandırma olanağı bulunmamaktadır.



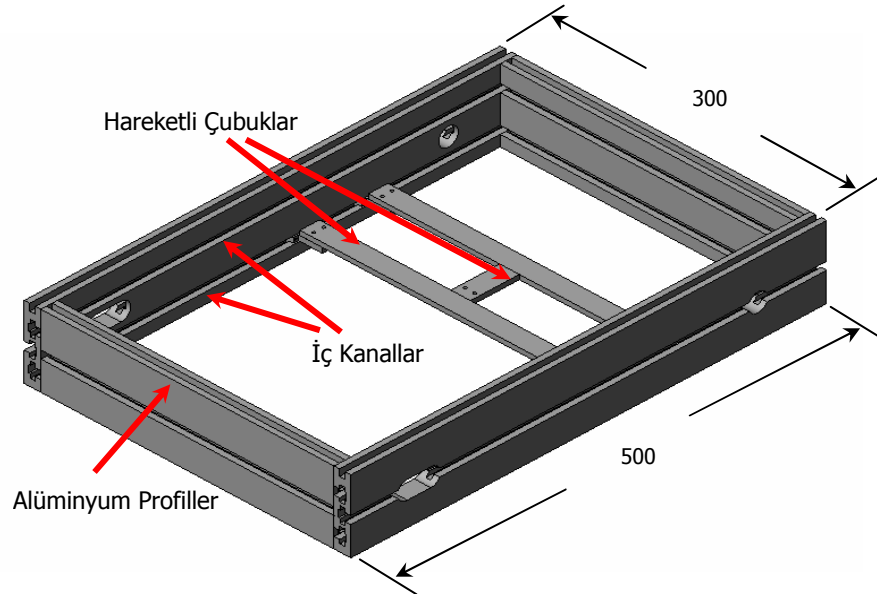
Şekil 9. Taşıyıcı aksamda kullanılan oluklu alüminyum profil

Tasarım aşamasında seçilen profillerin mukavemetleri ile ilgili çeşitli analizler yapılmış, oluklu profiller sonlu elemanlar yöntemiyle analiz yapabilen paket programlar yardımıyla çeşitli testlere tabi tutulmuşlardır. Bu testlerde robot platformunun üzerine bir insanın bastığı düşünülerek, Şekil 10'da görülen gerilim ve yer değiştirme grafikleri elde edilmiştir. Bu grafiklerden maksimum gerilim değeri mil yuvalarında 1.3 MPa ve maximum yer değiştirme A noktası civarında $5.6E-3$ mm olarak elde edilmiştir. B ve C noktalarına doğru gidildikçe bu değer azaldığı gözlemlenmiştir. Sonuçların güvenilirlik sınırlarının çok üstünde olduğu görülmüştür. Bu testler platform üzerindeki her parça için ayrı ayrı yapılmış ve güvenilirlik sınırlarının üstünde kalacak şekilde malzeme ve boyut seçimi tamamlanmıştır.



Şekil 10. Alüminyum profil mukavemet analiz sonuçları (Gerilim ve Yer değiştirme)

Ağırlık ve boyut, tasarım parametresi olarak belirlenmiş ve düşünülen değerlerin üstüne geçmemesine dikkat edilmiştir. Bilgisayar Destekli Tasarım yöntemleri kullanılarak ağırlık, boyut ve malzeme parametresine göre yapılan testler sonucunda tasarım son halini almıştır. Yaklaşık 16 kg ağırlığında olan platform 500x300 mm boyutlarındadır. Yapılan analiz çalışmaları sonucunda 200 mm çaplı oluklu havallı tekerlekler, 170 mm çaplı palet kasmağı ve çift taraflı dişli-telli esnek palet kullanılması öngörülmüştür. Taşıyıcı aksamı oluşturmak için kullanılan alüminyum profiller (Şekil 9 ve 11) montaj aşamasını kolaylaştırmakta, platformun boyutlarının kolaylıkla değiştirilmesine izin vermekte ve ayrıca çeşitli ekipmanların platforma kolaylıkla montajının yapılmasını sağlamaktadır. Şekil 11'den de görüldüğü gibi platform içinde 3 boyutta hareket esnekliği vardır. Buda iç alanının en etkin şekilde kullanılmasına olanak sağlamaktadır.



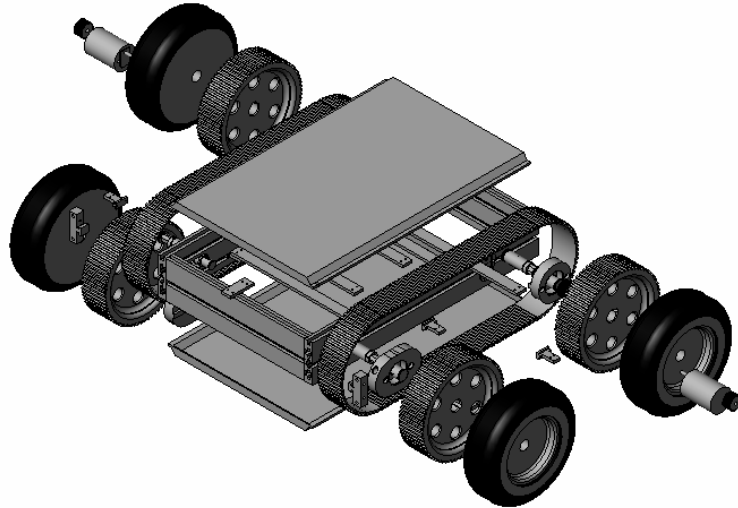
Şekil 11. Platformun iç yapısı

Şekil 12'de tasarımın katı modelinin dağıtılmış görüntüsü verilmiştir. Şekil 13'de ise tasarlanan hareketli robot platformunun 3 boyutlu katı modeli görülmektedir. Tasarım SolidWorks paket programı kullanılarak yapılmıştır. Kritik parçaların mukavemet analizleri CosmosWorks ve Visual Nastran, görsel benzetim çalışmaları CosmosMotion ve sayısal benzetim çalışmaları MatLab paket programları kullanılarak yapılmıştır.

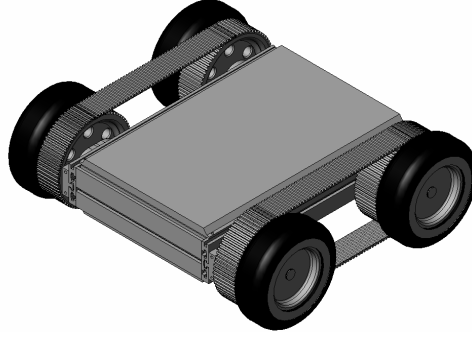
Hareketli robot platformunun hareketi 2 adet DC motor ile sağlanmaktadır. Diferansiyel sürüş tekniğinin kullanılması planlanan robot, 2 motorun bağımsız kontrolü ile hareket edecektir [10]. Oluşturulan dinamik model bilgisayar ortamına aktarılarak, hareketli robotun davranışı gözlemlenmiş ve gerekli motor özelliklerine ulaşılmaya çalışılmıştır. Bir dizi benzetim çalışması yardımı ile hareketli robot platformunun 30° lik bir eğimde hareket ettiği varsayılmış ve Emniyet Genel Müdürlüğü Hareketli Robot Şartnamesi'ne göre kıyaslandığında tatmin edici veriler elde edilmiştir. Tasarım sonucunda ulaşılan DC motor özellikleri Çizelge 1'de verilmiştir.

Çizelge 1. Tasarım sonucunda elde edilen motor özellikleri

Voltaj	Yüksüz Durumda		En Yüksek Verimde			
	Hız (rpm)	Akım (A)	Hız (rpm)	Akım (A)	Tork (g-cm)	Çıktı (W)
12	72	0.35	36	3.5	54600	40



Şekil 12. Hareketli robot platformu katı modelinin parçalanmış görüntüsü



Şekil 13. Bilgisayar Destekli Tasarım yöntemiyle tasarlanan hareketli robot platformu

4. SONUÇ

Hareketli robot çalışmaları robotik dünyasında hızla gelişen bir araştırma alanı olmuştur. Günümüzde birçok uygulama alanında kullanılmak üzere farklı yapılarda hareketli robot platformları tasarlanıp üretilmektedir. Her geçen gün ilgi daha da artmakta ve hayatın her alanında hareketli robotlar çeşitli görevler üstlenmektedirler. Bu nedenle değişik uygulama alanlarında kullanılacak hareketli bir robot platformunun tasarımına ODTÜ Makina Mühendisliği Bölümü'nde başlanmıştır. İlk başta geliştirilen esnek ve modüler robot platformunun araştırmacıların kullanımına sunulması hedeflenmektedir. Şu ana kadar Bilgisayar Destekli Tasarım yöntemiyle bir konfigürasyon oluşturulmuş olup, bu modelin çeşitli benzetim çalışmaları çeşitli paket programlar yardımı ile yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar üzerinde gerekli değerlendirmeler yapılarak, iyileştirme çalışmalarına devam edilmektedir. Bu makalede oluşturulan ilk modelin tasarım aşaması verilmiş, elde edilen tasarım günümüz hareketli robotlarıyla kıyaslanmış, bazı görsel ve sayısal benzetim çalışmaları hakkında bilgiler verilmiştir.

5. KAYNAKÇA

- [1] Economic Commission for Europe, United Nations, "World 2004 Robotics", 2004.
- [2] SIEGWART R., "Robox at Expo.02: A large Scale Installation of Personal Robots", Journal of Robotics and Autonomous Systems, 42:203-222, 2003.
- [3] SIEGWART R., LAMON P., ESTIER T., LAURIA M., PIGUET R., "Innovative Design for Wheeled Locomotion in Rough Terrain", Journal of Robotics and Autonomous Systems, 40:151-162, 2002.
- [4] <http://ranier.oact.hq.nasa.gov/telerobotics.html>, Ağustos 2005.
- [5] D. WETTERGREEN, M. BUALAT, D. CHRISTIAN, K. SCHWEHR, H. THOMAS, D. TUCKER, E. ZBINDEN, "Operating Nomad during the Atamaca Desert Trek", Proceedings of Int. Conference on Field and Service Robotics, 1997.
- [6] <http://www.k-team.com/robots/koala>, Ağustos 2005.
- [7] LAURIA J., BARRAQUAND J., "Robot Motion Planning: A Distributed Presentation Approach", International Journal of Robotics Research, 10: 628-649, 1991.
- [8] <http://www.foster-miller.com/literature/documents/talon>, Ağustos 2005.
- [9] <http://www.esit.com/mobile-robots/mr5.html>, Ağustos 2005.
- [10] Robot Desing Lecture Notes, School of Mechanical and Manufacturing Engineering, University of New South Wales, 2005.