

T.C.
UŞAK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**KAYNAKLI KONSTRÜKSİYONLARDA KULLANILACAK OTOMATİK
KUMLAMA MAKİNESİNİN TASARIMI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Ramazan Tamer KÖSE

TEMMUZ 2019

UŞAK

T.C.
UŞAK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

KAYNAKLI KONSTRÜKSİYONLARDA KULLANILACAK OTOMATİK
KUMLAMA MAKİNESİNİN TASARIMI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Ramazan Tamer KÖSE

UŞAK 2019

Ramazan Tamer KÖSE tarafından hazırlanan KAYNAKLI KONSTRÜKSİYONLARDA KULLANILACAK OTOMATİK KUMLAMA MAKİNESİNİN TASARIMI adlı bu tezin Yüksek Lisans tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Prof. Dr. Osman ASİ
Tez Danışmanı, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı



Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği / ~~oy çokluğu~~ ile Makine Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Osman ASİ
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Uşak Üniversitesi



Prof. Dr. Hasan ÇALLIOĞLU
Mekatronik Mühendisliği Anabilim Dalı, Pamukkale Üniversitesi



Doç. Dr. Abdullah YILDIZ
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Uşak Üniversitesi



Tarih: 01/07/ 2019

Bu tez ile U.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu Yüksek Lisans derecesini onamıştır.

Doç. Dr. Murat Kemal KARACAN



Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

Ramazan Tamer KÖSE



KAYNAKLI KONSTRÜKSİYONLARDA KULLANILACAK OTOMATİK KUMLAMA MAKİNESİNİN TASARIMI

(Yüksek Lisans Tezi)

Ramazan Tamer KÖSE

T.C.

UŞAK ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Haziran 2019

ÖZET

Yüksek miktarda çelik yüzey ihtiva eden gemiler, açık deniz platformları, rüzgar türbin direkleri, silolar, petrol depolama tankları ve deniz geçişi köprüleri gibi yapıların hizmet ömrünü uzatmak için düzenli bakım yapılması gerekir. Çelik yüzeyin zamanla korozyona uğraması sebebi ile meydana gelen yağ, pas ve tortulardan arındırılmasını sağlayan kumlama yöntemi; işlem bölgesini yeniden boyama işlemine hazır hale getiren geleneksel bir bakım yöntemidir. Günümüzde deniz yolu taşımacılığında kullanılan yük ve yolcu gemileri periyodik olarak tersanelerde bakım görmektedir. Halen çoğu ülkede operatör merkezli manuel olarak yapılan bu kumlama işlemi iskele ihtiyacı, iş güvenliği, sınırlı manevra kabiliyeti, düşük çalışma kapasitesi, düşük çalışma verimliliği ve iş güvenliği açısından noksanlıklar içerir. Bu tezde; ortam koşulları göz önünde bulundurulduğunda insan sağlığı için tehlikeli bir proses olan kumlama işlemini, harici bir lift sistemi olmadan, çelik yüzeylere bir mıknatıs sistemi ile tutunup yatayda ve dikeyde hareket eden, sürdürülebilir, kolay kullanışlı, değişken geometrili yüzey şekillerine adapte olan, çalışma verimliliğini ve çalışma kapasitesini yükseltecek bir otomatik kumlama robotu tasarımı yapılmıştır.

Bilim Kodu: 625.02.02

Anahtar Kelimeler: Kumlama, çelik konstrüksiyon, mıknatıs, robot tasarımı

Sayfa Adeti: 68

Tez Yöneticisi: Prof. Dr. Osman ASİ

**DESIGN OF AUTOMATIC SAND BLASTING MACHINE TO BE USED IN
WELDED STRUCTURES**

(Master's Thesis)

Ramazan Tamer KÖSE

UNIVERSITY OF UŞAK

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

June 2019

ABSTRACT

Regular maintenance is required to extend the service life of structures such as ships, offshore platforms, wind turbine towers, silos, oil storage tanks and maritime crossing bridges containing high levels of steel surface. Sand blasting method for the removal of oil, rust and sediment due to corrosion of the steel surface over time; is a traditional maintenance method that makes the process area ready for repainting. Today, the cargo and passenger vessels used in sea transportation are periodically maintained in shipyards. Currently, most of the workforce-based, manual sandblasting process involves many shortcomings in terms of scaffolding need, occupational safety, limited maneuverability, low working capacity, low working efficiency and occupational safety. In this thesis; the blasting process, which is a dangerous process for human health, considering the environmental conditions; without an external lift system, an automatic sandblasting robot design has been designed to increase the working efficiency and working capacity, adapting to surface shapes that can be sustained, easily usable, moving with a magnet system and moving horizontally and vertically.

Science Code: 625.02.02

Keywords: Sandblasting, steel construction, magnet, robot design

Number of Page: 68

Supervisor: Prof. Dr. Osman ASİ

TEŞEKKÜR

Yüksek Lisans öğrenimime başladığım günden bu yana bilgi ve deneyimleri ile beni yönlendiren, 1. Sınıfta aldığım derslerde meslek hayatıma direk katkıda bulunan, tezimin her aşamasında pozitif yaklaşımıyla yardımını esirgemeyen, oluşan aksaklık ve gecikmelerde çözüm odaklı bir yol gösteren, danışman hocam Sayın Prof. Dr. Osman ASİ'ye bu süreçte değerli katkılarından dolayı teşekkür ve saygılarımı sunarım.

Çalışmamda teknik bilgi ve becerileriyle her daim yardımcı olan, tasarımıda zorlandığım ve noksan kaldığım konularda karşılık beklemeden tereddütsüz canı gönülden yanımda olan sevgili meslektaşlarım Mehmet Fatih MADİOĞLU'na, Erkan GÜNER'e ve Cihan GÜREL'e, teşekkür ederim.

Tezin işleyişi bilgisi, prosedür bilgisi ve her zaman olumlu yaklaşım motivasyon desteği sağlayan değerli iş arkadaşım Gülşah GÖRGÜLÜ'ye teşekkür ederim.

Manevi anlamda bu zorlu süreçte desteklerini esirgemeyen, başaracağım hissini her zaman en yüksek seviyede tutan babam Ömer KÖSE'ye, annem Emine KÖSE'ye, ablalarım Funda YAĞCI ve Gonca YILMAZ'a büyük sevgi ile teşekkür ederim.

Yüksek lisans eğitimimin başından bugüne dek güzel bir çalışma ile tamamlanması adına psikolojik destek sağlayan, güçlü kişiliği olgun tutumu ile güven veren, sevgisini tüm koşullar altında hep en yüksek seviyede ile hissettiren, değerli nişanlım Sultan Şeyda KARAGÜR'e en samimi duygularıyla teşekkür ederim.

Ramazan Tamer KÖSE

Makine Mühendisi

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET.....	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR	iii
ŞEKİLLERİN LİSTESİ	vii
TABLoların LİSTESİ.....	ix
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	x
1. GİRİŞ	1
1.1. Problemin Tanımı.....	1
1.2. Tezin Özgünlüğü	2
1.3. Tezin Amacı	2
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI.....	4
2.1. Duvar Tırmanma Robotun Niteliklerinin İncelenmesi.....	4
2.2. Literatürde Duvar Tırmanma Robotları	4
2.2.1. Tahrik Mekanizmasına Göre Tırmanma Robotları	5
2.2.1.1. Bacaklı Tırmanma Robot Tipi.....	5
2.2.1.2. Tekerlekli Tırmanma Robot Tipi	6
2.2.1.3. Paletli Tırmanma Robot Tipi.....	8
2.2.1.4. Ötelemeli Tırmanma Robot Tipi	9
2.2.1.5. Halatlı Tırmanma Robot Tipi.....	10
2.2.2. Tutunma Mekanizmasına Göre Tırmanma Robotları	11
2.2.2.1. Vakum Tertibatlı Tırmanma Robot Tipi	11
2.2.2.2. Manyetik Tertibatlı Tırmanma Robot Tipi.....	12
2.2.2.3. Kavrama Tertibatlı Tırmanma Robot Tipi	14
2.3. Hareket ve Tutunma Mekanizması Seçimi	14
3. KUMLAMA İŞLEMİ	16

3.1. Kumlama İşleminin Tanımı	16
3.2. Kumlama İşleminin Tarifi	16
3.3. Mevcut Kumlama İşlemlerinin İncelenmesi	17
3.3.1. Türbinli Otomatik Kumlama Makinesi	17
3.3.2. Manuel Kumlama İşlemi	18
3.3.3. Mevcut Mobil Kumlama Robotu	19
4. MATERYAL ve METOT	21
4.1. Kaynaklı Konstrüksiyonlarda Kullanılacak Otomatik Kumlama Makinesinin Tasarımı	21
4.1.1. Tutunma Mekanizmasının Tasarımı	22
4.1.1.2. Mıknatısın Sağlayacağı Tutunma Kuvvetinin Hesaplanması	23
4.1.1.2. Mıknatıs Seçimi	26
4.1.1.2.1. Elektromıknatıs ve Kalıcı Mıknatıs Arasındaki Fark	26
4.1.1.2.2. Kalıcı Mıknatıs Çeşitleri	27
4.1.1.2.3. Mıknatısların Çekim Gücünü Etkileyen Faktörler	28
4.1.1.2.3. Neodyum Mıknatısının Fiziksel ve Mekaniksel Özellikleri	29
4.1.1.2.4. Neodyum Mıknatısının Teorikte Çekme Kuvveti ve Akı Yoğunluğu	29
4.1.1.2.5. Neodyum Mıknatısın Seçimi ve Konumlandırılması	32
4.1.1.2.6. Neodyum Mıknatısını Tırmanma Robotu Gövdesine Montajı	35
4.1.2. Tahrik Mekanizmalarının Tasarımı	37
4.1.2.1. Tekerlek Tahrik Grubunun Seçimi	38
4.1.2.2. Kumlama Uzununun Tasarım Parametrelerinin Belirlenmesi	40
4.1.2.3. Değişken Geometrik Yüzeyle Uyum Sağlayacak Gereksinimlerin Belirlenmesi	40
4.1.2.3.1. Lineer Motor Seçimi	42
4.1.3. Serbest Tekerleğin Seçimi	44
4.1.4. Mesafe Sensörlerinin Gereksinimi ve Seçimi	45
4.1.4.1. Mesafe Sensörlerinin Gereksinimi	45

4.1.4.2. Mesafe Sensörlerinin Seçimi.....	46
4.1.5. Üç Boyutlu Modelleme Yapılması.....	46
4.1.5. Gövde Uzuvarlarının Statik Analizlerinin Yapılması	53
4.1.6. Otomasyon Senaryosu ve Şeması	60
4.1.6.1. Otomasyon Senaryosu.....	60
4.1.6.2. Otomasyon Şeması.....	61
5. SONUÇ ve ÖNERİLER.....	62
5.1. Önerilen Çalışmalar.....	63
KAYNAKLAR.....	64
ÖZGEÇMİŞ	68

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 2.1. RAMR-1 tırmanış esnasında [3]	6
Şekil 2.2. Alica 2 robotu [4]	7
Şekil 2.3. Omni tekerlekli tırmanma robotu [5]	8
Şekil 2.4. Paletli Tırmanma Robotu [6]	9
Şekil 2.5. Ötelemeli duvar tırmanma robotu [7]	10
Şekil 2.6. Halatlı tırmanma robot tipi [8]	11
Şekil 2.7. Venturi prensibi [9]	12
Şekil 2.8. Manyetik tertibatlı Tırmanma Robot Tipi [10]	13
Şekil 2.9. Manyetik tekerlek yapısı [11]	13
Şekil 2.10. ROMA I robotu kinematik yapısı (solda) ve basit çelik yapıya tırmanma esnasında (sağda) [12]	14
Şekil 3.1. Türbinli otomatik kumlama makineleri [14]	18
Şekil 3.2. Manuel mobil kumlama işlemi [15]	19
Şekil 3.3. Mevcut mobil kumlama robotu [16]	20
Şekil 4.1. Otomatik kumlama makinesi genel görünüşü	21
Şekil 4.2. Tırmanma robotu serbest cisim diyagramı	23
Şekil 4.3. Yüzey eğimine bağlı olarak F_{m1} ve F_{m2} değerleri	25
Şekil 4.4. Kübik yapıdaki kalıcı mıknatıs [21]	30
Şekil 4.5. Silindirik yapıdaki kalıcı mıknatıs [21]	31
Şekil 4.6. BZ0Y0X0-N52 (3x2x1 inch) mıknatısın çekme kuvveti eğrisi [25]	32
Şekil 4.7. BZ0Y0X0-N52 (3x2x1 inch) mıknatısın teknik özellikleri [26]	33
Şekil 4.8. BZ0Y0X0-N52 (2x2x1 inch) mıknatısın çekme kuvveti eğrisi [25]	34
Şekil 4.9. BZ0Y0X0-N52 (3x2x1 inch) mıknatısın teknik özellikleri [26]	34
Şekil 4.10. Montajlanabilen neodiyum mıknatısı [27]	35
Şekil 4.11. β açısına bağlı mıknatıslanma yönünde toplam kuvvet eğrisi	38
Şekil 4.12. Tahrik grubu redüktörü teknik özellikleri [33]	39
Şekil 4.13. Tahrik grubu servo motoru teknik özellikleri (RH-14D) [35]	40
Şekil 4.14. Lineer motor kısımları [31]	42
Şekil 4.15. Lineer motor serbest cisim diyagramı	43

Şekil 4.16. Serbest tekerlek ölçü ve teknik bilgileri [30]	45
Şekil 4.17. Tırmanma robotu tahrik grubu genel görünüşü	47
Şekil 4.18. Tırmanma robotu tahrik grubu genel ölçüleri	48
Şekil 4.19. Üst ünite genel görünüş.....	49
Şekil 4.20. Üst ünite genel ölçüleri	50
Şekil 4.21. Lineer motor bağlantı konsol parçası genel görünüşü ve ölçüleri	51
Şekil 4.22. Gövde ana mili genel görünüşü ve ölçüleri	52
Şekil 4.23. Tahrik uzvu mili genel görünüşü ve ölçüleri	53
Şekil 4.24. Gövde ana mili yükleme ve mesnet bilgileri	54
Şekil 4.25. Gövde ana mili gerilme analizi	54
Şekil 4.26. Gövde ana mili deplasman analizi	55
Şekil 4.27. Tahrik uzvu milinin yükleme ve mesnet bilgileri	55
Şekil 4.28. Tahrik uzvu mili gerilme analizi	56
Şekil 4.29. Tahrik uzvu mili deplasman analizi	56
Şekil 4.30. Tahrik grubu gövde sacı yükleme ve mesnet bilgileri	57
Şekil 4.31. Tahrik grubu gövde sacı gerilme analizi.....	57
Şekil 4.32. Tahrik grubu gövde sacı deplasman analizi.....	58
Şekil 4.33. Lineer motor konsol bağlantı parçası yükleme ve mesnet bilgileri	58
Şekil 4.34. Lineer motor konsol bağlantı parçası gerilme analizi	59
Şekil 4.35. Lineer motor konsol bağlantı parçası deplasman analizi	59
Şekil 4.36. Tırmanma robotu otomasyon şeması	61

TABLULARIN LİSTESİ

	Sayfa
Tablo 4.1. Otomatik kumlama makinesi bileşenleri tablosu	22
Tablo 4.2. Tırmanma robotunun tasarım parametreleri	25
Tablo 4.3. Neodyum Mıknatısının Fiziksel ve Mekaniksel Karakteristik Tablosu [20].....	29
Tablo 4.4. Loctite 480 bazı teknik özellikleri	37
Tablo 4.5. Lineer motor teknik özellikleri	44
Tablo 4.6. Mesafe sensörü teknik özellikleri	46
Tablo 4.7. Tahrik grubu bileşenleri	47
Tablo 4.8. Üst ünite bileşenleri	49

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış olan bazı simgeler ve kısaltmalar aşağıda açıklamaları ile birlikte sunulmuştur.

Simgeler	Açıklama
P	Güç, kW
M_d	Döndürme momenti, Nm
i	Dişli çarklarda çevrim oranı
d/dk	Dakikadaki devir sayısı
B	Manyetik akı yoğunluğu, tesla
β	Açı, derece
F_m	Manyetik kuvvet, N
F_s	Sürtünme kuvveti, N
M_{redüktör}	Redüktör çıkış torku, Nm
M_{motor}	Motor çıkış torku, Nm
F_{lineer motor}	Lineer motor itme kuvveti, N

Kısaltmalar	Açıklama
TUBİTAK	Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu
ARGE	Araştırma ve Geliştirme

1. GİRİŞ

Robotlar süregelen yaşam döngüsünde canlı hayatını kolaylaştırmak ve canlıyı yüksek irtifa ya da sağlıksız koşullarda desteklemek amacı ile tasarımı yapılan, operatör veya bir bilgisayar programı ile görevini yapan mekatronik sistemlerdir.

1.1. Problemin Tanımı

Gemiler, açık deniz platformları, rüzgar türbin direkleri, silolar petrol depolama tankları ve deniz geçişi köprüleri sanayi ve ekonomi yönünden önemli yapılardır. Modern yaşamın temelleri olan dünyadaki ürünlerin, enerji arzının ve ulaşımın küresel dağılımını sağlarlar. Şu anda, bu yapılar onlarca metre kadar yüksek hatta 100 m'den fazla yüksekliğe sahip. Ayrıca, genellikle deniz kenarında veya doğrudan denizde faaliyet gösterirler. Bu özel ortam, korozyon ve biyolojik kirlenme gibi birçok problemden etkilenen yapılara neden olur. Gemileri ele alırsak, örneğin; biyolojik kirlilik sadece gövdenin dayanımını zayıflatmakla kalmaz, aynı zamanda daha fazla yakıt tüketimine de neden olur. Daha uzun süre çalışmasını sağlamak için belli aralıklarla bu yüksek yapılara düzenli yüzey bakımları yapmak oldukça gereklidir.

Genel olarak, yüzey bakımı operatörler tarafından manuel olarak gerçekleştirilir. İlgili yüzey her zaman yüksek irtifada bulunduğu için büyük bir zorluktur. Genellikle, operatörlerin istenen alana ulaşmaları için iskele veya mobil vinç kullanır, bu da ek maliyet ve zaman maliyeti ile bir hazırlık sürecine neden olur. Ayrıca, manuel yüzey bakım işlemi, sınırlı manevra kabiliyeti, kötü çalışma kalitesi, düşük çalışma verimliliği ve yüksek fiziksel hasar riski gibi diğer kritik eksikliklere sahiptir. Ek olarak, nükleer sanayi ve

kimya endüstrisi gibi bazı durumlarda çalışma ortamları operatörün sağlığına ciddi zarar verebilir. Bu nedenle, yüksek verim, düşük maliyet ve operatörlerin iyi korunması ile yüksek yapıların yüzey bakımlarını gerçekleştirmek için dikeyde ve yatayda hareket eden tırmanma robotunun geliştirilmesi son derece gereklidir.

Duvar tırmanma robotlarının kumlama teknolojilerinde kullanımı son birkaç yıldır araştırılmaktadır. Yüksek çalışma yüzeyleri göz önüne alındığında, tutunma ve hareket sistemi bir tırmanma robotunda önemli bir rol oynar. Bu sistem robot ağırlığının taşınması amacıyla gerekli tutunma kuvveti sağlar ve yeterli sürtünmeyi üretir. Tahrik motorun sıkışmaması ve sarsıntısız ilerlemesi için sağladığı bu tutunma kuvvetinin çok yüksek olmaması gerekir.

1.2. Tezin Özgünlüğü

İnsan sağlığının hayattaki en önemli değer olduğu ele alındığında, insan sağlığını tehlikeye atacak bu tarz riskli ortam şartlarında operatör veya işçinin yerini alarak tehlike durumunu yok edecek ya da minimuma indirecek bir mekanik sistem tasarımı gerekli hale gelmiştir.

Bu çalışmanın özgünlüğü, kumlama işleminin yapıldığı sağlıksız ortam koşulları, değişken geometrik yapılara uyum sağlanması ve yüksek irtifalarda çalışma gereği düşünüldüğünde bir tırmanma robotu tasarımı ile tehlike ihtiva eden çalışmalarda güvenli bir çalışma ortamı oluşturmak ve bu prosesi daha düşük maliyetli, sürdürülebilir, ön görülebilen, daha verimli hale getirmektir.

1.3. Tezin Amacı

Bugüne kadar duvar tırmanma robotları için farklı tutunma ve hareket sistemleri tasarımları yapılmıştır. Bu çalışmada bütün tasarım kriterlerini göz önünde bulundurarak

kumlama prosesine adapte edilecek, optimize bir tahrik sistemi ve tutunma sistemi belirlenip nihai robot tasarımı yapılacaktır.

Günümüzde yüksek irtifalarda, engebeli yüzeylerde, vinç ve iskele yardımıyla, operatör vasıtasıyla yapılan kumlama işlemlerini, yapılacak olan robot tasarımı ile uzaktan kontrollü bir sistem ile minimum tehlike arz ederek uygulanabilecektir. Böylece iş güvenliği sağlanacak, verim artacak, iş planı öngörülebilecek, sürdürülebilir bir kumlama işlemi yapılacaktır.



2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Kumlama teknolojisinde birkaç yıldır gelişmekte olan bu kumlama robotları literatürde pek varlık gösterememiştir. Bu çalışmada literatürde tırmanma robot çeşitleri incelenmiş uygun olan tasarım ele alınmıştır.

2.1. Duvar Tırmanma Robotun Niteliklerinin İncelenmesi

Tırmanma robotları; tavan, duvar, çatı vb. yapılarda hareket edebilen bir robot tasarımı olarak tanımlanabilir.

Tırmanma robotları, birkaç çeşit özellikleri sağlamak durumundadır. Bunlar;

- Tutunma kuvvetini mümkün mertebe en aza indirmek,
- Günümüzde lisans dersi olarak da okutulan tasarımda hafiflik konusunda optimize edilmiş bir hafiflikte olmak,
- Değişken geometrilili yapı yüzeylerinde rahatlıkla hareket edebilmek.

2.2. Literatürde Duvar Tırmanma Robotları

Bu çalışmada tırmanma robotları tahrik mekanizması ve tutunma mekanizması yönlerinden iki ana başlıkta incelenmiştir [1].

Tahrik mekanizmasına göre;

- Bacaklı,

- Tekerlekli,
- Paletli,
- Ötelemeli,
- Halatlı.

Tutunma mekanizmasına göre;

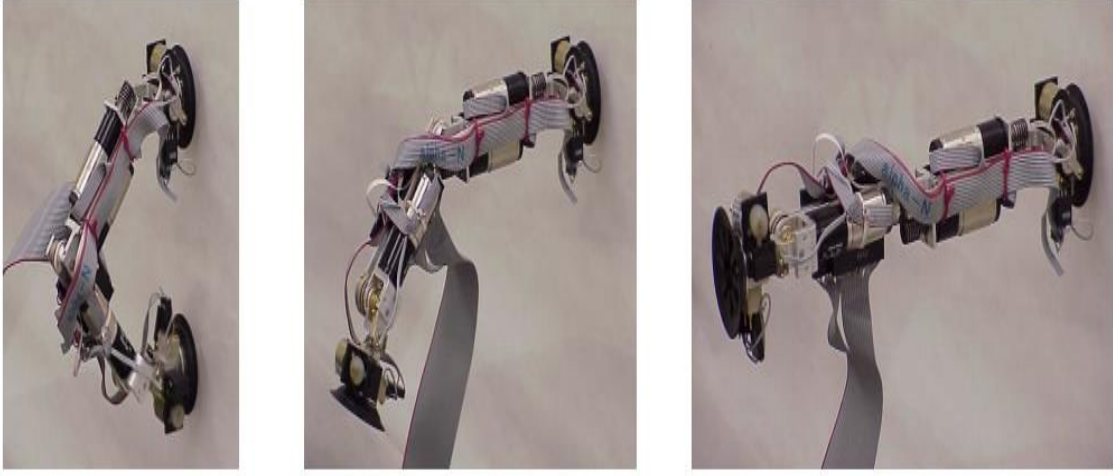
- Vakumlu,
- Manyetik,
- Kavramalı,

2.2.1. Tahrik Mekanizmasına Göre Tırmanma Robotları

Bu bölümde, tırmanma robotları tahrik mekanizmasına göre incelenmiştir.

2.2.1.1. Bacaklı Tırmanma Robot Tipi

Bacaklı tırmanma robotları, 2 ile 8 arasında bacağı olan ve her bacakta tutunmayı sağlayacak tertibatı olan robot tipleridir. Bu robotların genelde serbestlik derecesi yüksektir, çok rahat engel aşabilirler ve engebeli yüzeylerde kolaylıkla hareket edebilirler. Bütün bu avantajlara nazaran oldukça karmaşık bir yapısı ve düşük tırmanma hızına sahip olması gibi dezavantajları da vardır [2].



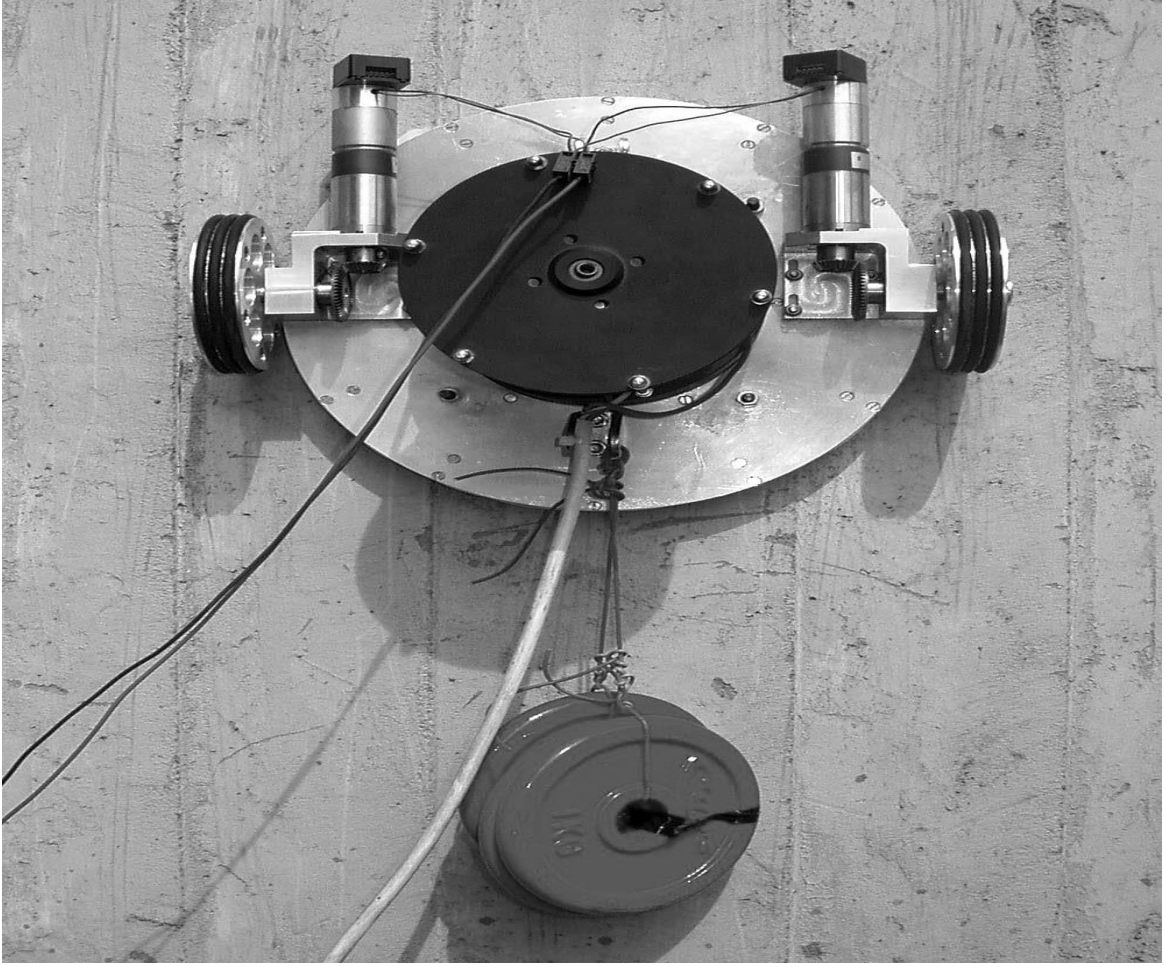
Şekil 2.1. RAMR-1 tırmanış esnasında [3]

Şekil 2.1.'de gözüken iki bacaklı RAMR-1 yürüme esnasında bir bacak kendini duvara sabitler, diğeri duvardan ayrılır. Akabinde serbest bacak tırmanış yönüne göre bir üst mertebeye sabitler ve diğeri bacak aynı işlemi tekrarlar [3].

2.2.1.2. Tekerlekli Tırmanma Robot Tipi

Tekerlekli tırmanma robotları, dik ve eğimli yüzeylerde manyetik kuvvet ya da vakum kuvvetiyle hareket etmektedir. Çeşitli motor-redüktör tahrik grupları vasıtasıyla hareket sağlanır.

Vakum ile tutunma kuvveti sağlayan tırmanma robotları bir vakum odası ihtiva eder. Bu odadan sürekli hava emilerek iç basınç oluşur ve yüzeye bitişik bir şekilde tutunma sağlanır.



Şekil 2.2. Alica 2 robotu [4]

Şekil 2.2.'de görülen Alica 2 robotu petrol tank yüzeylerinde araştırma yapmak için dizayn edilmiştir [4].



Şekil 2.3. Omni tekerlekli tırmanma robotu [5]

Şekil 2.3.'te görülen 3 adet Omni-Tekerlek içeren robot kaynaklı konstrüksiyonlarda denetim ve inceleme işlemlerinin yapılması amacı ile tasarlanmıştır. Yapılan doğru programlama ile değişken geometrili yapılarda hareket kabiliyeti sağlanmıştır. Paslı ve korozyona uğramış ortam göz önünde robotun alt kısmındaki kalıcı mıknatıslar ile tutunma sağlanır [5].

2.2.1.3. Paletli Tırmanma Robot Tipi

Paletli tip tırmanma robotları, tekerlekli tipe nazaran daha iyi bir engel aşma kabiliyetine ve daha çok tutunma alanına sahiptir.

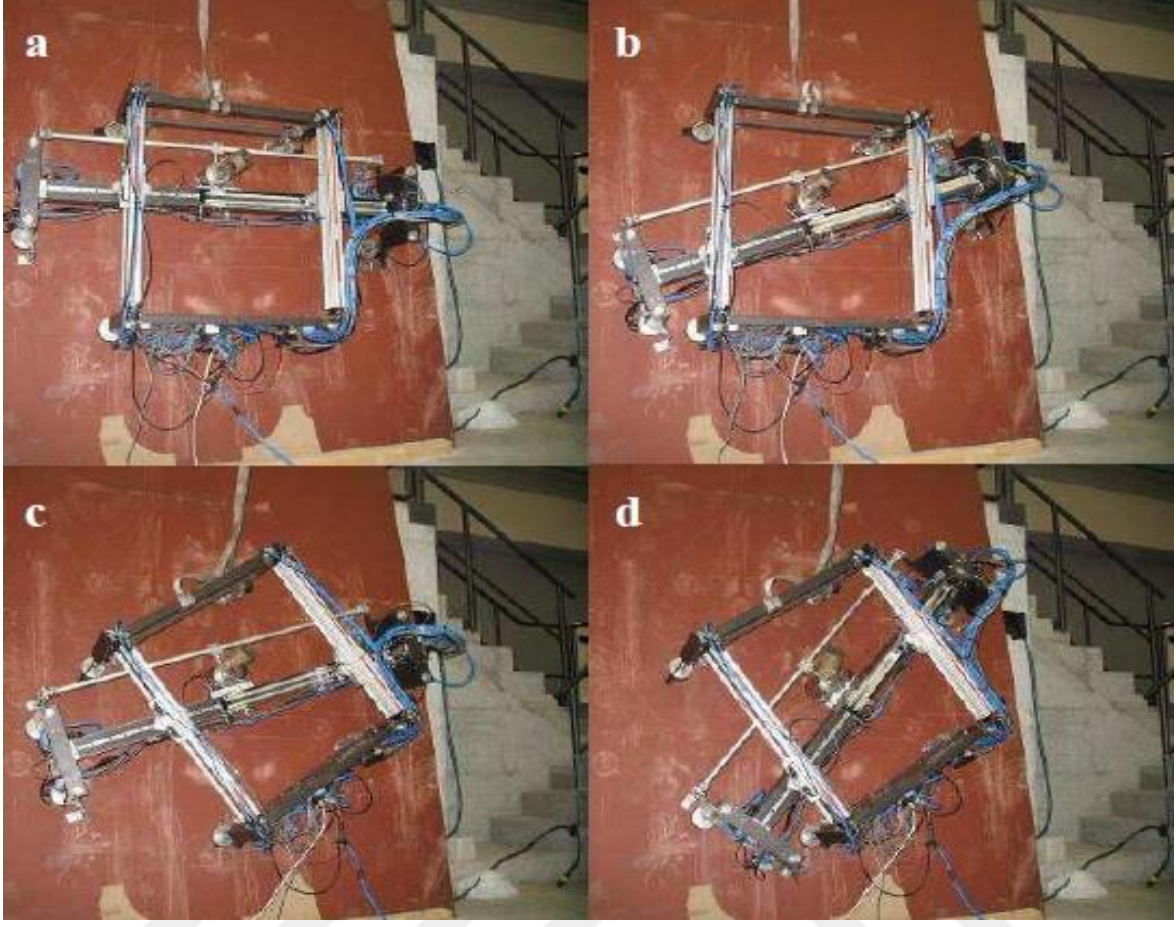


Şekil 2.4. Paletli Tırmanma Robotu [6]

Şekil 2.4.'deki paletli tırmanma robotu, manyetik paletler sayesinde hem tutunma kuvvetini hem de robotun hareketini sağlar [6].

2.2.1.4. Ötelemeli Tırmanma Robot Tipi

Ötelemeli tırmanma robotlarında, bacaklı tırmanma robotlarına benzer bir sistem vardır. Robotun bir bölümü yüzeye tutunurken diğer kısmı istenilen yön doğrultusunda hareket eder. Bu sistemle her iki yönde de hareket sağlanır. En önemli dezavantajı oldukça yavaş olmasıdır.

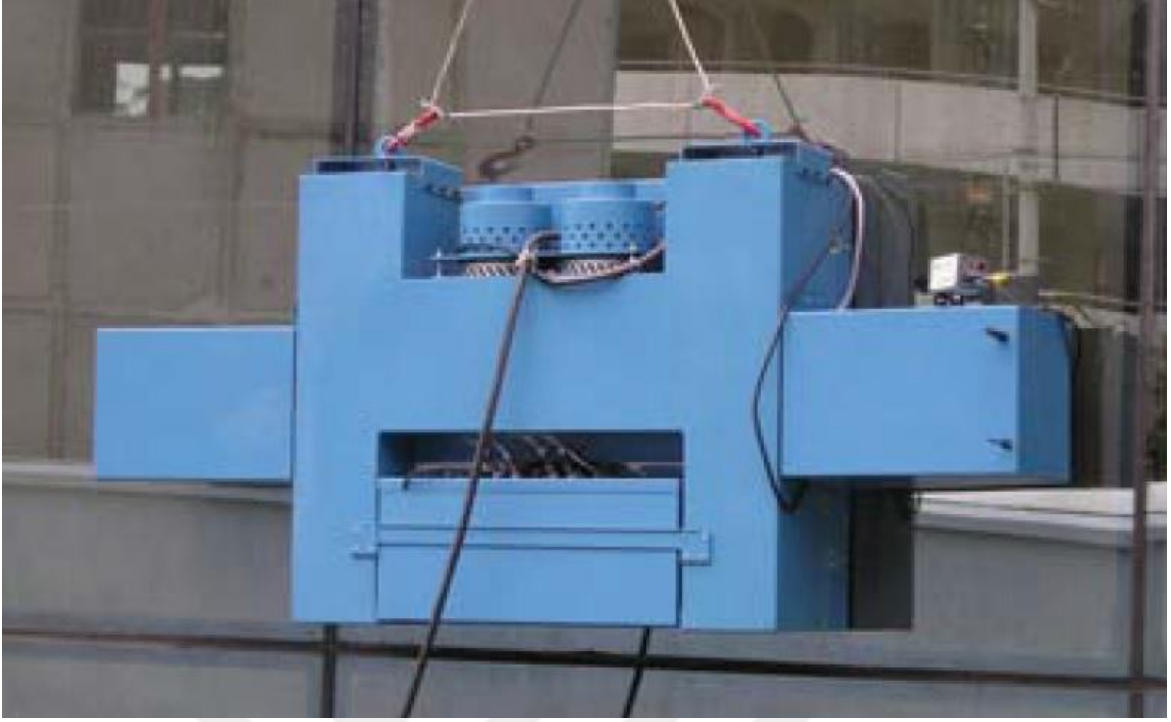


Şekil 2.5. Ötelemeli duvar tırmanma robotu [7]

Şekil 2.5.'teki robotta hareketin sağlanması için ortadaki parça kalıcı mıknatıslar vasıtasıyla yüzeye tutunup robotun kendini istenilen konuma ilerlemesini sağlar [7].

2.2.1.5. Halatlı Tırmanma Robot Tipi

Yeterli mukavemete sahip çelik halat sayesinde yatay ve dikey yönde hareket edebilen robot tipidir. Tahrik kuvvetini makaralardan alan bu robotlar cam ve duvar temizlik işlerinde kullanılırlar.



Şekil 2.6. Halatlı tırmanma robot tipi [8]

Şekil 2.6.'da görüldüğü üzere robot gövdesinde tahrik düzeneği yoktur, hareketini alt ve üst hareket limitlerine mevkilendirilmiş vinç sistemi ile sağlar [8].

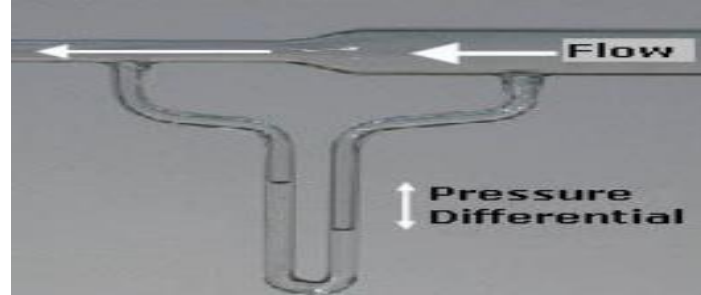
2.2.2. Tutunma Mekanizmasına Göre Tırmanma Robotları

Bu bölümde, tırmanma robotları tutunma mekanizmasına göre incelenmiştir.

2.2.2.1. Vakum Tertibatlı Tırmanma Robot Tipi

Cam, seramik benzeri pürüzlülüğün az olduğu yüzeylerde iyi bir tutunma kuvveti istendiğinde vakumlu tırmanma robotu en iyi tutunmayı sağlar. En belirgin dezavantajı vakum mekanizmasının küçük bir boşluğa bile müsaade etmemesidir. Bu sebeple engel aşma kabiliyetleri düşüktür [9].

Vakumun çalışma prensibi literatürde Venturi Prensibi olarak da adlandırılır. Temelde akışkanın hızlı olduğu bölümde yavaş olduğu bölgeye nazaran basıncının daha düşük olması esasına dayanır.

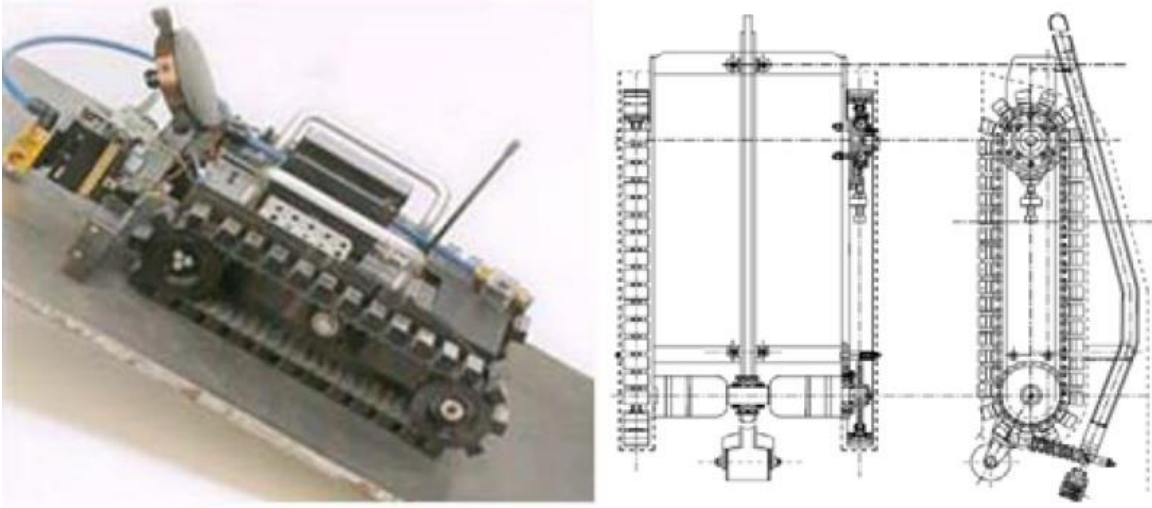


Şekil 2.7. Venturi prensibi [9]

Şekil 2.7.'de görüldüğü üzere akışkan maddenin giriş ve çıkış bölümlerinin kesitlerinin farklı olması hızını ve basıncını değiştirir.

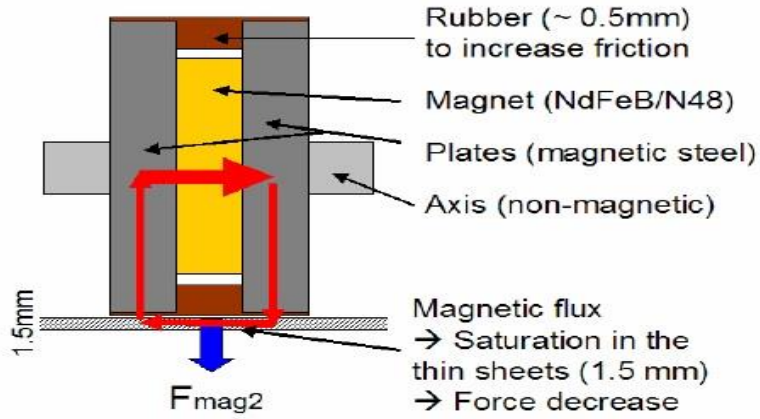
2.2.2.2. Manyetik Tertibatlı Tırmanma Robot Tipi

Manyetik tip tırmanma robotlarında kalıcı mıknatıs ve elektromıknatıs olmak üzere iki çeşit mıknatıs tipi vardır. Bu robotlar sadece ferromanyetik yüzeylerde çalışması yönünden dezavantajlıdır. Kalıcı mıknatıs ile tutunma sağlayan robotlar tutunma kuvveti için dış bir kaynaktan enerji almaması yönünden avantajlıdır. Uygulama bölgesine göre tekerlekli ya da paletli olarak tasarlanan bu robotlar ferromanyetiklik özelliği her çeşit malzemede kullanılabilir.



Şekil 2.8. Manyetik tertibatlı Tırmanma Robot Tipi [10]

Yukarıdaki Şekil 2.8.'de görünen manyetik tertibatlı duvar tırmanma robotu petrol tankının tahribatsız muayene işlemi için üretilmiştir. Bu robotta kalıcı mıknatıslar her bir palet parçası içerisinde entegre edilmiştir. Robot paletlerin bağlandığı zincirini dişli yardımı ile tahrik etmekte ve böylece hareket sağlanmaktadır [10].

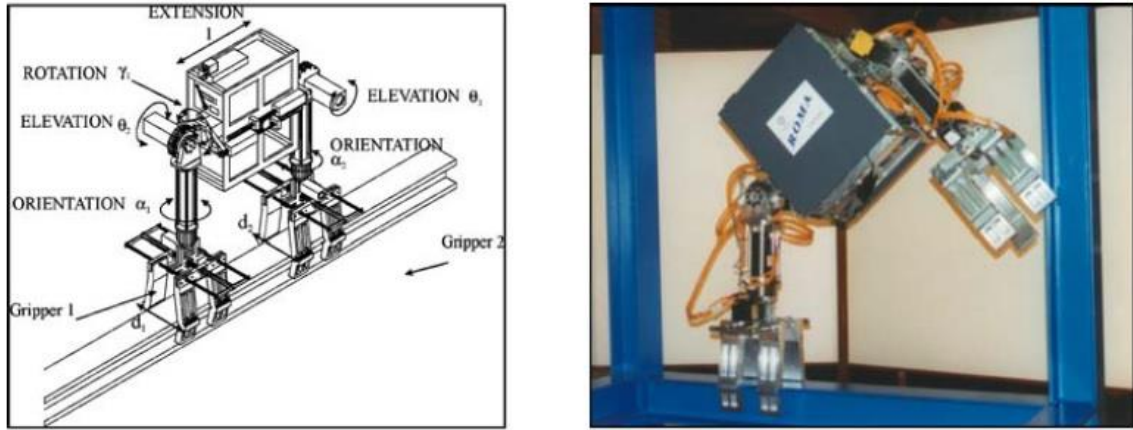


Şekil 2.9. Manyetik tekerlek yapısı [11]

Şekil 2.9.'da düşük et kalınlıklı gaz tanklarında inceleme yapmak için üretilen bir tırmanma robotunun tekerlek yapısı gösterilmiştir. Tutunma kuvveti için bir tür kalıcı mıknatıs kullanılmıştır. Bu teker iki çelik plaka ve arasında kalıcı mıknatıs içerir. Sürtünme kuvvetinin yükselmesi amacıyla tekerin dışına kauçuk malzeme ile kaplama yapılmıştır [11].

2.2.2.3. Kavrama Tertibatlı Tırmanma Robot Tipi

Bu tür robotlar doğal ortamda bulunan herhangi bir nesneye tutunup tırmanma sağlarlar. Yapısı gereği oldukça karmaşıktır ve bu da güçlü bir programlara ihtiyacı ortaya çıkarır.



Şekil 2.10. ROMA I robotu kinematik yapısı (solda) ve basit çelik yapıya tırmanma esnasında (sağda) [12]

Kiriş, konsol ve kolon gibi yapılara tutunarak hareket eden Şekil 2.10.'da gösterilen ROMA I robotu çelik yapılara kolaylıkla tırmanabilmektedir. Enerji gereksinimini üstünde bulunan bataryalardan karşılamaktadır [12].

2.3. Hareket ve Tutunma Mekanizması Seçimi

Yapılan tüm araştırma ve değerlendirmeler sonucunda literatürdeki çoğu tırmanma robotunun engebeli düzlemlerde uygunsuz olduğu, pürüzlü yüzeylere uygun olmadığı, sürekli enerji ihtiyacının dış kaynağa bağımlı olması gibi dezavantajları olduğu gözlemlenmiştir.

Mekanizma basitliği, hız, manevra kabiliyeti, kontrol kolaylığı, engel geçiş kabiliyeti, enerji verimliliği, ortam şartlarına uyum gibi kriterler göz önünde bulundurulduğunda tahrik mekanizması seçiminde en iyi iki sistemin tekerlekli ve paletli tahrik sistemi olduğu belirlenmiştir. Ancak ortam koşulları çoğu zaman paslı, tortu kaplı ve korozyon tabakasıyla kaplı olacağı değerlendirildiğinde tekerlek tahrikli hareket sistemi daha uygun seçim olarak öne çıkar.

Yüzey pürüzlülüğu, enerji verimliliği, mekanizma basitliği, ortam koşullarına uyum ve kontrol kolaylığı açısından tırmanma robotunun çelik yüzey üzerinde hareket edeceği kabulünde manyetik tırmanma robot tipi en doğru seçim olacaktır.



3. KUMLAMA İŞLEMİ

3.1. Kumlama İşleminin Tanımı

Kumlama işlemi, çeliğin yüzeyinde zamanla pas ve korozyon oluşmasından dolayı üzerindeki yağ, pas, korozyon tabakası ve çeşitli tortuları ortadan kaldırıp boyama işlemi öncesinde çeliğin ömrünü uzatmak için uygulanan bir yöntemdir. Kumlama işlemi, grit isminde türlü aşındırıcı malzemelerle yapılır. Akabinde hemen boyama işlemine geçilmelidir aksi takdirde kısa süre içerisinde oksidasyonlara maruz kalır.

3.2. Kumlama İşleminin Tarifi

Kumlama işlemi, çelik yüzeye yüksek basınçlı hava yardımı ile kumlama kumunun çarptırılması işlemidir. Bu çarpışma sırasında kum çelik yüzeyi mikron seviyesinde aşındırır ve çelik yüzeydeki yağ, pas, korozyon ve tortulardan arındırır ve yüzeyi boya uygulamasına hazırlar. Şantiye, tersane gibi bölgelerde gemilerin, yapı elemanlarının kumlama işlemi mobil kumlama makineleri ile yapılabilir. Orta boyuttaki parçalar için otomatik ya da manuel kumlama kabinleri kullanılır.

Kumlama işleminde çelik, cam ve mineral esaslı çeşitli aşındırıcı malzemeler kullanılır. Bunlar; paslanmaz çelik bilye, cam kürecik, alüminyum oksit bilye, çelik grit, bazalt, silis, kuvarzdır. Aşındırıcı malzeme seçimi yüzey pürüzlülük kalitesi açısından oldukça önemlidir. Silis, genelde hafif ve ince kumlamalarda kullanılır. Bazalt, tozlanması düşüktür ve kabin içi kumlamada geri dönüşümlü kullanıma uygundur. Grit, çelik artığından elde edilir, tozlanması en az ve kumlama verimi en yüksek olan kum türüdür.

Prosesteki temel parametreler bilye çapı, kütlesi, çarpma açısı ve işlenecek parça ile bilyenin yapıldığı malzemedir [13].

3.3. Mevcut Kuşlama İşlemlerinin İncelenmesi

Günümüzde kullanılan kuşlama prosesleri, ana başlıklar altında bu bölümde incelenmiştir.

3.3.1. Türbinli Otomatik Kuşlama Makinesi

Üzerinde herhangi bir işlem yapılmamış sac, profil ve boru gibi lineer yapı ürünlerini türbinli otomatik kuşlama makineleri kullanılır (Şekil3.1.). Bu sistem oldukça ekonomiktir; lakin lineer olmayan değişken geometrili yapılarda işlem yapamamaktadır.



Şekil 3.1. Türbinli otomatik kuşlama makineleri [14]

3.3.2. Manuel Kuşlama İşlemi

Günümüzde hali hazırda yüksek yapıların kuşlama işlemi Şekil 3.2.'deki gibi ağırlıklı olarak manuel yapılmaktadır. Burada operatör yüksek irtifadaki işlem gerektiren bölgeye bir mobil vinç yardımı ile yükseltilmiştir. Oldukça sağlıksız çalışma koşulları altında insan hayatını ve sağlığı riske eden bu çalışma şekli uygunsuz ve yüksek maliyetlidir.



Şekil 3.2. Manuel mobil kumlama işlemi [15]

3.3.3. Mevcut Mobil Kumlama Robotu

Büyük kapasiteli limanlar, tersaneler ihtiva eden ülkelerde bu işlem için araştırmalar yapılmış ve Şekil 3.3.'te görülen yeni bir robot tasarlanmıştır. Bu robot düz yüzeyler için uygun ve verimli olarak kullanılmaktadır. Lakin engebeli yüzey geometrine adapte olamaması, dış bükey ve iç bükey düzlemlerde uygulamanın mümkün olmaması gibi dezavantajlara sahiptir.



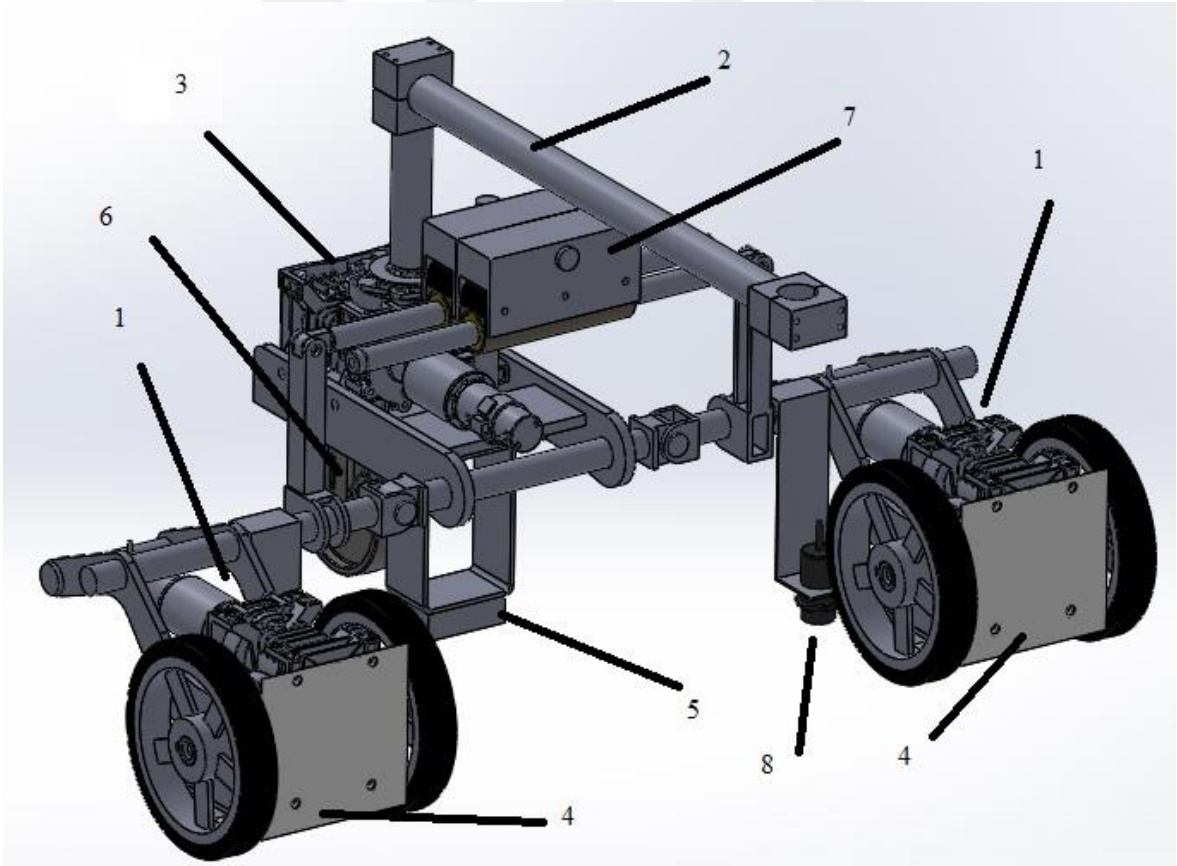
Şekil 3.3. Mevcut mobil kumlama robotu [16]

Tez çalışmasında bu robotu referans olarak daha kapsamlı değişken geometrili yapılara otomatik adapte olan, iç ve dış bükümlü yüzeylerde çalışma imkanı sağlayan bir robot tasarımı yapıldı.

4. MATERYAL ve METOT

4.1. Kaynaklı Konstrüksiyonlarda Kullanılacak Otomatik Kumlama Makinesinin Tasarımı

Bu çalışmada yapılan tasarımın bileşenleri Şekil 4.1.'de gösterilmiş ve Tablo 4.1.'de tanımlanmıştır.



Şekil 4.1. Otomatik kumlama makinesi genel görünüşü

Tablo 4.1. Otomatik kumlama makinesi bileşenleri tablosu

1	Tutunma-tahrik sistemi
2	Kumlama uzvu
3	Kumlama tahrik grubu
4	Tahrik grubu mıknatısı
5	Serbest tekerlek mıknatısı
6	Serbest tekerlek
7	Lineer motor
8	Mesafe sensörü

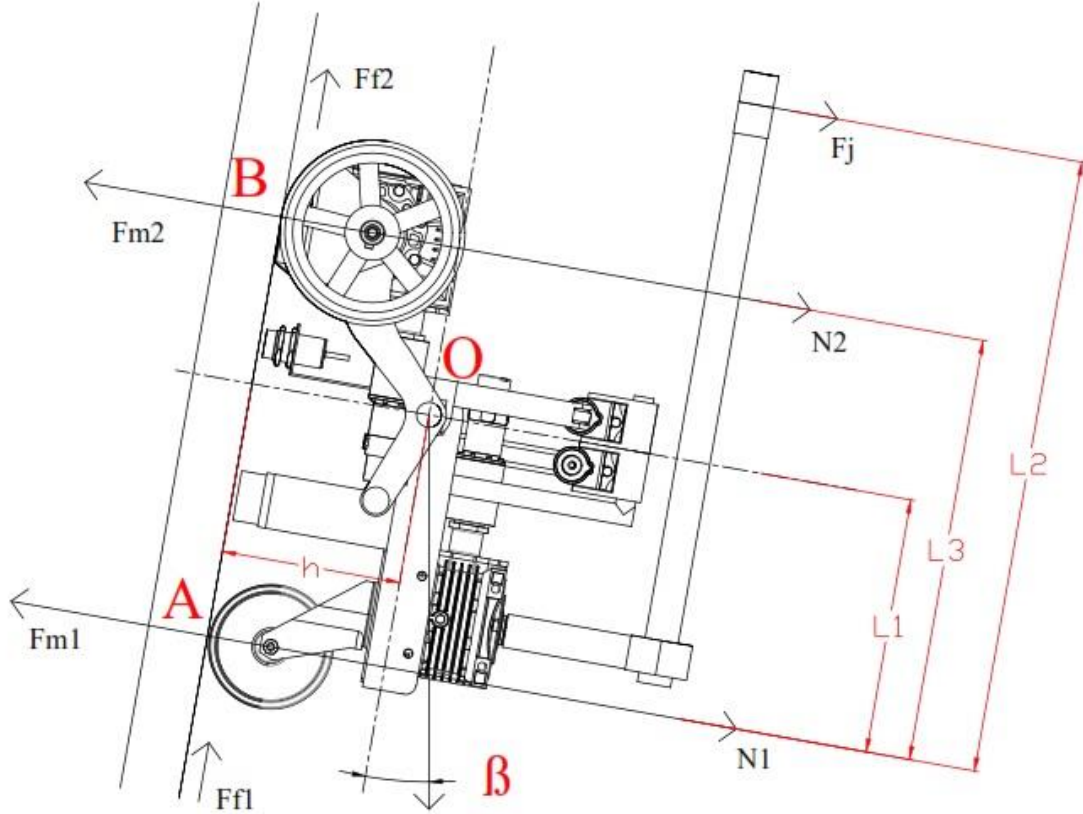
Burada tırmanma robotu, 1 numara ile belirtilen aynı özelliklere sahip iki tutunma-tahrik sistemine sahiptir. Bu iki sistem iki adet tekerlek ve 4 numara ile belirtilen tekerlek şasesine sabitlenmiş neodiyum mıknatısı içerir. Yüzeyle devrilmeyi önlemek amaçlı robotun arka kısmında 6 numara ile belirtilen serbest tekerleklerin yanında 5 numara ile belirtilen bir neodiyum mıknatısı daha ihtiva eder. Tahrik tekerlerinin ilerisinde, robotun ön kısmında 2 numara ile belirtilen kumlama işlemi yapacak bir uzuv bulunur. Bu kumlama uzvunun hareketi 3 numara ile belirtilen tahrik grubu ile sağlanır. 8 numara ile belirtilen mesafe sensörleri sayesinde geometrik yapı değişiklikleri algılanır ve 7 numara ile belirtilen lineer motorları ile yüzeye adapte olması sağlanır.

4.1.1. Tutunma Mekanizmasının Tasarımı

Yapılan literatür araştırması sonrasında manyetik tertibatlı tutunma mekanizması, bu çalışmada istenilen yüzeylere sağlıklı bir şekilde tırmanabilmesi için en uygun seçim olarak belirlenmişti. Bu nedenle gerekli tutunma kuvvetini sağlayacak mıknatısların seçimi ve robot üzerine konumlandırılması oldukça önem içerir.

4.1.1.2. Mıknatısın Sağlayacağı Tutunma Kuvvetinin Hesaplanması

Şekil 4.2.'de gerekli tutunma kuvvetlerini belirlemek, robotun kayma veya devrilme olmadan yüzeyde çalışmasını sağlayacak serbest cisim diyagramı oluşturulmuştur. Buradan eşitlik 4.4 , 4.5 ve 4.6 türetilmiştir:



Şekil 4.2. Tırmanma robotu serbest cisim diyagramı

$$F_{m1} + F_{m2} - G \cdot \sin \beta = N_1 + N_2 + F_j \quad (4.4)$$

$$G \cdot \cos \beta = F_{f1} + F_{f2} \quad (4.5)$$

$$G \cdot \cos \beta \cdot h + G \cdot \sin \beta \cdot l_1 + F_j \cdot l_2 + (N_2 - F_{m2}) \cdot l_3 < 0 \quad (4.6)$$

Burada F_{f2} tahrik tekerlekleri ile yüzey arasındaki sürtünme kuvvetlerinin toplamıdır, F_{f1} serbest tekerlek ile yüzey arasındaki sürtünme kuvvetidir, F_{m2} tahrik tekerlelerindeki neodiyum mıknatısların tutunma kuvvetinin toplamıdır, F_{m1} serbest

tekerleğin yanındaki mıknatısın tutunma kuvvetidir, F_j [23] amprik bir denklem vasıtasıyla elde edilen kumlama nozullarından gelen geri tepme kuvvetidir, G tırmanma üzerindeki yer çekimi kuvvetidir, N_1 serbest tekerleğin temas ettiği nokta olan A noktasındaki yüzeye dik kuvvetlerin toplamıdır, N_2 tahrik tekerleklerinin temas ettiği nokta olan B noktasındaki yüzeye dik kuvvetlerin toplamıdır, β robot gövdesinin düşey ile yaptığı açıdır, O noktası tırmanma robotunun ağırlık merkezidir. Bu durumda L_1 A noktası ile O noktası arasındaki mesafedir, L_2 A noktası ile C noktası arasındaki mesafedir ve L_3 A noktası ile B noktası arasındaki mesafedir. H ise O noktasından yüzeye dik olan mesafedir.

F_j kuvveti aşağıdaki eşitlik 4.7 ile hesaplanır [23] :

$$F_j = 0.052 * Q * \sqrt{P_j} * 4.448 \quad (4.7)$$

Burada F_j kumlama uzvunun geri tepme kuvveti (N), P_j kumlama makinesinin çalışma basıncı (psi), Q akışkanın debisidir (galon/dk).

Statik olarak belirsiz olan bu durumdan yola çıkarak eşitlik 4.8 ve 4.9 elde edilir:

$$F_{f1} < \mu_1 * N_1 \quad (4.8)$$

$$F_{f2} < \mu_2 * N_2 \quad (4.9)$$

Burada μ_1 serbest tekerlek ile yüzey arasındaki sürtünme katsayısı, μ_2 tahrik tekerlekleri ile yüzey arasındaki sürtünme katsayısıdır. Hesaplamayı kolaylaştırmak adına bu sürtünme katsayıları eşit kabul edilir ve μ ile gösterilir. Daha sonra yukarıdaki denklemler vasıtasıyla kayma durumu için eşitlik 4.10 elde edilir.

$$F_{m1} + F_{m2} = \frac{G * \cos \beta}{\mu} + G * \sin \beta + 0.052 * Q * \sqrt{P_j} * 4.448 \quad (4.10)$$

Robot devrilme durumu için N_2 'nin 0'a eşit olur, N_1 ise neredeyse 0'a eşit küçük değerde olduğu için 0'a eşit kabul edilir. Eşitlik 4.6'dan eşitlik 4.11 elde edilir.

$$F_{m2} = \frac{G * \cos \beta * h + G * \sin \beta * l_1 + \left(0.052 * Q * \sqrt{P_j} * 4.448 \right) * l_2}{l_3} \quad (4.11)$$

Buradan F_{m2} denklemi eşitlik 4.10'a yazılıp düzenlendiğinde, eşitlik 4.12 elde edilir.

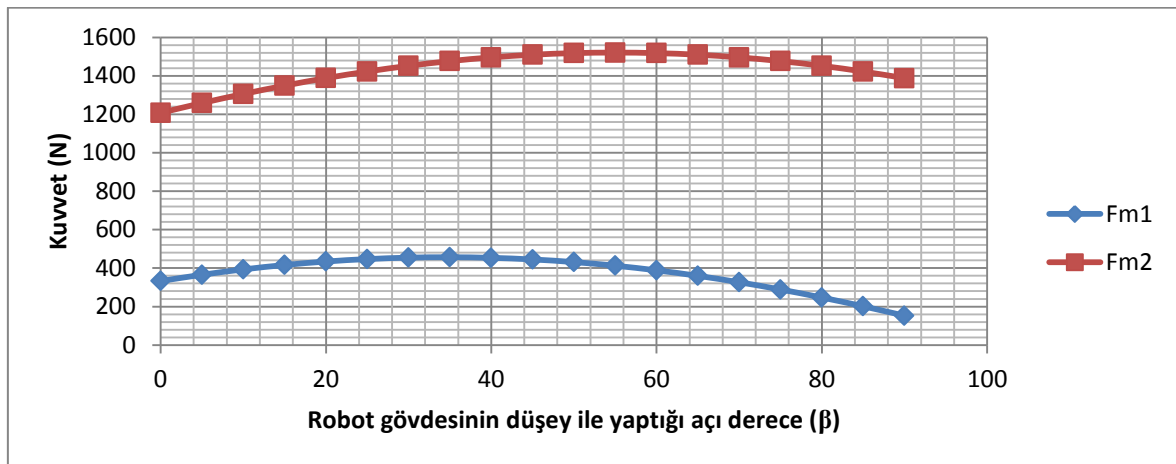
$$F_{m1} = \frac{G \cdot \cos \beta \cdot (l_3 - (\mu \cdot h))}{\mu \cdot l_3} + G \cdot \sin \beta \cdot \left(\frac{l_3 - l_1}{l_3} \right) + 0.052 \cdot Q \cdot \sqrt{P_j} \cdot 4.448 \cdot \left(\frac{l_3 - l_2}{l_3} \right) \quad (4.12)$$

Tırmanma robotunun tasarım parametreleri Tablo 4.2.'de gösterilmiştir:

Tablo 4.2. Tırmanma robotunun tasarım parametreleri

Parametre	Değer
G	1000 N
h	180 mm
l_1	257 mm
l_2	621 mm
l_3	621 mm
P_j	30000 Psi [23]
Q	6 gal/dk [23]
μ	1 [24]

Excel programının yardımı ile eşitlik 4.11 ve eşitlik 4.12 çözümlenmiş ve F_{m1} ve F_{m2} değerleri çeşitli eğim durumları için bulunmuş ve Şekil 4.3.'te gösterilmiştir.



Şekil 4.3. Yüzey eğimine bağlı olarak F_{m1} ve F_{m2} değerleri

β açısı 35 olduğunda F_{m1} maksimum değeri olan 457 N alır, açı 55 derece olduğunda F_{m2} maksimum değeri olan 1521 N alır. Tahrik grubundaki neodiyum mıknatısların her biri en az 761 N tutunma kuvveti sağlamalıdır.

Not: Tasarım sonlandığında ağırlık hesaplanmış ve 830 N bulunmuştur. Bu durum 1.2 güvenlik katsayı kabulü ile sonuçlandırılmıştır.

4.1.1.2. Mıknatıs Seçimi

Mıknatıs seçimi; aşağıdaki parametreler değerlendirilerek gerçekleştirilecektir:

- Tutunma kuvveti,
- Enerji ihtiyacı,
- Kullanılabilirlik,
- Sürdürebilirlik,
- Esneklik,
- Ortam koşullarına uygunluk.

4.1.1.2.1. Elektromıknatıs ve Kalıcı Mıknatıs Arasındaki Fark

Elektromıknatıs ile kalıcı mıknatıs arasındaki fark güç ve manyetik alandır. Bir elektromıknatısta manyetik alan tel sargılı bobin tarafından oluşturulur ve yönü değiştirilebilir, fakat kalıcı mıknatısın manyetik alanı değiştirilemez. Kalıcı mıknatısın gücü kullanılan malzeme özelliklerine bağlıdır ve sabit şekilde uzun süre manyetik özelliklerini korur, elektromıknatısın gücü ise bobinden geçen elektrik akımına göre değişkenlik gösterir ve bir cihaz gibi davranır.

Bu çalışmadaki duvar tırmanma robotu tasarımında ortam şartları göz önünde bulundurulduğunda kalıcı mıknatıslar doğru tercihtir. Elektromıknatıslar için sürekli akım takviyesi gerektirir. Bu durum zamanla ohmik ısıtma, endüktif voltaj yükselmeleri,

çekirdek kayıpları, bobinlerin bağlanması vb. çeşitli manyetik alanı etkiler. Tozlu, nemli ve paslı ortamlarda kullanım için uygun değildir [17].

4.1.1.2.2. Kalıcı Mıknatıs Çeşitleri

Kalıcı mıknatıslarda endüstriyel alanlarda en çok tercih edilen mıknatıslar aşağıda tanıtılmıştır.

4.1.1.2.2.1. Neodyum NdFeB Mıknatıs

Günümüzde en güçlü kalıcı mıknatıstır. Neodyum mıknatıslar senkron motorlarda en çok tercih edilen mıknatıs tipleridir. Yapısında demir içermesi nedeniyle korozyona uğramaya çok yatkındır. Bu sebeple tozlu, nemli ve korozif ortam koşullarında nikel, PVC ya da kauçuk kaplamalı çeşitleri tercih edilmelidir. Maksimum 220 °C sıcaklığa dayanıklıdır, lakin 80 °C sıcaklıkta manyetik gücünün bir kısmını kaybeder.

Neodyum mıknatıslar, neodyum, demir ve bordan oluşur. Toz halinde karışım yapılır ve kalıplarda preslenir. Ürün daha sonra sinterleme işlemine tabi tutulur, akabinde soğutulup talaşlı işleme tabi tutulur. İstenilen kaplama uygulaması yapılır. Son olarak belirli bir süre oldukça güçlü bir manyetik alana bırakılarak mıknatıslanır.

Bu mıknatıslar, aşırı ısınmadıkları ve fiziksel olarak zarar görmedikleri takdirde 10 yıl boyunca mıknatıslanma özelliğini kaybetmezler [18].

Bu çalışmada çalışma ortamı, çok değişken boyutlarda üretilebilmeleri, tedarik durumunun kolay olması ve diğer parametreler göz önünde bulundurulduğunda Neodyum NdFeB mıknatıs kullanıma uygun bulunmuştur.

4.1.1.2.2. Samaryum-Kobalt SmCo Mıknatıs

Bu mıknatıslar yüksek sıcaklıklarda yüksek çekim kuvvetine sahip olunması istenilen durumlarda uygun seçenektir. Yapısında demir ihtiva etmediği için korozyona uğramaz, fakat yapısında kobalt bulundurduğu için oldukça kırılğan bir yapıya sahiptir. Maksimum 300 °C sıcaklığa dayanıklıdır [18].

4.1.1.2.3. Mıknatısların Çekim Gücünü Etkileyen Faktörler

Kalıcı mıknatısların çekim gücünü etkileyen faktörler aşağıdaki başlıklar altında belirtilmiştir [19].

- Mıknatıs ve Çelik Yüzey Arasındaki Mesafe:

Mıknatıs ile çelik yüzey arasında doğrudan temas olmazsa, tutunma kuvveti mesafenin artması ile hızla azalır. Bir milimetre boşluk bile tutunma kuvvetini yarıya indirebilir. Çelik yüzeydeki kir, pas ve korozyon tabakası da tutunma kuvvetini olumsuz yönde etkiler.

- Kuvvetin Yönü:

Mıknatıs için belirlenen teorik tutunma kuvveti verisi temas yüzeyine dik kuvvet için geçerlidir. Tutunma kuvveti temas yüzeyine dik açılı değil ise sürtünme kuvvetine bağlı bir sonuç öngörülmelidir.

- Çelik Yüzeyin Pürüzlülük Durumu:

Çelik yüzeyin kalitesi ile tutunma kuvveti doğru orantılıdır. Bu sebeple pürüzlülük oranı yüksek yüzeylerde mıknatısın tutunma kuvvetinde önemli bir azalma olması beklenir.

- Mıknatıslanmanın Uygulandığı Çelik Malzemenin Kalınlığı:

Çelik malzeme eğer yeteri kalınlıkta olmaz ise manyetik alanın bir kısmı işe yaramaz kalır. Bu sebepten teorik mıknatıslanma verileri et kalınlığı ince ürünlerde ciddi oranda değişkenlik gösterebilir.

4.1.1.2.3. Neodyum Mıknatısının Fiziksel ve Mekaniksel Özellikleri

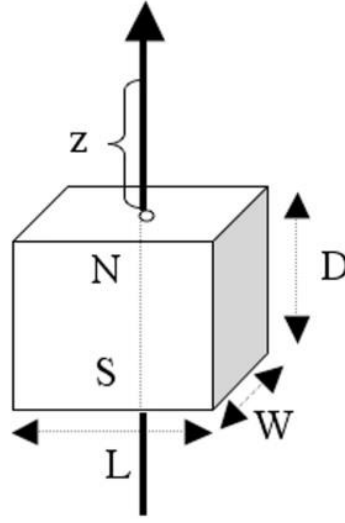
Tırmanma robotunun tutunmasını sağlayacak Neodyum mıknatısının bazı fiziksel ve mekaniksel özellikleri Tablo 4.3.'te verilmiştir.

Tablo 4.3. Neodyum Mıknatısının Fiziksel ve Mekaniksel Karakteristik Tablosu [20]

Yoğunluk	7,4 g/cm ³
Basma dayanımı	950 MPa
Çekme dayanımı	80 Mpa
Vickers sertliği	560-600
Young modülü	160 Gpa
Mıknatıslama yönüne paralel termal genişleme katsayısı (0 - 100 °C)	5.2 x 10 ⁻⁶ / °C
Mıknatıslama yönüne dik olan termal genişleme katsayısı (0 - 100 °C)	-0.8 x 10 ⁻⁶ / °C

4.1.1.2.4. Neodyum Mıknatısının Teorikte Çekme Kuvveti ve Akı Yoğunluğu

Neodyum mıknatıslar, çeşitli boyut ve şekillerde üretilebilirler. Tasarımlar maksimum tutunma kuvveti ve manyetik akı yoğunluğu elde etmek için optimize edilir. Teorikte mıknatısın kutup bölgesinden “z” uzaklığına bağlı olarak manyetik akı yoğunluğu hesabı yapmak mümkündür. Bu hesaplamalar aşağıdaki formüller vasıtası ile yapılabilir [21].

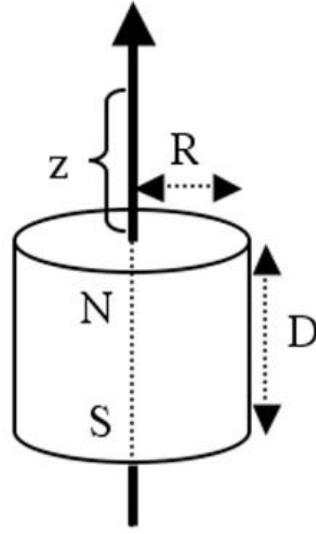


Şekil 4.4. Kübik yapıdaki kalıcı mıknatıs [21]

Kübik yapıdaki kalıcı mıknatısların akı yoğunluğu eşitlik 4.1 ile hesaplanır.

$$B_{kübik} = \frac{B_r}{\pi} \left[\arctan \left(\frac{L*W}{2*z*\sqrt{4*z^2 + L^2 + W^2}} \right) - \arctan \left(\frac{L*W}{2*(D+z)*\sqrt{4*(D+z)^2 + L^2 + W^2}} \right) \right] \quad (4.1)$$

Burada $B_{kübik}$ kübik yapıdaki kalıcı mıknatısların akı yoğunluğu (tesla), B_r mıknatıs geometrisinde bağımsız artık akı yoğunluğu (tesla), Şekil 4.4.'te gösterilen değerler z kutup bölgesinden dik uzaklık (mm), L mıknatısın uzunluğu (mm), W mıknatısın genişliği (mm), D mıknatısın kalınlığıdır (mm).



Şekil 4.5. Silindirik yapıdaki kalıcı mıknatıs [21]

Silindirik yapıdaki kalıcı mıknatısların akı yoğunluğu eşitlik 4.2 ile hesaplanır.

$$B_{\text{silindirik}} = \frac{B_r}{2} * \left(\frac{D+z}{\sqrt{R^2 + (D+z)^2}} - \frac{z}{\sqrt{R^2 + z^2}} \right) \quad (4.2)$$

Burada $B_{\text{silindirik}}$ silindirik yapıdaki kalıcı mıknatısların akı yoğunluğu (tesla), B_r mıknatıs geometrisinde bağımsız artık akı yoğunluğu (tesla), Şekil 4.5.'te gösterilen değerler z kutup bölgesinden dik uzaklık (mm), R mıknatısın yarıçapı (mm), D mıknatısın kalınlığıdır (mm).

Tam temas etmeden tutunma istenilen durumlarda, tasarım gereksinimlerinin belirlenebilmesi amacı ile tutunma kuvveti için aşağıda gösterilen amprik bir formül türetildi [22]. Böylece kalıcı mıknatısın çekme kuvveti eşitlik 4.3 ile hesaplanır.

$$F_m = 0.577 * B^2 * A \quad (4.3)$$

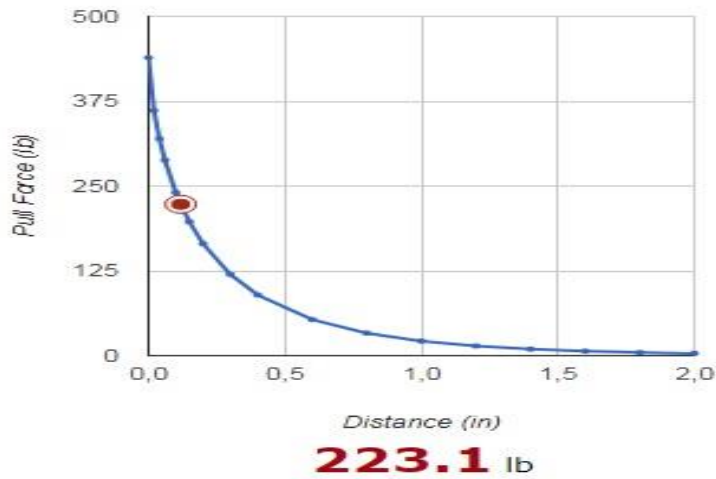
Burada F_m çekme kuvveti (N), B belirli uzaklıktaki manyetik akı yoğunluğu (tesla), A mıknatısın kutup bölgesinin alanıdır (mm^2).

4.1.1.2.5. Neodyyum Mıknatısın Seçimi ve Konumlandırılması

Bu çalışmada, neodyyum mıknatısının seçimi için üretici ticari bir firmanın internet üzerinden seçim ara yüzü kullanılacak, seçilen mıknatısın gerekli teknik bilgi sayfaları temin edilip sunulacaktır. Tırmanma robotu gövdesine montaj kolaylığı açısından kübik tip mıknatıs tercih edilmiştir.

Redüktör, motor ve neodyyum mıknatısını tozlu ortamdan ayırmak ve karşılaşacağı bir engel karşısında olası çarpma durumunda bu bileşenlerin zarar görmemesi için koruma gövdesi tasarlanmıştır. Bu durum neodyyum mıknatıs ile metal yüzey arasında belirli toleranslar altında boşluk meydana getirmiştir. Bu boşluğun değişken geometrik yapılarla adapte olacak tırmanma robotu için 2mm ile 3mm değerlerini arasında değişiklik göstereceği kabulü ile tasarım yapılmıştır. Burada dikkat edilmesi gereken husus neodyyum mıknatısının belirlenen mesafede sağlayacağı çekim kuvvetidir.

F_{m2} için; 2 adet 3" x 2" x 1" boyutlarında, mıknatıslanma yönü kalınlık doğrultusunda olan, N52 kalitede, 3mm mesafeden 992 N çekme kuvveti sağlayan "BZ0Y0X0-N52" neodyyum mıknatısı seçilip; Şekil 4.6.'da çekme kuvveti eğrisi, Şekil 4.7.'de teknik özellikleri verilmiştir.



Şekil 4.6. BZ0Y0X0-N52 (3x2x1 inch) mıknatısının çekme kuvveti eğrisi [25]

BZ0Y0X0-N52 Specification Sheet

Product Specifications

Type:	BLOCK
Dimensions:	3 x 2 x 1 thk (in)
Tolerance:	All dimensions ± 0.004 in
Material:	NdFeB, Grade N52
Plating:	NiCuNi
Max Op Temp:	176°F (80°C)
Br max:	14,800 Gauss
BH max:	52 MGOe

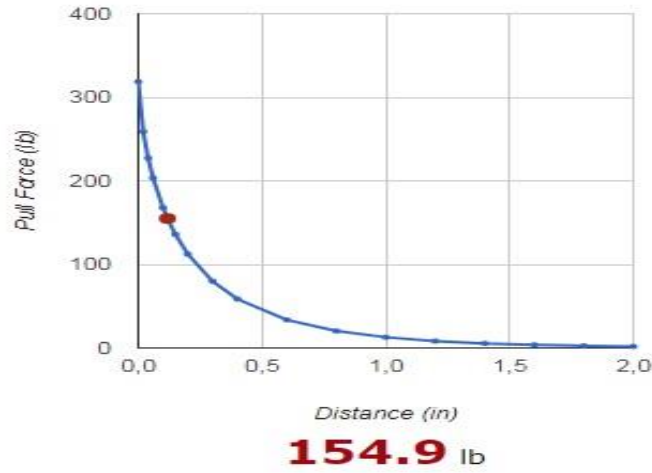


Performance Specifications

Pull Force, Case 1, Magnet to a Steel Plate:	439.13 lb
---	-----------

Şekil 4.7. BZ0Y0X0-N52 (3x2x1 inch) mıknatısının teknik özellikleri [26]

F_{m1} için; 1 adet 2" x 2" x 1" boyutlarında, mıknatıslanma yönü kalınlık doğrultusunda olan, N52 kalitede, 3mm mesafeden 689 N çekme kuvveti sağlayan "BZ0Y0X0-N52" neodyyum mıknatısı seçilip; Şekil 4.8.'de çekme kuvveti eğrisi, Şekil 4.9.'da teknik özellikleri verilmiştir.



Şekil 4.8. BZ0Y0X0-N52 (2x2x1 inch) mıknatısının çekme kuvveti eğrisi [25]

BY0Y0X0-N52 Specification Sheet

Product Specifications

Type:	BLOCK
Dimensions:	2 x 2 x 1 thk (in)
Tolerance:	All dimensions ± 0.004 in
Material:	NdFeB, Grade N52
Plating:	NiCuNi
Max Op Temp:	176°F (80°C)
Br max:	14,800 Gauss
BH max:	52 MGOe



Performance Specifications

Pull Force, Case 1,	
Magnet to a Steel Plate:	318.56 lb

Şekil 4.9. BZ0Y0X0-N52 (3x2x1 inch) mıknatısının teknik özellikleri [26]

4.1.1.2.6. Neodyyum Mıknatısını Tırmanma Robotu Gövdesine Montajı

Neodyyum mıknatıslarda Şekil 4.10.'da gösterildiği gibi özel bir seri üretim olan montajlanabilir mıknatıslar, geometrisinde vida, cıvata gibi bağlantı elemanları için, ilgili standarda uygun boşluklar bulundurur. Lakin bu mıknatıslarda özel üretim oldukları için seçim opsiyonu sınırlıdır. Bu sebepten dolayı neodyyum mıknatıslarını tırmanma robotu gövdesine montajını günümüzde endüstriyel alanlarda kullanımı giderek artan yapıştırma bağlantısı ile yapılmıştır. Bu sayede tasarımda hafiflik ve tasarımda basitlik konularında iyileştirme çalışmaları da yapılmış olur.



Şekil 4.10. Montajlanabilen neodyyum mıknatısı [27]

4.1.1.2.6.1. Yapıştırma Bağlantıları

Yapıştırma, literatürde iki aynı ya da farklı malzemenin yapıştırıcı bir malzeme ile birleştirilmesi olarak tanımlanır. Yapıştırıcı, yüzey teması ile malzemeleri bir arada tutmaya yarayan madde olarak tanımlanır.

Adhezyon, yapışacak yüzey ile yapıştırıcı arasında oluşur. İki yüzeyin ara yüzey kuvvetleri sayesinde bir arada tutulmasıdır.

Kohezyon, yapıştırıcının kendi içerisinde oluşur. Yapıştırıcıyı oluşturan bileşenlerin fiziksel ve kimyasal kuvvetler sayesinde bir arada tutulmasıdır [28].

4.1.1.2.6.2. Yapıştırıcı Çeşitleri

Yüksek mukavemet istenen durumlarda kimyasal reaksiyon ile sertleşen yapıştırıcılar kullanılır. Bunlara yapısal yapıştırıcılar da denilir. Bu yapıştırıcılardan başlıcaları aşağıda verilmiştir [28].

- **Anaerobikler:** Genelde sızdırmazlık ve emniyet alma amacı ile kullanılır. Anaerobik yapıştırıcılar, sıvı halde uygulanır ve oksijensiz ortamda aktif metal iyonları ile tepkimeye girer, akabinde kürleşir ve termoset hale geçer.
- **Cyanoakrilatlar:** Bu yapıştırıcılar, yapıştırılacak yüzeylerdeki havanın nemi ile reaksiyona girer ve kürleşir. Kısa sürede sertleşir, basit uygulamalarda yaygın olarak kullanılır. Örnek olarak japon yapıştırıcısı ve hızlı yapıştırıcı verilebilir.
- **Epoksiler:** Bu yapıştırıcılar genelde epoksi yapıştırıcı ve sertleştirici olmak üzere iki bileşenden oluşur. Günümüzde endüstriyel uygulamalarda oldukça yaygın kullanılır. Mukavemeti yüksektir. Farklı yapıdaki malzemelerin yapıştırılmasına elverişlidir.
- **Akrilikler:** Bu yapıştırıcılar, reçine ve sertleştirici olarak iki bileşenden oluşur. Yüksek sertlik ve mukavemet istenen yerlerde kullanılırlar.

- **Poliüretanlar:** Genelde cam takviyeli polyester malzemeleri yapıştırmak için kullanılırlar. Yüksek darbe mukavemeti vardır ve aşınmaya karşı dirençlidir. Yüksek sıcaklıklarda kullanımı uygun değildir.
- **Fenolikler:** Günümüzde kullanılan ahşap yapıştırıcılarının çoğuna yakını fenolik esastır. Sertleşmeleri için ısı ve basınç gereklidir. Termoset hale geldiğinde gevrekleşir ve bunu önlemek için akabinde ısı işlemi gerekir.

Tırmanma robotunun ortam koşulları ve mukavemet gereksinimi değerlendirildiğinde, piyasadaki tedarikçi firma kataloglarından LOCTITE 480 isimli cyanoakrilat esaslı hızlı yapıştırıcı seçilmiştir.

LOCTITE 480, yüksek kesme mukavemeti ve yüksek çekme mukavemeti sağlanması istenilen, yapıştırılması zor olan yüzeyler için dizayn edilmiştir. Metalin kauçuğa, mıknatısa veya metale yapıştırılması için idealdir. Nemli ortamlarda çalışmaya uygundur. Teknik özellikleri Tablo 4.4.'te verilmiştir [29]:

Tablo 4.4. Loctite 480 bazı teknik özellikleri

Çalışma sıcaklığı	0 °C ile 80 °C arası
Kürleşme süresi	24 saat
Çekme mukavemeti	22 MPa ile 30 MPa arası
Boşluk doldurma kapasitesi	0.15mm

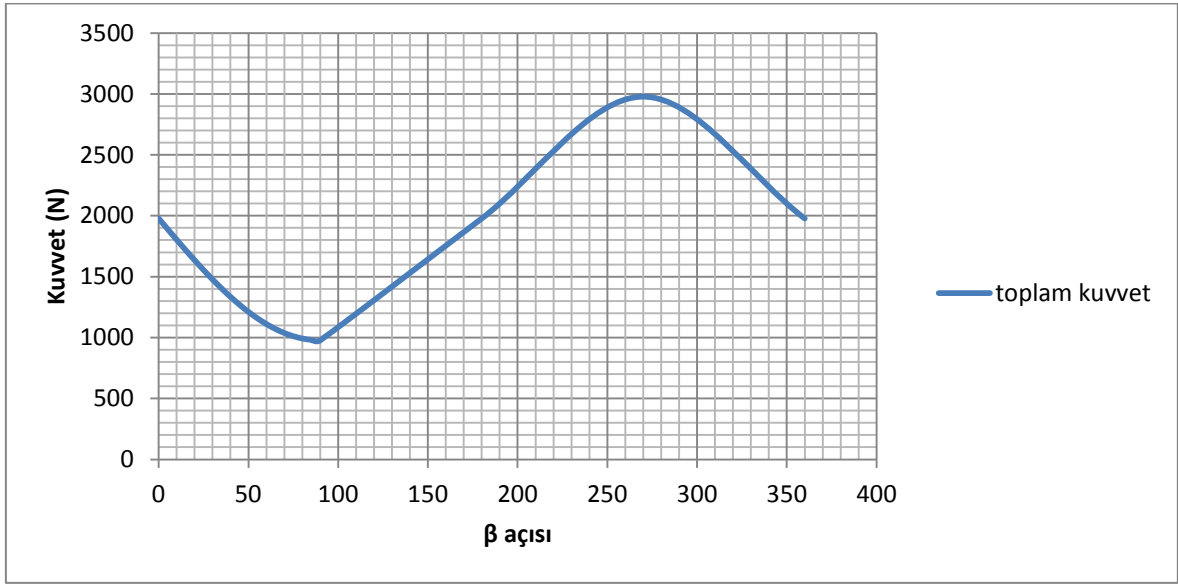
4.1.2. Tahrik Mekanizmalarının Tasarımı

Bu bölümde, hesaplanan mıknatıs kuvvetleri ve tırmanma robotunun ağırlığı göz önünde bulundurularak;

- Robotun hareketi için gerekli tahrik mekanizmasının gereksinimi belirlenip ilgili elemanların seçimi yapılacak,
- Kumlama uzvunun tasarım parametreleri belirlenecek ilgili elemanların seçimi yapılacak,
- Değişken geometrik yüzeylere uyum sağlayacak gereksinimlerin belirlenip ilgili elemanların seçimi yapılacaktır.

4.1.2.1. Tekerlek Tahrik Grubunun Seçimi

Hesaplanan mıknatıs kuvvetleri ve tırmanma robotunun ağırlığı zemine paralel olduğunda ($\beta=270^\circ$) tahrik grubu seçimi için en zorlu durumdur. Bu durumda toplam yük 2989N olup Şekil 4.11.'de β açısına göre mıknatıslanma yönüne paralel toplam kuvvet eğrisi gösterilmiştir.




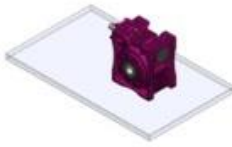

Şekil 4.11. β açısına bağlı mıknatıslanma yönünde toplam kuvvet eğrisi

Sürtünme kuvvetinin tanımı, yüzeye gelen dik kuvvet ile sürtünme katsayısının çarpımıdır. Burada tahrik tekerleklerinin her birine yaklaşık 1000N etki etmektedir. Tekerlek çapı $D_{tekerlek}$ 186mm ve sürtünme katsayısı $\mu=1$ bilgileri ile eşitlik 4.13 yazıldığında redüktörün sağlayacağı moment değeri bulunur.

$$M_d = \frac{F_s * D_{tekerlek}}{2} \quad (4.13)$$

Buradan, M_d moment değeri 93Nm bulunur. Çıkış momenti bu değeri sağlayacak tedarikçi firma kataloglarından Şekil 4.12.'de teknik özellikleri gösterilen redüktör seçimi yapılmıştır.

YILMAZ REDÜKTÖR GST FORMU - 1

Teknik Özellikler		Resimler	
Tip:	ET063-T00	 Redüktör Tipi:ET	
Giriş Tipi:	Mil Girişli		
Giris Flanş:	-		
Mn [Nm]:	126		
Tahvil:	7.25		
n1 [d/dak]:	1400		
n2 [d/dak]:	193		
Pn [kW]:	2.83		
Çıkış Rulmanları:	Standart		
Fqam (Std.) [N]:	2257		
Fama (Std+) [N]:	0		
Servis Faktörü:	0.8		
Yağ Miktarı [l]:	0.3		
Ağırlık [kg]:	6.4		
Redüktör Opsiyonları		 Montaj Pozisyonu:M1	
		 Çıkış Özelliği:04-Çift Çıktı...	

Şekil 4.12. Tahrik grubu redüktörü teknik özellikleri [33]

Bu çalışmada aşağıda sebeplerden dolayı servo motor tercih edilmiştir [34]. Servo motorlar;

- Küçük boyutlardan yüksek tork değerleri elde eder,
- Düşük tolerans değerlerinde devir sayısı ayarlanır,
- Sürekli durma-kalkma hareketi yapılan uygulamalarda kullanıma uygundur.

$$M_{redüktör} = i * M_{motor} \quad (4.14)$$

Denklem 4.14 vasıtasıyla seçilen redüktörün tahvil oranından faydalanarak motorun sağlayacağı tork değeri $M_{motor} = 13\text{Nm}$ bulunur.

Çıkış momenti bu değeri sağlayacak tedarikçi firma kataloglarından Şekil 4.13.'te teknik özellikleri gösterilen servo motor seçimi yapılmıştır.

RH Mini Series DC Servo Actuators

Technical Data

Rating:	Continuous	Vibration:	2.5 g (5...400 Hz)
Excitation device:	RE Permanent magnet	Shock:	< 30 g (11 ms)
Insulation:	Class B	Construction:	Totally enclosed
Insulation voltage:	AC 500V, one minute	Lubrication:	Grease (SK-2)
Insulation resistance:	100MΩ or more (DC 500V Megger)	Ambient temperature:	0 - 40°C
		Ambient humidity:	20 - 80% (non condensing)

Item	Actuator	RH-5A			RH-8D		RH-11D		RH-14D		Table 2
		8002	5502	4402	6006	3006	6001	3001	6002	3002	
Rated Output Power ¹⁾	W	1.5	1.7	1.4	8.6	6.2	13.6	12.3	20.3	18.5	Additional information * Actuator specifications show output characteristics, including gear efficiency. * All specifications are applicable for actuators mounted on aluminum heat sink of the following sizes: RH-5: 100 x 100 x 3 mm, RH-8, 11, 14: 150 x 150 x 6 mm.
Rated Voltage ¹⁾	V	12	12	12	24	24	24	24	24	24	
Rated Current ¹⁾	A	0.5	0.5	0.5	1.0	0.8	1.3	1.3	1.8	1.8	
Rated Output Torque ¹⁾ T _N	in-lb	1.4	2.6	2.6	12	17	19	34	28	52	
	Nm	0.16	0.29	0.29	1.4	2.0	2.2	3.9	3.2	5.9	
Rated Output Speed ¹⁾ n _N	rpm	88	55	44	60	30	60	30	60	30	
Max. Continuous Stall Torque ^{1) 2)}	in-lb	2.1	3.5	3.8	13	20	22	39	48	69	
	Nm	0.24	0.39	0.43	1.5	2.3	2.5	4.4	5.4	7.8	
Peak Current ^{1) 2)}	A	0.83	0.78	0.77	1.6	1.1	2.4	2.1	5.4	4.1	
Maximum Output Torque ^{1) 2)} T _m	in-lb	3.5	5.2	6.1	24	31	43	69	122	174	
	Nm	0.39	0.59	0.69	2.7	3.5	4.9	7.8	14	20	

Şekil 4.13. Tahrik grubu servo motoru teknik özellikleri (RH-14D) [35]

4.1.2.2. Kuşlama Uzununun Tasarım Parametrelerinin Belirlenmesi

Kuşlama uzvu tahrik tekerleklerinin ön kısmında, belirli bir strok mesafesini tarayacak şekilde tasarlanmıştır. İhtiyaç halinde değişken devir aralıklarında ve açıda çalışabilmesi için tekerlek tahrik grubunda kullanılan servomotor-redüktör grubu tercih edilmiştir. Ön görülen devir sayısı 10 d/dk, ön görülen açı taraması $\pm 60^\circ$ olarak belirlenmiştir.

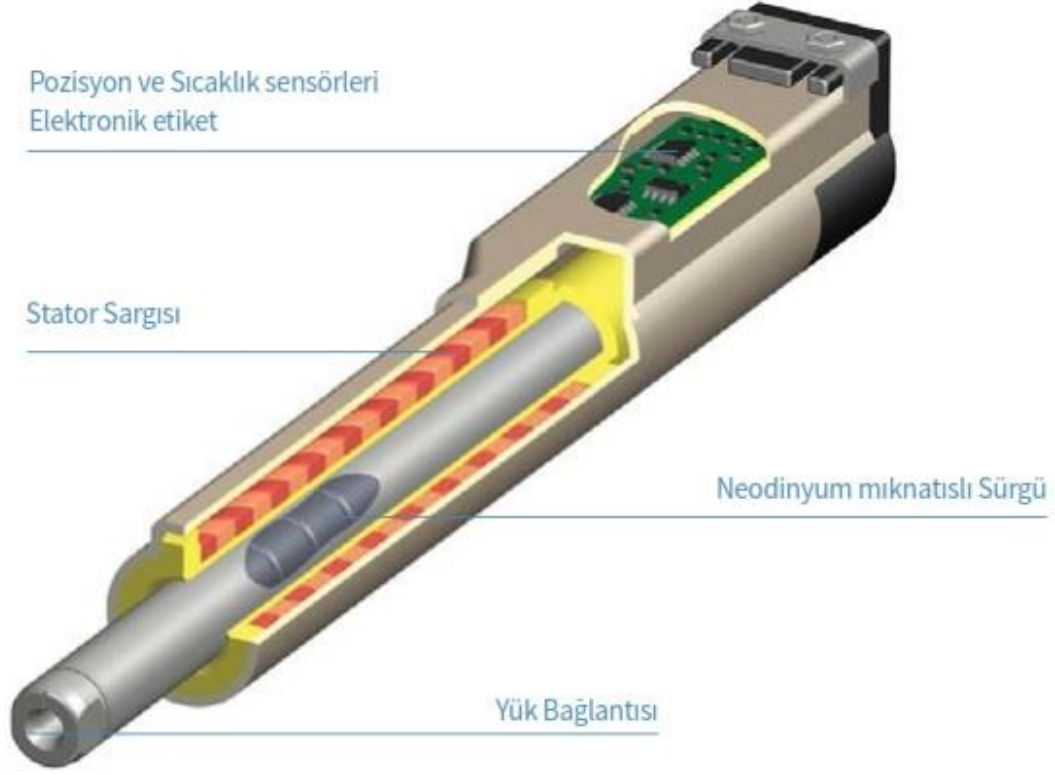
4.1.2.3. Değişken Geometrik Yüzele Uyum Sağlayacak Gereksinimlerin Belirlenmesi

Bu çalışmada ortam koşulları ele alındığında, uzuv hareketleri için kayış- kasnak ve zincir gibi güç iletim mekanizmalarının kullanılması uygun değildir. Son yıllarda endüstriyel uygulamalarda kendine günden güne daha çok yer bulan lineer motorlar,

aşağıdaki avantajlarından dolayı tırmanma robotu uzuvlarının doğrusal hareketini sağlamak için tercih sebebi olmuştur:

- Montaj kolaylığı,
- Ayarlanabilir hız,
- Ayarlanabilir ivme,
- Programlanabilir kuvvet,
- Denetlenebilen hareket,
- Senkron hareketler,
- Uzun hizmet ömrü,
- Düşük bakım maliyeti,
- Düşük enerji tüketimi.

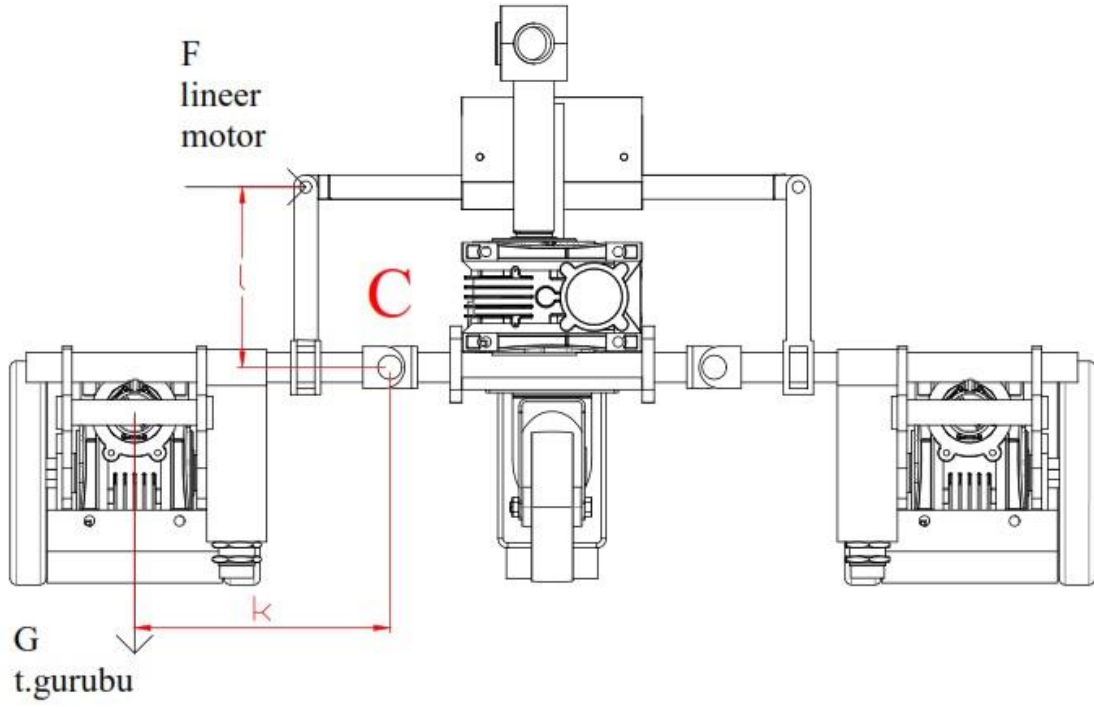
Lineer motorlar, iki bölümden meydana gelir, bunlar stator ve sürgüdür. Stator içinde motor sargıları, sürgünün kayma eylemini yapabilmesi için bir yataklama sistemi, sıcaklık ve konumun algılanması içinde sensörler bulunur. Sürgü içerisinde yüksek kalitede işlenmiş paslanmaz çelikten imal edilmiş boru ve bu borunun içine yerleştirilmiş neodiyum mıknatıslar bulunur (Şekil 4.14.) [30].



Şekil 4.14. Lineer motor kısımları [31]

4.1.2.3.1. Lineer Motor Seçimi

Tırmanma robotu tasarımında kullanılacak olan lineer motor seçiminde iki ana kistas vardır. Bunlar, motorun itme kuvveti ile strok mesafesidir. Minimum itme kuvvetinin belirlenmesi Şekil 4.15.'teki serbest cisim diyagramı ile saptanır. Lineer motorun itme kuvveti tekerlek, motor, redüktör, mıknatıs ve metal donanımın ağırlığını kaldıracak seviyede olmalıdır. Mafsal noktasından yani C noktasından moment alınıp bölgesel çözümlene yapılacaktır.



Şekil 4.15. Lineer motor serbest cisim diyagramı

Burada tekerlek grubunun ağırlık merkezinin C noktasına dik uzaklığı “k”, lineer motorun C noktasına dik uzaklığı “l” olarak adlandırılır ve eşitlik 4.14 türetilir:

$$G_{t.gurubu} * k = F_{lineer - motor} * l \quad (4.14)$$

Daha sonra “k” yerine 213mm, “l” yerine 150mm ve $G_{t.gurubu}$ yerine 90N yazılıp çözümlendiğinde gerekli lineer motor itme kuvveti 127N bulunur. Belirlenen itme kuvveti gereksinimine göre piyasadaki tedarikçi firma kataloglarından PS01-37Sx120F-HP-N lineer motoru seçilip teknik özellikleri Tablo 4.5.’te verilmiştir [32]:

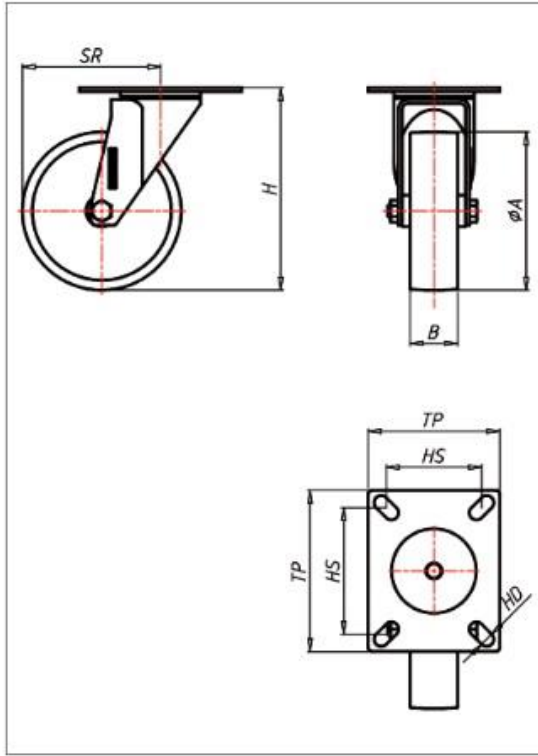
Tablo 4.5. Lineer motor teknik özellikleri

Maksimum strok mesafesi	1480mm
Maksimum itme kuvveti	255N
Maksimum hız	3.8m/s
Konumlandırma hassasiyeti	± 0.05 mm
Stator çapı	37mm
Stator uzunluğu	150mm
Stator ağırlığı	0.8kg
Sürgü çapı	20mm
Sürgü uzunluğu	240mm ile 1600mm arası
Sürgü ağırlığı	0.49kg ile 3.62kg arasında

4.1.3. Serbest Tekerleğin Seçimi

Bu çalışmada, serbest tekerleğin seçimi için üretici ticari bir firmanın internet üzerinden seçim ara yüzü kullanılmış, seçilen tekerleğin gerekli teknik bilgi sayfası temin edilip sunulmuştur.

Serbest tekerleğin taşıyacağı yük en fazla yatay zeminde hareket ederken meydana gelir ($\beta=270$). F_{m1} kuvveti ile robot ağırlığının serbest tekerleğe düşen kısmı hesaplanır ve toplamda yaklaşık 1050N belirlenir. Bu yük kapasitesine ve tırmanma robot tasarımına uygun serbest tekerlek ölçüleri ve teknik bilgileri Şekil 4.16.'da verilmiştir.



Technische Details

ORDERNO (Artikel-nummer)	CSH 125 FS
WDAB (Rad-Ø A x Breite B / mm)	125x35
LC (Tragkraft / kg)	250
H (Bauhöhe H / mm)	160
TP (Plattengröße / mm)	102x83
HS (Lochabstand / mm)	80x60
HD (Loch-Ø / mm)	9
SR (Schwenkradius / mm)	111.5
WB (Radlager)	Gleitlager

Şekil 4.16. Serbest tekerlek ölçü ve teknik bilgileri [30]

4.1.4. Mesafe Sensörlerinin Gereksinimi ve Seçimi

Bu bölüm, özet kısmında belirtilen “değişken geometrili yüzey şekillerine adapte olan” tanımlamasının nasıl sağlandığını açıklanmıştır.

4.1.4.1. Mesafe Sensörlerinin Gereksinimi

Tırmanma robotunun tasarımında 2 adet mesafe sensörü kullanılmıştır. İkisi de tekerlek bağlantılarının olduğu kısımlara konumlandırılmıştır. Kumlama işlemi yapılacak yapının yüzey şekli iç bükey ya da dış bükey olması durumlarında mesafe değerlerine adapte olan bir otomasyon sistemi ile tırmanma robotu değişken yüzey şekillerine uyum sağlayıp işlemi sürdürecektir.

4.1.4.2. Mesafe Sensörlerinin Seçimi

Mesafe sensörü seçiminde metal cisimlerde optimize çalışacak bir sensör seçimi yapılmıştır. Bu durumda öne çıkan mesafe sensörü çeşidi, endüktif sensörlerdir. Endüktif sensörler kendisinden belirli değer aralıklarındaki metal cisimlerin uzaklığını algılar. Çalışma prensibinde bu endüktif sensörler, algılama değerleri boyunca manyetik alan üretir. Algılama değerleri içine giren bir metal cisim manyetik alanı etkiler, sinyalleri değiştirir ve bu değişim sensörün elektronik devresinde işlenir ve mesafe belirlenir [36]. Mesafe sensörünün algılama kapasitesi 0 ile 40mm arası olarak belirlenmiştir.

Belirlenen mesafe algılama kapasitesi gereksinimine göre piyasadaki tedarikçi firma kataloglarından 50109728 IS 230MM/2NO-40N ürün numaraları endüktif mesafe sensörü seçilip teknik özellikleri Tablo 4.6.'da verilmiştir [37]:

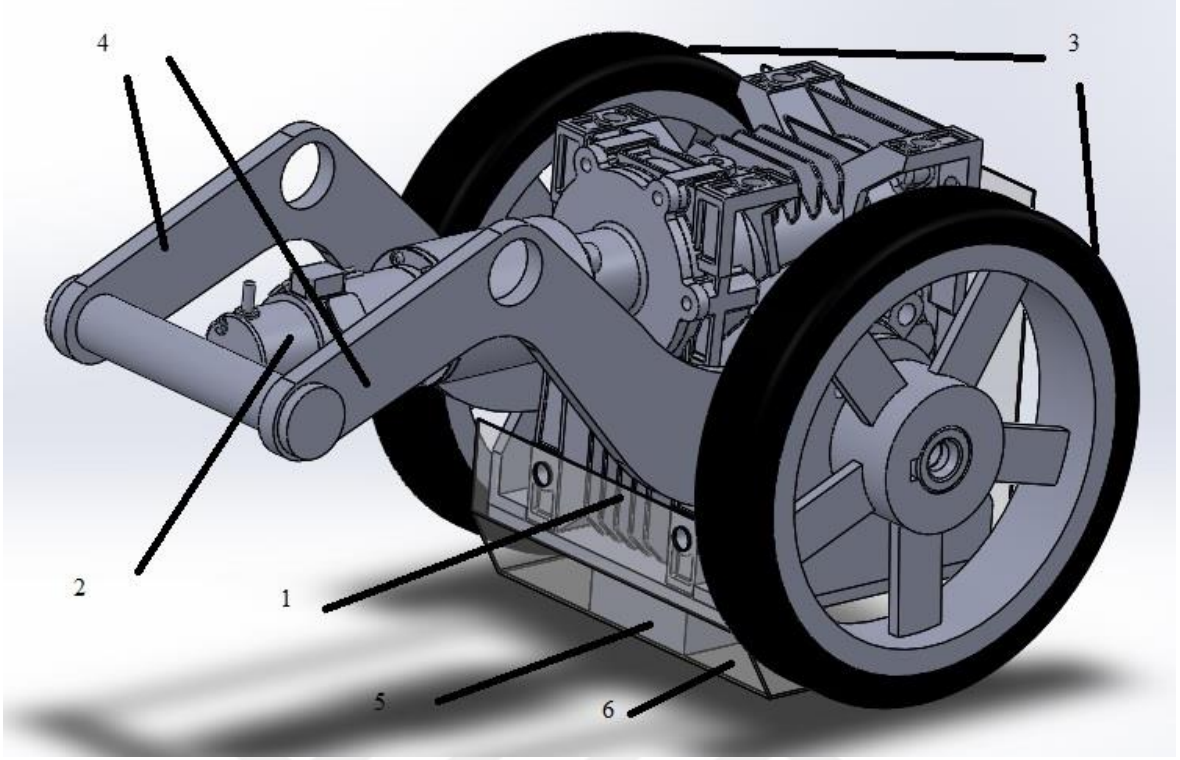
Tablo 4.6. Mesafe sensörü teknik özellikleri

Sınır mesafesi	40mm
İşletme bölgesi	0 ile 32.4mm arası
Yapı şekli	Silindirik
Çalışma sıcaklığı	25 °C ile 70 °C arası

4.1.5. Üç Boyutlu Modelleme Yapılması

Bu çalışmada, belirlenen tutunma ve tahrik mekanizmalarının bütünleşik halde tırmanma robotu gövdesine entegresi SolidWorks üç boyutlu çizim programı ile sağlanmış ve robot gövdesinin katı modellemesi yapılmıştır. Bütün metal gövde ve uzuvlar malzeme olarak S355JR genel yapı çeliği kullanılmıştır.

Şekil 4.17.'de tahrik grubunun bileşenleri gösterilmiş ve Tablo 4.7.'de tanımlanmıştır.



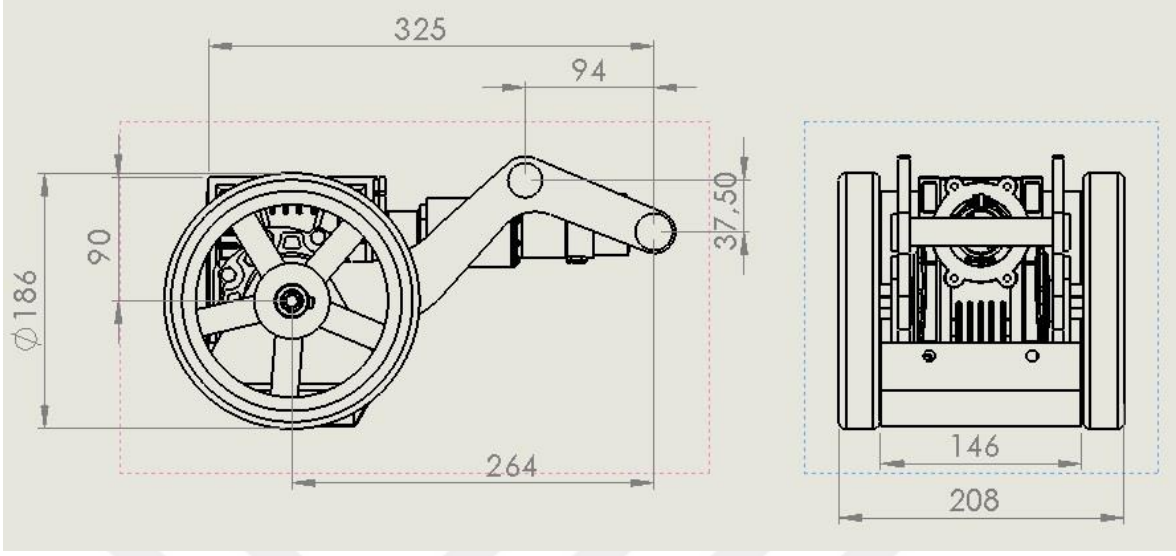
Şekil 4.17. Tırmanma robotu tahrik grubu genel görünüşü

Tablo 4.7. Tahrik grubu bileşenleri

1	Tahrik redüktörü
2	Servo motor
3	Kauçuk kaplamalı tekerlek
4	Tahrik grubu gövde sacı
5	Neodyyum mıknatıs
6	Koruma sacı

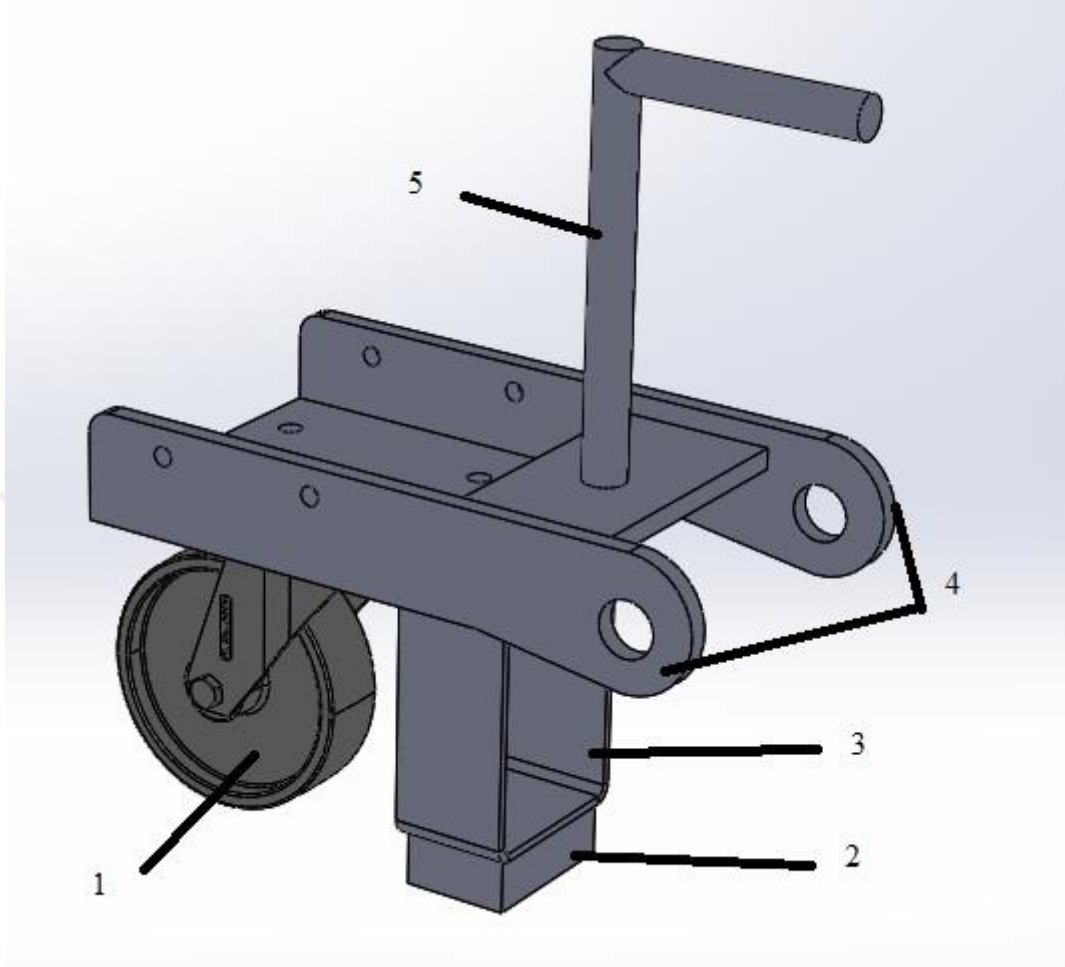
Burada 1 numara ile belirtilen tahrik redüktörü, 2 numara ile belirtilen servo motordan aldığı tahrik momentini artırarak 3 numara ile belirtilenler kauçuk kaplamalı tekerleklere aktarır ve hareket sağlar. Bu tekerlek, redüktör ve motor 4 numara ile belirtilenler tahrik grubu gövde sacı ile tahrik grubu uzvuna bağlanır, 5 numara ile belirtilen neodyyum mıknatıs tutunmayı sağlar, 6 numara ise koruma sacıdır.

Şekil 4.18.'de tahrik grubunun genel ölçüleri gösterilmiştir.



Şekil 4.18. Tırmanma robotu tahrik grubu genel ölçüleri

Şekil 4.19.'de üst ünite bileşenleri gösterilmiş ve Tablo 4.8.'de tanımlanmıştır.



Şekil 4.19. Üst ünite genel görünüş

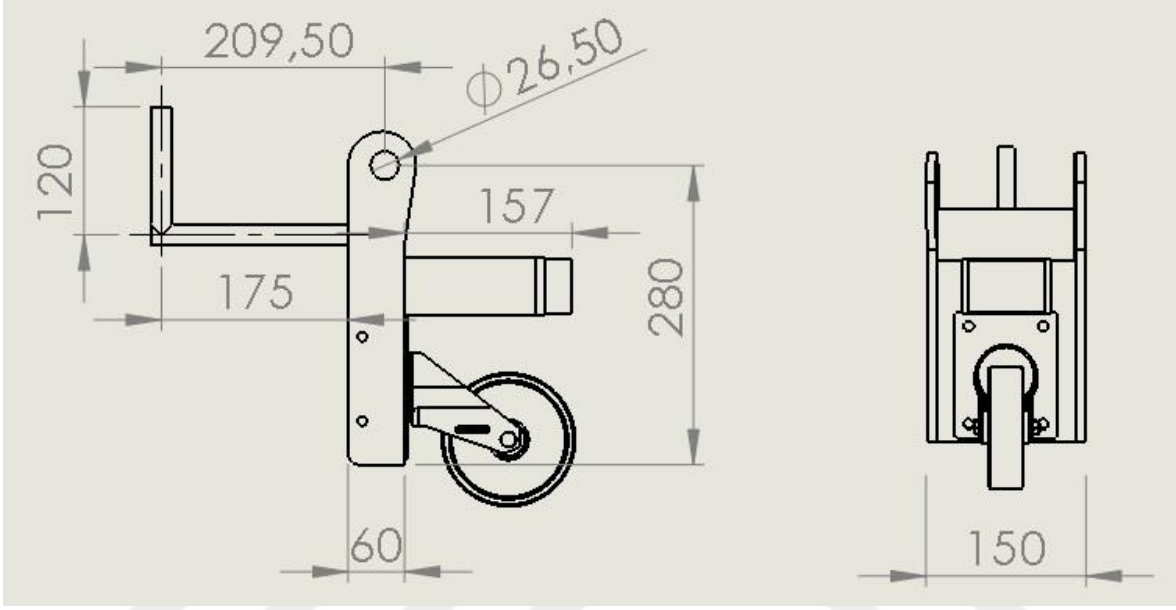
Tablo 4.8. Üst ünite bileşenleri

1	Serbest tekerlek
2	Neodyum mıknatıs
3	Mıknatıs bağlantı parçası
4	Kumlama uzvu tahrik grubu bağlantı parçası
5	Lineer motor bağlantı parçası

Burada 1 numara ile belirtilen serbest tekerlek ile robotun dengesi sağlanmış, 2 numara ile belirtilen neodyum mıknatıs ile tutunma kuvveti oluşturulmuş, 3 numara ile

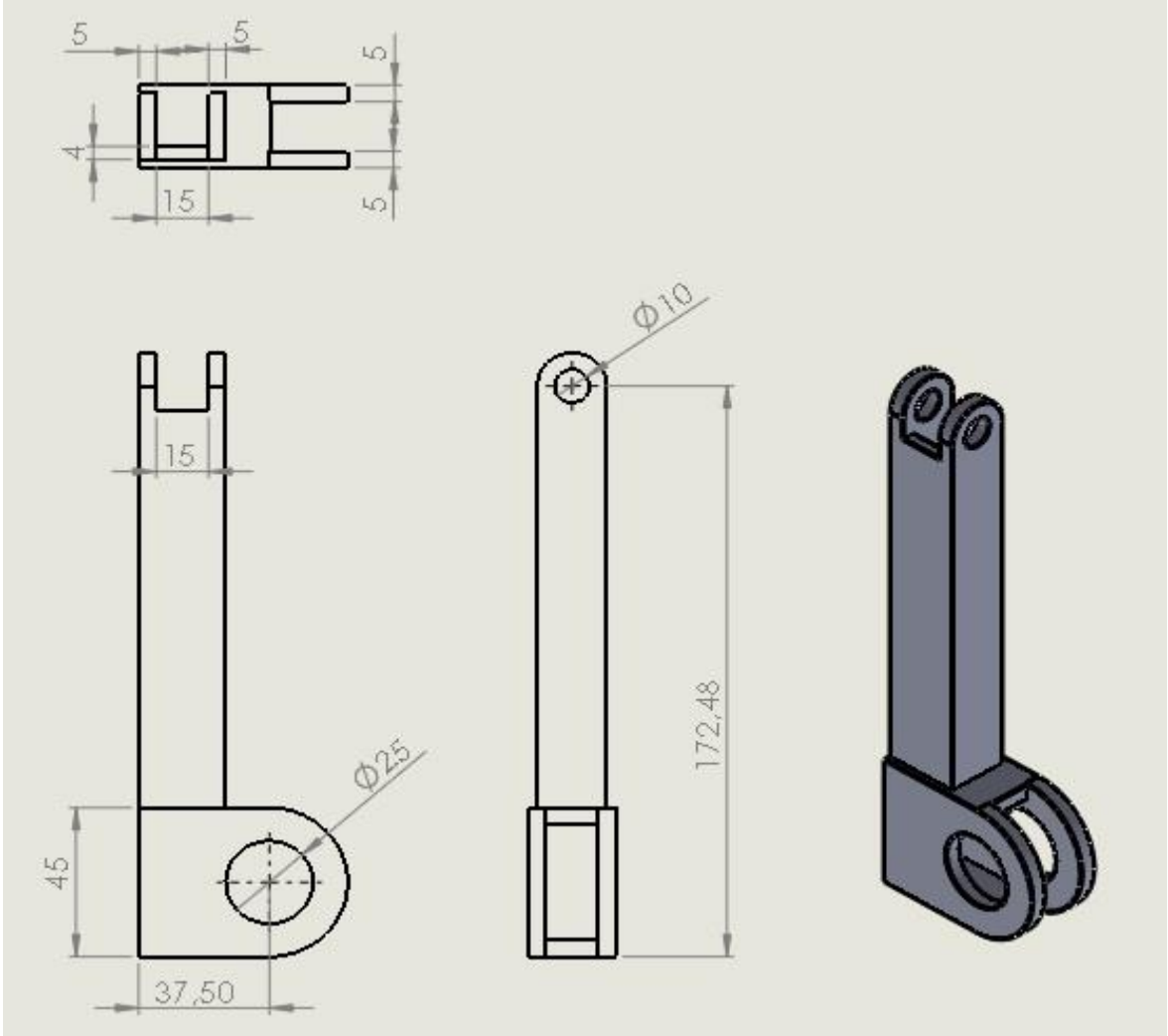
belirtilen mıknatıs bağlantı parçası mıknatıs ile sabit irtifaya sabitlenmiş, 4 numara belirtilenler kumlama uzvunun tahrik grubu bağlantı parçaları ile ilgili bileşenlerin bağlantısı yapılmış, 5 numara ile belirtilen lineer motor bağlantı mili ile lineer motorların bağlantısı yapılmış ve konumlandırılması yapılmıştır.

Şekil 4.20.'de üst ünitenin genel ölçüleri gösterilmiştir.



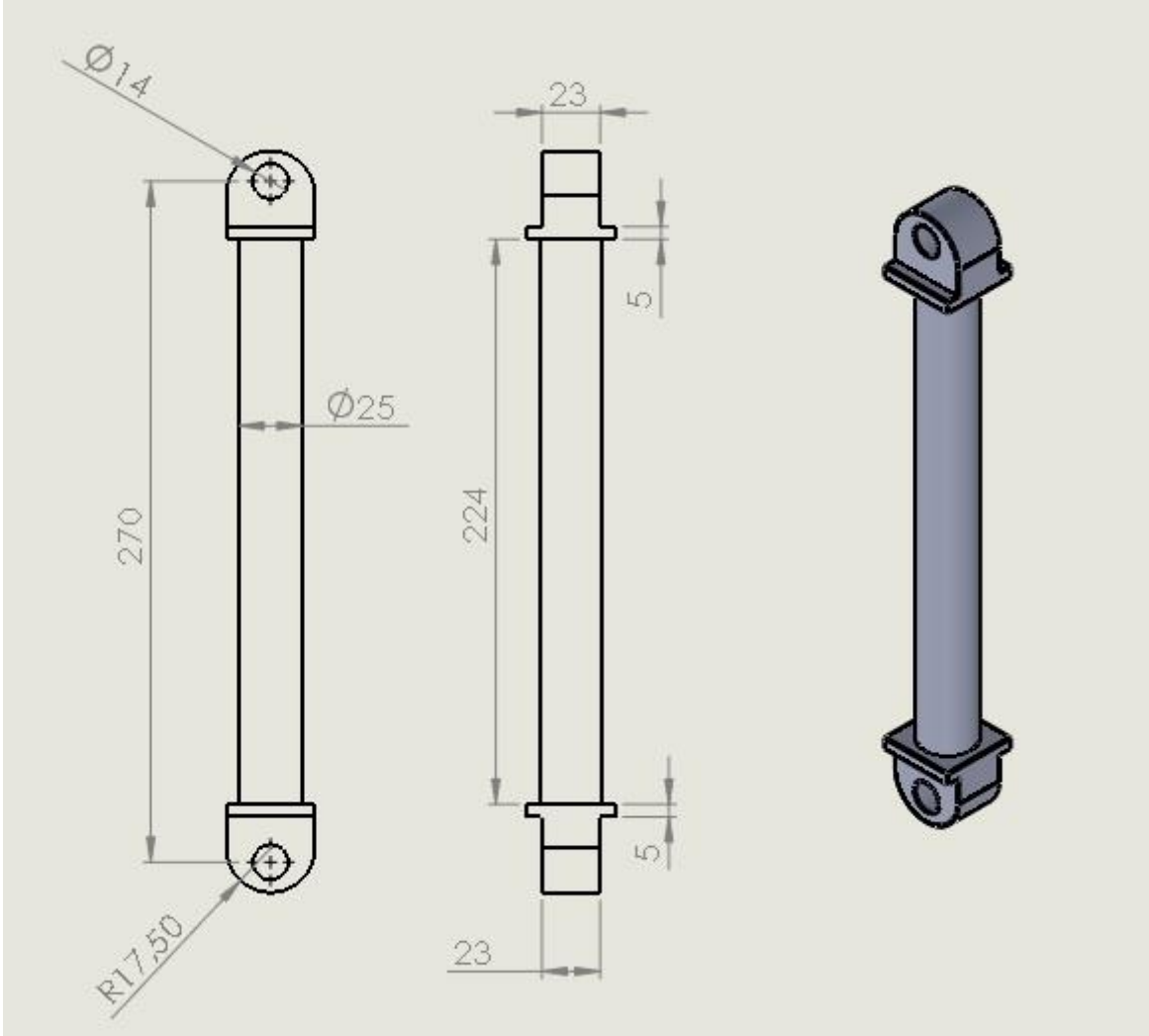
Şekil 4.20. Üst ünite genel ölçüleri

Şekil 4.21.'de lineer motorun bağlantı konsol parçasının genel görünüşü ve ölçüleri gösterilmiştir.



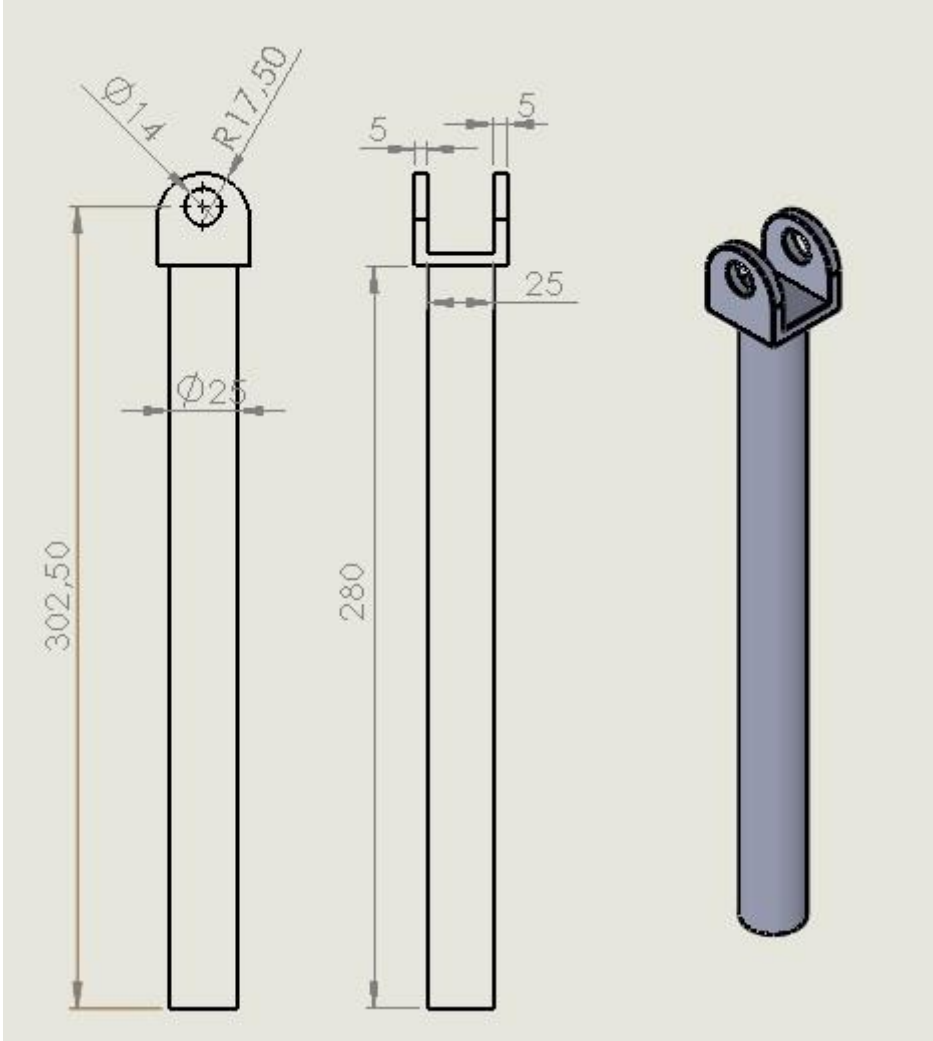
Şekil 4.21. Lineer motor bağlantı konsol parçası genel görünüşü ve ölçüleri

Şekil 4.22.'de gövde ana milinin genel görünüşü ve ölçüleri gösterilmiştir.



Şekil 4.22. Gövde ana mili genel görünüşü ve ölçüleri

Şekil 4.23.'te tahrik uzvu milinin genel görünüşü ve ölçüleri gösterilmiştir.

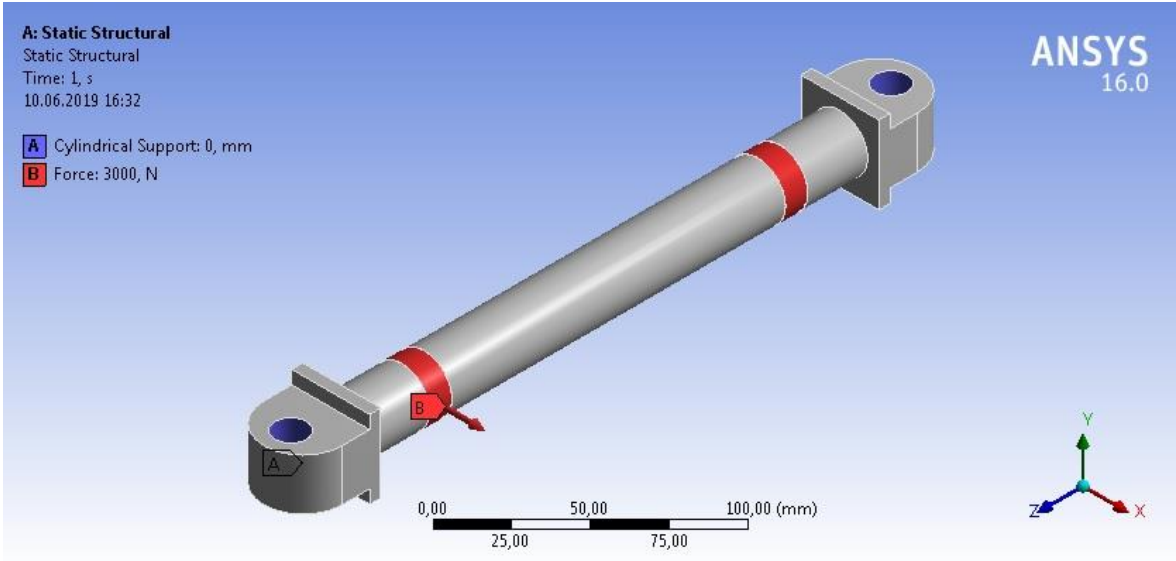


Şekil 4.23. Tahrik uzvu mili genel görünüşü ve ölçüleri

4.1.5. Gövde Uzunlarının Statik Analizlerinin Yapılması

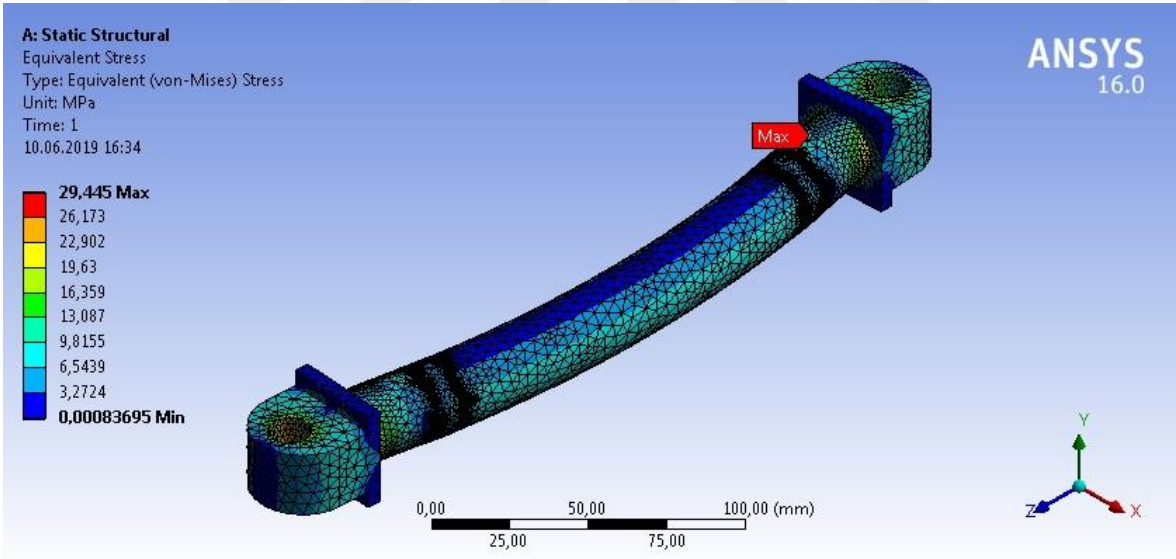
Bu çalışmada başlıca gövde bileşenlerinin statik analizleri Ansys programı ile yapılmış, deplasman ve gerilme değerleri değerlendirilmiştir.

Şekil 4.24.'te gövde ana milinin yükleme ve mesnet bilgileri gösterilmiştir.



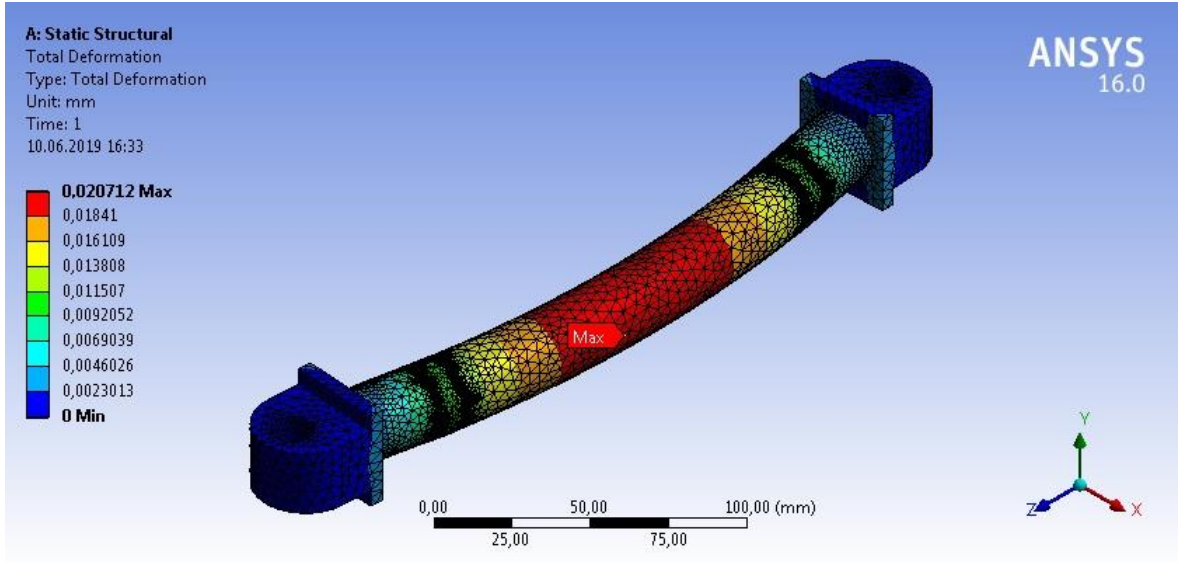
Şekil 4.24. Gövde ana mili yükleme ve mesnet bilgileri

Şekil 4.25.'te gövde ana milinin gerilme analizi gösterilmiştir.



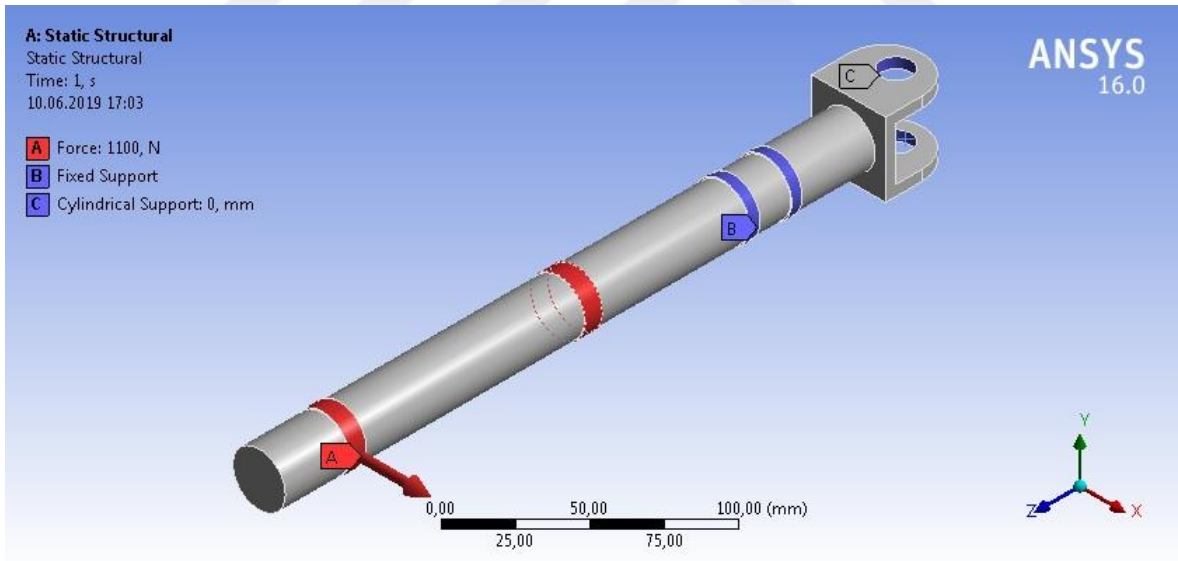
Şekil 4.25. Gövde ana mili gerilme analizi

Şekil 4.26.'da gövde ana milinin deplasman analizi gösterilmiştir.



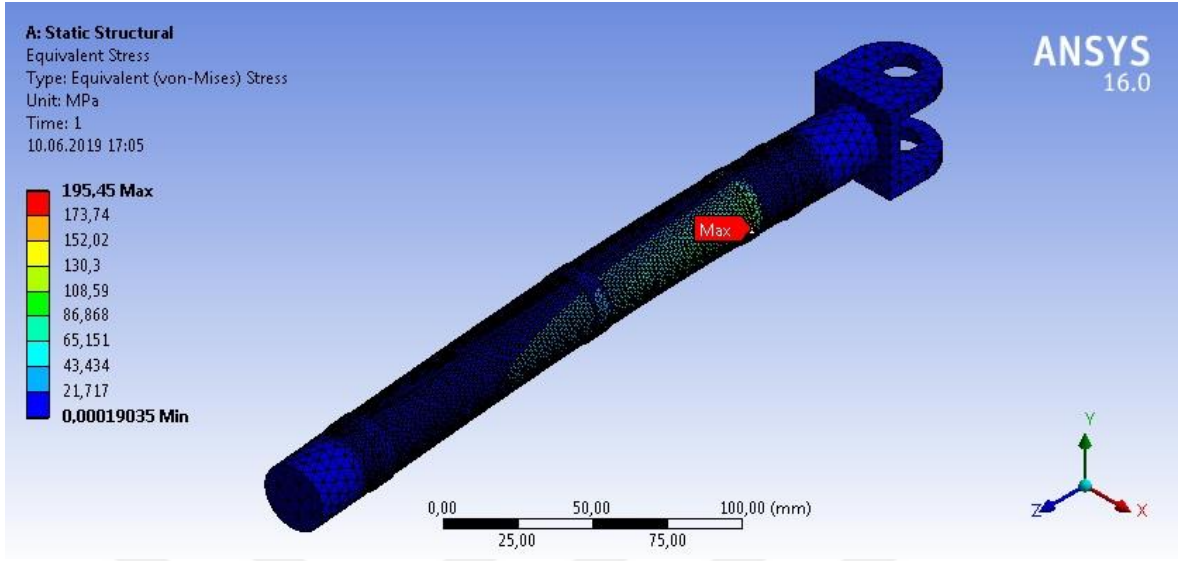
Şekil 4.26. Gövde ana mili deplasman analizi

Şekil 4.27.'de tahrik uzvu milinin yükleme ve mesnet bilgileri gösterilmiştir.



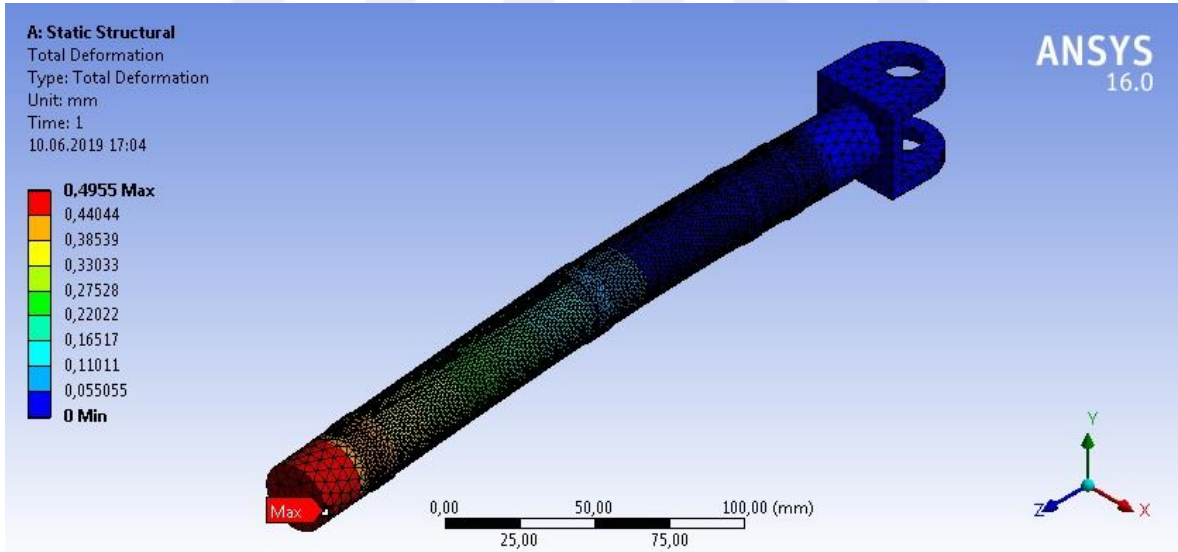
Şekil 4.27. Tahrik uzvu milinin yükleme ve mesnet bilgileri

Şekil 4.28.'de tahrik uzvu milinin gerilme analizi gösterilmiştir.



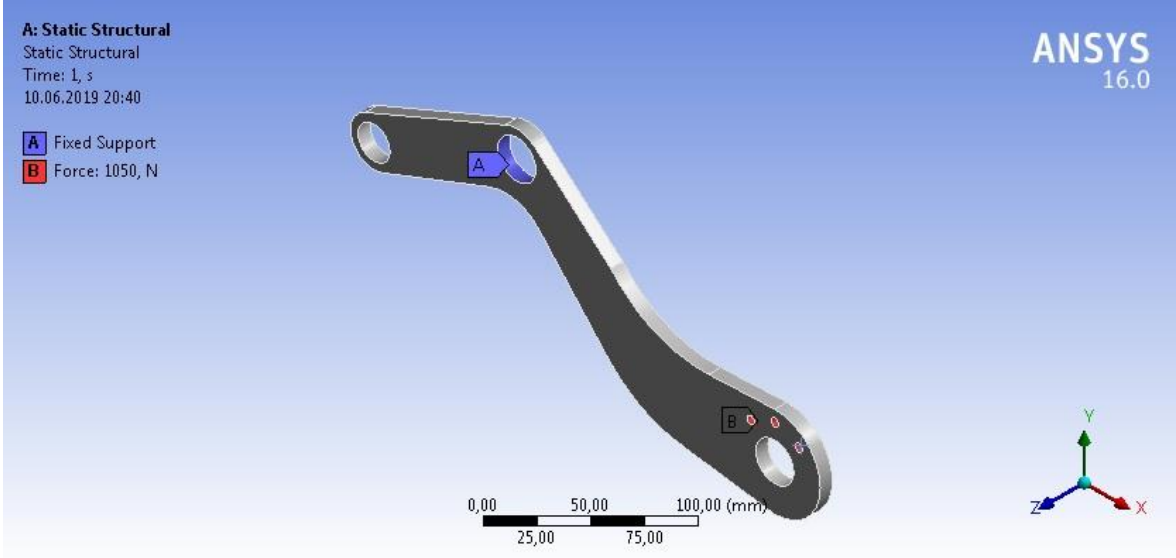
Şekil 4.28. Tahrik uzvu mili gerilme analizi

Şekil 4.29.'da tahrik uzvu milinin deplasman analizi gösterilmiştir.



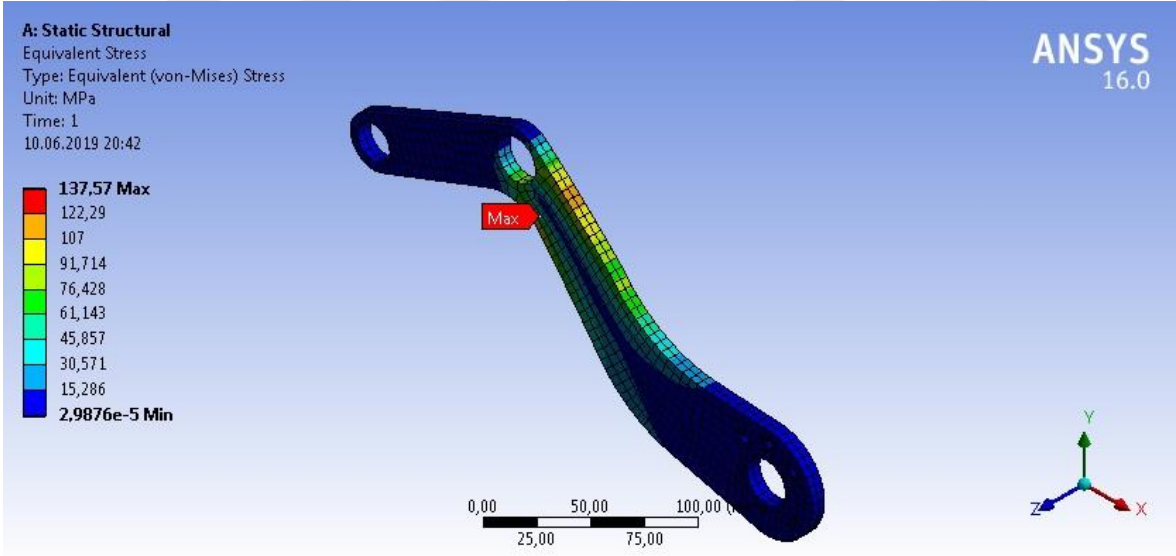
Şekil 4.29. Tahrik uzvu mili deplasman analizi

Şekil 4.30.'da tahrik grubu gövde sacının yükleme ve mesnet bilgileri gösterilmiştir.



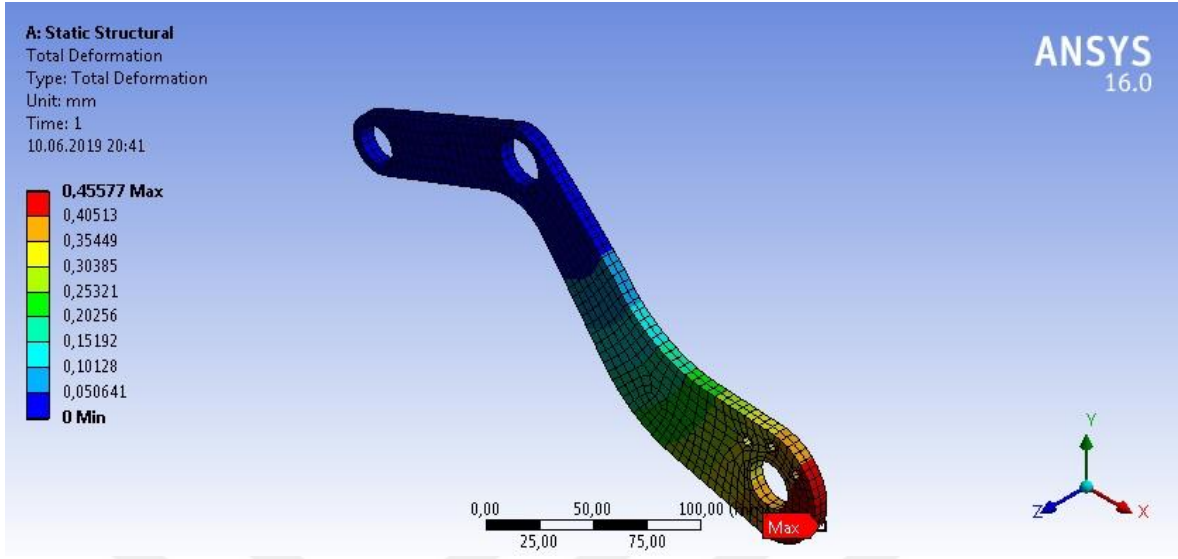
Şekil 4.30. Tahrik grubu gövde sacı yükleme ve mesnet bilgileri

Şekil 4.31.'de tahrik grubu gövde sacının gerilme analizi gösterilmiştir.



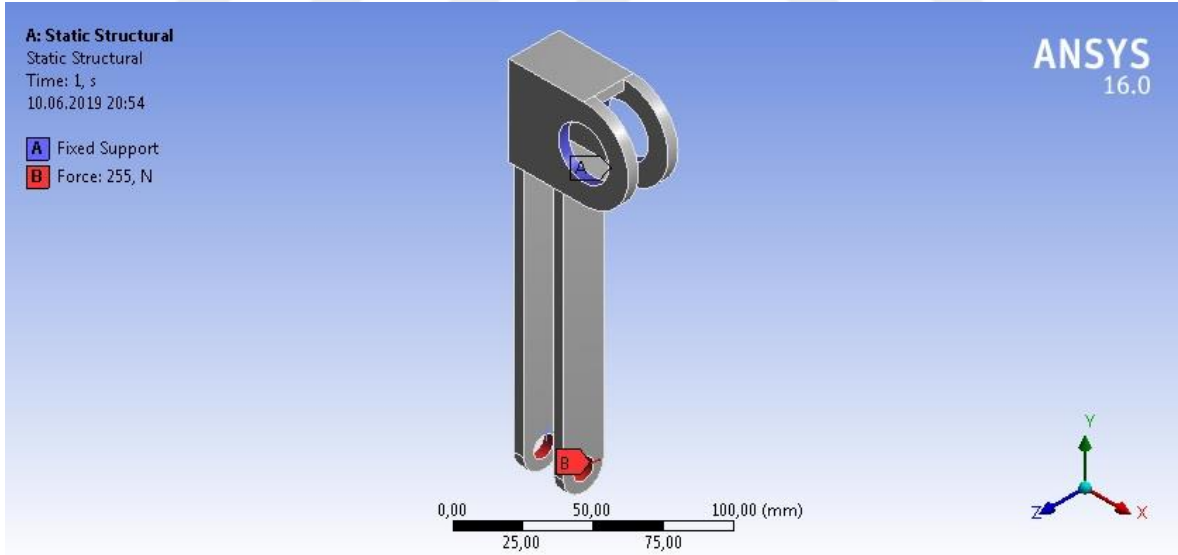
Şekil 4.31. Tahrik grubu gövde sacı gerilme analizi

Şekil 4.32.'de tahrik grubu gövde sacının deplasman analizi gösterilmiştir.



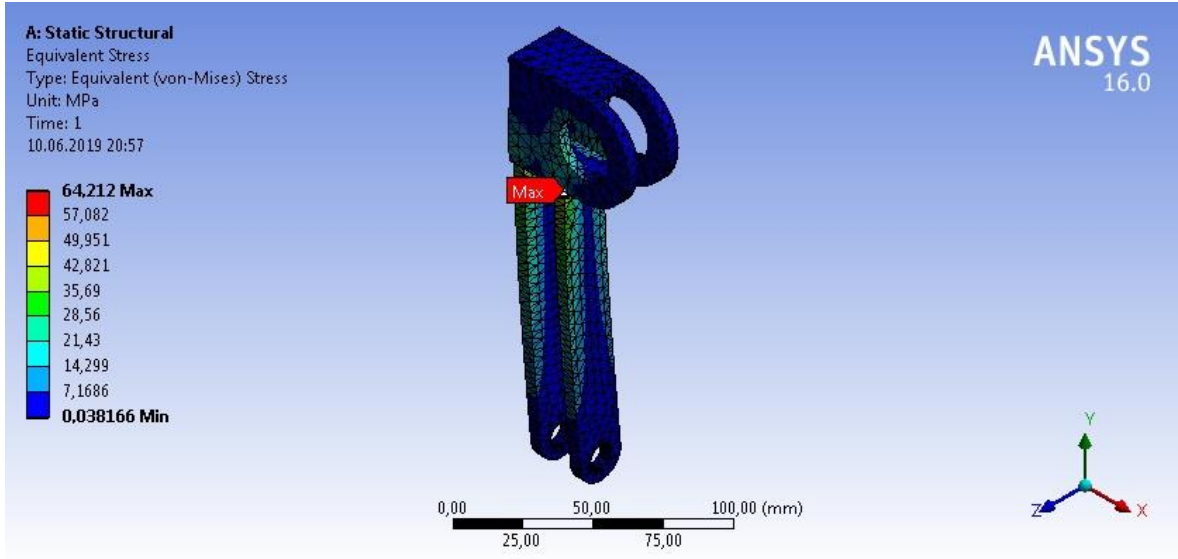
Şekil 4.32. Tahrik grubu gövde sacı deplasman analizi

Şekil 4.33.'te lineer motor konsol bağlantı parçasının yükleme ve mesnet bilgileri gösterilmiştir.



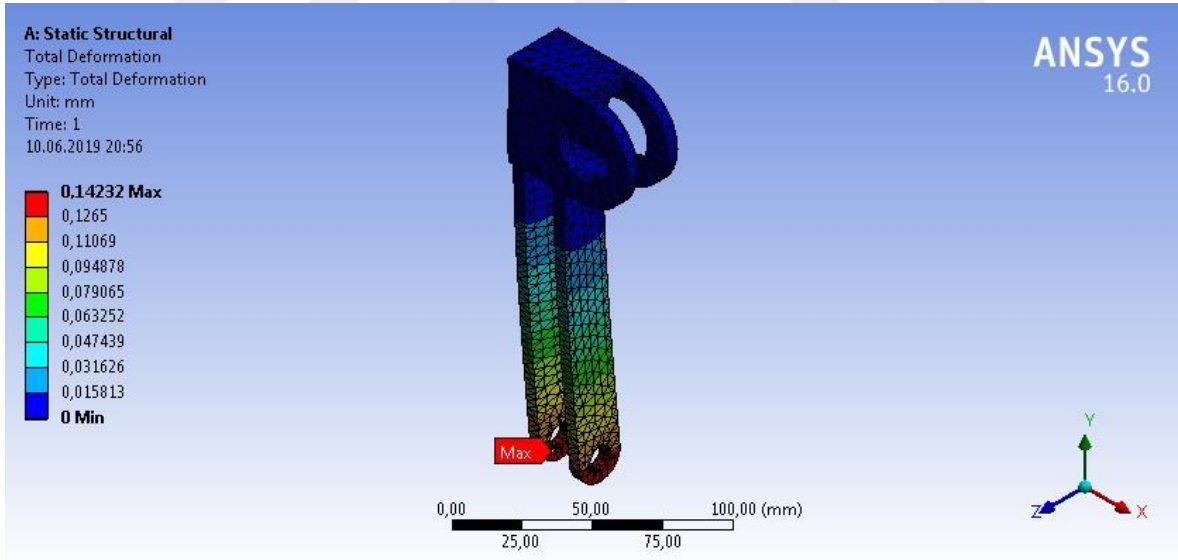
Şekil 4.33. Lineer motor konsol bağlantı parçası yükleme ve mesnet bilgileri

Şekil 4.34.'te lineer motor konsol bağlantı parçasının gerilme analizi gösterilmiştir.



Şekil 4.34. Lineer motor konsol bağlantı parçası gerilme analizi

Şekil 4.35.'te lineer motor konsol bağlantı parçasının deplasman analizi gösterilmiştir.



Şekil 4.35. Lineer motor konsol bağlantı parçası deplasman analizi

4.1.6. Otomasyon Senaryosu ve Şeması

Bu bölümde tasarlanan tırmanma robotunun kontrol edilmesi için gerekli komutlarını organize edecek otomasyon sisteminin senaryosu ve şematik gösterimi yapılmıştır.

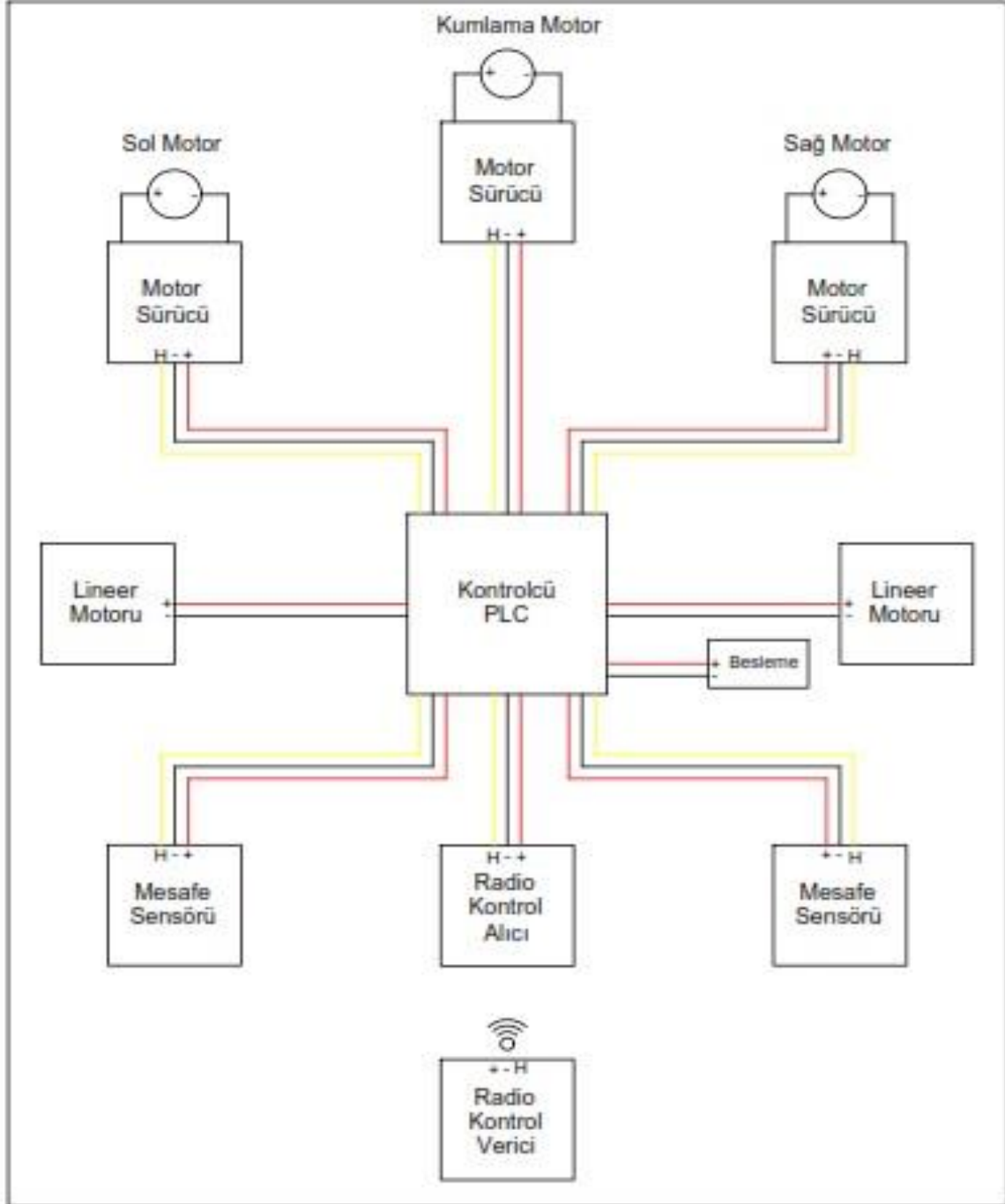
4.1.6.1. Otomasyon Senaryosu

Otomasyon senaryosu, tırmanma robotu tasarımında ihtiva edilen servo motorların ve mesafe sensörlerinin bütünleşik bir şekilde kontrol edilmesini sağlayacak bir otomasyon sistemi tasarımı için gerekli komutların anlatılmasından ibarettir. Bu otomasyon sistemi ile aşağıdaki komutların yerine getirilmesi sağlanmıştır:

- Sol tekerlek tahrik sisteminde bulunan servo motor istenilen hızda ve yönde hareket etmesi, durdurulması,
- Sağ tekerlek tahrik sisteminde bulunan servo motor istenilen hızda ve yönde hareket etmesi, durdurulması,
- İlerleyiş doğrultusunun değişmesi durumunda sol ve sağ tekerlek tahrik sisteminde bulunan servo motorların dönüş yönü ters olacak şekilde aynı hızda hareket etmesi, durdurulması,
- Kumlama uzvunun tahriğini sağlayan servo motorun istenilen hızda ve açıda git-gel yapmasının sağlanması, durdurulması,
- Her iki mesafe sensörlerinin algılama kapasitesinin ortalama değeri olan 16mm mesafe referans alınarak; yüzey geometrisinden kaynaklı oluşan mesafe farkını algılayıp, uzuvların açılıp kapanmasının sağlayan lineer motorları sayesinde tekerleklere bağlı mesafe sensörlerinin referans değerine getirilmesi, durdurulması,
- Olası bir tehlike durumunda bütün motorların acil stop butonu ile durdurulması.

4.1.6.2. Otomasyon Şeması

Tırmanma robotunun otomasyon şeması Şekil 4.36.'da gösterilmiştir.



Şekil 4.36. Tırmanma robotu otomasyon şeması

5. SONUÇ ve ÖNERİLER

Yapılan literatür araştırması sonucu tırmanma robot tasarımları genelde rijit yapıda olduğu, esnek yapıda olanların da oldukça yavaş ve kumlama işlemi için uygun tasarımlar olmadığı görülmüştür. Günümüzde kullanılan otomatik kumlama makinesi ise lineer yüzeylerde verimli çalışmasına karşılık, engel aşma ve değişken yapıli geometrik yüzeylere adapte olamadığı gözlemlenmiştir. Bu çalışmada tasarımı yapılan tırmanma robotu yüzeydeki yapı değişikliklerini algılayacak, akabinde uzuvlarını yeni pozisyonlarına adapte edecek, sürdürülebilir bir kumlama işlemi sağlayacaktır. Bu mekanizma sayesinde düşük yarıçaplı iç bükey veya dış bükey geometrik şekildeki yapılarda otomatik kumlama işlemi yapılmasına olanak sağlayarak daha geniş bir sektöre hitap etmesi planlanmıştır.

Bu tezde sırasıyla;

- Mevcut makinelerin sektördeki noksanlıkları değerlendirilerek yeni bir tasarım planlanmış,
- Literatür araştırması yapılmış,
- Tasarım parametreleri belirlenmiş,
- Mevcut kumlama makineleri incelenerek bir ağırlık ön görülmüş,
- Genel itibariyle mafsallar ve uzuvlar belirlenmiş,
- Tutunma mekanizması gereksinimleri belirlenip hesapları yapılmış,
- Tahrik mekanizması gereksinimleri belirlenip hesapları yapılmış,
- İhtiyaç duyulan ürünler alternatifleri ile birlikte incelenip seçimleri yapılmış,
- Tedarikçi firma kataloglarından ihtiyaç duyulan motor, servo motor, serbest tekerlek, lineer motor, yapıştırıcı, mıknatıs ve mesafe sensörleri ilgili teknik bilgileri ve üç boyutlu katı modelleri temin edilmiş,
- Gövde ve uzuvların katı modellemesi yapılip ilave donanımları ile montajlanmış,

- Gövdedeki ve uzuvlardaki parçaların statik analizleri yapıp yük altında deplasman ve gerilme durumları değerlendirilip nihai robot tasarımı yapılmış,
- Otomasyon senaryosu belirlenip akabinde de otomasyon şeması yapılmıştır.

5.1. Önerilen Çalışmalar

- Tasarımı, analizleri ve otomasyonu yapılan bu çalışmanın, dünya genelinde yaygın olmadığı ve ülkemizde üreticisinin ve ya kullanıcısının olmadığı düşünüldüğünde; ARGE başlığı altında bir TUBİTAK projesi hazırlanıp üretimi yapılması,
- Tasarımda kullanılan mıknatısların temini sağlanıp teorik verilerin ve formüllerin verdiği sonuçların laboratuvar ortamında ilgili testlerin yapıp karşılaştırılması yapılması,
- Hesaplamalarda kullanılan amprik formüllerin laboratuvar ortamında ilgili testlerin yapıp doğruluğu kıyaslanacaktır. Farklılık oluşması durumunda yeni bir amprik formül türetilmesi,
- Aydınlatma sistemi ve kamera entegrasyonunun endüstriyel üretimde uygulanmasıdır.

KAYNAKLAR

- [1] B. Chu, K. Jung, C.-S. Han ve D. Hong,2010,“A Survey of Climbing Robots: Locomotion and Adhesion”, *International Journal Of Precision Engineering And Manufacturing* Vol. 11, No. 4, 633-647.
- [2] Z. Y. Qian, Y. Z. Zhao, Z. Fu ve Q. X. Cao, 2006, “Robot Prototype with Dual Suction Cups”, *Advanced Manufacturing Technology*, Vol. 30 No.1-2, 147-155.
- [3] M. Minor, H. Dulimarta, G. Danghi ve R. Mukherjee, 2000.“Design, Implementation, and Evaluation of an Under-actuated Miniature Biped Climbing Robot”, *International Conference on Intelligent Robots and Systems*.
- [4] D. Longo ve G. Muscato,2004,“A Modular Approach forthe Design of the Alicia3 Climbing Robot for Industrial Inspection”, *Industrial Robot: An International Journal*,148-158.
- [5] M. Tavakoli,2013, “Omni-directional magnetic wheeled climbing robotsfor inspection of ferromagnetic structures”,*Robotic sand Autonomous Systems*, Vol. 61, 997-1007.
- [6] H. Huang, D. Li, Z. Xue, X. Chen, S. Liu, J. Leng, Y. Wei, 2017, “Design And Performance Analysis Of A Tracked Wall-Climbing Robot For Ship Inspection In Ship building”, *Ocean Engineering*, Vol.131, 224-230.
- [7] A. Faina, D. Souto, A. Deibe, F. Lopez-Pena ve R. J. Duro, 2009, “Development of a Climbing Robot for Grit Blasting Operations in Shipyards”, *International Conference on Robotics and Automation*.
- [8] Z. Y. Qian, Y. Z. Zhao, Z. Fu ve Q. X. Cao, 2006, “Fluid Model of Sliding Suction Cup of Wall-Climbing Robots”, *Advanced Manufacturing Technology*, Vol. 3, 275-284.
- [9] J. Zhu, D. Sun ve S. K. Tso, 2002,“Development of a Tracked Climbing Robot”, *Intelligent and Robotic Systems*, Vol. 35, No. 4, pp. 427-444.

- [10] W. Shen, J. Gu ve Y. Shen, 2005, "Permanent Magnetic System Design for the Wall-climbing Robot", *International Conference on Mechatronics and Automation*.
- [11] W. Fischer, F. Tache ve R. Siegwart, 2007, "Inspection System for Very Thin and Fragile Surfaces", *Based on a Pair of Wall Climbing Robots with Magnetic Wheels, IEEE/RSJ International Conference Intelligent Robots and Systems*.
- [12] C. Balaguer, A. Gimenez ve A. Jardon, 2005, "Climbing Robots Mobility for Inspection and Maintenance of 3D Complex Environments", *Autonomous Robots*, Vol. 18, No. 2, 157-169.
- [13] İnternet:
<http://metalcym.com.br/intranet/Shot-Blasting-Introduction-to-Shot-Blasting-cym.pdf>
- [14] İnternet:
<http://www.ozmak-san.com.tr/kumlama-makinalari>
- [15] İnternet:
<https://www.blastone.com/us/resources-training>
- [16] İnternet:
<https://www.vertidrive.nl/m7/>
- [17] İnternet:
<https://www.supermagnete.de/eng/faq/What-is-the-difference-between-a-permanent-magnet-and-an-electromagnet>
- [18] İnternet:
<http://www.precisionmag.com/magnet-material>
- [19] İnternet:
<https://www.supermagnete.de/eng/faq/How-strong-is-this-magnet>
- [20] İnternet:

<https://www.kjmagnetics.com/specs.asp>

[21] İnternet:

<https://www.supermagnete.de/eng/faq/How-do-you-calculate-the-magnetic-flux-density#formula-for-block-magnet-flux-density>

[22] İnternet:

<http://www.magneticsolutions.com.au/magnet-formula.html>

[23] 2010, “Ultra High Pressure Waterjetting”, *Technology Publishing Company*, 1-3

[24] Tabor D., 2005, “Friction, Lubrication, And Wear”, *Professor Emeritus Laboratory For The Physics And Chemistry Of Solids Department of Physics Cambridge University*, 12-17.

[25] İnternet:

<https://www.kjmagnetics.com/calculator.asp?calcType=block>

[26] İnternet: <https://www.kjmagnetics.com/proddetail.asp?prod=BZ0Y0X0-N52>

[27] İnternet:

<https://www.kjmagnetics.com/proddetail.asp?prod=MMR-AZ-X8>

[28] Şekercioğlu T.. 2013, “Yapıştırma Bağlantıları”, *Makine Elemanları Hesap Şekillendirme, Pamukkale Üniversitesi, Denizli*, 92-93, 94-99.

[29] İnternet: Henkel Adhesives Technology & Products

https://www.henkel-adhesives.com/tr/tr/urunler/instant-adhesives/loctite_480.html

[30] İnternet: Rollenbau Einfach Rollen Lassen & Products

<https://www.rollenbau.at/plan/de/CSH%20125%20FS.pdf>

[31] İnternet: Linmot / Lineer Motors & Products

http://www.linmot.com/fileadmin//user_upload/Downloads/databooks/0185-1100-TR_1V0_Product_Overview.pdf

[32] İnternet: Data sheet 0185-1010 (EN): Linear Motors P01-37Sx120F-HP

[33] İnternet: Yılmaz Redüktör Ürün & Doküman

<http://www.yr.com.tr/?Page=GSTSelection>

[34] İnternet:

<http://www.elektrikrehberiniz.com/elektrik-motorlari/servo-motor-nedir-526/>

[35] İnternet: The Harmonic Drive Group Companies & Products

https://www.harmonicdrive.net/_hd/content/documents/DC%20SERVO.pdf

[36] İnternet:

<http://www.fotek.com.tr/enduktif-sensor-nedir/>

[37] İnternet: Leuze Elektronik & Doküman

<http://www.leuze.com.tr>

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : KÖSE, Ramazan Tamer

Uyruğu : T.C.

Doğum tarihi ve yeri : 22.06.1993 Uşak

Medeni hali : Bekar

Telefon : 0 542 235 5007

e-mail : rtamerkose@gmail.com

Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet Tarihi
Lisans	Pamukkale Üni. / Makine Müh. Böl.	2016
Lise	Şehit Necati Sargın A.L. / Fen Bilimleri	2011

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2016-2018	ASEM Çelik Yapı Müh.	Makine Müh.
2018 - Devam ediyor.	Pultech Frp Komp. Yapı Tek.	Makine Müh.

Yabancı Dil

İngilizce

Hobiler

Masa tenisi, yüzme, film seyretme.