



T.C.
EGE ÜNİVERSİTESİ
Fen Bilimleri Enstitüsü



SALINCAK MEKANİZMALI VE YAPAY ZEKAYA SAHİP OTONOM MARS KEŞİF ARACI PROTOTİPİ

Yüksek Lisans Tezi

Okan AKTUĞ

Mekatronik Mühendisliği Anabilim Dalı

İzmir

2021

T.C.
EGE ÜNİVERSİTESİ
Fen Bilimleri Enstitüsü

**SALINCAK MEKANİZMALI VE YAPAY ZEKAYA
SAHİP OTONOM MARS KEŞİF ARACI PROTOTİPİ**

Okan AKTUĞ

Danışman: Doç. Dr. Ozan ÜNSALAN

Mekatronik Mühendisliği Anabilim Dalı
Mekatronik Mühendisliği Yüksek Lisans Programı

İzmir

2021

EGE ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**ETİK KURALLARA UYGUNLUK BEYANI**

EÜ Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliğinin ilgili hükümleri uyarınca Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “Salıncak mekanizmalı ve yapay zekaya sahip otonom Mars keşif aracı prototipi” başlıklı bu tezin kendi çalışmam olduğunu, sunduğum tüm sonuç, doküman, bilgi ve belgeleri bizzat ve bu tez çalışması kapsamında elde ettiğimi, bu tez çalışmasıyla elde edilmeyen bütün bilgi ve yorumlara atıf yaptığımı ve bunları kaynaklar listesinde usulüne uygun olarak verdiğimi, tez çalışması ve yazımı sırasında patent ve telif haklarını ihlal edici bir davranışımın olmadığını, bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya diğer bir üniversitede başka bir tez çalışması içinde sunmadığımı, bu tezin planlanmasından yazımına kadar bütün safhalarda bilimsel etik kurallarına uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul edeceğimi beyan ederim.

21 /05/ 2021

İmzası

Okan AKTUĞ



ÖZET

SALINCAK MEKANİZMALI VE YAPAY ZEKAYA SAHİP OTONOM MARS KEŞİF ARACI PROTOTİPİ

AKTUĞ, Okan

Yüksek Lisans Tezi, Mekatronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Ozan ÜNSALAN

Mayıs 2021, 74 sayfa

Bu tezde salıncak mekanizmalı ve bulanık mantıkla çalışan 24 tekerlekli mobil arazi robotunun prototipinin tasarımı ve üretimi yapılmıştır.

Uzay araştırmalarında, gezegen keşif görevlerinde, kararsız hale gelmiş volkanik alanlarda, mayın arama veya bomba imha görevlerinde, deprem alanlarında insanları kurtarmada, nükleer reaktör kazalarında kullanılacak yapay zekaya sahip bir mobil robotun prototipi üretilmiştir.

Yapay zeka uygulamalarından bulanık mantıkla kontrolde Mamdani çıkarım yöntemi uygulanmıştır. Robotun görev sırasında dışarıdan müdahaleye gerek kalmadan optimum cevabı verebilmesi sağlanmıştır. 24 tekerlekli robotun “çok kademeli bogie” (multi-stage bogie) süspansiyon sistemi ile görev sırasında gövdesini sarsılmadan engebeli arazide ilerlemesi test edilmiştir. Salıncak mekanizmalı bir mobil robotun üretim, tasarım ve test aşamalarındaki zorlukları tespit edilip çözüm önerileri bu tez çalışması kapsamında ilk defa sunulmuştur.

Anahtar sözcükler: Bulanık mantık, yapay zeka, Mamdani çıkarım yöntemi, mobil robot, salıncak mekanizması.



ABSTRACT

PROTOTYPE OF AN AUTONOMOUS MARS DISCOVERY ROVER THAT HAS ROCKER-BOGIE MECHANISM AND ARTIFICIAL INTELLIGENCE

AKTUĞ, Okan

M.Sc. Thesis, Mechatronics Engineering

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Ozan ÜNSALAN

May 2021, 74 pages

In this thesis, the prototype of the mobile terrain robot with swing mechanism and 24-wheel, which works with fuzzy logic, was designed and produced.

In space exploration, planetary exploration missions, unstable volcanic areas, mine search or bomb disposal missions, earthquake sites for rescue people, nuclear reactor accidents a prototype of a mobile robot with artificial intelligence has been produced.

Mamdani fuzzy inference system was applied in control with fuzzy logic from artificial intelligence applications. It is ensured that the robot can give the optimum response without the need for external intervention during the mission. With the suspension system of the 24-wheel robot (multi-stage bogie), it has been tested to move through rough terrain without vibration its torso during the mission. The difficulties of a mobile robot with a swing mechanism in the production, design and testing stages have been explained and solutions were proposed within the framework of this thesis.

Keywords: Fuzzy logic, artificial intelligence, Mamdani fuzzy inference system, mobile robot, swing mechanism.



ÖNSÖZ

Bu tez çalışmasında doğa şartlarındaki zorlu arazilerde görev yapacak bir keşif robotunun prototipinin üretilip test edilmesi amaçlanmıştır. 24 tekerlekli olan ve arazide salıncak mekanizması sayesinde sarsılmadan ve gövdesinin dengesi bozulmadan ilerlemesi hedeflenen robotun programlanması yapay zekanın alt dallarından olan bulanık mantıkla sağlanmıştır. 24 tekerleğin kontrolü ve bünyesindeki algılayıcılarla olan etkileşiminin daha hassas olması için Mamdani bulanık çıkarım yöntemi ile algoritması geliştirilmiştir. Yer istasyonu olarak bir bilgisayar tarafından robotun konumu kontrol edilebilmektedir.

İZMİR

21/05/2021

Okan AKTUĞ



İÇİNDEKİLERSayfa

ÖZET	vii
ABSTRACT	ix
ÖNSÖZ	xi
İÇİNDEKİLER	xiii
ŞEKİLLER DİZİNİ	xvi
KISALTMALAR VE SİMGELER DİZİNİ	xx
1.GİRİŞ	23
2.GENEL BİLGİLER	23
2.1. Çalışmanın Literatüre Katkısı	26
3.GERÇEKLEŞTİRİLEN ÇALIŞMALAR	26
3.1 Mobil Robot'un Kapalı Çevrim Sistem Tasarımı	27
3.2 Motorlar ve Güç Testleri	28
3.3 Motor Sürücü Devresi	32
3.4 Mekanik Sistem Tasarımı	34
3.5 Matlab'da Bulanık Mantık Algoritmasının Oluşturulması	45
3.6 Elektronik Sistem Tasarımı	50
3.7 Yer İstasyonu ve Elektronik Haberleşme	55
4. BULGULAR	55
4.1 Statik Analizi Sonuçları	55
4.2 Yer İstasyonu ve Telemetry Sistemi	57
4.3 Bulanık Mantık Çıktıları	58
4.4 İvme Sensörü İle Elde Edilen Test Sonuçları	62

İÇİNDEKİLER(devam)Sayfa

5. SONUÇ VE TARTIŞMA.....	65
KAYNAKLAR DİZİNİ.....	68
TEŞEKKÜR	72
ÖZGEÇMİŞ.....	73





ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
Şekil 3. 1. Kapalı çevrim sistem blok diyagramı.....	28
Şekil 3. 2. Motor mili ile tekerlek milini birbirine bağlayan kaplin tasarımı	29
Şekil 3. 3. Rover için kullanılan doğru akım motorları.	30
Şekil 3. 4. Motor sürücülerine gelen PWM sinyaline göre motorun çektiği akım değişimi.....	31
Şekil 3. 5. Motor sürücülerine gelen PWM sinyaline göre motorların harcadığı güç değişimi.....	32
Şekil 3. 6. Motor sürücü devresi.	33
Şekil 3. 7. Multi-stage bogie mekanizmasını oluşturan yapının SolidWorks'te tasarımı.	35
Şekil 3. 8. Sistemin yük altında kalacak kritik bölgeleri için yapılan mukavemet analizi.....	36
Şekil 3. 9. Tekerlekleri şaseye bağlayan mil tasarımı.	37
Şekil 3. 10. Sistemin iskeletinin montaj görüntüsü.	38
Şekil 3. 11. Lazer makinasında kesilen alüminyum levha.....	39
Şekil 3. 12. Sistemin 3 kademeli olarak tasarlanan modelinin ilk mekanik montajına ait resim.	39
Şekil 3. 13. Sistemin hareketi sırasında engebeli arazide hareketine engel olan uzvu.	40
Şekil 3. 14. İlk kesilen bloklar ve daha sonra uçları kısaltılan bloklar.....	41

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
Şekil 3. 15. Engebeli araziye tırmanırken zarar gören tekerlek gövdesi.	42
Şekil 3. 16. 2 mm Alüminyum levhadan hazırlanan mobil robotun şasesi.	43
Şekil 3. 17. Hareketli mafsallar ve sigma profillerle birlikte montaj aşamasındaki robotun gövdesi.	44
Şekil 3. 18. SolidWorks programında tasarlanan tekerlekler.	44
Şekil 3. 19. Rover hız kontrol sistemi düzenleme ekranı.	46
Şekil 3. 20. Rover hız kontrol sistemi, engele 80 cm uzaklıkta, $-50,5^{\circ}$ sıcaklıkta ve %10 nemli havada hız çıktısı.	48
Şekil 3. 21. Rover hız kontrol sistemi kural tabanı.....	49
Şekil 3. 22. STM32F407 kontrol kartı pin çıkışları.....	50
Şekil 3. 23. Motor sürücülerin izolasyonu için 3 boyutlu yazıcıdan alınan baskılar.	52
Şekil 3. 24. Kontrol kartı izolasyonu için 3 boyutlu yazıcıdan kart yuvası baskısı.	53
Şekil 3. 25. Gerilim bölücü devre şeması.....	54
Şekil 4. 1. 1. Maksimum deformasyon.....	56
Şekil 4. 1. 2. Maksimum eşdeğer gerilme.....	56

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
Şekil4.1.3.Maksimum kayma gerilmesi.....	57
Şekil 4. 2. 1. Ege Üniversitesi'ndeki mobil robotun Ardurover programında anlık izlenmesi.....	58
Şekil 4.3.1. Rover hız kontrol sistemi Nem-Sıcaklık-PWM sinyali yüzey grafik ekranı	59
Şekil 4. 3.2. Rover hız kontrol sistemi Nem-Sıcaklık-PWM sinyali yüzey grafik ekranı	60
Şekil 4. 3.3. Rover hız kontrol sistemi Nem-Mesafe-PWM sinyali yüzey grafik ekranı	61
Şekil 4. 4.1. Bulanık mantık algoritması kullanılmayan, engelle karşılaştıran robotun 20 s boyunca ivmelenme grafiği	62
Şekil 4. 4.2. Bulanık mantık algoritması kullanılmayan, engelle karşılaştıran robotun 20 s boyunca ivmelenme grafiği	63
Şekil 4. 4.3. Bütün montaj aşamaları tamamlanmış robotun hazırlanan parkurda test edilmesi.	64
Şekil 4. 4.4. Robotun elektronik devreleri.....	65



KISALTMALAR VE SİMGELER DİZİNİ

<u>Kısaltmalar ve Simgeler</u>	<u>Açıklama</u>
2D	İki boyutlu uzay
ANSYS	Katı model analizi için simülasyon yazılımı
BTS7960	Doğru akım motor sürücüsü adı
°C	Derece Celcius (Sıcaklık birimi)
C#	C Sharp nesne tabanlı programlama dili
CNC	Computer numerical control
cm	Santimetre
DC	Doğru akım
Duty Cycle	Görev döngüsü
FLT Toolbox)	Matlab bulanık mantık araç kutusu (Fuzzy Logic
GPS	Global Positioning System
Hz	Frekans birimi (Hertz)
kHz	Kilohertz
m	Metre
mA	Miliamper

KISALTMALAR VE SİMGELER DİZİNİ (devam)

<u>Kısaltmalar ve Simgeler</u>	<u>Açıklama</u>
mAh	Elektriksel yük birimi miliamper-saat
MD151A	Doğru akım motor sürücüsü adı
mm	Milimetre
MPa	Megapascal (basınç birimi)
N	Newton (kuvvet birimi)
PWM	Pulse With Modulation (Sinyal Genişlik Modülasyonu)
Multi-stage bogie	Mobil robotlarda kullanılan süspansiyon sistemi
Rpm	1 dakikadaki tur sayısı (devir/dakika)
S	Saniye
V	Volt (Gerilim birimi)



1. GİRİŞ

Günümüze kadar gezegen ve asteroit yüzeylerinde araştırma yapmak için birçok keşif aracı tasarlanmıştır. İnsansız olarak görev yapması gereken bu tür araçlar mobil robotlar sınıfına girmektedir. Bu tür robotları engebeli ve çetin arazi şartlarına rağmen dengesi bozulmadan, gövdesi yere paralel olacak şekilde görev yapabilmesi için salıncak mekanizmalı keşif araçları tasarlanmıştır. Otonom olarak çalışacak bu robotların uzaktan kumanda ile kontrol edilmesi mümkün olsa da dünyadan robotun görev yaptığı gezegene göndereceği kumanda sinyalinin gecikmelerden kaynaklı acil durumlarda anlık tepki veremeyebilir. Ayrıca insan tarafından kumanda edilen bir robot insan kaynaklı hatalı bir komutla zarar görebilmektedir. İnsanlar tarafından kumanda edilmeyen, otonom olarak çalışabilen ve çetin arazi şartlarına rağmen dengesi bozulmayan bir robot prototipinin tasarımı ve imalatı bu çalışmada yapılmıştır. Yapılan robot ile ilgili arazi üzerinde denemeler gerçekleştirilmiştir. Çalışmada tasarlanan robot daha önceki robotlardan farklı olarak 24 tekerlekli olarak üretilmiş ve yapay zekanın alt kollarından olan bulanık mantık ile programlanmıştır. Robotun konumu anlık olarak telemetri sistemi ile yer istasyonundan anlık olarak takip edilebilmektedir. Bu tez çalışmasında yapılması planlanan rocker-bogie mekanizmalı sistemin programlanmasının çok güç olması, tez projesi süresinin kısa olması ve tez projesi için ayrılan bütçenin kısıtlı olması nedeniyle tez çalışması sürecinde multi-stage bogie mekanizmasına yönelinmiştir (Kilit, 2009). Tez projesi çalışmasının engelden kaçabilmesi için dümenleme yapabilmesi gerekmektedir. Ardı ardına sıralı 8 adet tekerleğin döndürülmesi sırasında yerde sürükleneceği için, robotun dümenlemesi projenin kapsamı dışında tutulmuştur.

2. GENEL BİLGİLER

Son yıllarda birçok uzaktan kontrollü veya tamamen bağımsız (otonom) insansız araçlar tasarlandığı bilinmektedir. Bu araçlar genellikle “mobil robotlar” olarak adlandırılır. Bazı mobil robotlar nükleer reaktör kazalarında, kararsız hale gelmiş volkanik alanlarda, kara mayınlarını bulma görevlerinde, deprem alanlarında insanları kurtarmak için ve gezegen keşif görevlerinde kullanılmaktadır. Temel olarak 3 kategoriye ayrılarak sınıflandırılırlar: “bacaklı”, “tekerlekli” ve

“hem bacaklı hem tekerlekli (melez)” robotlar. Carnegie Mellon Üniversitesinde geliştirilmiş olan 8-bacaklı Dante robotu volkanik bölgeden magma malzemesi toplamak için kullanılmıştır (Wettergreen, 1995). 1997 yılında 6 bacaklı ve rocker-bogie süspansiyon mekanizmasına sahip olan Sojourner isimli robot NASA tarafından geliştirilmiş ve Mars gezegeninin yüzeyinden bazı örnekler toplamak amacıyla kullanılmıştır (Jet Propulsion Laboratory, 2019). Sojourner’ın rocker-bogie mekanizmasında tekerlekler bir yanda salınım yapan çubuğa (rocker) diğer yandan ise salıncak mekanizmasına (bogie) bağlanmıştır.

Mars araçlarının dünyadan kontrol edilmesi, iki gezegen arasındaki yaklaşık 55 milyon km’lik mesafeden dolayı neredeyse 45 dakikalık bir zaman gecikmesi ortaya koymaktadır (Steuer, 1992). Bu nedenle, yarı otonom ya da tam otonom araçların tasarlanmasına ihtiyaç vardır. Engebeli bir arazi ortamında otonom hareketli robotun kararlılığını koruması son derece kritiktir. Aracın tekerlekleri gevşek toprağa saplanabilir, ya da daha kötüsü, bir engel aracın devrilmesine yol açabilir. Bu da bütün keşif görevini tehlikeye atabilir. Düzgün olmayan bir arazide hem statik hem de dinamik kararlılığı kaybetmeden hareket edebilme yeteneğine sahip bir aracı tasarlamak, gezegen araştırma görevleri için temel bir noktadır (Papadopoulos et al., 2000; Shiller et al., 1991, 2004; Tarokh et al., 1999). Çoğu modern keşif aracı tasarımları salıncak tipi süspansiyon sistemi kullanır (Tarokh et al., 1999). Salıncak mekanizmasının temel düşüncesi, çubuğun bağlantı noktasının her iki uç noktasının yer değiştirmesinin ortalaması kadar hareket etmesidir. Bu temel ilke, yolun düzgünsüzlüğünden kaynaklanan salınımların azalmasına yol açmaktadır. Bir keşif aracında salıncak mekanizması kullanımı araç gövdesinin açılma salınımlarını azaltır. Üç kademeli salıncak mekanizması kullanan yeni bir keşif aracının tasarımı ve onun engebeli bir yolda nasıl davrandığını gösteren çalışmalar göstermiştir ki çok kademeli salıncak mekanizması kullanmak daha kararlı bir araç tasarımı sağlamaktadır (Kilit, 2005). Tez kapsamında geliştirdiğimiz aracın iki yanında ve sadece ön kısmında toplam 24 adet tekerlek olacak ve çok kademeli salıncak sistemi sayesinde ana gövdenin, arazi yapısından minimal düzeyde etkilendiği görülmüştür. Bu tez çalışmasının bu anlamda dünyadaki tüm sistemlerden farklı yönü burada ortaya çıkmaktadır. Arazi zemini ne türlü olursa olsun ana gövde yere paralel kalabilmektedir. Bu yenilikçi yönü ile tez çalışmasının daha ileri tasarımlara ve projelere yol açacağı öngörülmektedir.

Tekerlekli araçlar yüzyıllardan beri yolcu ve eşya taşımak için yaygın olarak kullanılmaktadır. Ancak bu araçlar kendileri için özel olarak tasarlanmış yolların dışında kullanıldıklarında hemen etkinliklerini kaybetmektedirler. Bu nedenle, yol dışında kullanabilmek amacıyla çok sayıda araç tasarlanmıştır. Örneğin ziraat traktörlerinde toprağa batmayı önlemek ve engellerin üzerinden aşmak için büyük tekerlekler kullanılmaktadır. Diğer yandan yüksek çekiş gücüne ihtiyaç duyulan askeri tanklarda ve kar küreme araçlarında palet kullanılmaktadır. Bu her iki sistemde de temel prensip, tekerleklerle (veya paletin dişleri ile) zeminin arasındaki temas yüzeyini arttırarak çekiş gücünü arttırmaktadır. Paletli sistemde zemin yüzeyine göreli olarak daha az bir uyum söz konusu olduğu halde genel olarak her iki yol-dışı sistemde de araç tabanı zemin yüzeyini sıkıştırarak zeminin araca uyum sağlamasını ve onun şeklini almasını sağlar. Nispeten yumuşak toprakta başarı ile çalışabilen bu sistemler kullanılamaz ve yeni kavramsal tasarımlara ihtiyaç duyulur. Bu yeni tip tasarımların çoğunda arazinin araca uyum sağlamasının tam tersine araç araziye uyar. Bu sebeple bu tip araçlar Araziye Uyum Sağlayan Araçlar (Rough Terrain Adaptive Vehicle) olarak adlandırılır. Bu sınıftaki araçlar çevreyi algılar ve bu çevreye uyum sağlar (Farritor et al., 1998).

Gelecekte, uzayda arazi araçlarının yüzey şekilleri ile etkileşimi daha çok önem kazanacaktır. Otonom çalışan arazi robotlarının yüzey şekillerini, donatılmış uygun sensörler sayesinde tanıyabilmesi ve buna uygun olarak güvenli bir görev planı oluşturması ile ilgili Karl Iagnemma tarafından yayınlanan bir makalede geçen algoritma oldukça dikkat çekicidir. Cam bir fanus içerisinde bir ray hattı ile birlikte paralel olarak fanusun zeminindeki toprak üzerinde hareket eden tekerlek üzerinde ölçümler yapılmış ve buna uygun algoritmalar geliştirilmiştir (Iagnemma et al., 2004). Yapılan çalışmalar arazi araçlarının otonom olarak güvenli bir şekilde eylemlerini gerçekleştirmesinin önemini göstermektedir. Iagnemma'nın çalışmasında elde edilen veriler, bir yapay zeka karar verme algoritması ile birleştirilebilirse dışarıdan müdahale gerekmeden ve önceden görev yeri analiz edilmesine gerek kalmadan arazi robotlarının görevlerini gerçekleştirebileceklerini göstermektedir.

2.1. Çalışmanın Literatüre Katkısı

Literatürde yer alan ve uzay araştırmalarında kullanılan keşif robotlarının çoğu salıncak mekanizmalıdır. Bu tez süresinde 24 tekerlekli salıncak mekanizmalı arazi robotunun arazide hareket ederken üst gövdesinin neredeyse hiç sarsılmadığı ve bulanık mantıkla programlandığı için çevre şartlarına çabuk uyum sağlayabildiği gösterilmiştir. Çalışma sonucunda elde edinilen deneyimler ve bilgiler, sadece uzay araştırmaları değil, deprem kurtarma faaliyetlerinde yıkılan bina ve enkaz altında yapılan çalışmalarda da kendine yer edinebilecektir. Sistem geliştirildiği takdirde, bomba imha robotları veya mayın tarama robotları gibi savunma sanayiindeki uygulamalar da söz konusu olabilecektir. Volkanik araştırmalarda insanların girmesinin tehlikeli ve can kaybı yaşanma riskinin yüksek olduğu yerlerde de kullanılabilir. Nükleer enerji santrali kazalarında (Şahin, 2012) ve yoğun radyasyon olan yerlerde de yine bu tür robotlardan faydalanılabilir (Yayan, 2017).

3. GERÇEKLEŞTİRİLEN ÇALIŞMALAR

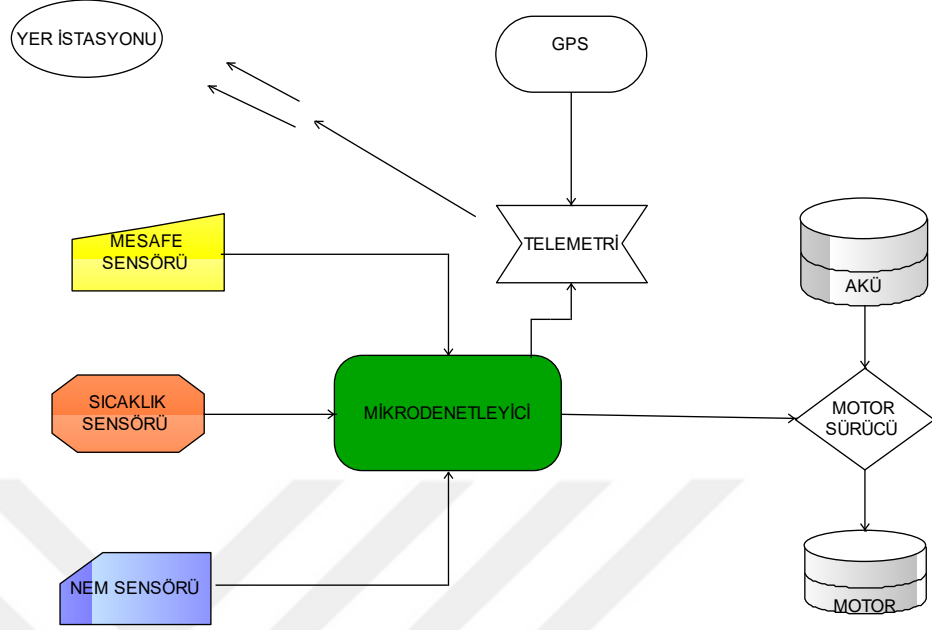
Rover tasarımını yaparken maliyetinin uygun olması ve imalatının kolay olması için tasarımda alüminyum sigma profillerinin kullanılması tercih edilmiştir. Montajının kolay yapılabilmesi ve istenildiği zaman yerine eski mekanik parçaların kolayca sökülüp, yerine yenisinin takılabileceği bir tasarım yapılmıştır. Bu sayede rover taşınırken de kolay sökülüp tekrar montajı yapılırken kaynak veya kimyasal gerekmeden tekrar birleştirilebilir. Sistemin bileşenleri bu sayede zarar görmemektedir ve daha uzun ömürlü olmuştur. Ayrıca sistemin parçalarının piyasada bulunabilen ve kolay üretilebilen parçalardan seçilmesi mobil robotun maliyetini düşürmüştür. Tekerlekler ile motor milinin bağlantısı için tornada ayrı bir parça işlenmiştir. Tekerlek milinin çapı ve motor milinin çapı birbirinden farklı olduğu için özel bir kaplin gerekmektedir. Sistemdeki toplam tekerlek sayısı 24'tür. 5 adet DC motor kullanılmıştır. 5 adet DC motor mobil robotun ilerlemesi için gerekli gücü sağlamaktadır. Motorlar, motor sürücüler tarafından bir akü vasıtasıyla beslenmektedir. Motorlar boşta ortalama 750 mA akım çekmektedir. Tam yükte sisteme entegre edildiğinde ise motorlara ihtiyacı olan akımı verebilecek sürücüler seçilmiştir. Motor sürücüsü motor yönünü kontrol ederken anahtarlama devresiyle bir adet röle tarafından gerçekteştirmektedir. Bu da güvenli bir yön kontrolü

sağlamaktadır. Kontrol kartından sürülen bu anahtarlama devresi sayesinde motorun dönüş yönü değiştirilebilmektedir. Daha sonra değiştirilmek zorunda kalınan sürücülerdeki yön kontrolü de tamamen sürücü üzerindeki yön pinleri ile sağlanmıştır. Robotun dümenlemesi daha sonraki çalışmalara bırakılarak tez kapsamı dışında tutulmuştur. Engelden kaçınması gereken robotun dümenlemesi sırasında ardı ardına gelen 8 adet tekerleğin sürüklenerek döndürülmesi çok zordur.

3.1 Mobil Robotun Kapalı Çevrim Sistem Tasarımı

Mobil robotun otonom çalışabilmesi için algılayıcılara ihtiyacı vardır. Mesafe sensörü, nem sensörü, sıcaklık sensörü gibi algılayıcılar ile elde edilen veriler daha önceden programlanmış kontrol kartıyla denetlenebilmektedir. Tez çalışması süresinde mesafe sensörleri ile testler gerçekleştirilmiştir. Sıcaklık ve nem sensörü için de algoritma oluşturulmuş ancak devreye ve testlere eklenmemiştir. Mars gezegeninde kullanılacak sensörlerin $-145\text{ }^{\circ}\text{C}$ ile $+65\text{ }^{\circ}\text{C}$ sıcaklıkları arasında değerleri ölçebilecek ve bu değerler altında çalışabilecek özellikte olması gerekmektedir. Tez projesi sürecinde sıcaklık ve nem sensörlerinin testleri tez projesi konusunun dışında tutulmuştur. Sensörlerden gelen sonuçlara göre motor sürücülere çıkış verilmektedir. Ayrıca robotun konum kontrolü anlık olarak GPS ile takip edilmektedir. GPS'ten alınan sinyal telemetri vasıtasıyla yer istasyonu olarak kullanılacak bir bilgisayardan anlık olarak izlenebilmektedir. Yer istasyonu tarafından robotun hareketine herhangi bir müdahale olmamaktadır. Sisteme bütün komutlar, mobil robotun kendi üzerindeki STM32F407 kontrol kartıyla sağlanmıştır. Eklenmesi durumunda sistemin çalışmasına ait bir blok diyagramı sistemin çalışması hakkında bilgi vermektedir (Şekil 3.1).

KAPALI ÇEVİRİM SİSTEMİN BLOK DİYAGRAMI

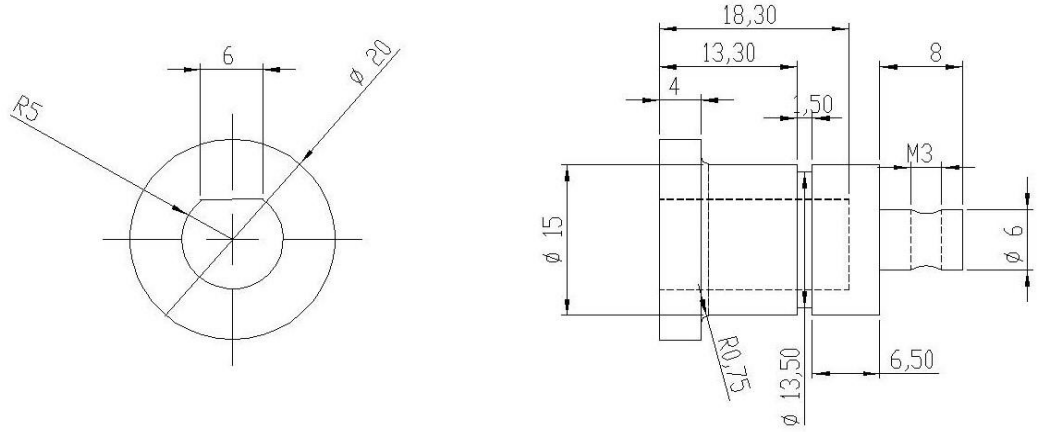


Şekil 3.1. Kapalı çevrim sistem blok diyagramı.

Amaç sistemin otonom olarak dışarıdan müdahale edilmeye gerek kalmadan tek başına görevini gerçekleştirebilmesidir. Üzerindeki sensörler sayesinde araç etrafındaki cisimleri algılayabilmektedir. Arazi daha önceden keşfedilmemiş olabilir. Arazinin yüzeyi daha sonradan kum fırtınası, heyelan, deprem gibi afetlerle değişse bile uzun süre robotun görevine devam etmesi beklenmektedir.

3.2 Motorlar ve Güç Testleri

Mobil robot tekerlek miline bağlanan motorlarla tahrik edilerek hareket ettirilmektedir. Robotun tekerleklerinin mili ile motor milinin çapı birbirinden farklıdır. Piyasada bulunan 15 mm çapında bir mil tornada işlenerek motor mili ile tekerlekleri birbirine bağlayacak bir kaplin üretilmiştir (Şekil 3.2).



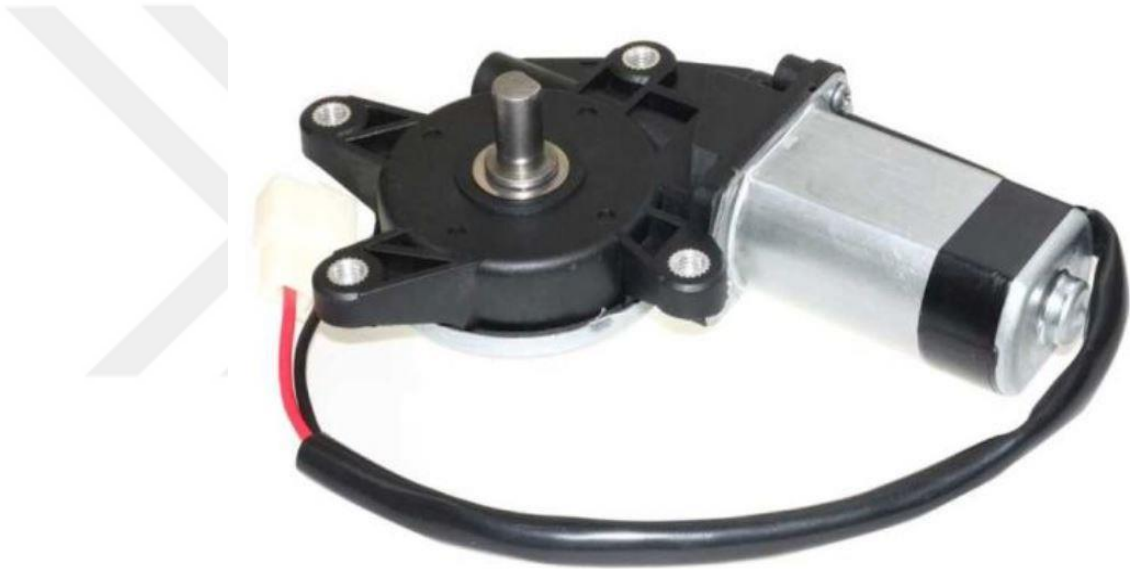
Şekil 3. 2. Motor mili ile tekerlek milini birbirine bağlayan kaplin tasarımı.

Amaç, motorlardaki kuvvetin direk tekerleklere aynı mil üzerinden aktarılmak istendiğinden doğrudan tekerlek miline bağlanmıştır. Güç kaybının en az olması beklenmiştir. Üretilen kaplin piyasada kolayca bulunabilecek ve çok ucuza elde edilebilecek ekonomik olan transmisyon milinden elde edilmiştir. Üretimi ise torna tezgahlarında yapılmıştır. İmalat süresi çok kısadır. Sistemi hareket ettirecek motorların boşa çekeceği akım 750 mA'dir.

Motorlar ise akü tarafından sürücüler yardımıyla direk beslenebilmektedir. Sistemde kullanılan motorlar 12 V gerilim ile beslenebilmektedir. 12 V akü ile bütün sistem beslenebilmektedir. Sistem üzerinde gerilim dönüştürücü bir invertör veya konvertör (dönüştürücü) devreye ihtiyaç duyulmamaktadır. Güç tasarrufu sağlanmış ve devre karmaşıklığının önüne geçilmiştir.

Ekstra bir gerilim dönüştürücü devreye eklemeye ve bu devreyi beslemeye ihtiyaç kalmamıştır. Sistemde çalışan bütün elektronik elemanlar akü ile beslendiği için, bu sistemin elektrikli araç kategorisine girdiği değerlendirilebilir. Zorlu tarım arazileri gibi farklı uygulama alanlarında da kullanım için farklı şekillerde tasarlanabilir. Çevreci olup doğaya egzoz gazı ile zarar vermemektedir. Doğru akım motorlarının tercih edilmesinin diğer bir sebebi ise programlanabilmeleri ve kontrollerinin oldukça kolay olmasıdır. Ayrıca maliyetleri asenkron veya diğer motor çeşitlerine göre oldukça ucuzdur. Arazi araçlarında oldukça yaygın olarak kullanılmaktadır. Üretilen mobil robotun çok yüksek hızlarda hareket etmesi hiçbir

zaman beklenmemektedir. Bu nedenle düşük hızda ve yüksek torkta çalışan 110 rpm doğru akım motorları kullanılmıştır. Motorların hız kontrolü yine otonom olarak kontrol kartı üzerinden yapılmıştır. Kullanılan motor milinin çapı 10 mm'dir. Motorun boyunun uzunluğu 17 cm'dir. Redüktörlü bir doğru akım motordur. Motor mili redüktör sayesinde doğrudan tekerlek miline kaplinler yardımıyla bağlanabilmiştir. Harici bir tahrik elemanına ihtiyaç duyulmamıştır (Şekil 3.3). Doğru akım motorlarının programlanması da diğer endüstriyel motorlara göre daha kolaydır. Yönlerinin ve hızlarının kontrol edilmesi diğer motorlara göre daha basittir.

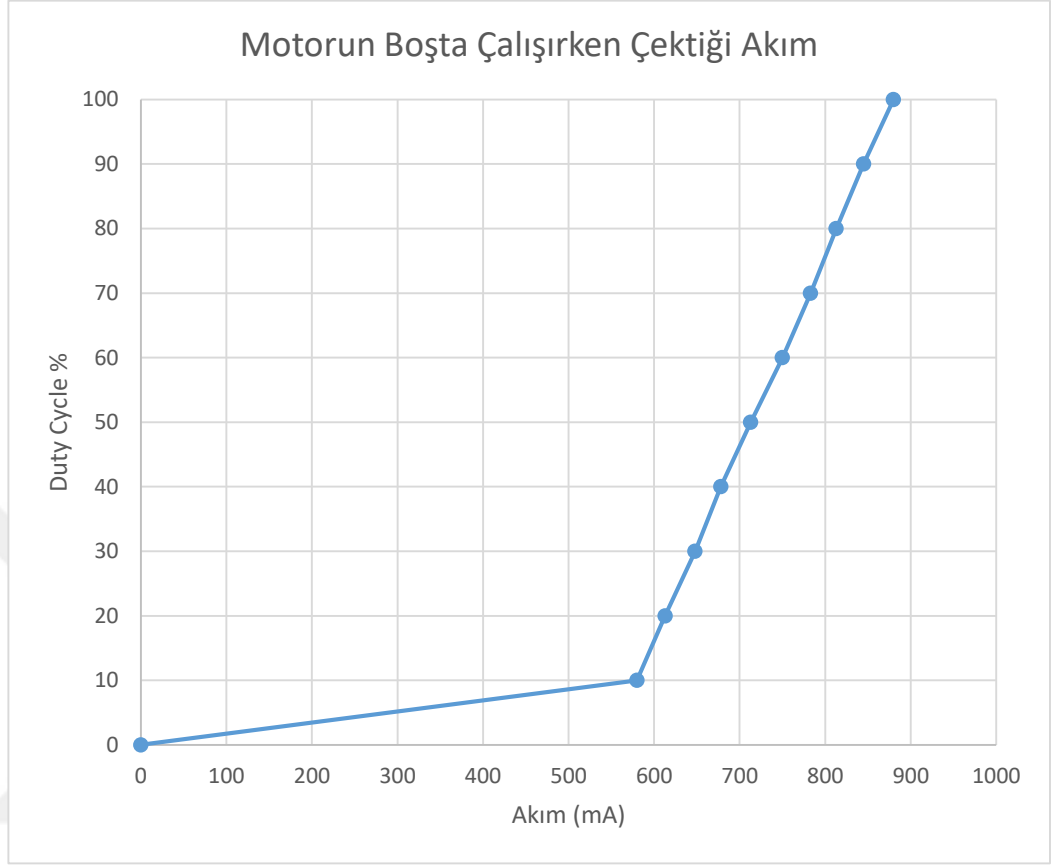


Şekil 3. 3. Rover için kullanılan doğru akım motorları.

İleride bu projenin devam ettirilmesi halinde kamera ve robot kol gibi uzuvların eklenmesiyle motor sayısının artırılması gerekmektedir. Şu anki mobil robotun ağırlığı için kullanılan motorlar yeterli olmuştur. Motorlara bağlı redüktörler içerisindeki dişli sistemle birlikte torku arttırmaktadır. Motorlar redüktörleriyle birlikte sistemde çalışmaktadırlar. Motorun artı ve eksi uçları sürücüye direk bağlanabilmekte bu sayede ekstra bir gerilim dönüştürücüye gerek kalmadan motorlar sürülebilmektedir.

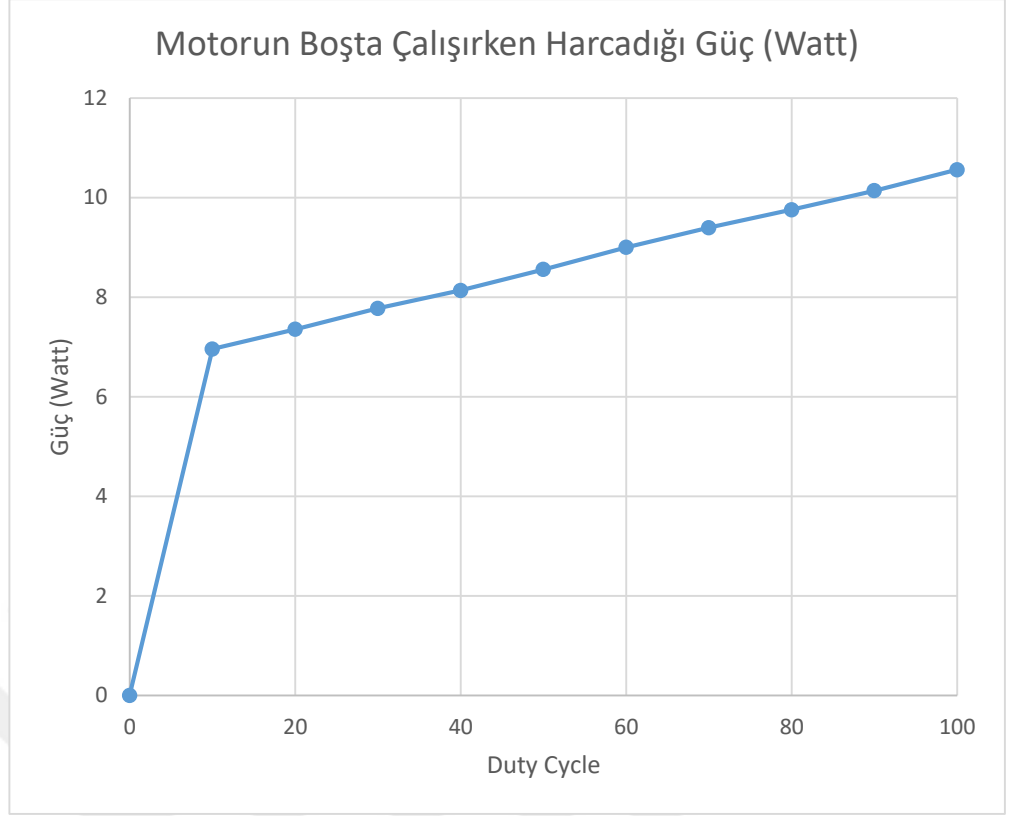
Motorlar sisteme bağlanmadan önce sürücülere PWM sinyali gönderilerek test edilmiştir. Duty Cycle değerleri %0 ve %99 arasında değiştirilerek motorun

çektığı akımlar kaydedilmiştir. Motorun boşta çektiği akım için tablo oluşturulmuştur (Şekil 3.4).



Şekil 3. 4. Motor sürücülerine gelen PWM sinyaline göre motorun çektiği akım değişimi.

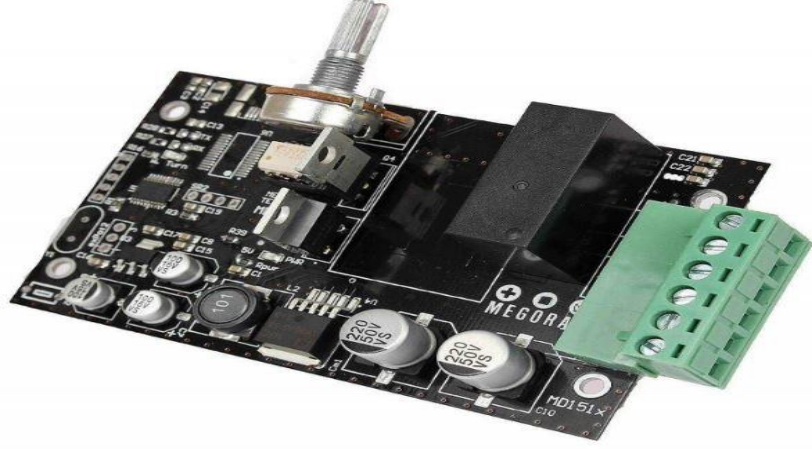
Öncelikle, motorun yüksüz (sisteme entegre edilmeden önceki) hali için belirli PWM değerlerine göre çektiği akım grafiği çizilip yola çıkılarak motorun bu PWM çıkış değerlerine göre tükettiği güç için ayrı bir tablo hazırlanmıştır (Şekil 3.5).



Şekil 3. 5. Motor sürücülerine gelen PWM sinyaline göre motorların harcadığı güç değişimi.

3.3 Motor Sürücü Devresi

Doğru akım motorları boşta 850 ile 750 mA arasında akım çekmektedir. Bu yüzden sistemin güvenilirliği için çift yön kontrollü motor sürücü kartları olan MD151A seçilmiştir (Şekil 3.6)



Şekil 3. 6. Motor sürücü devresi.

Motor sürücü kartları 12 V'da, 20 Amper'e kadar sorunsuz çalışabilmekte ve motorları besleyebilmektedir. Ancak 10 A akım ve sonrası için soğutucu fan ve alüminyum soğutucu plaka ile birlikte kullanılmaktadır. Sistemimizde soğutucu kullanmaya gerek olmamıştır. Sürücü kart ile motorun yönü değiştirildiğinde aniden durma gerçekleşmez ve ivmelenerek yavaşlayıp durma gerçekleşir. Hızlanırken ise motor yavaşça ivmelenerek hızlanmaktadır. Bu sayede kısa devre olma ve ani ve aşırı yüklenme gibi problemlerle karşılaşma riski çok azdır. 110 rpm hız için STM32F407 kontrol kartından motor sürücülerine gönderilen frekans 10 kHz'dir. Sürücüler 12 V ile akü tarafından direkt olarak beslenmektedir. 9 V ile 40 V arasında gerilimle motor sürücüler çalıştırılabilmektedir. İlk kullanılan motor sürücü tarafından motorun hızı el ile potansiyometre tarafından ayarlanabilmekteydi. Motor sürücüler testlerde oluşan bir kaza sonucu yandıktan sonra tamamen mikrodenetleyiciler tarafından hızı değiştirilen BTS7960 kullanılmıştır. Değiştirilen motor sürücüler ile motor hızı PWM sinyali değiştirilerek kontrol edilmiştir. STM32F407 kontrol kartı, sensörlerden aldığı veriye göre kendi üzerine gömülü yazılım ile motorların hızını belirleyebilmektedir (Bkz. Şekil 3.1). İlk motor sürücü devresindeki potansiyometrenin bacakları STM32F407 devresine bağlı olarak ilgili pinlerden sürülmekteydi ve hızı gerilimle kontrol edilmiştir. Motorun yön kontrolü ise sürücü üzerinde bir anahtarlama ile yapılmıştır. Kontrol kartı tarafından anahtar devresi kapatılıp ilettime geçtiğinde motor mevcut döndüğü pozisyonun aksi yönünde dönmektedir. Yazılımsal olarak

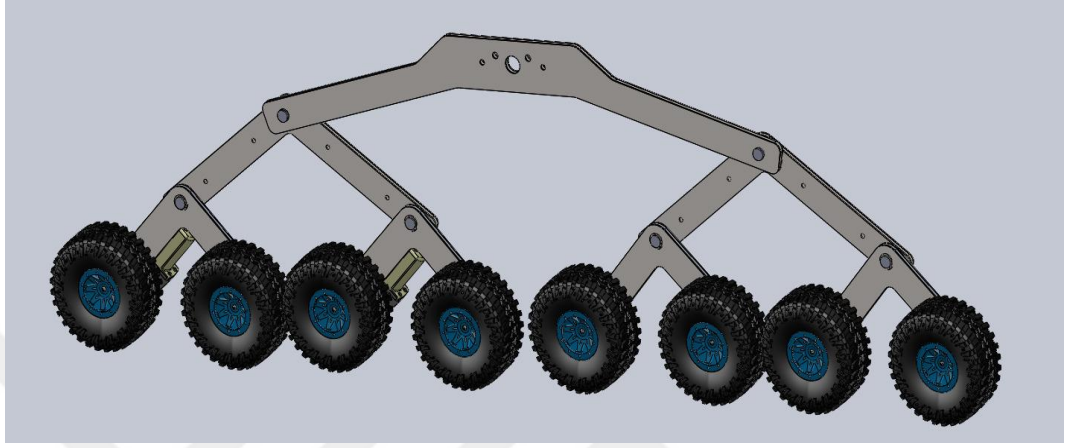
sisteme gömülü olan algoritma ile yön kontrolü gerçekleştirilmiştir. Örneğin aracın, büyük bir engelle karşılaştığında geri dönmesi istenirse içerisindeki gömülü yazılım ile motor yönleri tersine dönebilmektedir. Sonradan kullanılan sürücülerde yön kontrolü de sürücü üzerindeki yön pinleri ile sağlanmıştır.

Sistem ile ilk testler yapılırken elektronik devrenin izolasyonunun iyi yapılamaması nedeniyle kısa devre oluşmuş ve motor sürücüleri yanarak kullanılmaz hale gelmiştir. Yanan sürücüler yerine 40 A akıma kadar dayanıklı BTS7960 motor sürücüleri kullanılmıştır. Eski sürücülerden daha dayanıklı olmasının yanında hız kontrolü PWM sinyali ile yapılabilmekte ve ekstra bir devreye ihtiyaç duymadan sürülebilmektedir. Önceki sürücülerde hız kontrolü sadece potansiyometre ile yapılabildiği için yazılımsal ve elektronik sıkıntılar çıkarmakta, ekstra devre tasarımına gereksinim duyulmaktaydı.

3.4 Mekanik Sistem Tasarımı

Otonom çalışan bir mobil robot için engebeli araziye uyum sağlayabilecek bir mekanik tasarım çok önemlidir. Dr. Öğretim Üyesi Özgür Kilit'in danışmanlığını yaptığı "Çok kademeli salıncak mekanizmalı bir aracın tasarımı" isimli tez çalışmasından yola çıkılarak benzer bir sistem daha önce tasarlanmıştır (Yontar, 2010; Kilit, 2005). Daha önceden yapılan bu çalışmaya ek olarak kontrol mekanizması ve algılayıcılar eklenerek uzay araştırmalarında kullanılacak bir rover prototipi tasarlanmıştır. Bu tez çalışmasında ilk üretilen multi-stage bogie mekanizmasının Yontar'ın (2010) yaptığı tez çalışmasından farklı olarak tekerlekleri ayrı ayrı motorlarla tahrik edilen, üzerindeki sensörler yardımıyla çevresini algılayabilen, bulanık mantık algoritmasıyla programlanmış bir mobil robot üretilmiştir. Üzerindeki güç kaynağı ve diğer bileşenleri ile kendini ve başka cihazları (lazer, robot kol vb.) taşıyabilecek olan ana gövde için gereken mekanik parçaların imalat resimleri SolidWorks programında çizilerek hazırlanmıştır (Şekil 3.7) Tasarıma öncelikle bir tekerlek grubu tasarlanılarak başlanmıştır. Üretilen ilk 2 kademeli salıncak mekanizmasının mekanik montajı yapıldıktan sonra salınımının az olması nedeniyle, 8 adet birbiri ardına sıralı tekerlek grubunun sisteme montajı tek bir noktadan sağlanmış ve tasarım değiştirilmek zorunda kalmıştır. Yapılan fiziksel testler ve bilgisayar üzerinden yapılan analizler

sonucunda multi-stage bogie mekanizmasının salınımının 3 kademeli olarak yapılması ve gövdeye iki nokta yerine tek noktadan bağlanması salınımı arttırmış ve sistem üzerindeki maksimum gerilmeyi düşürmüştür. İlk tasarlanan tasarım için yapılan testte maksimum gerilme yüksek 3 kademeli olarak değiştirilen sistemde maksimum gerilme düşük çıkmıştır.

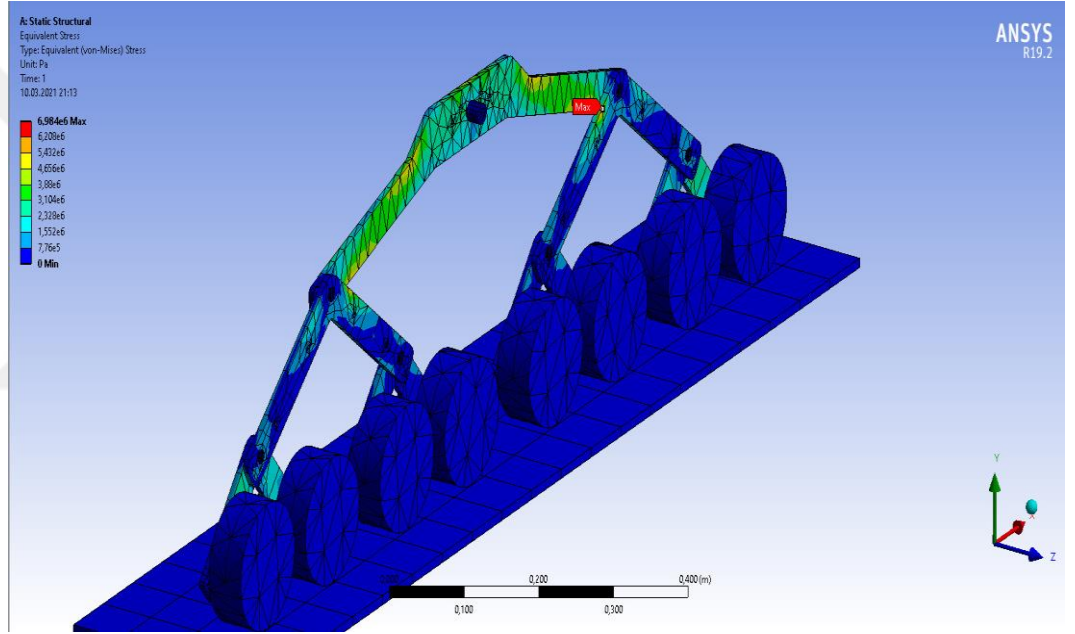


Şekil 3. 7. Multi-stage bogie mekanizmasını oluşturan yapının SolidWorks'te tasarımı.

Mobil robotun mekanik parçalarının montajı ve şasesinin kurulumu için soğuk şekillendirmeye uygun ve korozyona karşı direnci yüksek olan Alüminyum 5754 alaşımı tercih edilmiştir. Proje kapsamında mekanik bağlantı parçalarının bir kısmı sac levha olarak 5 mm kalınlığında ve 1,5 mm kalınlığında 2 adet Alüminyum tabakadan üretilmiştir. Kullanılan alüminyumun akma mukavemeti 148 MPa ve çekme mukavemeti maksimum 214 MPa olarak bilinmektedir (Melek 2005). Sisteme yük ile basma kuvveti uygulandığında 148 MPa değerini aşmadığı sürece malzemede deformasyon oluşmamaktadır. 214 MPa değerinden sonra malzemede kalıcı deformasyona uğramaktadır.

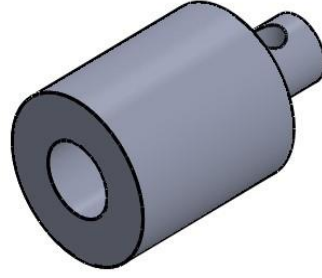
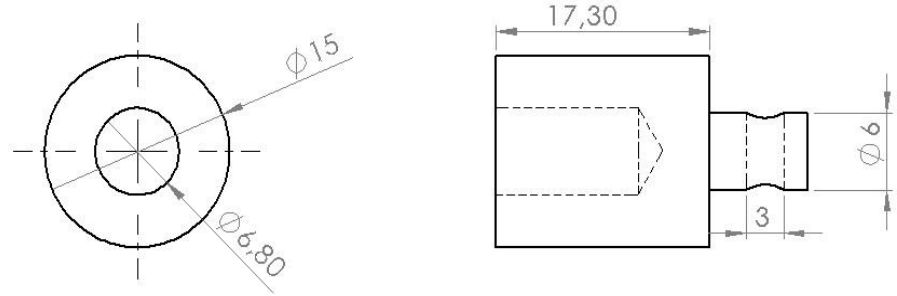
Sistemin mekanik tasarımı yapıldığında üzerindeki yükü taşıyıp taşıyamayacağını test edilmesi gerekmektedir. Bunun için ANSYS programından yararlanılmıştır. Bu tekerlek grubundan toplamda sisteme 3 adet eklenecek olup ağırlık merkezine uygun bir şekilde montajı yapıldığında hepsi eşit yük taşımaktadır. Sisteme statik testler uygulandığında deforme olmadan rahatlıkla yük altında çalışabildiği gözlemlenmiştir. Yer çekimi ivmesi $9,80665 \text{ m/s}^2$ olarak kabul edilmiştir. Analiz sırasında zemin ve tekerlekler sabit olarak tanımlanmıştır. 8'li bir gruba 300 N kuvvet uygulandığında sistemdeki en yüksek gerilmenin deliklerin

olduğu noktalarda olduğu gözlemlenmiştir. Maksimum gerilme ise 6,984 MPa olmuştur (Şekil 3.8). Analiz sonucuna göre robot tasarımının 21 kat emniyetli olduğu anlaşılmaktadır. Bunun nedeni, Mars üzerindeki engebeli bir arazide hareket edecek aracın risklerinin çok yüksek olduğu için ve bilinmeyen bir ortamda müdahale edilemeyecek kadar uzakta olduğu için, bilinmeyen bir ortamda öngörülemeyecek bazı yüklerin gelme olasılığı olduğu için böyle bir tasarım kullanılması uygun görülmüştür. Testin amacı mobil robotun prototipinin üzerindeki yükü taşıyıp taşıyamayacağını belirlemesidir.



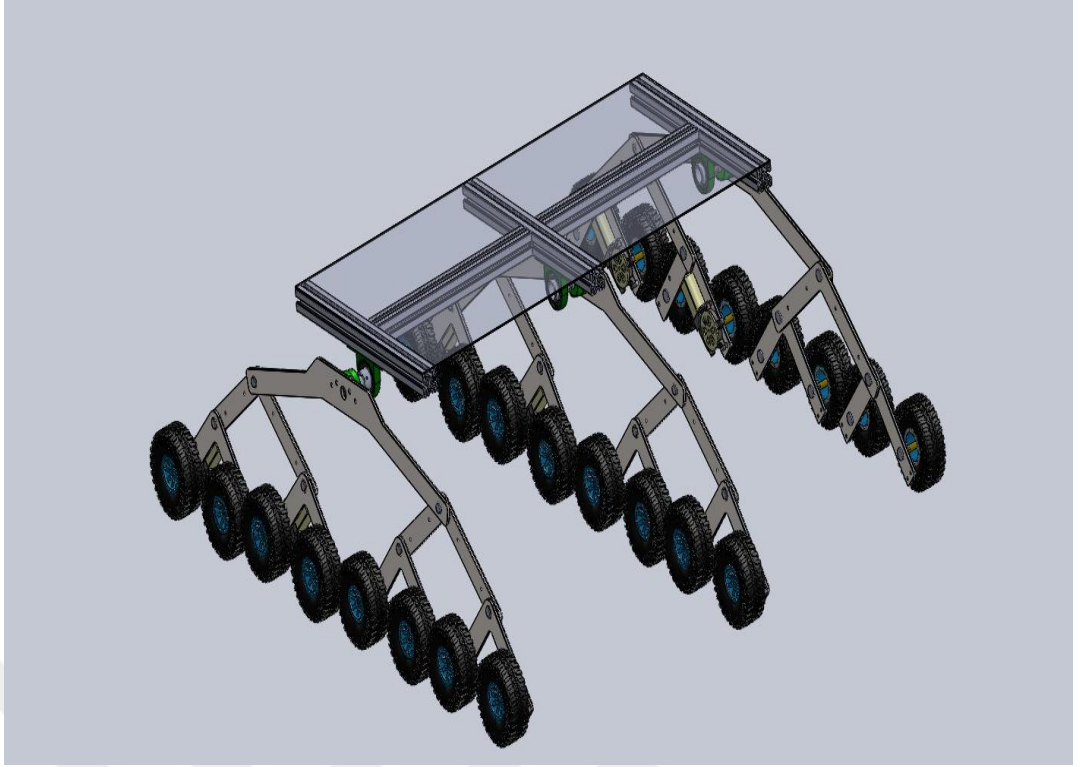
Şekil 3. 8. Sistemin yük altında kalacak kritik bölgeleri için yapılan mukavemet analizi.

Sistemin mekanik tasarımı yapılırken bütün malzemelerin piyasada bulunabilen, maliyeti düşük elemanlardan olmasına özen gösterilmiştir. Ama kullanılan tekerlek milleri ve motor milleri birbirinden farklılık gösterdiği için özel olarak kaplin tasarlanıp üretilmiştir (Bkz. Şekil 3.2). Kalan 19 tekerlek için sisteme bağlantısı aynı olmadığından farklı bir kaplin tasarımı yapıp üretilmiştir. Yani doğrudan motor miline bağlanmayıp sistemin şasesine entegre edilmiştir (Şekil 3.9).



Şekil 3. 9. Tekerlekleri şaseye bağlayan mil tasarımı.

Sistemin ana gövde ve tekerlek sistemlerinin tasarımları SolidWorks ve AutoCAD programları ile gerçekleştirilmiştir. Sistemin temel iskeletinin montaj resmi SolidWorks programında çizilmiştir (Şekil 3.10).



Şekil 3. 10. Sistemin iskeletinin montaj görüntüsü.

Yükseller Demir Makina SAN. TİC. LTD. ŞTİ. Firmasının harici desteğiyle 2D lazer kesim makinasında 5 mm kalınlığında Alüminyum sac levha kesilmiştir (Şekil 3.11). Daha sonra yapılan mekanik testler sonucu 2 kademeli bu sistemin kullanılmasından vazgeçilmiştir. 3 kademeli olarak multi-stage bogie mekanizması kullanılmıştır (Kilit, 2009). 8'li tekerlek gruplarının tek noktadan rulmanlarla sistemin gövdesine montajı sağlanarak salınım azaltılmış ve gerilimler azaltılmıştır. Sistemin engellerden kaçınmak için dümenleme hareketi yapabilmesi mümkün değildir. Konunun çözümü tez çalışması dışında sonraki çalışmalara bırakılmıştır. Ardı ardına 8 adet tekerleğin yerde sürüklenerek dümenlemesi pek mümkün değildir. İlerideki çalışmalarda dümenleme ile ilgili farklı bir tasarım yapılması gerekmektedir.

Robotun engellerden kaçınmak için yönünü değiştirmesi zorunludur. Tez çalışmasında dümenleme ile ilgili çalışmalar bu tez kapsamının dışında tutulmuştur. Ayrıca robotun engeli tırmanırken veya dümenleme sırasında tekerleklerinin farklı hızlarda dönmesi gerekmektedir. Bunun için tekerleklere ayrı ayrı motorlar bağlanmış ve farklı hızlarda kontrol edilebilmektedir. Etrafında donatılan sensörler sayesinde engeli tanımlayabilecek ve tekerlekleri farklı hızlarda döndürmeye

yetecek donatıya sahip mobil robotun farklı hızlarda tekerlek kontrolü sonraki çalışmalara bırakılmıştır.



Şekil 3. 11. Lazer makinasında kesilen alüminyum levha.

Yüksel Tarım Manisa firmasının desteği ile CNC torna tezgahında motor-teker ve motor-iskelet bağlantısı için gereken miller işlenmiştir. 3 m boyundaki alüminyum sigma profiller ise Dizayn Çelik firmasında testerede imalat planına göre doğranmıştır. İmalata hazır hale gelen parçalar bir araya getirilip Ege Üniversitesi'nde ilk montajı yapılmıştır. Yapılan testler sonucu 2 kademeli sistemden vazgeçilip, 3 kademeli salıncak mekanizmalı sistem üretilmiştir. Arazi üzerinde hareket ederken salınım yapmasının kolaylaştığı ve gövdesinin test sırasında sarsılmadığı görülmüştür. (Şekil 3.12).



Şekil 3. 12. Sistemin 3 kademeli olarak tasarlanan modelinin ilk mekanik montajına ait resim.

Daha sonra tekerleklerin arazide ilerleyişi test edilmiştir. 5 cm yüksekliğindeki bir engeli aşmaya çalışırken prototipin tekerleklerinin bağlı olduğu kollara çarptığı ve tekerin engeli geçmesine izin vermediği fark edilmiştir (Şekil 3.13).



Şekil 3. 13. Sistemin hareketi sırasında engebeli arazide hareketine engel olan uzvu.

Problemin çözümü için Dizayn Çelik ve Tunç Makina firmalarından destek alınarak parçaların uç kısımları kesilmiştir. Dizayn Çelik firmasındaki testere yardımıyla uzuvların uç kısımları kesilmiştir. Kesilen uzuvların uç kısmındaki cıvata delikleri de kesildiği için, eklemlere yeniden delik delinmesi gerekmiştir. Parçaları birleştirebilmek için açılan delikler için Tunç Makina firmasındaki matkap tezgahlarında parçalar tek tek işaretlenerek delinmiştir. Revize edilen parçaların tekrar montajı yapılmıştır (Şekil 3.14).



Şekil 3. 14. İlk kesilen bloklar ve daha sonra uçları kısaltılan bloklar.

Yüksel Tarım Manisa firmasının desteği ile CNC Torna tezgahında motor-teker ve motor-iskelet bağlantısı için gereken miller işlenmiştir. 3 m boyundaki alüminyum sigma profiller ise Dizayn Çelik firmasında testerede imalat planına göre doğranmıştır. Şekil 3.7’de teknik resimleri bulunan parçaların tamamı üretilmiştir.

İmalata hazır hale gelen parçalar bir araya getirilip Ege Üniversitesi’nde ilk montajı yapılmıştır (Bkz. Şekil 3.13). Daha sonra tekerleklerin arazide ilerleyişi toprak arazide ve düz zeminde test edilmiştir. Tekerleklerle aynı hizada olan V şeklindeki uzun bacakların engele tırmanırken frenleyerek sistemin hareketini engellediği görülmüştür. Bacakların uzunlarının uzun olması bazı engelleri aşarken robotun takılmasına neden olmuştur. Robotun elektrik montajı henüz yapılmadan sadece mekanik aksamlarının montajı yapılmıştır. Son aşamaya gelmeden robotun arazide karşılaşılabileceği sorunlara erken çözüm bulabilmek için bu testler kritik öneme sahiptir. Gerçek hayatta arazide karşılaşılabilecek engeller ve yüzey şekilleri çok fazladır. Robot arazide hareket ederken birçok problemle karşılaşacaktır. Bu problemlerin erkenden tespiti ve önlemlerin alınması önemlidir.

İşlenen eklemlerin tekrar montajı yapılarak rover testlerine devam edilmiştir. Rover düz yüzeyde sorunsuzca hareket edebiliyorken engebeli yüzeyde tırmanırken, plastik tekerleklerin gövdeleri zayıf olduğu için merdiven gibi 17 cm yüksekliğine tırmanamamıştır. Bu testler sonucunda tekerleklerin göbekleri engebeli zeminlerde zarar görmüştür (Şekil 3.15). 24 adet tekerin, sistemin yükünü

taşıyabildiği görülmüştür. Fakat zemine tırmanırken ağırlık noktası değiştiği için daha fazla zorlanan tekerlekler zarar görmüştür. Hazırda bulunan ve hobi amaçlı arazi araçlarında kullanılan tekerleklerin göbekleri çok zayıf olduğu için yeni bir tekerlek tasarımına ihtiyaç duyulmuştur. Tez projesinin malzeme desteği Ege Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü tarafından sağlanmıştır. SolidWorks programında ilk çizimleri yapılmıştır. 2 mm kalınlığında sac levha silindir haline getirilip ve ortasına tekerlek mili ile bağlantısı için bir flanş çizilmiştir. 2 ayrı parça olarak imal edilip sonradan kaynaklı imalat ile tekerleğin imalatı tamamlanmıştır. Tekerleğin göbeğine kaynatılacak olan flanşın üzerine tekerlek miline uygun delik açılmıştır.



Şekil 3. 15. Engelli araziye tırmanırken zarar gören tekerlek gövdesi.

Roverın gövdesi için 5 mm kalınlığındaki gövde ağır gelmiş, engelli yüzeylerde tekerleklerin zarar görmesine neden olmuştur. Bu yüzden gövdenin hafifletilmesine karar verildi. 2 mm kalınlığındaki Alüminyum levha, 40x40 mm Alüminyum sigma profillerle desteklenerek robot şasesi tekrardan kesilip delikler delinerek kaynak yapılmadan montajı sağlanmıştır (Şekil 3.16).

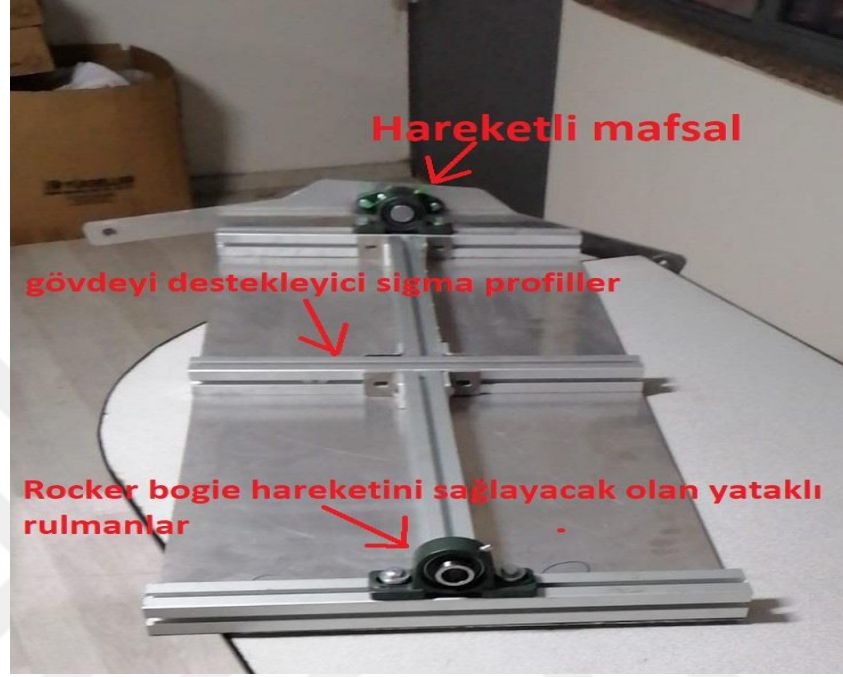


Şekil 3. 16. 2 mm alüminyum levhadan hazırlanan mobil robotun şasesi.

Ayrıca gövdeye sabitlenmiş 3 adet mafsalları değiştirilmiş, dengesini sağlayabilmesi için yeniden tasarlanmıştır. Sabit bir gövde yerine hareketli mafsallar sayesinde zeminde hareket ederken sistemin daha kararlı hale gelmesi amaçlanmıştır. Yükseller Demir Makina SAN. TİC. LTD. ŞTİ. firması gerekli atölye ve teçhizat desteği sağlamıştır. Dizayn Çelik firmasının desteğiyle birlikte yeni mil alınıp rulmanların şaseye montajı sağlanmış ve profillerin kesim işlemleri ve şaseye delik delme gibi işlemler firmaca üstlenilerek büyük katkı sağlanmıştır (Şekil 3.16).

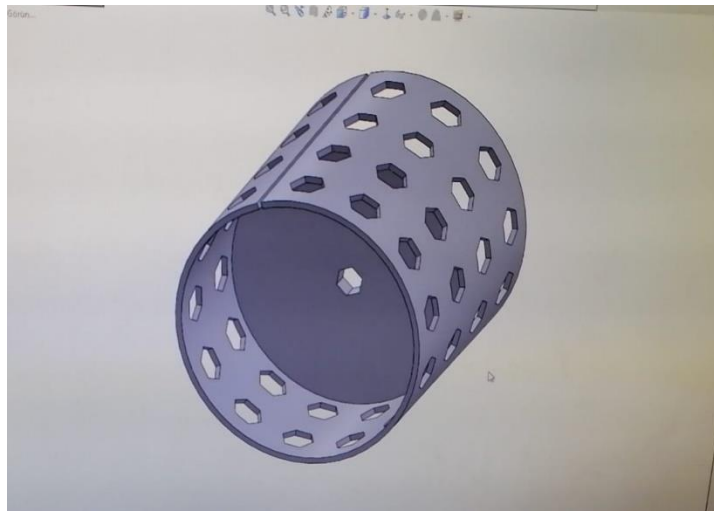
Şekil 3. 7'deki tasarımda mevcut olan tekerlek mekanizması en üst katmanda bulunan 2 delikten sisteme bağlandığında sistemin salıncak mekanizması için salınım yapma kapasitesinin azaldığı görülmüştür. En üstteki 2 delik iptal edilerek onun yerine 1 adet yataklı rulman şaseye, 1 adet de yataklı rulman tekerlek mekanizmasına entegre edilmiştir. Bu sayede sistemin salınımı 3 noktadan dağa sağlanmış ve engebeli arazide hareketi kolaylaşmıştır. Sistemin gövdesinin oluşturulduğu levhanın sac kalınlığı 2 mm olarak değiştirildiği için gövde hafiflemiş ve tekerleklere uygulanan yük azalmıştır (Şekil 3.17). Bu tez projesinde kullanılan tekerleklerin göbekleri plastik malzemeden oluşmaktadır. Sert ve kırılabilir yapıda olan tekerlek gövdeleri mekanik testler sırasında zarar görmüştür. Projede kullanılmak için yeni tekerlek üretilmesi gerekmektedir. Üretilen tekerlekler için kaplin ve motor millerinin yeniden işlenmesi çok maliyetli ve imalat süresi ve tasarım süresi çok uzun süreceği için sistemin gövdesinin hafifletilmesi

yoluna gidilmiştir. Projeye robot kol, kamera sistemleri ve özel sensörler ilave edilince mevcut tekerlekler yine zarar görecektir. Ama bu tez sürecinde yapılan testlerde, kullanılan ekipmanlar henüz bu kadar çok olmadığı ve sistemin gövdesi hafifletildiği için robot tekerlekleri tekrar zarar görmemiştir.



Şekil 3. 17. Hareketli mafsallar ve sigma profillerle birlikte montaj aşamasındaki robotun gövdesi.

Projedeki güçsüz tekerlekler yerine SolidWorks programında yeniden tekerlekler tasarlanmıştır. Numune yapılması için imalat resimleri oluşturulmuştur (Şekil 3.18).



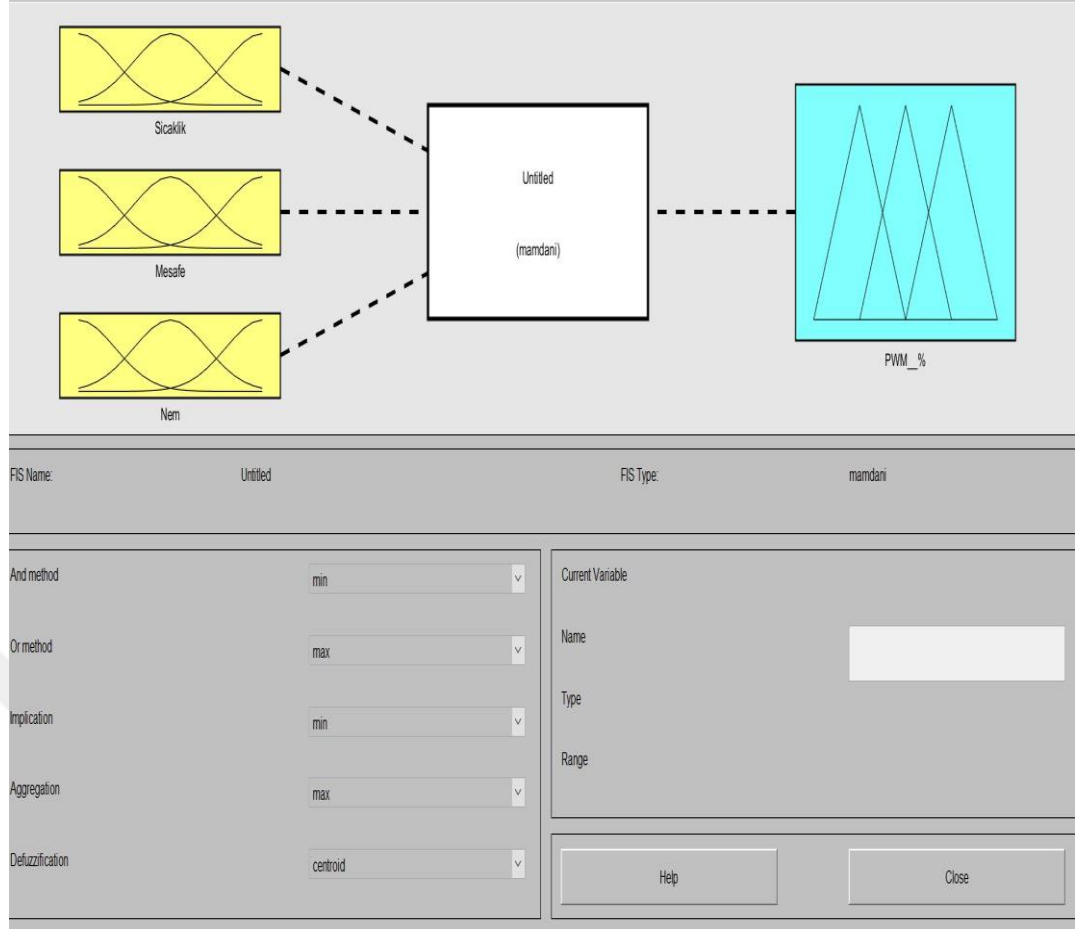
Şekil 3. 18. SolidWorks programında tasarlanan tekerlekler.

Sistemin gövdesi hafifletildikten sonra robot tekerleklerinde kırılma olmamıştır. Görev esnasında var olan tekerlekler kullanılmış ve testler eski tekerleklerle yapılmıştır. Projeye devam edilmesi halinde robot için tekerlek tasarımının değiştirilmesi ve yeni yapılan numune tekerleklerin sisteme entegre edilmesi gerekmektedir. Tekerleklerin konumu robotun eklemine sağında veya solunda olduğu için ağırlık merkezi tekerleklerin göbeklerine eşit olarak yük uygulamamaktadır (Bkz. Şekil 3.12). Bir sonraki tasarımda yapılacak iyileştirmelerden birisi de sistem gövdesinin ağırlık merkezinin tekerlek sağına veya soluna değil tam ortasına kuvvet uygulanacak şekilde tasarlanmasıdır.

3.5 Matlab’da Bulanık Mantık Algoritmasının Oluşturulması

Bulanık kümeler ilk olarak 1965 yılında L. Zadeh tarafından ortaya konulmuştur. Matematiksel problemlerin çözümünde ilk olarak bulanık küme teorisinin matematiğini tanımlamış ve bulanık mantığın genişletilmesiyle devam etmiştir. Bilgisayar yanıtları olan 0 ve 1 çıktıları haricinde, 0 ile 1 arasındaki gerçek sayılarla çıktılar verilebilmektedir. Bulanık mantıkta sistemdeki her girdi değerinin bir önem derecesi vardır. Normal mantıkta oda sıcaklığı 24 °C kabul edilirse bu değer altında her değer soğuk, üzerinde ise her değer sıcak olarak tanımlanmaktadır. Bulanık mantık ise 13 °C için üyelik derecesi 0, 24°C için üyelik derecesi 0,5 olarak tanımlanabilir. Bulanık mantıkla sık kullanılan 2 yöntem vardır: Mamdani ve Sugeno çıkarım yöntemleri. Mamdani çıkarım yönteminin bu tez çalışmasında kullanılmak için seçilmesinin sebebi çıkarım yaparken bulanık değerlerle çıkış vermesidir. Matlab Fuzzy Logic Toolbox (FLT) bulanık çıkarsama sisteminin oluşturulması ve düzenlenmesini sağlayan MATLAB üzerinde kullanılan araç kutusu, tez çalışmasında kullanılmıştır. Oluşturulan algoritma C programlama diline dönüştürülmüştür (Kubat, 2015).

Bulanık mantık ile robot programlanabilmesi için öncelikle Matlab programı üzerinden algoritması oluşturulmuştur. Rover’ın farklı sıcaklıklarda, farklı nem ve yağış olması durumunda veya önünde hareketine engel olabilecek bir engel çıktığında buna göre hareketine devam edebilmesi için bir öncelikle bulanık mantıkta değişkenler belirlenmiştir. Sıcaklık, uzaklık ve nem gibi fonksiyonlar belirlenmiştir (Şekil 3.19).



Şekil 3. 19. Rover hız kontrol sistemi düzenleme ekranı.

Robot için hazırlanmış algoritmaya, sıcaklık veya nem bilgisi sensörlerden sağlanırsa çıkış hızına etki edebilir. Sıcaklık için “sıcaklık normal”, “sıcaklık yüksek” ve “sıcaklık çok yüksek” gibi dilsel değişken ifadelerine yer verilmiştir. Aynı şey mesafe sensörü için de yapılmıştır. Engel yok, engel uzakta, engel yakında gibi dilsel ifadelerle üyelik dereceleri oluşturulmuştur. Nem için ise “düşük nem”, “yüksek nem” ve “çok yüksek nem” üyelik dereceleri belirlenmiştir. Sistemin girdi değişkenleri sıcaklık, uzaklık, nem olmuştur. Uzaklık için maksimum uzaklık 80 cm ve en yakın uzaklık 10 cm olarak belirlenmiştir. Uzaklık girdisi için engel yok, engel uzakta, engel yakında gibi üyelik dereceleri atanmıştır. Çıkış değişkeni ise motora gönderilen pwm sinyali olarak belirlenmiştir. Motorların maksimum çalışma hızı tekerleğin maksimum dönme hızı olan 110 rpm’dir. STM32F407 devresinden motor sürücülere gönderilen PWM sinyali %100 iken maksimum hızda dönüş sağlamaktadır. İlk çıkış değişkeni %100 PWM sinyali 110 rpm hızında robotun çalışmasını sağlamaktadır. Diğer çıkış sinyalleri %50 PWM sinyali ile %0 olarak belirlenmiştir. Amaç engel uzaktan tespit edildiyse yavaşlaması ve engele

çok yakınsa robotun durması istenmektedir. Bu çıkarımlar daha fazla çıkış değişkeni atanarak çoğaltılabilmektedir. Şu an için bir adet çıkış değişkeni yeterli olmuş ve 3 farklı derecede çıkışı belirlenmesi sağlanmıştır. Örnek olarak 80 cm uzaklığında bir cisim varken $-50,5$ °C sıcaklıkta ve havada %10 nem olduğu anda motorun hızı için oluşturulan PWM sinyali % 79,3 olarak belirlenmiştir (Şekil 3.20). Bu sayede motor engele yaklaşırken bir anda durmayacak yavaşlayarak durmaya başlayacaktır. Robot her engele yaklaştığında motor hızı daha çok azalacak, engelin yanına ulaştığında motor yavaşça durabilecektir.





Şekil 3.20. Rover hız kontrol sistemi, engelle 80 cm uzaklıkta, $-50,5^{\circ}$ sıcaklıkta ve %10 nemli havada hız çıktısı.

Bütün girdiler için hesaplanan çıktılar, Matlab programında oluşturulan kural tabanıyla sağlanmaktadır. Robot mikrodenetleyicisine gönderilen sıcaklık, mesafe gibi değerler önce bu yöntem ile bulanıklaştırılmaktadır. 80 cm gibi sayısal değerler üyelik derecesi olan engel uzakta olarak belirlenmiştir. Dilsel bir ifade olan engel uzakta ifadesi ile girdi bulanıklaştırılmıştır. Diğer sıcaklık ve nem gibi girdilerle değerler önceden hazırlanan kural tabanına göre çıktının hesaplanmasını sağlamaktadır. Örnek olarak engel yakında, sıcaklık normal ve düşük nem bulanık

dereceler için sistem çıkışı, kural tabanında %0 olarak kural tabanında belirlenmiştir.

Toplamda 27 adet kural oluşturulmuştur. Oluşturulan kurallara göre önce bulanıklaştırılmış değerler Mamdani yöntemi ile durulaştırılmaktadır ve çıkışta dilsel olmayan %86,4 değerini vermektedir (Şekil 3.21).

The screenshot displays a fuzzy inference system rule editor. At the top, a list of 17 rules is shown, each starting with '1. If (Mesafe is ENGEL_YAKINDA) and (Sıcaklık is SICAKLIK_COK_DUSUK) and (Nem is DUSUK_NEM) then (PWM% is 0) (1)'. The selected rule is the first one. Below the list, the rule editor shows the following structure:

if	and	and	Then
Mesafe is	Sıcaklık is	Nem is	PWM% is
ENGEL_YAKINDA	SICAKLIK_COK_DUSUK	DUSUK_NEM	0
ENGEL_UZAKTA	SICAKLIK_NORMAL	YUKSEK_NEM	50
ENGEL_YOK	SICAKLIK_COK_YUKSEK	COK_YUKSEK_NEM	100
none	none	none	none

Below the rule editor, there are checkboxes for 'not' under each condition. The 'Connection' section has radio buttons for 'or' and 'and', with 'and' selected. The 'Weight' section has a text box containing '1'. At the bottom, there are buttons for 'Delete rule', 'Add rule', 'Change rule', '<<', and '>>'. The bottom status bar shows 'FS Name: FUZZY' and buttons for 'Help' and 'Close'.

Şekil 3. 21. Rover hız kontrol sistemi kural tabanı.

motorların dönme hızı değişecektir. Yüze yaklaştıkça hızlanacak, 100 değeri için 110 rpm hızına ulaşabilmektedir. 0'a yaklaştıkça motor hızı yavaşlamakta ve 0 olduğu anda ise motorlar durmaktadır.

STM32F407 devresinin 5 adet sürücüyü pwm sinyali ile hızının kontrol edilmesi gerekmektedir. Buna uygun kontrol kartının kendi üzerinde bulunan 14 adet zamanlayıcı çıkışından sadece 5 tanesi kullanılmıştır. Zamanlayıcılardan alınan sinyal çıkışları motor sürücünün sağ ve sol pwm sinyali girişine paralel olarak bağlanmıştır. Tek bir motora gönderilen sinyalle 2 yöne de motor devir hızı sürülebilmektedir. Diğer 10 adet çıkış pini ise 5 motorun dönüş yönünü kontrol etmek için kullanılmıştır. Her motor sürücüyü iki adet yön çıkış pini bağlanmıştır. 2 pinden 1 tanesi aktif edilip diğeri pasifleştirildiğinde motor aktif edilen pinin yönünde dönmeye başlamaktadır. Aynı şekilde aktif edilen pin inaktif hale getirilip diğeri pine enerji verildiğinde motor tam tersi yönde dönmektedir.

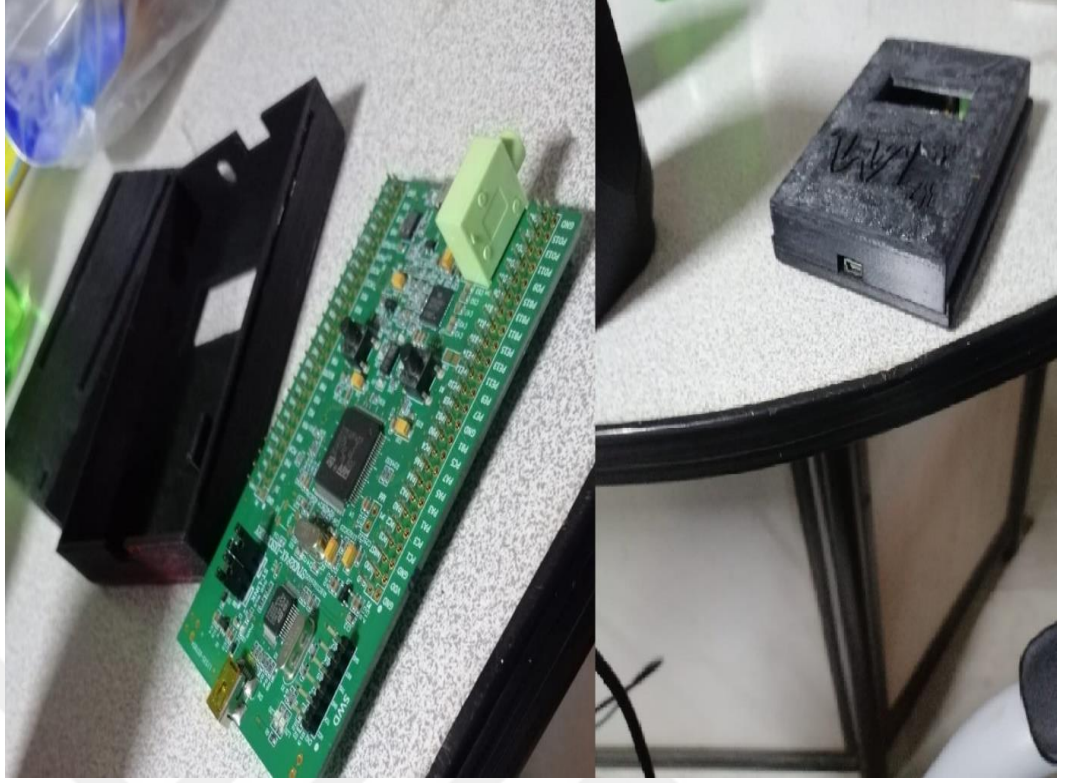
Motor sürücüleri ve sensörler +5 V ile beslenmektedir. Sürücü ve sensörleri beslemek için gerilim STM32F407 kontrol kartının +5 V çıkış gerilimi için ortak bir besleme hattı oluşturulmuştur ve paralel olarak 5 V bütün sürücülere ve sensörlere dağıtılmaktadır. STM32F407 kontrol kartının beslemesi ise 10.000 mAh bir güç kaynağı ile sağlanmaktadır.

Projede kullanılan motor sürücüleri doğru şekilde izole edilemediği için alüminyum gövde üzerinde elektronik bantlar yeterli olmamış, motor sürücüleri yanmasına neden olmuştur. BTS7960 kodlu 40 A akıma kadar dayanıklı yeni motor sürücüleri alınmış olup, bu sürücüleri önceki sürücülerden farkı, hız ayarının potansiyometre ile değil üzerindeki PWM girişleri ile sağlanmasıdır. Üzerinde 8 adet pin girişi bulunmaktadır. 2 adet 5 V gerilim besleme için ayrılmış 2 adet yön ve 2 adet ile hız kontrolü yapılabilmektedir. Yeni sürücüleri de öncekiler gibi yanmaması için 3 boyutlu tasarım programı SolidWorks programında sürücülere uygun şase tasarlanmıştır. 3 boyutlu yazıcı yardımıyla ürünlerin baskısı alınmıştır. Tamamen plastikten üretilen koruyucu şasenin gövdeye montajı yapılmış ve sürücüleri birbirinden ve gövdeden izolasyonu sağlanmıştır (Şekil 3.23).



Şekil 3.23. Motor sürücülerin izolasyonu için 3 boyutlu yazıcıdan alınan baskılar.

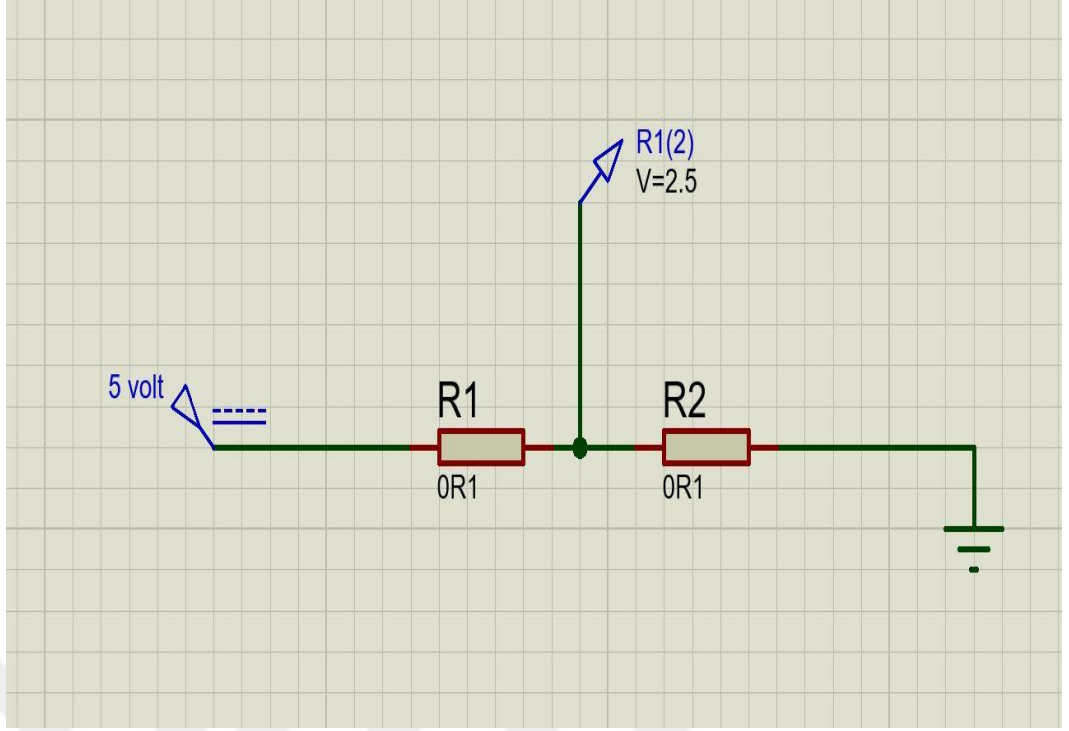
STM32F407 kontrol kartının da sürücüler gibi robotun gövdesine doğrudan bağlanması doğru değildir. Alüminyum gövdeden izole edilmesi gerekmektedir. Bunun için yine SolidWorks programında tasarlanan birbiri üzerine takılabilen ve kenarındaki tırnaklarla birbirine bağlanabilen bir kart yuvası tasarlanmıştır. Tasarlanan bu kart yuvaları yine tamamen yalıtkan plastik malzemeden 3 boyutlu yazıcı ile üretilmiştir (Şekil 3.24). Kart yuvası tamamen kapalı değildir. Kablo bağlantıları için pencereler açılmıştır. Kart yuvasının diğer avantajı dışarıdan kontrol kartının toz veya nem gibi devreye zarar verici etkilerden korunmasını sağlamaktadır. Kontrol kartı devresinin oksitlenmesi veya toz gibi devreye zarar veren etkilerden korunması önemli bir konudur. Robotun çetin arazi şartlarında karşılaşacağı güçlüklerden biri de açık alanda çalışma gereksinimidir. Robotun açık alanda görev yapacağı için çevre şartlarına karşı önlemler alınması gerekmektedir. Proje devam ettirilmek istenirse bu devre koruyucu elemanlarının haricinde bütün sistemi koruyacak bir şase tasarlanmalı ve bütün elektronik elemanları ve bağlantıları örtecek şekilde sistemi korumalıdır. 3 boyutlu yazıcıda baskısı alınan devre koruyucu izole edici ekipmanlar yağmur, kar, dolu, zararlı güneş ışınları ve radyasyon gibi çevre şartlarına karşı uzun süreli korunması yetmeyecektir.



Şekil 3. 24. Kontrol kartı izolasyonu için 3 boyutlu yazıcıdan kart yuvası baskısı.

Motorların sürücülerde aldığı besleme gerilimleri kablolarla taşınırken bağlantı uçlarının izolasyonu da çok önemlidir. Elektrik bantları olarak bilinen izole bantlarla ve izole makaronlarla yalıtım yapılması ve herhangi bir kaçak olmaması sağlanmıştır. İlk denemede yanan sürücülerin tekrar yanmaması veya devrelerin zarar görmemesi için devre ve kabloların açıkta veya boşta yer kalmayacak şekilde izolasyonu sağlanmıştır.

STM32F407 kartı ile maksimum 5 V gerilim verilebilmektedir. Karttan alınan gerilim ile motor sürücüler, sensörler beslenmektedir. Kontrol kartı ayrıca pinlerinden 3,3 V gerilim sinyali çıkışı vermektedir. Kontrol kartı maksimum 3,3 V gerilim okuyabilmektedir. Daha yüksek gerilim verilirse kontrol kartı yanabilir. Sensörlerden gelen giriş sinyali +5 V olduğu için gerilim bölücü devresine ihtiyaç vardır. Sensörden gelen 5 V'luk gerilimi azaltmak için gerilim bölücü devresi yerine bir gerilim bölücü potansiyometre kullanılmıştır (Şekil 3.25). 5 V'luk çıkış gerilimi 3 V değerinin altına düşürüldüğü için kontrol kartı, testlerin hiçbirinde zarar görmemiştir. Testlerde sorunsuz çalışabildiği için kontrol kartı, testlerin hiçbirinde zarar görmemiştir. Testlerde sorunsuz çalışabildiği için kontrol kartı, testlerin hiçbirinde zarar görmemiştir. Sensörden çıkan sinyal hemen şaseye bağlanan bir devre üzerinden potansiyometre ile gerilimi 2,5 V'a düşürülmüştür.



Şekil 3.25 Gerilim bölücü devre şeması.

Sistemdeki sürücülerden alınan değeri okumak için gerilim bölücü devresi yerine ayarlı bir potansiyometre kullanılmıştır. Projeye devam edilmek istenirse yeni bir devre tasarlanması gerekmektedir. Mevcut şekilde birçok sürücü ve birbirinden ayrı devre elemanlarının kablo bağlantıları karmaşıklığa ve kaosa neden olmaktadır. Denemeler ve testler tamamlanıp kullanılacak devre elemanları ve devreler kesinleştiğinde bütün devrelerin ve kabloların toplandığı tek bir sürücü devre kartı tasarlanması gerekmektedir. Bu sayede kablo kalabalıklığının önüne geçilmiş olacaktır. Kontrol kartı üzerinde 100 adet pin vardır. Bu pinlerden 72 tanesi kullanılmaktadır (Bkz. Şekil 3.22). 72 tane pine bağlanan kabloların her biri isimlendirilmiştir. Kabloların üzerlerine etiketle hangi pine bağlanması gerektiği yazılmıştır. Bu sayede test aşamasında herhangi bir arızada arızayı tespit etmek için veya gerek duyulursa pinlerin yerini değiştirmek için kolaylıkla müdahale edilebilir. Test aşamasında etiketli olan pinlerle teker teker denemeler yapılmış, her motor sırayla çalıştırılmıştır. Motorların dönüş yönü gözlemlenmiş, dönüş yönlerine göre kodlama yapılırken dönüş yönleri yazılımda işaretlenmiştir. Ters yönde dönen motorlar veya ters bağlantısı yapılan motorların yönleri yazılımla değiştirilmiş ve tüm motorların aynı yönde dönebilmesi sağlanmıştır.

3.7 Yer İstasyonu ve Elektronik Haberleşme

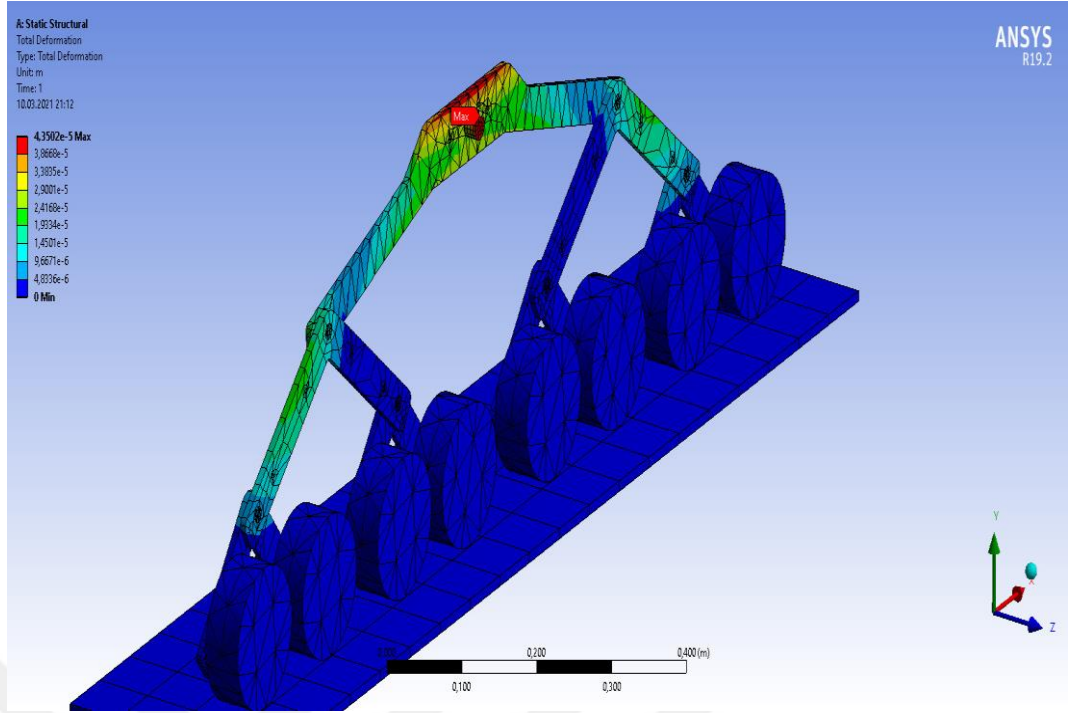
Yer istasyonu olarak bir bilgisayar kullanılmaktadır. Bilgisayar ve mobil robot arasındaki haberleşme ise 915 MHz telemetri cihazı ile yapılmaktadır (Mardiyanto, 2019). 2.500 metre mesafeye kadar kesintisiz bir şekilde mobil robotun konumu kontrol edilebilmektedir. Kablo bağlantısı gerekmemektedir. Yer istasyonuna kurulan Arduover yazılımı sayesinde mobil robotun gittiği yer ve gezdiği alanlar izlenebilmektedir. 5 V ile beslenebilmektedir. Yüksek güç tüketmediği için bağlı bulunduğu sisteme ekstra güç kaynağı gerektirmeden, STM32F407 devresindeki gerilim çıkışlarından beslenebilmektedir.

Rover'ın görev sırasında izlediği yol ve kat ettiği mesafe anlık olarak yer istasyonundan takip edilebilmektedir. Rover'ın görev sırasında oluşabilecek; yakıtının bitmesi, olumsuz hava koşulları yüzünden hareket edememesi gibi yaşanabilecek olumsuzluklar için yer istasyonuna ihtiyacı vardır. Ayrıca deniz seviyesinden kaç metre yükseklikte olduğunu ve gps uyduları sayesinde konumu da yer istasyonundan takip edilebilmektedir.

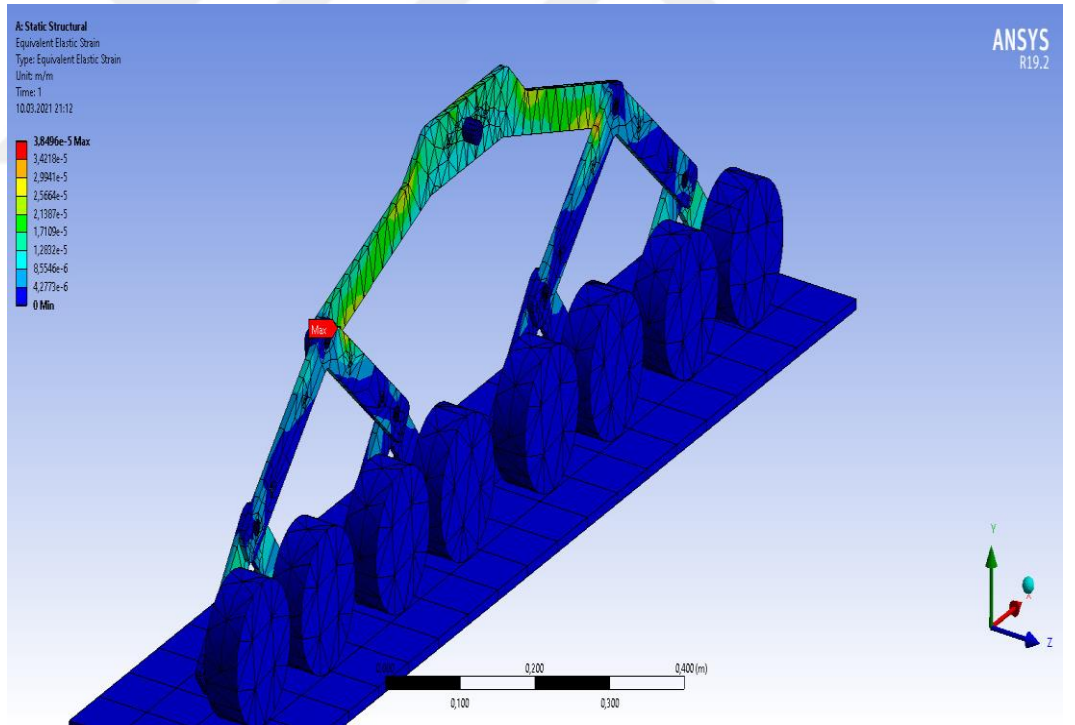
4. BULGULAR

4.1 Statik Analizi Sonuçları

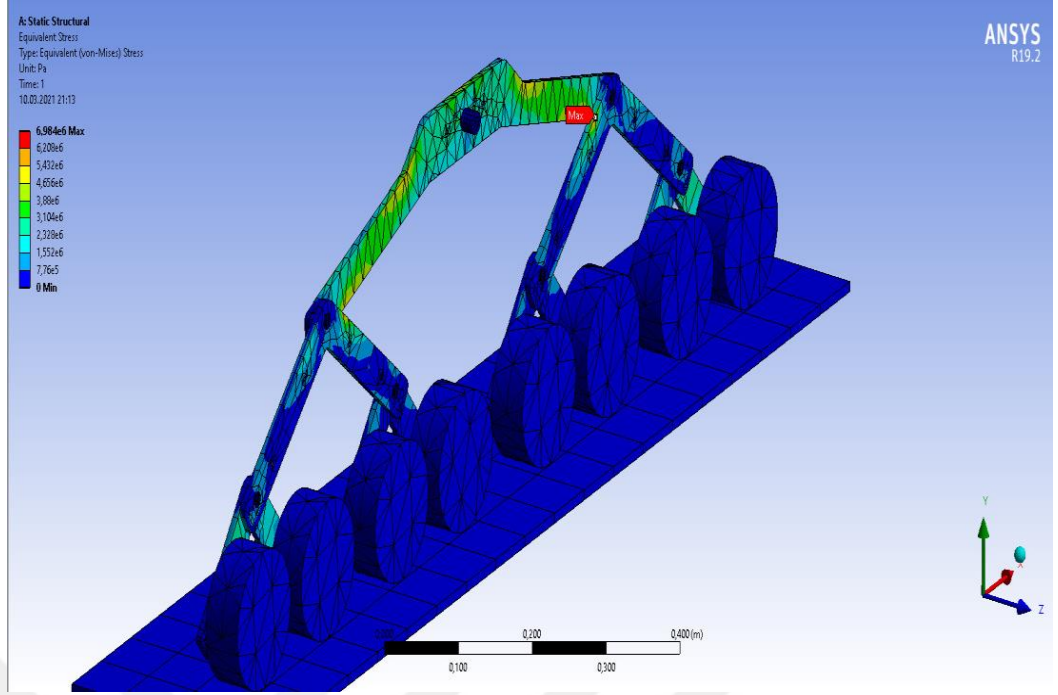
Robotun tasarımından sonra yapılan statik analiz ile sistemin mukavemet analizi yapılmıştır. Prototipin üzerine konulan ağırlığı taşıyıp taşıyamayacağı test edilmiştir. Zemin olarak sabit ve hareket etmeyecek sabit olarak tanımlandı. Yer çekimi ivmesi ve 300 N kuvvet altında statik analiz sonuçları elde edildi. Kullanılan alüminyumun akma mukavemeti 148 MPa ve çekme mukavemeti maksimum 214 MPa olarak bilinmektedir. Analiz sonucu elde edilen maksimum gerilme ise 6,984 MPa olmuştur (Şekil 4.1.1). Basma gerilmesi sonrası oluşan birim şekil değişikliği miktarı 0,0318496 m/m olduğu gözlemlenmiştir (Şekil 4.1.2). Parça üzerinde uygulanan maksimum deformasyon miktarı ise 0,043502 mm olarak gözlemlenmiştir (Şekil 4.1.3).



Şekil 4.1.1. Maksimum deformasyon



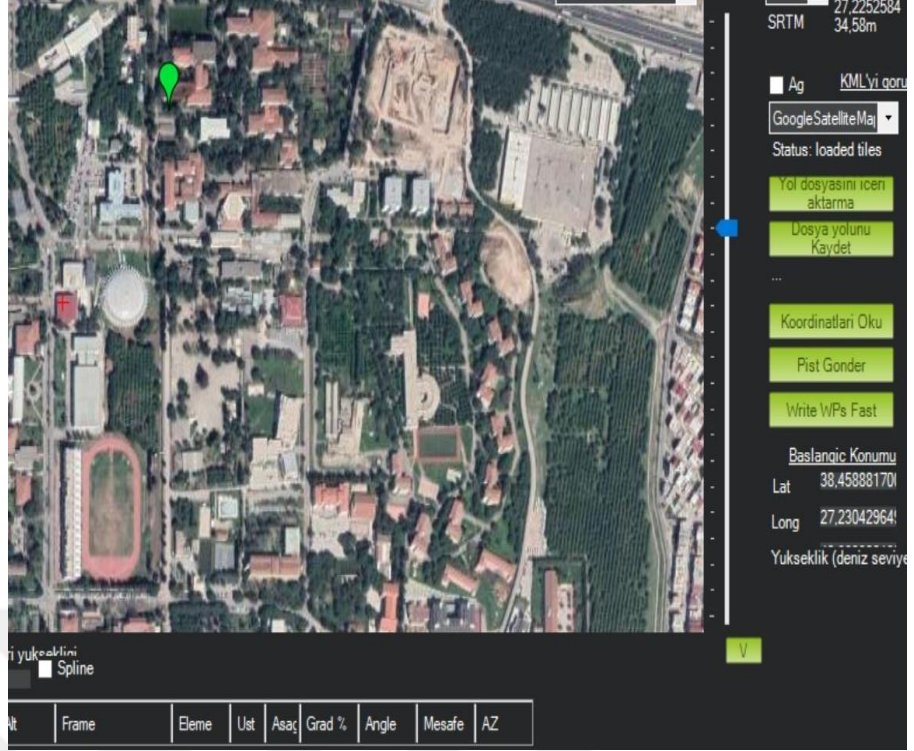
Şekil 4.1.2. Maksimum eşdeğer gerilme



Şekil 4.1.3. Maksimum kayma gerilmesi

4.2 Yer İstasyonu ve Telemetri Sistemi

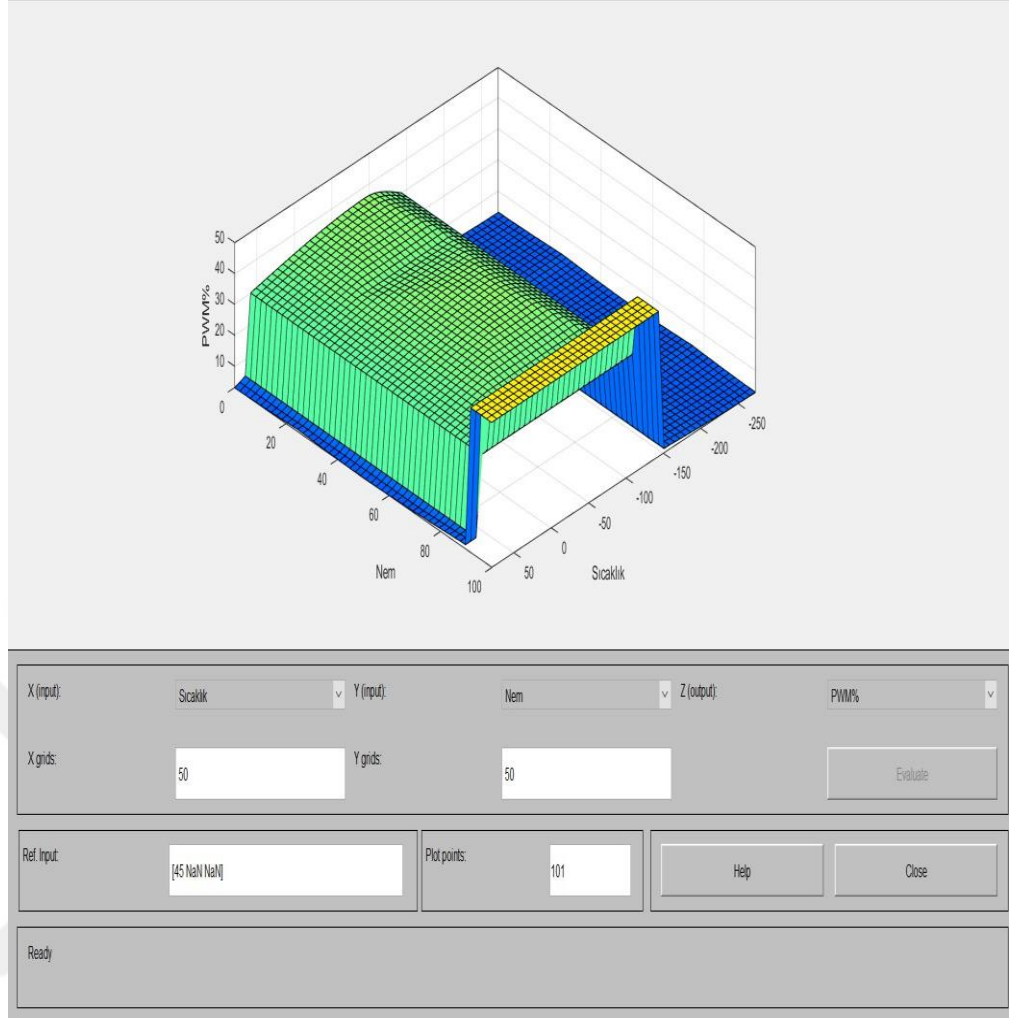
Ege Üniversitesi'nin bahçesinde rover'ın konumu yer istasyonundan görüntülenebilmiştir (Şekil 4.2.1). Yer istasyonu olarak kullanılan bir bilgisayar üzerinden Arduover programı sayesinde robotun konumu GPS uygulamaları aracılığıyla izlenmiştir. Veriler anlık olarak telemetri sistemi ile yer istasyonuna aktarılmıştır.



Şekil 4.2.1. Ege Üniversitesi'ndeki mobil robotun Ardurover programında anlık izlenmesi.

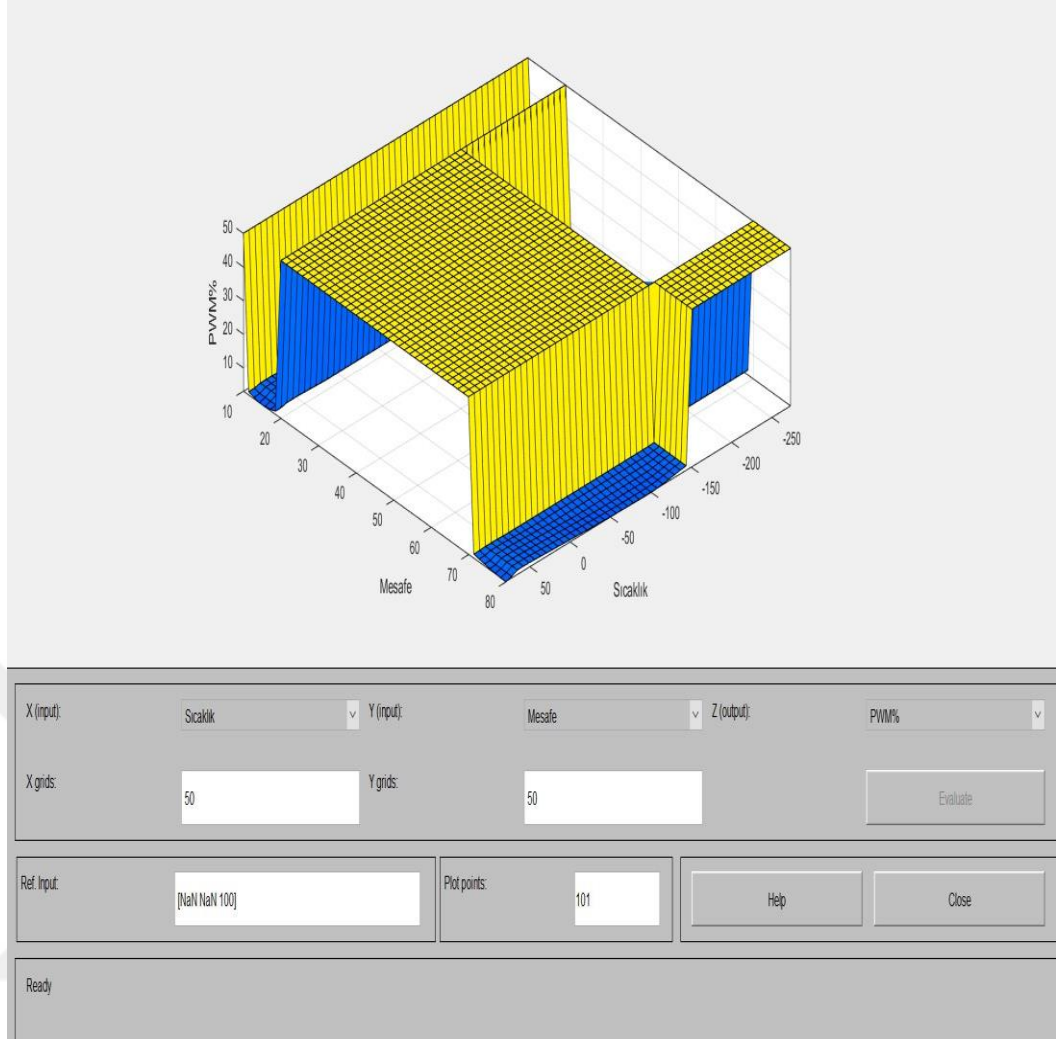
4.3 Bulanık Mantık Çıktıları

Yüzey görüntüleyici, çıktının bulanık çıkarım sisteminde elde ettiği verilerden meydana gelen yüzeyini görmek ve yorumlamak için Matlab üzerinden görüntülenmektedir. Robotun nem ve sıcaklık etkisiyle hız çıktısının herhangi bir anındaki çözüm yüzeyi görüntülenmektedir. (Şekil 4.3.1). Grafikteki yüzey, çıktının girdiler ile arasındaki ilişkiyi, hangisiyle ne kadar ilişkili olduğunu, hangi değerlerde etkili, hangi değerlerde etkisiz kaldığının yorumlanmasına yardımcı olmaktadır (Kubat, 2015).



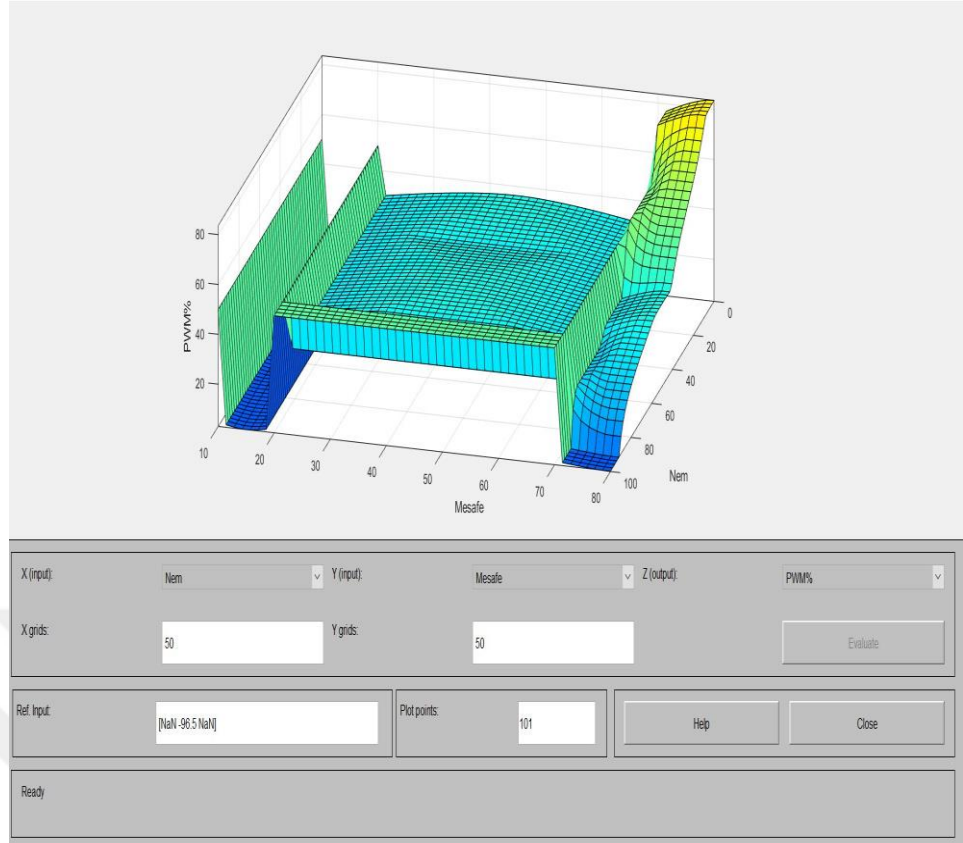
Şekil 4.3.1. Rover hız kontrol sistemi Nem-Sıcaklık-PWM sinyali yüzey grafik ekranı

Matlab'da robotun mesafe ve sıcaklık etkisiyle hız çıktısının herhangi bir anındaki çözüm yüzeyi görüntülenmiştir. (Şekil 4.3.2).



Şekil 4.3.2. Rover hız kontrol sistemi Mesafe-Sıcaklık-PWM sinyali yüzey grafik ekranı

Matlab'da robotun mesafe ve nem etkisiyle hız çıktısının herhangi bir anındaki çözüm yüzeyi görüntülenmiştir. (Şekil 4.3.3).

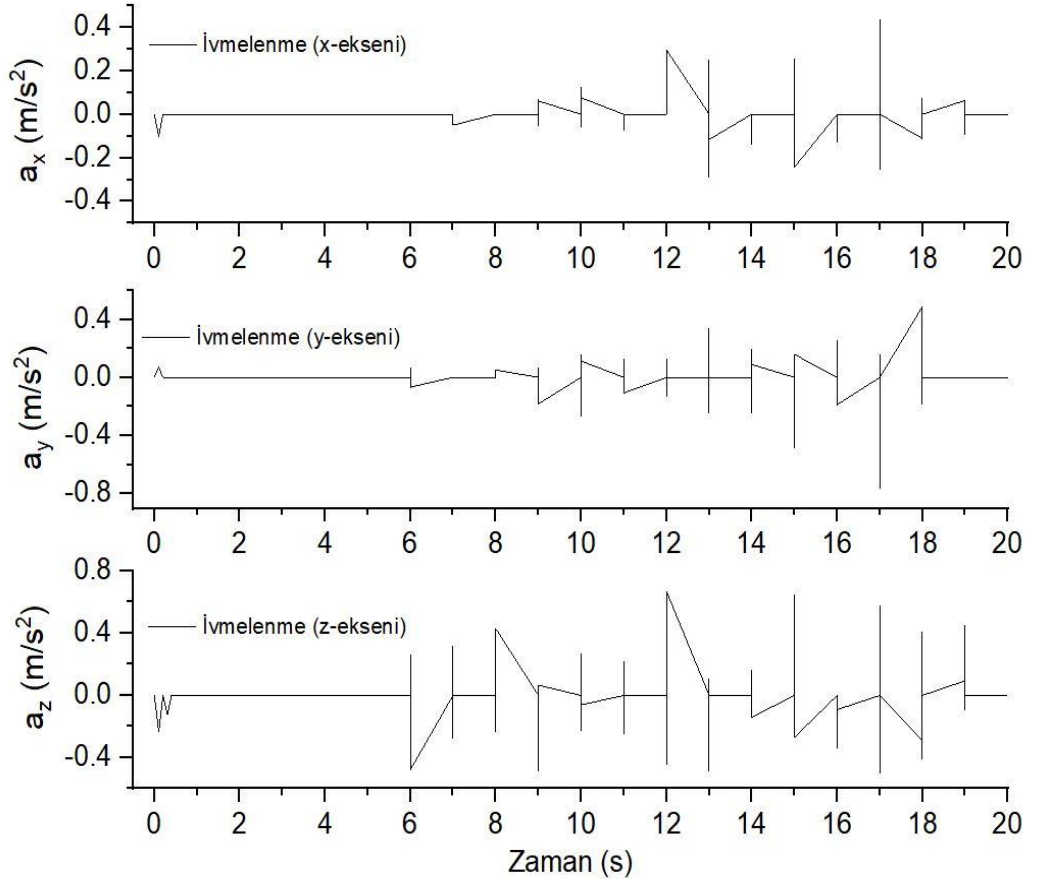


Şekil 4.3.3. Rover hız kontrol sistemi Nem-Mesafe-PWM sinyali yüzey grafik ekranı

Sistemin sıcaklık arttıkça ve engel ile olan uzaklık arttıkça motor hızının düştüğü görülmektedir. Grafik ekranına bakıldığında robotun sensörünün ölçtüğü mesafenin robotun hızı için sıcaklık değerinden daha önemli olduğu görülmektedir. Grafik yorumlanırken belli sıcaklık değerlerinin altında robotun çalışmasının sağlıklı olmadığı için robotun çalışmadığı görülmektedir. Uzay araştırmalarında görev yapacak robotların uzun süre görev yapmaları gerekmektedir. Görev yapan robotun dünyadaki yer istasyonu ile haberleşmenin geç olabileceği ve uzaktan kontrol edilen sistemin anlık tepki verme süresinin geç olacağı için böyle bir algoritmanın kullanılması zorunludur. Bulanık mantık kümesindeki üyelik dereceleri robotun görev yaptığı çevre koşullarına göre değiştirilebilmektedir. Karmaşık hesaplamalar ve karmaşık algoritmalar kullanılmasına gerek kalmamaktadır. Matlab yardımıyla üyelik fonksiyonları ve değişkenler robotun görev yapacağı gezegen değişse bile kolaylıkla değiştirilip algoritma düzenlenebilir. Gezegenin atmosferi yüzünden oluşabilecek olumsuz şartlar için kodların düzenlenmesi ve algoritmanın oluşturulması daha kolay olmaktadır.

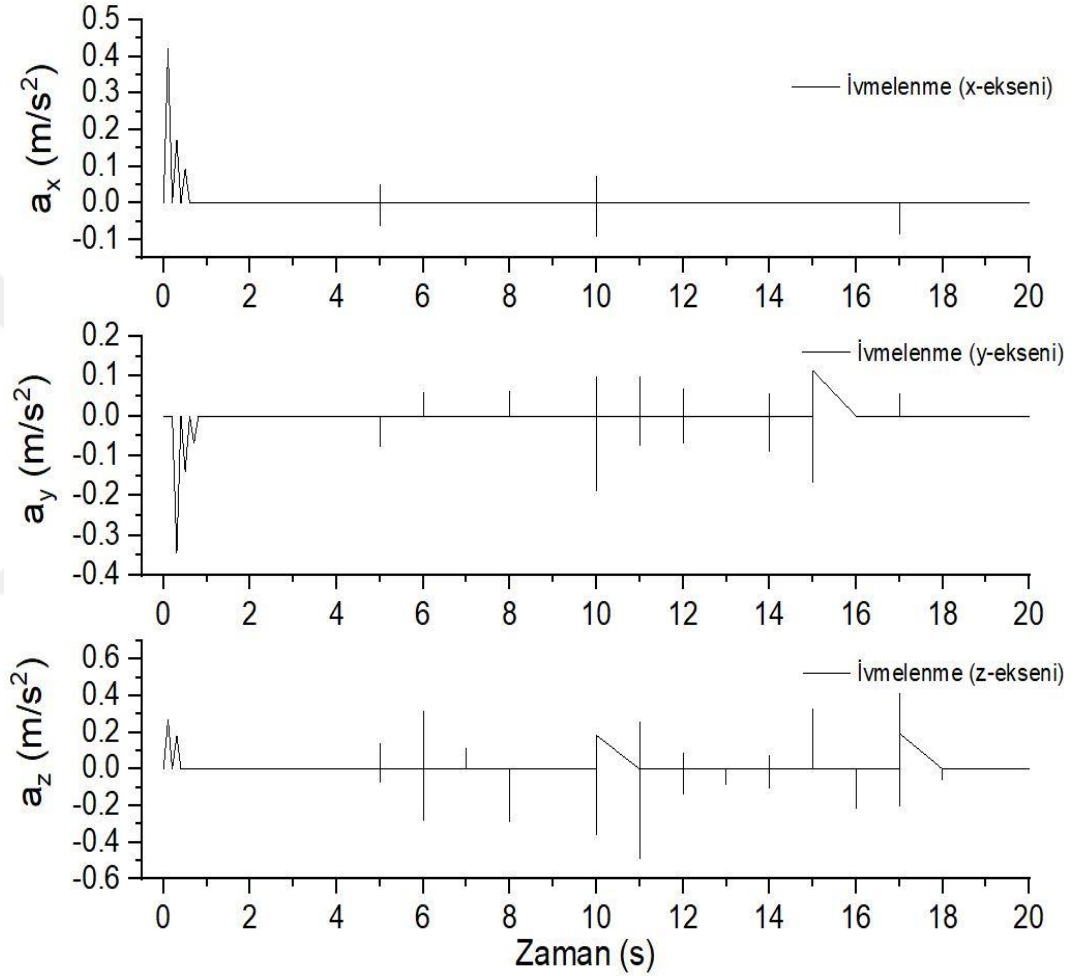
4.4 İvme Sensörü İle Elde Edilen Test Sonuçları

Rover için geliştirilen algoritma sayesinde engelle karşılaştığında düzgün yavaşlayan hareket yapmaktadır. Yapılan testlerde rover üzerine konulan bir akıllı telefon üzerindeki Vibrometer uygulamasıyla ölçümler yapılmıştır. Program akıllı telefon içerisinde mevcut olan ivme sensörünü kullanmaktadır. Ölçümler sonucunda elde edilen sonuçlar ile ilgili grafik oluşturulmuştur. X, Y ve Z eksenlerinde robotun gövdesinin saniyede yaptığı ivmelenmeler ile ilgili sonuçlar için ivme-zaman grafikleri Origin adlı grafik tasarım programının demo versiyonu ile oluşturulmuştur. Bulanık mantıkla yapay zeka algoritması kullanılmadan yapılan 20 saniyelik test sonucunda robot engelle karşılaştığında çıkan sonuç grafiği aşağıda verilmiştir (Şekil 4.4.1).



Şekil 4.4.1 Bulanık mantık algoritması kullanılmayan, engelle karşılaştığında robotun 20 s boyunca ivmelenme grafiği.

Bulanık mantık algoritması ile programlanan robot ile aynı koşullarda yapılan test sonucu robotun gövdesinin daha az sarsıldığı ve ivmelenmenin daha az olduğu görülmüştür (Şekil 4.4.2). Robot arazide ilerlerken engelle karşılaştığında donatılmış sensörler yardımıyla karşısına çıkan engeli önceden tespit edip, geliştirilen bulanık mantık algoritmasıyla düzgün yavaşlayan hareket yapabilmektedir.

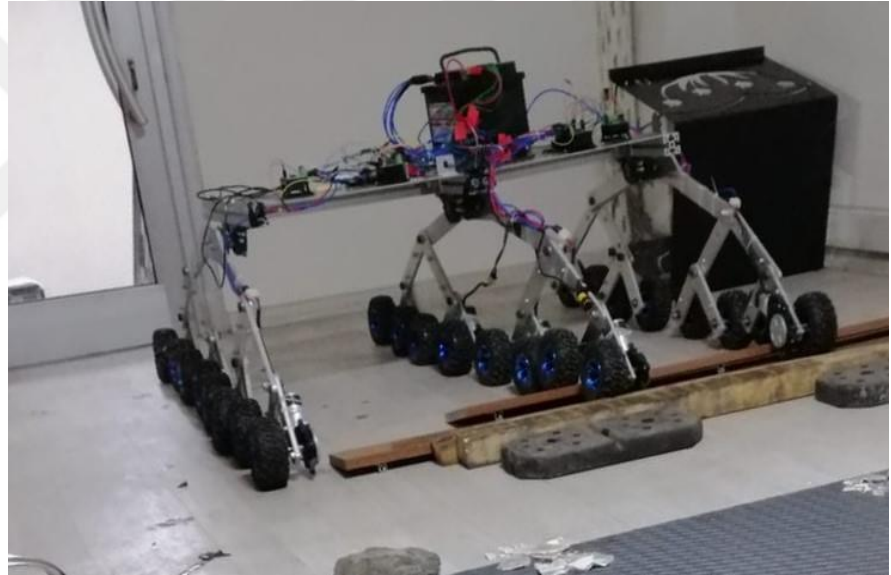


Şekil 4.4.2. Bulanık mantık algoritması kullanılmış, engelle karşılaşan robotun 20 s boyunca ivmelenme grafiği.

Şekil 4.4.1’de sunulan verilere göre, “bulanık mantık kullanılmayan durum” için x-eksenine göre ivmesi yaklaşık olarak $-0,3$ ila $+0,4$ m/s² aralığında, y eksenindeki ivmesi, $-0,8$ ila $+0,4$ m/s² ve z eksenindeki ivmesi ise $-0,4$ ila $+0,8$ m/s² aralıklarında değişmiş fakat her üç eksenindeki ivme değerlerinin de oldukça parazit oluşturduğu gözlenmiştir. Şekil 4.4.2’de sunulan verilere göre ise, “bulanık mantık kullanılan durum” için x-eksenine göre ivmesi, başlangıçtaki ivme dalgalanmaları

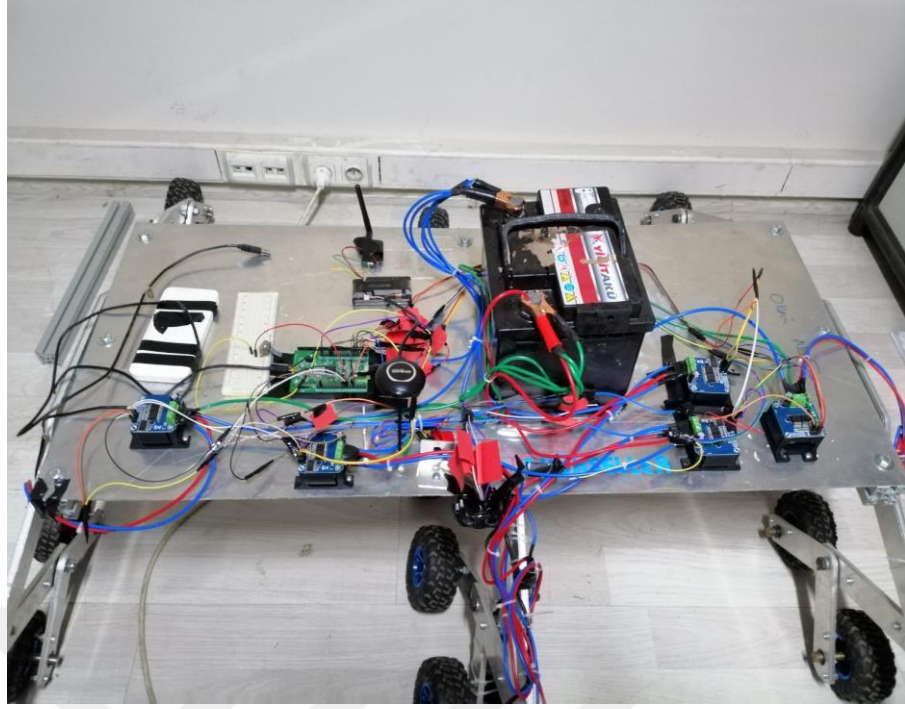
ihmal edildiği takdirde (kalkış esnasındaki değerlerden kaynaklı), yaklaşık olarak $-0,1$ ila $+0,1$ m/s^2 aralığında, y eksenindeki ivmesi, $-0,1$ ila $+0,2$ m/s^2 ve z eksenindeki ivmesi ise $-0,2$ ila $+0,4$ m/s^2 aralıklarında değişmiş olduğu gözlenmiştir. Bu durum, Rover için bulanık mantık kullanılmayan durumun, bulanık mantık kullanılan duruma göre üç boyutta daha çok sarsılma yaşadığına işaretler. Bu bulgular ise, bu tür bir Rover tasarımında bulanık mantık kullanımının önemini göstermektedir.

Üretilen robotla ilgili engebeli arazide testler yapılmıştır. Testler sonucunda robotun arazide ilerlerken, engelden geçerken üst gövdesinin sarsılmadığı, yere paralel bir şekilde ilerlediği görülmüştür. Önüne engel kurularak bir yapay parkur hazırlanmış ve denemeler parkurda gerçekleştirilmiştir (Şekil 4.4.3.).



Şekil 4. 4.3. Bütün montaj aşamaları tamamlanmış robotun hazırlanan parkurda test edilmesi.

Robot gövdesi üzerine, elektronik devrelerinin yanına yerleştirilen bir akıllı telefonun içindeki Vibrometer isimli uygulama aracılığıyla gövdedeki titreşimler ölçülmüştür (Şekil 4.4.4.). Uygulama çalıştırılarak testler yapılmış, ölçümler elde edilmiştir. Elde edilen verilerle ilgili grafikler oluşturularak bulanık mantıkla programlanmış ve bulanık mantıkla programlanmamış sonuçlar karşılaştırılmıştır.



Şekil 4.4.4. Robotun elektronik devreleri.

5. SONUÇ VE TARTIŞMA

Bu tez çalışmasında 24 tekerlekli salıncak mekanizmasına sahip otonom çalışabilen ve yer istasyonu ile konumu takip edilebilen bulanık mantık Mamdani çıkarım yöntemine göre programlanmış bir keşif robotunun prototipi tasarlanıp üretilmiştir. Tüm testlerde mekanik sistemin gövdesi engeli geçerken sarsılmamış, yere mümkün oldukça paralel şekilde hareketine devam etmiştir. Tekerlek ve tekerlek grupları engeli tırmanırken veya üzerinden geçerken, üst devre etkilenmemiş ve güvenli bir şekilde testlerde başarılı olmuştur. Yapılan testlerde bir adet akıllı telefon üzerindeki ivme sensöründen faydalanılmış, robotun bulanık mantık algoritması kullanıldığında engelle karşılaştığı anda dururken daha az sarsıldığı ölçülmüştür. Bulanık mantık algoritması kullanılmadan robot engelle karşılaştığında aniden durmaya çalıştığı için gövdesinin daha fazla sarsıldığı görülmüştür. Bulanık mantık kullanılarak elde edilen titreşim testlerine göre, “bulanık mantık kullanılmayan durum” için x-eksenine göre ivmesi yaklaşık olarak $-0,3$ ila $+0,4$ m/s^2 aralığında, y eksenindeki ivmesi, $-0,8$ ila $+0,4$ m/s^2 ve z eksenindeki ivmesi ise $-0,4$ ila $+0,8$ m/s^2 aralıklarında değişmiş fakat her üç eksenindeki ivme değerlerinin de oldukça parazit oluşturduğu gözlenmiştir. Aynı koşullarda yapılan test için elde edilen verilere göre ise, “bulanık mantık kullanılan

durum” için x-eksenine göre ivmesi, başlangıçtaki ivme dalgalanmaları ihmal edildiği takdirde (kalkış esnasındaki değerlerden kaynaklı), yaklaşık olarak $-0,1$ ila $+0,1$ m/s^2 aralığında, y eksenindeki ivmesi, $-0,1$ ila $+0,2$ m/s^2 ve z eksenindeki ivmesi ise $-0,2$ ila $+0,4$ m/s^2 aralıklarında değişmiş olduğu gözlenmiştir. Alınan bu sonuçlara göre bulanık mantık kullanılan durumda robotun gövdesinin x, y ve z eksenini doğrultusunda daha az sarsıldığı görülmektedir. Otonom çalışacak arazi robotlarının bulanık mantıkla programlanması, arazide robotun daha az sarsılmasını sağlayabilir veya robotun devrilmesini engelleyebilir.

Bulanık mantıkla programlama algoritması ile robotun sadece engel var veya engel yok gibi bilgisayar algıları yanında, engel çok uzakta, engel uzakta, engel yakında, engel çok yakında gibi dilsel algılarla çevresini algılayabilir ve daha hassas tepkiler verebilir. Yapılan prototip çalışmasında yer istasyonundan aracın konum bilgisi elde edilmiştir. Anlık olarak GPS uyduları ile robotun konumu takip edilebilmektedir. Eğer gerek duyulursa yer istasyonunda robot kontrolü sağlanabilir. Bunun için yeni bir C# programlama dili ile yeni bir arayüz tasarlanabilir. Bilgisayarda kurulan arayüz ile hem robot konumu, deniz seviyesinden yüksekliği, sıcaklığı, nem değeri gibi değerler de takip edilebilir, acil durumlarda robotun görevini sonlandırması veya robotun başlaması için sinyal gönderilebilir. Prototip için kullanılan telemetri cihazı bunları gerçekleştirmek için yeterlidir, projenin devamında daha da geliştirilebilir.

Algoritma ise Mamdani bulanık çıkarım yöntemine göre hazırlanmıştır. Sadece 5 teker tahrik edilmiştir. 24 tekerlekli bir robotun her tekerinin bir motor ile tahrik edildiği düşünülürse, her bir motor için yapılacak kodlama karmaşık olacaktır. Projenin geliştirilmesi durumunda tekerleklerin tahrik edilmesi için diferansiyel bir mekanizma oluşturulabilir. Ayrıca normal programlama algoritması oluşturularak sadece bilgisayar algılarıyla yazılıysaydı, hava sıcaklığı 65 °C altında ve -145 °C üzerinde, engel ile arasındaki uzaklık en az 20 cm ise PWM %50 olacak, engel 80 cm uzaklıkta ise PWM %100 olarak programlanacaktı. Engel 15 cm ise uzaklık robot PWM %0 olarak sinyal üretilcekti. Bulanık mantık Mamdani çıkarım yöntemi uygulanarak robotun mesafesi her engele yaklaştığında hızının değişmesi ve düzgün yavaşlayan hareket yapması sağlanabilmektedir. Robot hızının sadece 3 çıktı ile değil daha hassas ara değerlerle belirlenmesi bu yöntemle

sağlanmıştır. Robot testler sonucunda bulanık sonuçlar vermiştir. Bu sayede düzgün yavaşlayan hareket yaparak emniyetli bir şekilde görevini sürdürmüştür. Düzgün yavaşlayan hareketi sadece bulanık çıkarım yapmadan kodlama ile yapmak çok daha uzun ve karmaşık algoritmalar gerektirir.

Mars keşif aracının üretiminden önce, tez çalışmasındaki gibi bir prototipin üretilip imalat hatalarının görülmesi, sonrasında yapılacak buluşların doğru formatta olduğuna emin olmamızı kolaylaştıracaktır. Mekanik tasarım yapıldıktan sonra ilk yapılan numune sonucunda nihai ürüne ulaşmak oldukça zordur. İmalat sırasında makine hataları, operatör hataları ve imalat sırasında ortamdaki bozucu etkiler de üretim kalitesini etkilemektedir. Makine hassasiyetini hava sıcaklığı veya rüzgar, toz gibi bozucu etkenler değiştirmiştir.

Robotun görev sırasında engellerden kaçınması için dümenleme yapması gerekmektedir. Mevcut sistem ile robotun döndürülmesi sırasında ardı ardına dizili 8 tekerleğin yerde sürükleneceği için, dümenleme sistemi tezin sonrasında yapılacak çalışmalara, olasılıkla doktora tez çalışmasına bırakılmıştır.

Programlama dili olarak C programlama dili kullanılmıştır. Matlab'da geliştirilen algoritma C programlama diline aktarılmıştır. Mesafe sensörü ve kızılötesi sensör ile robotun çevresini algılaması sağlanmıştır. Kullanılan Mamdani bulanık çıkarım yöntemi ile robotun çevresini algımlarken, her aldığı sinyale göre farklı tepki vermesi sağlanmıştır. Engele her yaklaştığında mesafe sensörü ile okuduğu değere göre motorun hızı değişip, düzgün yavaşlayan hareket yapabilmektedir.

Özetle bu tez çalışmasında, yapay zeka alt dallarından olan bulanık mantıkla Mamdani çıkarım yöntemi kullanılarak programlanan bir mobil robotun prototipi üretilip, testleri gerçekleştirilmiştir. Salıncak mekanizmalı ve otonom çalışabilen yapay zekaya sahip bulanık mantıkla programlanmış bir prototip robot ilk defa bu tez çalışmasında üretilmiştir. Tez çalışmasında elde edilen sonuçlara göre, aracın engelle karşılaştığında bulanık mantık kullanımı sayesinde daha az sarsıldığı görülmüştür.

KAYNAKLAR DİZİNİ

- Artukoğlu, A.**, 2014, Curiosity Yüzey Aracı ile Mars Gezegeninin Fiziksel Özellikleri ve Yaşam Araştırmaları, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 128s (yayımlanmamış).
- Barlas, F.**, 2004, Mars Mobil Robotu Süspansiyon Mekanizması Tasarımı, Yüksek Lisans Tezi, İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü, 93s, (yayımlanmamış).
- Dwayne, B. and Joanna, W.**, 2019, “Nasa’s Record-Setting Opportunity Rover Mission on Mars Comes to End”, <https://www.nasa.gov/press-release/nasa-record-setting-opportunity-rover-mission-on-mars-comes-to-end> (Erişim tarihi: 26 Kasım 2019).
- Falcone, E., Gockley, R., Porter, E. And Nourbakhsh, I.**, 2003, The Personal Rover Project: The comprehensive design of domestic personal robot, Robotics and Autonomous Systems, 42, Pittsburgh, 245-258p.
- Farritor, S., Hacot, H., and Dubowsky, S.**, 1998, Physics-based planning for planetary exploration IEEE International Conference on Robotics and Automation, 1, Belgium, 278-283p.
- Guillemin, P.**, 1996, Fuzzy logic applied to motor control, IEEE transactions on industry applications, 10.1109/28.485812, France, 51-56p.
- Harrington, B. D. and Voorhees, C. J.**, 2004, The challenges of designing the rocker-bogie suspension for the Mars Exploration Rover, Proc. Of the 37th Aerospace Mechanisms Symposium, NASA/CP-2004212073, Galveston TX.
- Iagnemma, K., Kang, S., Shibly, H., and Dubowsky, S.**, 2004, Online terrain parameter estimation for wheeled mobile robots with application to planetary rovers, IEEE Transactions on Robotics, 20(5),
- İstanbul Teknik Üniversitesi**, 2018, “Rover”, <https://www.rover.itu.edu.tr/rover> (Erişim tarihi: 27 Kasım 2019).
- Jet Propulsion Laboratory**, 1997, “Sojourner Rover Home Page”, <http://mars.jpl.nasa.gov/MPF/rover/sojourner.html>, (Son Erişim Tarihi: 20 Kasım 2019).

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Kilit, O.**, 2005, Application of a multi-stage bogie suspension system to the planet exploration vehicles, In Proceedings of 2nd International Conference on Recent Advances in Space Technologies, IEEE, Istanbul, 304-308 pp.
- Kilit, O.**, Yontar, A., 2009, Stability of a New Mars Rover with Multi-Stage Bogie Mechanism, Proceedings of 4th International Conference on “Recent Advances in Space Technologies” - IEEE, Turkey, 145-149 pp.
- Köse, F., Kaplan K., Ertunç, H., M.**, 2013, PID ve bulanık mantık ile DC motorun gerçek zamanda stm32f407 tabanlı hız kontrolü, Otomatik Kontrol Ulusal Toplantısı, TOK2013, Malatya, 26-28s.
- Kubat C.**, 2015, Matlab Yapay Zekâ ve Mühendislik Uygulamaları, Abaküs Kitap Yayın Dağıtım Hizmetleri, Ankara, 766s.
- Kuvvet M.**, 2010, Regolitin kullanım alanları, Ay’da ve Mars’ta regolitin yapı malzemesi olarak kullanımı, regolitten başka elementlerin ve maddelerin çıkarımı, Yüksek Lisans Tezi, Hava Harp Okulu Komutanlığı, 119s, (yayımlanmamış).
- Lindemann, R. A., and Voorhees, C. J.**, 2005, Mars Exploration Rover mobility assembly design, test and performance, In 2005 IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics, 1, Waikoloa, 450-455p.
- Mamdani, E., H., and Assilian, S.**, 1975, An experiment in linguistic synthesis with a fuzzy logic controller, International Journal Of Man-Machine Studies, 7(1), London, 1-13p.
- Mardiyanto, R., Pujiantara, M., Suryoatmojo, H., Dikairono, R., & Irfansyah, A. N.**, 2019, Development of Unmanned Aerial Vehicle (UAV) for Dropping Object Accurately Based on Global Positioning System. In 2019 International Seminar on Intelligent Technology and Its Applications (ISITIA), IEEE, 86-90p.
- Melek, S.**, 2005, Ölçüler Birimler ve tablolar, Hacettepe Üniversitesi Hastaneleri Basımevi, Ankara, 367s.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Örger, N. C.**, 2015, Gezici mikro ay robotunun hareketlilik manipülasyon ve görüntü işleme sistemleri tasarımı, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi, Uçak ve Uzay Mühendisliği Anabilim Dalı, 116s, (yayımlanmamış).
- Özyeğin Üniversitesi**, 2018, “Planetary Rovers”, <http://rover.ozyegin.edu.tr/>, (Erişim Tarihi: 27 Kasım 2019).
- Papadopoulos, E., Rey, D.**, 2000, The Force-Angle measure of tipover stability margin for mobile manipulators, *Vehicle System Dynamics*, 33, London, 29-48p.
- Shiller, Z., and Gwo, Y., R.**, 1991, Dynamic motion planning of autonomous vehicles, *IEEE Transactions on Robotics and Automation*, 7, Los Angeles, 241-249p.
- Shiller, Z., and Mann, M., P.**, 2004, Dynamic stability of off-road vehicles, *IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems*, 2, Sendai, 1849-1853p.
- Squyres, S. W., Arvidson, R. E., Bell J. F., Brückner, J., Cabrol N. A., Calvin, W., and Des, Marais, D. J.**, (2004), Opportunity Rover’s Athena science investigation at Meridiani Planum, Mars, 306, USA, 1698-1703p.
- Steuer, J.**, 1992, Defining Virtual Reality: Dimensions Determining Telepresence, *Journal of Communication*, 42, Stanford, 73-93p.
- Sugeno, M., and Yasukawa, T.**, 1993, A fuzzy-logic-based approach to qualitative modeling, *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, 1(1), New Jersey, 7p.
- Şahin, H. M.**, 1997, Mars Veya Daha Uzak Gezegenlerde Gönderilecek Bir Uzay Kargo Gemisinin Füzyon Roket Motorunun Tasarımı, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Makine Eğitimi Anabilim Dalı, Ankara, 105s.
- Şahin, İ., Yalvaç, M.**, 2012, MyRobot: Kablosuz Kontrol Edilebilen Mobil Araştırma Robotu, *Education Sciences*, 7.1:340-347s.
- Tarokh, M., McDermott, G., Hayati, S., and Hung, J.**, 1999, Kinematic modeling of a high mobility Mars rover, *IEEE International Conference on Robotics and Automation*, 2, Detroit, 992-998p.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Toha, S. F. and Zainol, Z.**, (2015), System modelling of rocker-bogie mechanism for disaster relief, IEEE International Symposium on Robotics and Intelligent Sensors, 76, Malaysia, 243-249p.
- Toupet, O., Biesiadecki, J., Rankin, A., Steffy, A., Meirion-Griffith, G., Levine, D., Schadegg, M., Maimone, M.**, 2019, Terrain-adaptive wheel speed control on the Curiosity Mars rover: Algorithm and flight results, Journal of Field Robotics, (unpublished).
- Wettergreen, D., Pangels, H., Bares, J.**, 1995, Behavior-based gait execution for the Dante II walking robot, IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, 3, Pittsburgh, 274-279p.
- Yayan, U., Özüpek, D., Taş, M. O., Altan, M. and Yazıcı, A.** 2017, Development of remote controlled mobile robot for planet research simulation laboratory, In 2017 International Conference on Computer Science and Engineering (UBMK), IEEE, 277-282s.
- Yontar, A.**, 2010, Araziye Uyum Sağlayabilen Çok Kademeli Salıncak Mekanizmalı Bir Aracın Tasarımı, Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi, 74s, (yayımlanmamış).

TEŞEKKÜR

“Bu çalışma Ege Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından desteklenmiştir. Proje Numarası: FYL-2019-20328”. Projenin imalatı ve Ar&Ge çalışmaları yürütülürken atölye ve makine desteklerini esirgemeyen Yükseller Demir Makina SAN. TİC. LTD. ŞTİ. firması, Yüksel Tarım Manisa firması, Dizayn Çelik firması, Tunç Makina firmasına teşekkürlerimi bir borç bilirim. Tez süresince bilgi ve birikimleriyle yardımcı olan, başından sonuna kadar desteğini esirgemeyen, moral veren ve bana olan inancını hiç yitirmeyen değerli danışmanım Doç. Dr. Ozan Ünsalan’a, teknik tasarım ve analiz konularında yol gösterip, yardımcı olan ve jüri olarak tez savunma sınavında da bulunan Dr. Öğr. Üyesi Özgür Kilit’e, programlama ve algoritma geliştirmede yardımcı olan yakın arkadaşım Mühendis Samet Aydın’a, tasarım ve mukavemet analizi konusunda yardımlarından dolayı yakın arkadaşım Mühendis Aytuğ Demirbaş’a, maddi manevi desteklerini hiç esirgemeyen sevgili aileme sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

21/05/ 2021

İmzası

Okan AKTUĞ

ÖZGEÇMİŞ

GENEL BİLGİLER

Ad-Soyad: Okan AKTUĞ

Öğrenim Bilgileri

Lisans: [2011 - 2017] - KARABÜK ÜNİVERSİTESİ, Teknoloji Fakültesi, Mekatronik Mühendisliği

Ortaöğretim (Lise ve Dengi): [2007 - 2010] - Esnaf ve Sanatkarlar Odaları Birliği Mesleki ve Teknik Anadolu Lisesi , Endüstri Meslek Lisesi , Makine

Meslek Bilgileri:

Mekatronik Mühendisi

Nitelikler

3 Boyutlu Tasarım ve Modelleme Araçları : SolidWorks

Bilgisayar Destekli Tasarım Araçları : AutoCAD

Programlama Dilleri : C#, Visual Basic 6.0, C++.

Yabancı Dil

Dinleme Okuma Konuşma Anlatım Yazma

İNGİLİZCE C1 C1 C1 C1 C1

Sürücü Belgesi: 24.11.2015 tarihinde alınan B ehliyeti bulunmaktadır.

