

**BİR DİKEY TIRMANMA ROBOTUNUN TASARIMI
VE GERÇEKLEŞTİRİLMESİ**

RİDVAN USLUĞ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Gonca OZMEN KOCA

KASIM 2019

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

BİR DİKEY TIRMANMA ROBOTUNUN TASARIMI VE
GERÇEKLEŞTİRİLMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Rıdvan USLUĞ

152134113

MEKATRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
KONTROL SİSTEMLERİ PROGRAMI

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih: 12.07.2019

Tezin Savunulduğu Tarih: 01.11. 2019

Danışman : Dr. Öğr. Üyesi Gonca OZMEN KOCA

Diğer Jüri Üyeleri : Dr. Öğr. Üyesi Cafer BAL

Dr. Öğr. Üyesi Mehmet ÜSTÜNDAĞ

KASIM 2019

ÖNSÖZ

Yüksek lisans dönemince en büyük destekçim olan ve tüm yardımlarıyla bu yolda arkama bakmadan emin adımlarla yürümemi mümkün kılan ve tez çalışmamın konu seçiminde, özellikle araştırmanın her aşamasında rehberlik ve eleştirileriyle büyük katkıları olan ve her daim arkamda duran, hem akademik hem de insani duygularımın da eğitimini sağlayarak hayata hazırlayan, yüksek lisans danışmanımdan daha fazlası olan Sayın Dr. Öğr. Üyesi Gonca ÖZMEN KOCA ve Sayın Prof. Dr. Z. Hakan AKPOLAT' a teşekkürlerimi sunarım.

Bütün hayatım boyunca gerek manevi gerekse maddi yardımlarını esirgemeyen, iş hayatımın ve özel hayatımın bütün zorluklarında yanımda olan ve bana sabır gösteren; başta annem, babam, eşim olmak üzere tüm aileme teşekkürü bir borç bilirim.

Rıdvan USLUĞ
ELAZIĞ 2019

İÇİNDEKİLER TABLOSU

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ	I
İÇİNDEKİLER TABLOSU	II
ÖZET	IV
SUMMARY	V
ŞEKİLLER LİSTESİ	VI
TABLolar LİSTESİ	IX
SEMBOLLER LİSTESİ.....	X
1. GİRİŞ	1
1.1 Problemin Tanımı.....	1
1.2 Amaç	2
1.3 Projenin Bilime, Uygulamaya, Ekonomik ve Sosyal Alanlara Katkısı.....	2
1.3.1 Bilimsel Katkı	2
1.3.2 Uygulamaya Katkı	3
1.4 Proje Çalışma Programı ve İşleyişi	3
2. LİTERATÜR	7
2.1. Dikey Tırmanma Amaçlı Robot Çalışmaları.....	9
2.1.1 Tırnaklı Tırmanma Robotları	9
A) TreeBot Robot	9
B) Rise Robot.....	10
C) Clibo Robot.....	11
2.1.2 Tekerlekli Tırmanma Robotları	12
A) VertiGo Robotu	12
B) Larva – I Robotu	13
2.1.3 Vakumlu Tırmanma Robotları	14

A) BioInMech Wall Tırmanma Robotu.....	14
B) Gait Of Robot.....	15
C) Mrwallspect – I.....	16
D) Mrwallspect -II	17
E) Mrwallspect- III	18
2.1.4 Mıknatıslı Tırmanma Robotları	19
A) Magnet-Crawler II	19
3. BİR DİKEY TIRMANMA ROBOTUNUN TASARIMI VE GERÇEKLEMESİ.....	22
3.1. Tasarım	26
3.1.1 Solidworks Tasarımları	28
3.1.2 Solidworks Montajı.....	30
3.1.3 Fiziksel Gerçekleme	33
3.1.4 Kolların ve Elektronik Devrenin Yerleşim Özellikleri	34
3.1.5 Vantuzların Seçimi ve Yapısı.....	35
3.2. Deneysel Sonuçlar ve Hesaplamalar.....	36
3.2.1. Vakum Pedinin Testi	37
3.2.2. Servo Motor Yük Taşıma Hesaplamaları	38
3.2.3. S-Omurgasız Tırmanma Robotunun Simulink/Simmechanics Uygulaması	40
3.2.4. Robotun Çeşitli Tırmanma Alanlarındaki Testi.....	44
4. SONUÇLAR ve ÖNERİLER.....	47
KAYNAKLAR	48
EKLER	52
ÖZGEÇMİŞ	60

ÖZET

Büyük binaların veya diğer yapıların duvarlarında temizlik, boyama, muayene, bakım ve gözetim gibi görevler, tırmanma ve manipüle etme becerilerine sahip robotlar gerektirir. Yüksek yapıların yüzeylerinde gerçekleştirilecek her türlü bakım, onarım, muayene, gözetim gibi işlemlerin gerektirdiği iskele kurulumu, güvenlik ekipmanlarının sağlanması, sigorta masrafları gibi birçok güvenlik önlemi yüksek maliyetli olması ve bu işlemlerde insan faktörünün yer alması can kayıplarına yol açmaktadır. Bu bağlamda duvar tırmanıcı robotlar, düşük operasyon maliyeti, hızlı operasyon olanağı, herhangi bir ön hazırlık gerektirmeden tüm işlemleri gerçekleştirebilmesi ve en önemlisi can kayıplarını en aza indirmesi sebebi ile bu tip işlemler için çok gerekli bir donanım haline gelmektedirler.

Bu tezde pürüzsüz yüzeylerde otonom hareket edebilen, hareketi sonucunda emme kuvveti kullanarak yüzeye kenetlenen bir duvar tırmanma robotu tasarımı, MATLAB ortamında simülasyonu ve prototip üretimi yapılmıştır. Robot dikey yüzeylerde hareket etme özelliğine sahiptir. Kenetlenme işlemi, emme pompaları kullanılarak sağlanmaktadır. Robot, kenetlenme sonucunda kenetlenme bilgisini sensör aracılığı ile anlayabilmektedir ve karşısına çıkan duvarı ultrasonik sensör vasıtasıyla algılayabilmektedir.

Anahtar Kelimeler: Duvar tırmanma robotu, Dikey tırmanma robotu, Emme kuvveti, Emiş pompaları, Emiş kapları.

SUMMARY

Design And Implementation Of A Vertical Climbing Robot

Tasks such as cleaning, painting, inspection, maintenance and supervision on the walls of large buildings or other structures require robots with the ability to climb and manipulate. Many security measures such as scaffolding installation, security equipment provision, insurance costs required for all kinds of maintenance and repair, inspection and surveillance activities to be performed on the surfaces of high buildings are costly and human factor is involved in these processes, causing life losses. In this context, wall climbing robots become very necessary equipment for this type of operation because of their low operation cost, fast operation possibility, performing all operations without any pre-preparation and most importantly minimizing the loss of life.

In this thesis, a wall climbing robot design, which can move autonomously on smooth surfaces and can be clamped to the surface by using suction force, simulation and prototype production in MATLAB environment are made. The robot has the ability to move on vertical surfaces. Clamping is achieved using suction pumps. As a result of the clamping, the robot can understand the clamping information by means of the sensor and can detect the wall that comes across by the ultrasonic sensor.

Keywords: Wall climbing robot, Vertical climbing robot, Suction force, Suction pumps, Suction cups.

ŞEKİLLER LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1.1. S-Omurgasız Robot Dar Açılış 4	4
Şekil 1.2. S-Omurgasız Robot İleri Adım 4	4
Şekil 1.3. S-Omurgasız Robot Geniş Açılış 5	5
Şekil 1.4. S-Omurgasız Robot Kuyruğu Çekme..... 5	5
Şekil 1.5. S-Omurgasız Robot Dar Açılış 6	6
Şekil 2.1. TreeBot Robot 9	9
Şekil 2.2. TreeBot Robot 10	10
Şekil 2.3. Rise Robot 11	11
Şekil 2.4. Clibo Robot 12	12
Şekil 2.5. VertiGo Robot 12	12
Şekil 2.6. VertiGo Robot 13	13
Şekil 2.7. VertiGo Robot 13	13
Şekil 2.8. Larva-1 Robot..... 14	14
Şekil 2.9. BioInMech Wall Climbing Robot 15	15
Şekil 2.10. BioInMech Wall Climbing Robot 15	15
Şekil 2.11. Gait Of Robot 16	16
Şekil 2.12. Gait Of Robot 16	16
Şekil 2.13. Mrwallspect -I Robot..... 17	17
Şekil 2.14. Mrwallspect -II Robot 18	18
Şekil 2.15. Mrwallspect -III Robot 18	18
Şekil 2.16. Mrwallspect - III Robot..... 19	19
Şekil 2.17. Mrwallspect - II Robot 20	20
Şekil 3.1. Ventri Prensibi..... 25	25
Şekil 3.2. İnç Kurdu..... 26	26

Şekil 3.3. Mekanik Modeli	26
Şekil 3.4. Vantuz (Vakum Pedi)	27
Şekil 3.5. Vakum Motoru	27
Şekil 3.6. R30 Servo Motor	28
Şekil 3.7. R20 Servo Motor	28
Şekil 3.8. R30 Part1	29
Şekil 3.9. Vakum Part2	29
Şekil 3.10. R30 Part2	29
Şekil 3.11. Baş ve Kuyruk Tasarımı	29
Şekil 3.12. Kol 1	30
Şekil 3.13. Kol 2	30
Şekil 3.14. Gövde Tasarımı	30
Şekil 3.15. Kuyruk Solidworks Montaj	31
Şekil 3.16. Baş Solidworks Montaj	32
Şekil 3.17. S-Omurgasız Tırmanma Robotu Solidworks Montaj	32
Şekil 3.18. S-Omurgasız Tırmanma Robotu Fiziksel Gerçekleşme 1	33
Şekil 3.19. S-Omurgasız Tırmanma Robotu Fiziksel Gerçekleşme 2	34
Şekil 3.20. S-Omurgasız Tırmanma Robotu Yerleşim Özellikleri 1	35
Şekil 3.21. S-Omurgasız Tırmanma Robotu Yerleşim Özellikleri	35
Şekil 3.22. VFC75P Vantuz	36
Şekil 3.23. Vakum Pedi Test 1	38
Şekil 3.24. Vakum Pedi Test 2	38
Şekil 3.25. Servolar İçin Ağırlık Merkezleri	39
Şekil 3.26. S-Omurgasız Tırmanma Robotu Simulink simülasyonu	41
Şekil 3.27. S-Omurgasız Tırmanma Robotu Simulink Diagramı	41
Şekil 3.28. R301 Servo Motor Pozisyonları	42

Şekil 3.29. R20 Servo Motor Pozisyonları	42
Şekil 3.30. R302 Servo Motor Pozisyonları	43
Şekil 3.31. Servo Motorların Pozisyonları	43
Şekil 3.32. Duvarda Dikey Tırmanma.....	44
Şekil 3.33. Tavanda Yürüme	44
Şekil 3.34. Duvarda Yatay Yürüme.....	45
Şekil 3.35. Camda Dikey Tırmanma	45
Şekil 3.36. Yerde Yürüme	45
Şekil 3.37. Duvarda Vakum Testi	46

TABLÖLER LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 2.1. Literatürdeki robotlar, hareket ve yapışma mekanizmaları.....	20
Tablo 3.1. Hareket mekanizması seçimi.....	22
Tablo 3.2. Yapışma mekanizması seçimi.....	24
Tablo 3.3. Tırmanma robotu teknik özellikleri.....	45
Tablo 3.4. S-Omurgasızın avantaj ve dezavantajları.....	46

SEMBOLLER LİSTESİ

F_V : Vakum pedinin kaldırma kuvveti

P_V : Vakum pedine asılan ağırlık(Kütle)

R_V : Vakum pedinin asılan ağırlığa olan uzaklığı

F_{R30} : R30 Servo motorlarının kaldırma kuvveti

F_{R30F} : R30 Servo motorlarının uygulanan kuvvet

F_{R20} : R30 Servo motorlarının kaldırma kuvveti

F_{R20F} : R30 Servo motorlarının uygulanan kuvvet

F_{Vr} : Robot ağırlığının vakum pedine uyguladığı kuvvet

1. GİRİŞ

Bir robot, mekanik veya sanal bir ajan, genellikle bir bilgisayar programı veya elektronik devre tarafından yönlendirilen bir elektromekanik makinedir. Robotlar otonom veya yarı özerk olabilir ve insansı robotlardan endüstriyel robotlara kadar değişebilir. Robotik, robotların tasarımı, yapımı, çalışması ve uygulaması ile bunların kontrolü, duysal geri bildirimi ve bilgi işleme için bilgisayar sistemleri ile uğraşan teknolojinin dalıdır [1].

Bu teknolojiler, insanların tehlikeli ortamlarda veya imalat süreçlerinde yer değiştirebilecekleri veya insanlara görünüş ve davranış benzeri olabilecek otomatik makinelerle uğraşmaktadır. Günümüzün birçok robotu, doğadan biyolojik ilham edilen robotik alanına katkıda bulunarak esin kaynağı olmuştur. Robotlar insanları, insanların yapmamayı tercih etmedikleri veya boyut kısıtlamaları nedeniyle yapamayacakları tekrarlayan ve tehlikeli görevleri yerine getirmek için yer değiştirmiştir, hatta dış ülkelerdeki gibi uzayda veya denizin dibinde, insanların aşırı ortamlardan kurtulamadığı yerlerde çalışmaktadırlar.

Mobil robotlar endüstri, askeri ve güvenlik alanlarında da bulunur. Eğlence için veya vakumlu temizleme gibi belirli görevleri yerine getirmek için tüketici ürünleri olarak da görünürler. Mobil robotlar, günümüzdeki araştırmaların odağındadır ve hemen hemen tüm büyük üniversiteler, mobil robot araştırmalarına odaklanan bir veya daha fazla laboratuara sahiptir. Casus robot uygulaması yüksek binaların dış duvarlarının temizlenmesi, depo tanklarının incelenmesi için duvar tırmanma robotu, askeri uygulamalarda casus robotlar kullanılabilir.

1.1 Problemin Tanımı

Endüstride, özellikle yüksek ve ulaşılması güç bölgelerde yapılacak uygulamalar, çoğu zaman insan faktörü ile ulaşılması imkânsız durumlar arz etmekte olup, ulaşılsa bile yüksek maliyetleri ve yaşam tehlikesini de beraberinde getirmektedir. Bu tür tırmanıcı robotların gerekliliğine ve bu konuda çeşitli çalışmalar yapılmasına vesile olmuştur. Yüksek binalarda temizlik veya gözetim, inşaat işleri, büyük gemilerin boyanması, nükleer veya petrol depolama tanklarında gözetim, muayene ve onarım, petrokimyasal uygulamalar, gemi bakımı ve kaynak işlemleri gibi yüksek bölgelerde yapılacak çalışmaların çok zahmetli ve maliyetli olması ve en önemlisi insan hayatını tehlikeye

düşürebilecek durumlara sebebiyet vermesi, tırmanıcı robotları endüstride birer kurtarıcı pozisyonuna getirmektedir.

Günümüzde insan hayatının en önemli değer olduğu göz önünde bulundurulursa, insan hayatının tehlikeye düşebileceği riskli durumlarda, insanın yerini alabilecek ve bu gibi tehlikeli durumları ortadan kaldıracabilecek bir mekatronik sistem tasarımı ve üretimi yüksek mertebede gerekli hale gelmiştir.

1.2 Amaç

Bu tezin amacı; pürüzsüz yüzeyler üzerinde her türlü açı ve eğimde çalışabilen, duvardan duvara geçiş yapabilen ve daha az ağırlıkta bir robot geliştirmektir. Geliştirilecek olan robotun mekatronik sistemlerin matematiksel modelleri elde edilecektir. Bu modeller kullanılarak, farklı kontrol algoritmalarıyla dikey yüzeyde tırmanan robot yapılacaktır.

Geliştirilecek robotun özellikleri aşağıda maddeler halinde verilmiştir.

- Her eğimde ve açıda çalışabilen,
- Duvardan duvara geçiş yapabilen,
- Yürüme işlemini tavanda da gerçekleştirebilen,
- Tüm pürüzsüz yüzeylerde hareketini sağlayabilecek hareket mekanizmasına sahip olan,
- Toplam robot ağırlığı 1 kg olan,
- Robotun bir adımı 144 mm olan,
- Robot bir duvara yaklaştığında, duvarla arasındaki mesafeyi ölçüp duvara geçiş için uygun konumunu alarak sağlıklı bir şekilde geçişi sağlayabilen, bir tırmanma robotu tasarımı ve gerçekleştirilmesi amaçlanmaktadır.

1.3 Projenin Bilime, Uygulamaya, Ekonomik ve Sosyal Alanlara Katkısı

1.3.1 Bilimsel Katkı

Bu tezde yapılan çalışmalarla bilime olan katkı aşağıda sıralanmıştır.

- Robotun düz konumda ilerlerken karşısına gelen bir duvar ile arasındaki mesafeyi ultrasonik sensör aracılığı ile ölçüp duvar ile olan mesafesine göre dikeyde tutunacağı konumu hesaplıyor.

Robotun düz konumdan dikey bir konuma geçerken gereken uzaklık, açı ve kuvvet hesabı için bir algoritma geliştirilmiştir.

- Robotun dikey konumlardaki hareketlerini yaparken vakumların yüzeyden ayrılmaması için gereken basınç hesabı yapılmıştır.
- Robot, hareketlerini gerçekleştirirken baş veya kuyruk bölümlerindeki vakum kenetlemesini bırakmadan önce diğer bölgedeki kenetlemenin gerçekleştiğini vakum sensörü sayesinde algılayarak ilerlemesini gerçekleştirmektedir. Bu da robotun emin adımlarla ilerlemesini sağlamaktadır.
- Robotun tasarımı yapılırken MATLAB üzerinde simülasyonu yapılarak teorideki çıkan sonuçlar ile pratikteki sonuçlar karşılaştırılmıştır.

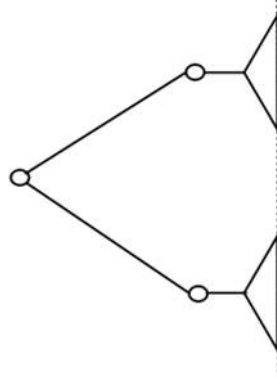
1.3.2 Uygulamaya Katkı

Bu tezde, yapılan çalışmalarla uygulamaya olan katkı aşağıda sıralanmıştır.

- Robotun modellenmesi için geniş bir literatür taraması yapılmış ve robot üzerinde bulunan vakumların yüzeye tutunabilmesi için gereken şartlar detaylı bir şekilde irdelenmiştir.
- Robotun yüzeye kenetlenmesinin gerçekleştiğini vakum sensörü sayesinde algılayarak ilerlemesini gerçekleştirmektedir. Bu sayede yüzeyde olabilecek herhangi bir tutunma sorunu yaşamadan hareket edecektir.
- Bu robotun yapımında kullanılan tüm komponentlerin seçimi, kurulumu, yazılımı, CAD tasarımı, üretimi ve çalıştırılması kapsamlı bir şekilde anlatılmıştır. Bu sayede bu tür bir robot yapacak olanlar için de bir kılavuz niteliğinde olmuştur.

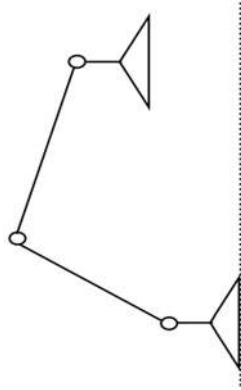
1.4 Proje Çalışma Programı ve İşleyişi

3 serbestlik derecesine sahip S-Omurgasız tırmanma robotunun çalışması şekillerle karikatürize edilip, robotun ilerleyişi anlatılmıştır. S-Omurgasız tırmanma robotu yüzeye kenetlenme işlemini başlangıç için baş ve kuyruk kısımlarından dar açıdayken kenetlenmektedir. Şekil 1.1’de S-Omurgasız Robot’ un dar açı hareketi sunulmuştur.



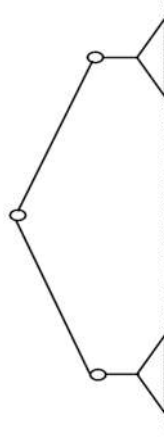
Şekil 1.1. S-Omurgasız Robot dar açı hareketi

S-Omurgasız tırmanma robotu yüzeye kenetlendiğinden baş ve kuyruk taraflarındaki vakum sensörleri sayesinde emin olduktan sonra baş taraftaki kenetlenme işlemini sonlandırarak ileriye doğru adım atmaktadır. Bu adım lineer şekilde gerçekleştirilmektedir. Servo motorlar aynı anda hareket etmektedirler. Şekil 1.2’ de S-Omurgasız Robot’ un ileri adım hareketini gösteren temsili resim verilmiştir.



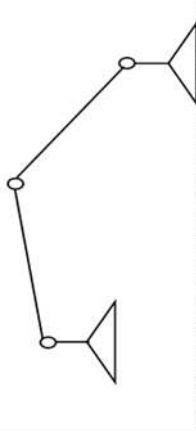
Şekil 1.2. S-Omurgasız Robot ileri adım hareketi

S-Omurgasız tırmanma robotu adımını ileriye attıktan sonra baş tarafından yüzeye kenetlenmek için geniş açıdaki pozisyonuna gelerek yüzeye kenetlenmektedir. Yüzeye kenetlenme işlemi yapıldıktan sonra kenetlenmenin gerçekleşip gerçekleşmediğini vakum sensörüyle kontrol etmektedir. Eğer kenetlenme işlemi gerçekleşmiş ise devam etmektedir. Şekil 1.3’ de S-Omurgasız Robot’ un geniş açı hareketi gösterilmiştir.



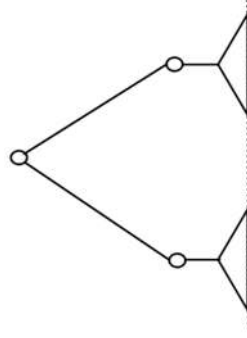
Şekil 1.3. S-Omurgasız Robot geniş açı hareketi

S-Omurgasız tırmanma robotu ileri adımını tamamladıktan sonra kuyruk tarafını çekerek dar açı konumuna gelecektir. Bunun için kuyruk tarafının kenetlenmesini bırakarak, kuyruğu baş tarafına doğru çekerek uygun pozisyona gelmektedir. Şekil 1.4’ de S-Omurgasız Robot’ un kuyruğu çekme hareketi gösterilmiştir.



Şekil 1.4. S-Omurgasız Robot kuyruğu çekme hareketi

S-Omurgasız tırmanma robotu kuyruğunu çektikten sonra kuyruk tarafından yüzeye kenetlenmek için dar açıdaki pozisyonuna gelerek yüzeye kenetlenmektedir. Yüzeye kenetlenme işlemi yapıldıktan sonra kenetlenmenin gerçekleşip gerçekleşmediğini vakum sensörüyle kontrol eder. Eğer kenetlenme işlemi gerçekleşmiş ise devam eder. Şekil 1.5’de S-Omurgasız Robot’ un dar açı hareketi verilmiştir.



Şekil 1.5. S-Omurgasız Robot dar açılı hareketi

Bu durumda başlangıç pozisyonuna gelmiş olur ve bu şekilde döngüyü tekrar ederek ilerlemiş olur. Robot 3 serbestlik dereceli olduğu için yön değiştirme özelliği mevcut değildir. Robot ultrasonik sensör sayesinde duvarları algılayabilmektedir. Duvar algılandığı zaman aradaki mesafeyi ölçerek duvarlar arası geçiş için kolların pozisyonları belirlenir ve sağlıklı bir şekilde geçiş sağlanmış olur.

2. LİTERATÜR

Duvar tırmanıcı robotlar literatürde son yıllarda artan bir ivme ile karşımıza çıkmaktadır. Genel kullanım için tasarlanıp üretilen robotların yanı sıra tek bir özel amaç için tasarlanmış birçok mekanik sisteme rastlanmaktadır.

Gerçek uygulamalarda bir duvar tırmanışı robot sistemi için aşağıdaki yetenekler ve işlevler arzu edilmektedir:

- 1) Tırmanan robotlar için en temel fonksiyon olan duvarlara veya yüzeylere güvenilir bir şekilde tutunmak.
- 2) Duvarlar arasındaki engeller veya boşlukların üstesinden gelmek ve düzgün olmayan yüzeylerde çeşitli koşullara uyum sağlamak.
- 3) Bir yüzeyde çok yönlü tırmanmak.
- 4) Duvarlar arasında geçiş yapmak.
- 5) İşlev görmüş duvarlarda görev yapmak için önemli bir beceriye sahip olmak.

Temel bir konu olarak, daha önce bahsedilen ilk madde duvar tırmanma robotlarına odaklandı. Vakum çekimi [2 -7], manyetik çekim [8, 9] yapışkan elastomer [10-12] ve pervaneli negatif basınç [13], elektriksel adhezyon [14], pençe [15, 16] der Waals kuvvet absorpsiyonu, gecko'dan ilham alarak fiil yapıştırıcıları ile yapılmaktadır [17, 18]. Yapışma teknolojileri için iyi bir anket bulunabilir [19]. Bu yapışma teknolojileri, çalışma prensipleri ve bağlanma güvenilirliği, yüzeylere uyarlanma ve uygulamada güçlük bakımından farklıdır. Her teknoloji kendi avantaj ve dezavantajlarına sahip olsa da, basit yapısı, kolay kontrolü ve farklı yüzey türlerine uyum kabiliyeti nedeniyle vakum emişi yaygın olarak kullanılmaktadır. Bununla birlikte, vakum emişinin emme modeli için [20, 21] çalışmaları hariç, vakum emişinin emme kuvveti ve emniyet analizine çok az dikkat edilmiştir. Bu yazının ana katkılarından biri olan tasarım, emme analizi ve güvenlik kontrolü derinden üç fındandan oluşan bir emme modülü ile ele alınmıştır.

Daha önce listelenen 2) ila 4) maddeleri, lokomasyon mekanizmalarına büyük oranda bağımlı olan tırmanma hareketliliğinin temel özelliklerini oluşturmaktadır. Duvar tırmanma robotları ile büyük ilerleme kaydedilmiş olmasına rağmen mevcut sistemler yukarıda bahsedilen özelliklerin sadece bir kısmına sahiptir ve hareket kabiliyetlerini sınırlayan tek tırmanma modülüne sahiptir. Tekerlekler vasıtasıyla hareket ederler [4, 13,

18], bacakları [2, 3, 6, 8] veya tekerlek-bacak melez [13, 22, 23]. Genel olarak konuşursak, tekerlekler, basamaklar veya hibrit tekerlekli tabanca ile seyir, daha yüksek tırmanış hızını elde edebilir, ancak engelleri belirlemek ve tırmanma yüzeyindeki boşlukları gidermek için yetersiz kabiliyete sahip olabilir. Bunun aksine, bacaklar tarafından yapılan lokomotif hareket engelleri aşmak ve ayrı yüzeylerde tırmanmak için daha güçlü bir kabiliyete sahiptir. Bununla birlikte, çok katlı lokomotifli robotlar karmaşık bir yapıya sahiptir, tırmanma yönünü değiştirmek için daha düşük etkinlik ve duvarlar arasında geçişte zorluk vardır. Mini-Whegs [22], Robug IIs [24], Waalbot II [18] ve NINJA serilerinde olduğu gibi, çok katlı duvara tırmanan robotlarda, çok yönlü tırmanma veya duvar geçişini mekanik tasarım ile nasıl geliştirebileceğiniz önemli bir konudur [25]. Ne yazık ki, bu yöntemler artan karmaşıklığı maliyetiyle birlikte gelir.

Robot yapısı ve sistem kontrolü alternatif olarak, biplenmiş lokomotif, daha iyi mobilite, daha basit yapı ve daha kolay kontrol ile geleneksel duvar tırmanışı modlarına göre üstün özelliklere sahiptir. Yukarıda bahsedilen gözlemle harekete geçirilen bazı araştırmacılar, bu tırmanma ve kalkınma prototipleri için bu lokomotifi incelemişlerdir [3, 6, 26, 27]. 4-serbestlik dereceli RAMR1 ve Paletli [6], mevcut iki ayaklı duvar tırmanma robotlarının temsilcisidir.

Bunlar minyatürdür ve potansiyel uygulamaları belki de denetim veya gözetim ile sınırlıdır [28]. Üç veya dört serbestlik dereceli ve az çalıştırılan eklemler ile hareketlilikleri de sınırlıdır. Buna ek olarak, bir ayağa sadece bir vantuzlu varken, robot gövdesi, deneyimiz vasıtasıyla doğrulandığımız gibi, destekleyici vantuzun deformasyonundan ötürü dikey bir duvarda olduğunda eğim yapacaktır [29]. Bu problem tırmanma kontrolünün karmaşıklığını arttırır ve emişin güvenilirliğini ve emniyetini azaltır. İki boyutlu duvar tırmanışı, konvansiyonel boyutlu robotlarla basit bir şekilde uygulanmalı ve üstün hareket kabiliyeti tam olarak araştırılmalı ve gösterilmelidir. Bir tırmanan robotun son istenen işlevselliği, yani nesneleri manipüle etme yeteneği, literatürdeki duvara tırmanan robotlar arasında basit olmasına rağmen çoğu zaman ihmal edilmektedir. Yüksek katlı görevleri yerine getirmek için, tırmanma sistemine ek bir cihaz, özel bir uç- efektör veya bir manipülatöre monte edilmelidir. Bu hareket, robotun dengede kalmasını ve kontrolünün yapılmasını zorlaştırmaktadır. Aynı tırmanma robotunda hareket kabiliyetini ve manipülasyon işlevlerini uygulamak bir sorun olmaya devam etmektedir.

2.1. Dikey Tırmanma Amaçlı Robot Çalışmaları

Tırmanıcı robotlar; duvar, tavan, çatı gibi iki ve üç boyutlu ve herhangi bir açıda yerleştirilmiş çeşitli geometrik yapı ve yüzeylerde hareket edebilen bir robot türü olarak tanımlanabilir.

Bu tez kapsamında duvar tırmanıcı robotlar, yapışma mekanizmalarına göre incelenecektir.

2.1.1 Tırnaklı Tırmanma Robotları

A) TreeBot Robot

Yeni bir robot, inç kurtçuklarını herhangi bir tür, doku veya çapa sahip ağaçlara kadar iletim için ilham kaynağı olarak alır ve ağaç yüzeyinde yeni bir tutuş bulur. Treebot, gerçekten bir inchworm gibi görünüyor. Çeşitli ağaçları ölçekleme kapasitesine sahip bir robottur [30].

Treebot, Hong Kong Çin Üniversitesi'nde Tin Lun Lam ve ekibi tarafından oluşturulmuştur. Araştırmacılar, Treebot'un tehlikeli işler için ağaçları ölçeklendirmesi gereken insanlar için yararlı bir araç olmasını ummaktadır. Tırnaklı tırmanma robotu, TreeBot Şekil 2.1'de verilmiştir.

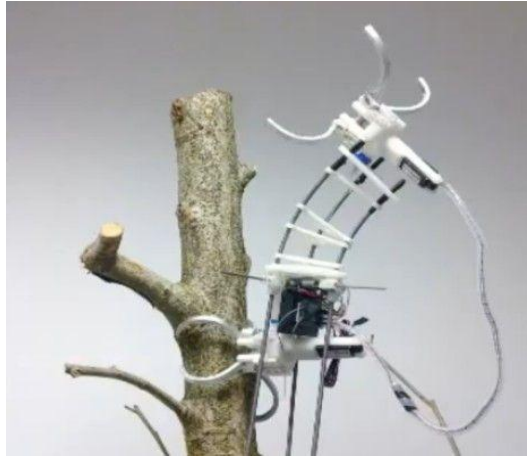


Şekil 2.1. TreeBot Robot [30]

Robotun hareketleri için ilham, diğer sıgırcık hayvanların yanı sıra inç kurdudan geliyor. New Scientist'e göre Treebot, robotun yüzey üzerindeki tutunmayı ayarlamasına ve ağaç gövdelerine ve dallara kadar yol bulmasına izin vermek için bir ağacın şeklini bulabilen dokunmatik sensörleri kullanılmaktadır. Robot, kısa sürede etrafını hissetmekte

ve en iyi tutunma yüzeyini keşfedebilmektedir. Hatta onunla birlikte bir yük alınabilir. Hareketleri bir inchworm'unkine benziyor [30].

Kameralar yerine sensörleri kullanmak, robotun aslında ağaca tırmanması için pil şarjını daha uzun süre kullanabilmektedir. Bununla birlikte, IEEE Spectrum'un belirttiği gibi, "Şu anda Treebot kördür, bu bir problem değildir, ancak hangi dalların en yüksek potansiyele sahip olduğunu söyleyebiliyorsa, gitmek istediği yere daha hızlı varabilir. Araştırmacıların Treebot'un tırmanma yolunu optimize etmesine yardımcı olmak için yollar üzerinde çalıştıklarından, yüksek tırmanmaya izin verin. “ Tırnaklı tırmanma robotu TreeBot Şekil 2.2’de verilmiştir.



Şekil 2.2. TreeBot Robot [30]

B) Rise Robot

RiSE projesinin amacı, arazide yürümek ve dikey yüzeylerde tırmanmak için eşsiz bir yetenek sunan, biyolojik olarak tırmanan bir tırmanma robotu oluşturmaktır. Aktif araştırma, yeni robot kinematiği, hassas üretilmiş uyumlu ayaklar ve ekler ve gelişmiş robot davranışları üzerine çalışmaktadır [31].

RiSE projesindeki Kod * laboratuvarı içerisindeki çalışmalar, tırmanışta geribildirim gerek duyduğu olumsuz senaryolar için yürüyüş kontrol yöntemlerinin nasıl uygulanabileceğini keşfederek, bacaklı tırmanışın davranışsal kontrolüne odaklanmaktadır. Eşsiz robotik mekanizmalarla birleştiğinde, davranış kontrolörleri, ağaçlar, direkler, sıva ve tuğla gibi çeşitli açık hava tırmanma yüzeylerinde lokomotif hareket üretmektedir [31].

Tırnaklı tırmanma robotu Rise Şekil 2.3’de verilmiştir.



Şekil 2.3. Rise Robot [31]

C) Clibo Robot

Bu makale, sıva duvarları gibi dikey ve pürüzlü yüzeylerde tırmanabilen yeni bir robot tasarımını sunmaktadır. CLIBO (pençe ilham robotu) olarak adlandırılan robot, uzun süre belirli bir yerde kalabilir. Böyle bir yetenek, gözetim, gözlem, arama ve kurtarma gibi önemli sivil ve askeri avantajları, hatta eğlence ve oyunlarda bulunur. Robotun kinematiği ve hareketi, tırmanmak için dört uzuv kullanan kaya tırmanışında yaygın olarak kullanılan bir tekniği taklit etmek ile kediler tarafından pençeleri ile ağaçlara tırmanmak için kullanılan bir yöntemi taklit etmek arasındaki bir kombinasyondur. Her biri dört serbestlik derecesine sahip dört ayak ve her ayağa tutturulmuş özel olarak tasarlanmış pençeler kullanılıyor ve bu da kendisini duvara doğru manevra yapmasını ve herhangi bir yönde hareket etmesini sağlıyor. Her bir bıçağın ucunda, 12 avlanma kancasından yapılmış ve her kancanın duvarın yüzeyinden bağımsız olarak hareket edebileceği şekilde hizalanan bir kavrama aygıtı bulunur. Bu tasarım, ağırlığını dengelemek için yüzeye bastırarak kuyruk benzeri bir yapı gerektiren bir avantaja sahiptir. Robotun önceden tasarlanmış rotada tırmanması için ve otonom bir kabiliyet sunması için bir lokma algoritması geliştirilmiştir. Algoritma, robotun kinematiği ve ayak petlerinde uygulanan temas kuvvetlerini hesaba katar. Buna ek olarak tasarım, robotun duvara yapışmasında yüksek derecede güvenilirlik sağlamak ve tutmak için kavrama gücünü gözden geçirme kabiliyetine sahip olmasını sağlar. Model ve hareket algoritmasını doğrulamak için deneysel bir robot oluşturulmuştur. Deneyler, özel kavrama cihazının yüksek güvenilirliğini ve hareket planlama algoritmasının verimliliğini göstermektedir. Tırnaklı tırmanma robotu Clibo Şekil 2.4’de verilmiştir.

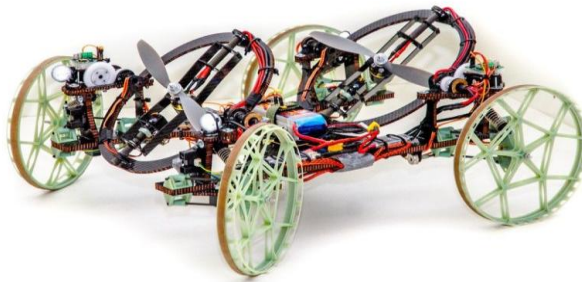


Şekil 2.4. Clibo Robot [7]

2.1.2 Tekerlekli Tırmanma Robotları

A) VertiGo Robotu

VertiGo robotu, Disney Research Zurich ve ETH arasındaki işbirliğiyle oluşturulmuştur. Robotu duvarda tutmak ve duvar gibi girintilerin üzerinden geçmek için gereken itkiyi sağlamak için iki pervane kullanıyorlar. Yerine iki pervanenin seçilmesi, robotun zeminden duvara geçiş yapmasını sağlamaktır, robot kattan duvara geçiş yaparken arka pervaneler duvara doğru itme uygulayacak ve ön pervaneler itme kuvveti yukarıya doğru itilir. İki pervanenin işbirliği duvara çarpma ile sonuçlanabilir. Tekerlekli tırmanma robotu VertiGo Şekil 2.5’de verilmiştir.

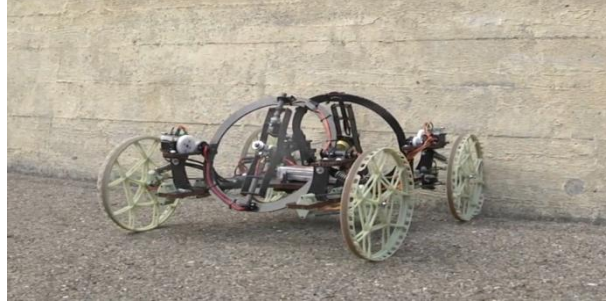


Şekil 2.5. VertiGo Robot [32]

Endüstriyel uygulamalar için duvara tırmanma robotları üzerinde çalışan Disney ve Astec gibi çeşitli şirketlerde mühendisler, yakın gelecekte bu yeniliklerden daha fazlasını göreceğimiz söylenebilir [32].

VertiGo robotu, robotun toplam ağırlığını azaltmak için merkezi bir karbon fiber taban plakası kullanıyor ve karbon çubuklarla birlikte 3D baskılı parçalar, tekerlek süspansiyonu

ve tekerlekler gibi daha karmaşık üç boyutlu yapılar için kullanılmaktadır. Taban plakası, pervaneler ve tekerlek süspansiyonları için montaj noktaları sağlayan yapıdır. Entegre edilmiş servo motorlar iç ve dış halkaların birbirlerinden bağımsız olarak hareket etmesine izin vermektedir. Tekerlekli tırmanma robotu VertiGo Şekil 2.6’da verilmiştir.



Şekil 2.6. VertiGo Robot [32]

Bu, zemin üzerinde, duvarlarda ve teorik olarak tavanda bile sürmek için gereken tüm kuvvetlerin üretilmesini destekler. Robot, bağımsız olarak kontrol edilen sekiz aktüatör ile donatılmıştır. Araç denetleyicisiyle, insan kontrolü, uzaktaki bir yerden robotik arabayı kolaylıkla kullanabilir. VertiGo, alanın yönünü tahmin etmek için ön tarafa monte edilen iki kızılötesi mesafe sensörünün yanı sıra robotun merkezinde bulunan 6 eksenli bir IMU'dan veri toplayabilir. Bu verileri işledikten sonra, kontrolör, istenen kullanıcı girişini elde etmek için tüm aktüatörler için en iyi pozisyonu tasarlayabilir. Bu robota ait tırmanma görüntüsü Şekil 2.7’de verilmiştir.



Şekil 2.7. VertiGo Robota ait tırmanma görüntüsü [32]

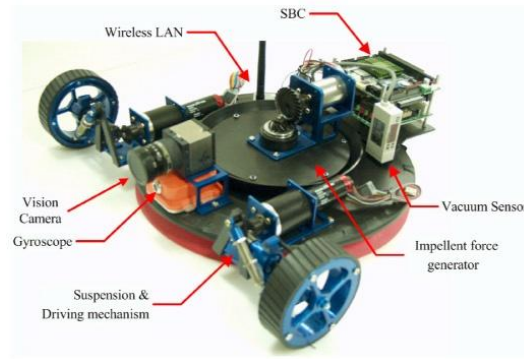
B) Larva – I Robotu

Duvar tırmanma robot sistemi "LARVA", itici bir kuvvet yapışma yöntemi kullanan köprüler için görsel denetim robotudur. Bu yapışma mekanizması, rotorun ayağı içindeki hava basıncını kritik bir güvenli değerden daha düşük tutarak, yüzeyi üzerinde vücudunu desteklemek için yeterli yapışma kuvvetleri sağlayan bir pervane ve esnek emme

contalarından oluşmaktadır. Yapışma mekanizmasının dinamik sıvı modellenmesi üzerine kapsamlı bir çalışma yapılmıştır. Buna ek olarak, dikey duvarda istikrarlı hareket ve bir duvar tırmanma robotu için yapışma kontrol yöntemi ortaya çıkmaktadır. Kontrolör, basit olmasına rağmen bir duvar tırmanma robotunun kontrolü için yararlı bir çerçeve sağlamaktadır.

- Ağırlığının 3 katı olan 7 kg yük taşıma.
- Tek bir vakum motoru, iki tahrik tekeri ve motorları kullanılır.
- Kontrol için bir SBC (Single Board Computer) ve iki adet 8 bit mikro denetleyici kullanılır.
- Kablosuz LAN, jiroskop, görüntü kamera implante edilir.

Tekerlekli tırmanma robotu Larva-1 Şekil 2.8’de verilmiştir.



Şekil 2.8. Larva-1 Robot [33]

2.1.3 Vakumlu Tırmanma Robotları

A) BioInMech Wall Tırmanma Robotu

Sık kullanılan bir emme kupasını kullanarak pasif bir emme yöntemi ile kendisini duvara tutturarak bir duvar tırmanma robotudur. Emme kupalarının duvara yapışması için itme kuvvetine ihtiyaç duyulmasına rağmen yapışmayı korumak için harici enerjiye ihtiyaç duymazlar. Üstelik emme kupalarının kenarlarından yukarı çekildikten ve havanın içine akar kaldıktan sonra, kupalar hemen duvardan ayrılabilir. Önerilen robot, ortak emme kupalarının bu özelliklerini uygulayarak, emme kupalarını tek bir motor kullanarak tutturabilir ve çıkartabilir. Vakumlu tırmanma robotu BioInMech tırmanma robotu Şekil 2.9’da verilmiştir.



Şekil 2.9. BioInMech tırmanma robotu [34]

Önerilen robot, paletli bir mekanizma kullanarak hareket eder ve pasif emme kupaları kullanarak bir duvara yapıştırılır. Robottaki arkadaki kasnakları çalıştıran tek bir motor vardır. Emme bardakları eşit aralıklarla kayışın dış yüzeyine monte edilir ve emici kaplar kayışla birlikte döner. Robotun hareket süreci aşağıdaki gibi tanımlanabilir. İlk olarak, bir insan operatörü, robotu bir duvara duvara iterek takar. Daha sonra, paletli kayışların dönüşü, ön kasnaklardaki emme kupalarını temas etmek ve duvara eklemek için zorlar. Vantuzlar arka kasnaklara ulaştığında kayışların dönüşüyle duvardan ayrılırlar.

Bu sıra devam ederken, robot yapışmayı sürdürürken duvarda ilerleme kaydeder. Vakumlu tırmanma robotu BioInMech wall climbing robot Şekil 2.10’da verilmiştir.

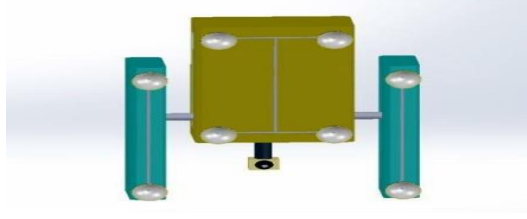


Şekil 2.10. BioInMech Wall Climbing Robot [34]

B) Gait Of Robot

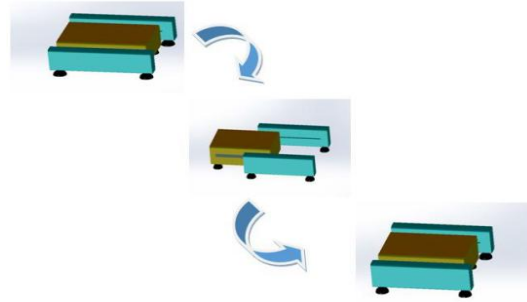
Başlangıçta robot, tırmanması gereken duvara yaslanacak. İlk başta altındaki dört vantuzlu merkezi kutu devreye girer ve robotu duvara yapıştırır. Bacaklar bu konumda hareket etmekte serbesttir. Şimdi motor, mili saat yönünde döndürmeye başlar ve raf ve bacağı ileriye doğru hareket ettirir. Dişli çarkın sonuna gelene kadar ileri gider. Bu aşamada robotun bacaklar altındaki emme bardakları harekete geçirilir ve duvara yapışır. Ardından, Merkez kutusunun altındaki emme kupaları serbest bırakılır. Şimdi motor, şaftı saat yönünün tersine döndürdüğü ve böylece pinyonun başlangıç ucuna doğru hareket ettiği ve motora sabitlenmiş olan Merkezi kutunun başlangıç konumuna uyacak şekilde,

ancak başlangıç noktasından bir adım uzakta kalacak şekilde harekete geçirileceği şekilde devreye girdi. Vakumlu tırmanma robotu Gait Of robot Şekil 2.11’de verilmiştir.



Şekil 2.11. Gait Of Robot [35]

Vakumlu tırmanma robotu Gait Of robotun yürüyüşünü gösteren üç konum Şekil 2.12’de verilmiştir.



Şekil 2.12. Gait Of Robotun yürüyüşünü gösteren üç konum [35]

C) Mrwallspect – I

MRWALLSPECT olarak adlandırılan kompakt ve sağlam bir duvar tırmanma robotu, gaz veya yağ tanklarının dış yüzeylerini taramak ve navigasyon sırasında Tahribatsız Test araçlarıyla arızaları kontrol etmek için tasarlanmıştır. Yeni bir kapalı bağlantı mekanizması ile duvar üzerinde dönüşüm ve döndürme gibi temel üç serbestlik dereceli hareket etmeyi başarır.

- Kapalı halka mekanizmasına sahip kompakt ve sağlam bir duvar tırmanma robotu.
- Vakum basıncı yüksek emiş kuvveti sağlar.
- Tırmanma ve tarama için gerekli bileşenler bulunur. (Kontrolör, CCD kamera, Manyetik valf, Sensör, ...)

Vakumlu tırmanma robotu Mrwallspect – I robot Şekil 2.13’de verilmiştir.



Şekil 2.13. Mrwallspect -I Robot [35]

D) Mrwallspect -II

MRWALLSPECT-II kompakt ve sağlam bir duvar tırmanma robotudur. Gaz veya yağ tanklarının dış yüzeylerini taramak ve navigasyon esnasında NDT (Tahribatsız Muayene) araçları ile arızaları kontrol etmek için kendi kendine yeten bir sistemdir. Robot, kapalı bağlantı mekanizması ile bacağın kinematik tasarımında karakteristik özelliklere sahiptir. Diğer duvar tırmanma robotuna kıyasla aktüatör sayısını azaltır ve yüksek güç / ağırlık oranına sahip olmasını sağlar. Bunlar canlıyı taklit eden basit ve sağlam bir yürüyüş deseni benimseyerek sağlanır. Vakum jeneratörleri ve gömülü bir kontrol cihazı, piller, CCD kamera, motorlar ve elektronik gibi harici bir kablo olmadan tüm parçaları içerir. MRWALLSPECT-I güncellenmiş bir versiyonu olan MRWALLSPECT-II. Kendi elektrik ve basınçlı hava kaynağına sahip olduğu için tamamen kendi kendine yeten bir sistemdir.

- Kapalı döngü mekanizmasına sahip, kompakt, sağlam ve kendi başına bir tırmanma robotu.
- Duvar tırmanma robotu için optimize edilmiş tasarım bacaklar mekanizması.
- Tüm bileşenler vücuda dâhildir.
- Kablosuz LAN iletişimi yüksek esneklik sağlar.

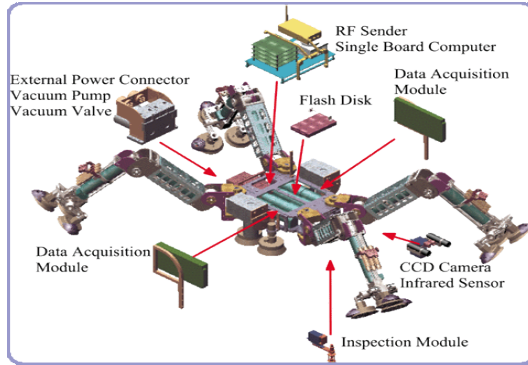
Vakumlu tırmanma robotu Mrwallspect – II robot Şekil 2.14’de verilmiştir.



Şekil 2.14. Mrwallspect -II Robot [36]

E) Mrwallspect- III

MRWALLSPECT III, uçaklarda yürüyebilir, emme tamponuyla duvarlara tırmanabilir. Robottan duvardan duvara, duvardan düzleme müzakere konveksini de içerecek şekilde hareket etmesi ya da robotun içbükey olması gerekir. Sezgisel ve geometrik analizler yaparak, eklem aralıkları, ayak bilekleri tasarımı ve aktüatörlerin konumu gibi tasarımın kritik yönleri robota uygulanır. Ayrıca robot, endüstriyel tesislerin geniş yüzeyinin muayene edilmesi için bir ultrasonik NDT aleti taşımak üzere tasarlanmıştır. Vakumlu tırmanma robotu Mrwallspect – III robot Şekil 2.15’te verilmiştir.

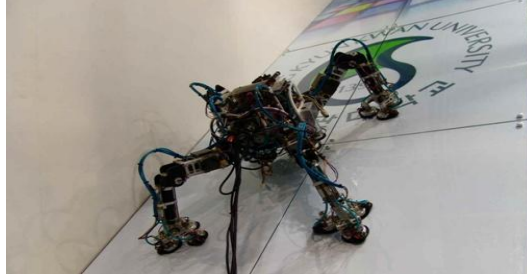


Şekil 2.15. Mrwallspect -III Robot [11]

- Emme pedi ile son derece uyarlanabilir yürüme robotu. Uçakları yürüyebilir ve duvarlara tırmanabilir.
- Her bir bacakta 3 serbestlik dercesine sahip aktif eklemlere sahip dört bacak esnek hareketlerle geniş çalışma alanı sağlar.
- Bacak, pasif küresel eklem ile tüm dokunmatik yöne uyum sağlamak için ayak bileği eklemine sahiptir.
- Harmonik kütle dağılımı, ancak yine de mekanizmanın sağlamlığını sağlar.

- RTLinux ile tamamlanmış gömülü denetleyici taşınmıştır.
- IDE tipi flash disk, birkaç DIO kanalı, FPGA kontrollü kamera ve kablosuz LAN.
- Kafa üzerine 2 serbestlik derecesine sahip muayene sistemi monte edilmiştir.

Vakumlu tırmanma robotu Mrwallspect – III robot Şekil 2.16’da verilmiştir.



Şekil 2.16. Mrwallspect - III Robot [36]

2.1.4 Mıknatıslı Tırmanma Robotları

A) Magnet-Crawler II

Magnet-Crawler II, manyetik yüzeyler için hafif, kompakt bir tırmanma robotudur. Robot, manyetik halkalarını çalıştırmak için iki dişli motoru kullanıyor ve kararlılığını artırmak için esnek bir kuyruk kullanıyor. Robotun ön kısmında bulunan Odroid gömülü sistem, yatırılabilir bir 720p kam, bir G / Ç Paneli, iki adet LED spot ışığı ve bir adet LED izleme ışığı ile entegredir. Magnet-Crawler II, lityum-polimer pillerle güçlendirilmiştir ve WLAN ile kontrol edilir. Robotun video sinyali robotun kontrol terminalinde görüntülenir. Robot, gemi gövdelerinin kontrolü için kullanılacaktır.

Boyut: 330 x 300 x 130 mm

Ağırlık: 1230 g

Güç kaynağı: 11.1V - 800mAh Lityum-Polimer-Pil (yaklaşık 30 dakika çalışma süresi)

Devreye Alma / Motor: Enkoderli 2 X 12V DC redüktörlü motorlar

Sensörler: 3 eksenli hızlanma sensörü

Mıknatıslı tırmanma robotu Magnet-Crawler II robot Şekil 2.17’de verilmiştir.



Şekil 2.17. Mrwallspect - II Robot [37]

Tüm bu duvar tırmanıcının yanında literatürde daha birçok duvar tırmanıcı robota rastlanmaktadır. Genel olarak kullanım alanları ve çalışma mekanizmalarını açıklayan çalışma Tablo 2.1’de verilmiştir. Tüm bu incelemeler sonucunda literatürdeki birçok robotun en büyük eksikliğinin yeterli esneklik kabiliyetlerinin olmaması nedeni ile engebeli veya engelli yüzeylerde başarısız olduğu ortaya çıkmıştır. İkinci bir dezavantaj ise yine bir çok robotun çok büyük yapılarından ve yüksek enerji sarfiyatlarından dolayı enerjilerini kablolar yardımı ile dış kaynaktan almalarıdır. Böylece hareketleri bağımlı hale gelmektedir.

Tablo 2.1. Literatürdeki robotlar, hareket ve yapışma mekanizmaları

Çalışma alanı	Robot Adı	Üretici	Ülke	Uygulama	Hareket	Yapışma
Yapı Endüstrisi	ROMA I ve 2	University Carlos III of Madrid	İspanya	Muayene	Bacaklı	Kavramalı
	ROBIN	Vanderbilt University	ABD	Muayene	Bacaklı	Vakumlu
	CROMSCI	University of Kaiserslautern	Almanya	Muayene	Tekerlekli	Vakumlu
	Alicia I, II	Università degli Studi di Catania	İtalya	Muayene	Tekerlekli	Vakumlu
	Wall Walker	Kawagwa University	Japonya	Duvar temizleme	Tekerlekli	Vakumlu
	SIRIUSc	FIFOA	Almanya	Duvar temizleme	Bileşik	Vakumlu
	Sky Cleaner I, II, III	University of Hamburg	Almanya	Duvar temizleme	Koordinat	Vakumlu
	TITO	IAI/CSIC	İspanya	Duvar temizleme	Halat tahrikli	Vakumlu
	CAFÉ	DISAM	İspanya	Duvar temizleme	Halat tahrikli	Vakumlu
	NINJA I, II	Tokyo Institute of Technology	Japonya	Muayene	Bacaklı	Vakumlu
	GEKKO III	ARECO	Almanya	Duvar temizleme	Paletli	Vakumlu
	Exterior Wall Painting Robot	Taisci	Japonya	Boyama	Halat tahrikli	Ray kılavuzlu
Altyapı	Bigfoot	Portech	Almanya	Teşhis	Tekerlekli	Vakumlu
	SM2	Carnegie Mellon University	ABD	Muayene	Bacaklı	Kavramalı
	RAMR I	Michigan State University	ABD	Keşif	Bacaklı	Vakumlu
	Roboclimber	University of Genova	İtalya	Kayalık duvarların Güçlendirilmesi	Bileşik	
Petrokimyasal tesisler	MRWALLSPECT II	Sungkyunkwan University	Kore	Muayene	Koordinat	Vakumlu
	MRWALLSPECT III	Sungkyunkwan University	Kore	Muayene	Bacaklı	Vakumlu
	RONCEN I, II, III	University of Navarra	İspanya	Muayene	Koordinat	Vakumlu
	WCR	Shanghai Jiao Tong University	Çin	Bakım	Paletli	Manyetik
	WCR	Dalhousie University	Kanada	Muayene	Paletli	Manyetik
	SÜRFY	Università degli Studi di Catania	İtalya	Teşhis	Koordinat	Vakumlu
	TRIPILLAR	EPFL-LSRO	Fransa	Muayene	Tekerlekli	Manyetik
Nükleer Santraller	Robug IIs	City University of Hong Kong	Çin	Bakım	Bacaklı	Vakumlu
Gemi inşaatı	RRX	Seoul National University	Kore	Kaynak	Koordinat	Ray kılavuzlu
	REST 1,2	CSIC	İspanya	Kaynak	Bacaklı	Manyetik
	Climbing Robot for Grit Blasting	University of Coruña	İspanya	Temizlik	Koordinat	Manyetik
	NDT robot	London South Bank University	İngiltere	Muayene	Tekerlekli	Manyetik
	Modular Climbing Robot	Universidad de Vigo	İspanya	Muayene	Tekerlekli	Manyetik
Uçaklar	MACS	California Institute of Technology	ABD	Muayene	Koordinat	Vakumlu
Hizmet sektörü	MATS	Universidad Carlos III de Madrid	İspanya	İnsan bakımı	Bacaklı	Kavramalı
	Magnebot	MIT	ABD	Malzeme Taşıma	Tekerlekli	Manyetik
	Hand-Bot	EPFL-LSRO	Fransa	Nesne düzenleme	Bacaklı	Kavramalı

3. BİR DİKEY TIRMANMA ROBOTUNUN TASARIMI VE GERÇEKLEMESİ

Duvar tırmanıcı robotlarda hareket mekanizması genel olarak bacaklı, tekerlek tahrikli, paletli, koordinat tabanlı hareket, halat tahrikli vb. farklı şekillerde karşımıza çıkmaktadır. Dolayısıyla bizim belirlediğimiz yüzeylerde en verimli biçimde çalışabilecek sistemleri seçmek çok önemli bir adımı oluşturmaktadır. Tasarlamak istediğimiz sistem pürüzlülüğün az olduğu yüzeylerde tırmanmayı gerçekleştirecektir. Bütün bunları göz önünde bulundurarak ve literatür taraması sonucunda bir tablo oluşturulmuştur. Bu incelemeler Tablo 3.1’de gösterilmektedir. Aşağıda verilen Tablo 3.1’in üst yatay eksen; genellikle tırmanan robotlarda tasarım kriterleri olan parametreleri, sol dikey eksen ise hareket mekanizmalarını içermektedir. Tasarım kriteri olan parametrelerin önem derecesi ve hareket mekanizmalarının karşılaştırılması bugüne kadar gerçekleştirilen literatür taraması sonucunda tırmanan robotlar alanında elde edilen subjektif izlenimler sonucunda elde edilmiştir. Tablo 3.1’de bir tırmanma robotunun belirtilen tırmanma yüzeyine göre tasarım kriterlerinin önem derecesine bakılarak 5 puan üzerinden değerlendirilmiştir. Hareket mekanizmasının bu tasarım kriterlerine bakılarak puanlandırılmıştır. Bu puanlama sisteminde hareket mekanizması, tasarım kriterinde başarılı ise tasarım kriteri önem derecesi 1 katsayısıyla çarpılmakta, eğer başarısız ise -1 katsayısıyla çarpılmakta ve eğer orta düzeyde ise 0 (sıfır) katsayısı ile çarpılmaktadır. Toplamda çıkan sonuca göre belirtilen tırmanma yüzeyinde ve tasarım kriterlerine göre hangi hareket sisteminin daha avantajlı olabileceğini göstermektedir.

Tablo 3.1. Hareket mekanizması seçimi

	Mekanizma basitliği	Hız	Manevra kabiliyeti	Yüzey geçişleri	Kontrol kolaylığı	Engel geçiş kabiliyeti	Özgür hareket	Enerji verimliliği	Çevre şartlarına uyum	TOPLAM
Tasarım kriteri önem derecesi	3	5	5	3	3	4	4	5	4	
Bacaklı	-1	-1	0	+1	-1	+1	+1	0	+1	+4
Tekerlekli	+1	+1	0	0	0	-1	0	0	0	+4
Paletli	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Ötelemeli	-1	-1	+1	0	-1	-1	0	0	0	-10
Halat tahrikli	-1	+1	0	0	-1	0	-1	0	0	-5

Hareket mekanizması değerlendirmesinde pürüzlülüğün az olduğu bütün yüzeyler için en iyi sistemin tekerlekli ve bacaklı hareket mekanizması olduğu görölmektedir. Dolayısıyla önceden belirlenen kıstaslar dâhilinde en iyi iki sistemin tekerlekli ve bacaklı olduğu belirlenmektedir. Ancak, yüzeye kenetlenme için vakum pedlerinin yerleştirilmesi ve engelleri aşması göz önünde bulundurulduğunda bacaklı hareket mekanizması bir adım öne çıkmaktadır. Bu sonuçlar göz önüne alınırsa bacaklı bir mekatronik sistem tasarımına karar verilmiştir.

İkinci aşamada yapışma mekanizması seçimi yapılmalıdır. Duvar tırmanıcı robotlarda yapışma mekanizması genel olarak; vakumlu, manyetik, kavramalı, ray kılavuzlu ve biyomimetik olarak farklı kategoride incelenmektedir. Dolayısıyla bu bölümde de belirlenen yüzeylerde en iyi yapışmayı sağlayabilecek ve en az enerji tüketecek sistemleri seçmek çok önemli bir hal almaktadır. Tüm bu durumlar ve literatür araştırmaları göz önünde bulundurularak bütün pürüzsüz yüzeyler için yapılan değerlendirmeler, Tablo 3.2’de gösterilmektedir. Aşağıda verilen Tablo 3.2’in üst yatay eksen, genellikle tırmanan robotlarda tırmanma yüzeyini ve çevre şartlarına uyum için bazı parametreleri; sol dikey eksen ise yapışma yani kenetlenme mekanizmalarını içermektedir. Tablo 3.2’de bir tırmanma robotunun belirtilen tırmanma yüzeyine ve çevre etkenlerine bakılarak 5 puan üzerinden değerlendirilmektedir. Kenetlenme mekanizmasının bu belirtilen etkenlere bakılarak puanlandırılmıştır. Bu puanlama sisteminde kenetlenme mekanizması, yüzey ve çevre etkenlerde başarılı ise verilen puan 1 katsayısıyla çarpılmakta, eğer başarısız ise -1 katsayısıyla çarpılmakta ve eğer orta düzeyde ise 0 (sıfır) katsayısı ile çarpılmaktadır. Toplamda çıkan sonuca göre belirtilen tırmanma yüzeyinde ve çevresel etkenlerde hangi kenetlenme sisteminin daha avantajlı olabileceğini göstermektedir.

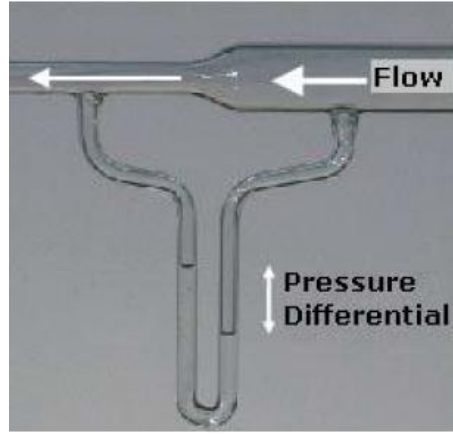
Tablo 3.2. Yapışma mekanizması seçimi

	YÜZEY			Enerji verimliliği	Çevre şartlarına uyum	Mekanizma basitliği	Kontrol kolaylığı	Özgür hareket yeteneği	TOPLAM
	Pürüzsüz	Düşük pürüzlü	Yüksek pürüzlü						
PUAN	5	4	5	5	4	3	3	5	
Vakumlu	+1	0	-1	0	-1	0	0	0	-4
Manyetik	-1	-1	-1	0	0	0	0	0	-14
Kavramalı	-1	-1	+1	0	0	-1	-1	0	-10
Ray Kılavuzlu	0	0	0	+1	-1	0	0	-1	-4
Biyomimetik	-1	0	0	+1	-1	0	0	-1	-9

Seçim kriterleri ve pürüzsüz yüzeylerde hareket göz önünde bulundurularak yapılan puanlandırma neticesinde, vakumlu sistemlerin pürüzsüz çeşitli yüzeylerde hareketleri gerçekleştirmek için daha uygun olduğu görülmektedir.

Pürüzlülüğün az olduğu cam, seramik, duvar, tavan, rüzgâr güleri vb. gibi yüzeylerde çok iyi bir yapışma kuvveti sağlaması sebebi ile vakumlu sistemler kullanılmaktadır. Ancak bu mekanizmanın en belirgin dezavantajı sızdırmazlık sistemindeki en ufak bir boşluğun robotun düşmesine sebep olmasıdır. Bu durum, vakumlu duvar tırmanıcı robotların engel aşma kabiliyetlerini düşürmektedir. Dolayısıyla vakumlu duvar tırmanıcı robotların engebeli ve çatlak yüzeylerde çalışmaları zorlaşmaktadır. Ancak birden çok vakum odasına sahip ve paletli hareket mekanizmasına sahip bir robot, yüzeydeki düzensizlik ve çatlaklardan etkilenmeden hareket edebilmektedir. Vakum sistemi literatürde Ventrî Prensibi olarak bilinen ve akışkanın hızlı olduğu bölgede yavaş olduğu bölgeye göre basıncının daha düşük olması prensibini temel alır. Şekil 3.1’de [38] görüldüğü gibi akışkanın girdiği bölgede kesitin büyük olması ve çıkıştaki kesitin

daha küçük olması, sabit debide akışkanın hızının değişmesine sebep olmakta ve girişteki basıncın çıkıştakine göre daha büyük olmasına neden olmaktadır.



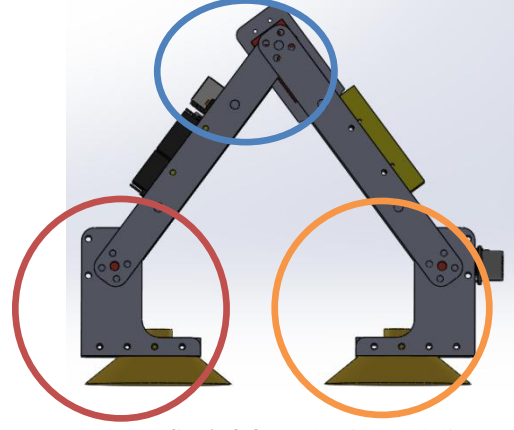
Şekil 3.1. Ventri Prensibi

Bir tırmanma robotunun arzulanan en son işlevselliği, yani nesneleri manipüle etme kabiliyeti, literatürdeki duvar tırmanma robotları arasında temel özellik olmasına rağmen çoğunlukla ihmal edilmiştir. Aynı tırmanma robotunda hem mobilitayı hem de manipülasyon fonksiyonlarını uygulamak için bir zorluk olmaya devam etmektedir. Yukarıda belirtilen gözlem ve inç kurdu dahil hayvanların tırmanışıyla motive olmuş, bir robot geliştirilmiştir. Üç boyutlu karmaşık yüzeylerde hareket edebilmek için tasarlanmış olan S-Omurgasız duvar tırmanıcı robot, 3 serbestlik dereceli ve bacaklı bir hareket mekanizmasına sahiptir. Toplamda iki adet bacağı olan robot bacaklarının altına yerleştirilmiş vakumlu tutucular sayesinde duvara tutunmaktadır. S-Omurgasız adını verdiğim duvara tırmanan robot, modüler bir yöntemle tasarlanmış olup, üç eklemlili modülünden ve iki emme modülünden oluşmakta olup, böylece eklem modülleri ana gövde olarak 3 serbestlik dereceli seri kol oluşturur ve emme modülleri iki uçta ayaklar olarak görev yapmaktadır. İlerleyen bölümlerde görüleceği gibi, bu yeni uygulama S-Omurgasız sadece 2) ila 4) maddelerinde daha önce sıralanan ve manipülasyon işlevi açısından değil aynı zamanda yeniden yapılandırılabilirlik ve ölçeklenebilirlik açısından üstün bir mobilita ile donatmaktadır. Bildiğimiz üzere, mevcut başka hiçbir duvara tırmanma robotu daha önce listelenen tüm beş öğeyi başaramamıştır. S-Omurgasız robotunda vakumlama güvenliği tamamen analiz edilmekte, engellerin üstesinden gelme ve duvarlar arası geçiş kabiliyetleri ele alınmakta, engellerin üstesinden gelme ve duvarlar arasında geçiş yapma, kapsamlı ve zorlu bir dizi deneyle tamamen gösterilmektedir. Yapılmış olan bir deneyde potansiyel bir uygulama gösterilmiştir. Analitik ve deneysel sonuçlar, robotun üstün

mobilitasını ve manipüle etme kabiliyetini göstermiştir. İnç kurdunun tırmanışı ve görünümü Şekil 3.2’de gösterilmiştir. İnç kurdundan esinlenerek tasarlanmış olduğum S-Omurgasız tırmanma robotunun mekanik modellemesi Şekil 3.3’te gösterilmektedir.



Şekil 3.2. İnç Kurdu



Şekil 3.3. Mekanik Modeli

İnç kurdunun yapısı incelendiğinde hareketleri ve kenetlenmeyi sağlamak için bir sürü ekleme ve gelişmiş bacak yapısına sahip olduğunu görüyoruz. Bütün bunları mekatronik bir sisteme aktarmak imkansız denecek derecede zordur. İnç kurdunun hareketlerini gerçekleştirmek ve kontrolü daha kolay sağlamak için mekatronik bir sistemde minimum 3 serbestlik dereceli bir sisteme ihtiyaç duyulmaktadır. Yüzeye kenetlenme işlemi ise tamamen çalışacağımız ortama göre belirlenmektedir. Pürüzlülüğün az olduğu yüzeylerde yüzeye kenetlenmek için vakum pedlerinin kullanılması daha uygun görülmektedir.

3.1. Tasarım

S-Omurgasız’ın gelişmesi, inç kurdunun iki taraflı tırmanma düzeninin gözlemlenmesinden esinlenmiştir. Bir inç solucanının başında ve kuyruğunda, Şekil 3.2’de gösterildiği gibi, bütün vücudu desteklemek için nesnelere kenetlenebilen, yapışabilen veya emilebilen iki ayak dizisi vardır. Kafanın uygun bir yönde bir hedef pozisyona ulaşmasını sağlayan çok sayıda eklem vardır. Bu kadar karmaşık bir ayak dizisini ve esnek bir gövdeyi bir mekatronik sistemde tamamen taklit etmek pratik olarak zordur. Bununla birlikte, tutucular veya vakumlu kaplar yapışma için hizmet etmekte ve birkaç döner veya translasyonel bağlantı ana gövdeye seri olarak bağlanabilmektedir. Modülerlik, mekatronik sistem geliştirmede etkili bir metodolojidir ve yalnızca yılan benzeri robotlar [39], tırtıl benzeri tırmanma robotu [40] ve yeniden yapılandırılabilir robotlar gibi robot sistemlerde yaygın olarak kullanılmaktadır. Ayrıca imalat sistemlerinde de geleneksel

yöntemlerle ortaya çıkan bazı problemleri çözebilir ve verimsizlik, yeniden yapılandırılabilirlik, ölçeklenebilirlik, düşük maliyet, hata toleransı ve kendi kendine onarım dahil olmak üzere birçok fayda sağlayabilmektedir. Modüler tasarımda, bir sistem, bağımsız ve eksiksiz birimler olan ve birbirleriyle kolayca bağlanabilen veya ayrılabilen birkaç özdeş veya farklı modülden oluşmaktadır. Modülerlik, yapılandırması yeni bir sistemin geliştirilmesine özellikle önem arz etmektedir.

Yapılan araştırmalar neticesinde duvarda tırmanmak, engelleri aşmak ve duvarlar arası geçiş yapabilmek için 3 serbestlik derecesine sahip bir sistem tasarlanmıştır. Serbestlik bölgeleri Şekil 3.3'te belirtilmiştir. Baş, kuyruk ve gövde de bulunan eklemler robotun esnek bir şekilde hareket etmesini sağlamaktadır. Baş ve kuyruk bölgesinde yüzeye kenetlenmesi için 75 mm çapında vakum pedleri kullanılmıştır. Bu vakum pedleri Şekil 3.4'te gösterilmiştir.



Şekil 3.4. Vantuz (Vakum Pedi)

İnç kurtçuğunda olduğu gibi baş ve kuyruk kısımlarının tasarımı aynı olmaakla birlikte montajda farklılık göstermektedir. Yüzeye kenetlenme işlemini vakum pedleri aracılığıyla yapılmalıdır, fakat vakumlama işlemini yapan robotun üzerinde bulunmayan hava hortumları ile robotik sisteme bağlanan 12V DC gerilim ile çalışan vakum motorlarıdır. Sistemde kullanılan vakum moturları Şekil 3.5'te gösterilmiştir.



Şekil 3.5. Vakum Motoru

Baş ve kuyruktan herhangi biri yüzeye kenetlendikten sonra bütün sistemi taşıması ve dengede tutması için baş ve kuyruk taraflarındaki eklemlerde R30 servo motorlar kullanılmıştır. R30 servo motorlarının kullanılmasındaki amaç; belirtilen büyüklükte ve

ağırlıkta yükü taşıma kapasitesine sahip olmasıdır. Şekil 3.6’da gösterilen R30 servo motoru kendi mil merkezinden 10 mm uzaklıkta 30 kg yük taşıma kapasitesine sahiptir.



Şekil 3.6. R30 Servo Motor

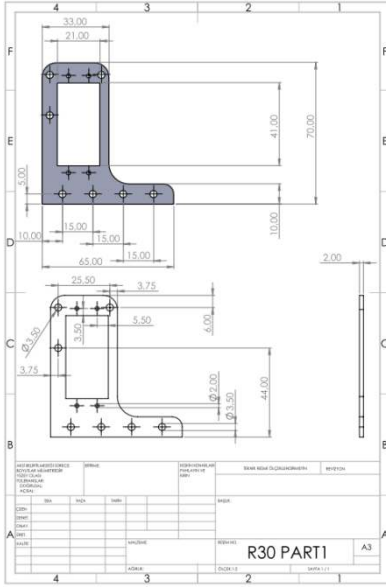
Gövde kısmında R20 servo motor kullanılmıştır. R20 servo motor konumu robotik sistemin merkezinde olduğundan dolayı robot ağırlığının sadece yarısını kadar motora yük binmektedir. Bu yüzden R30 servo motor kullanma ihtiyacı duyulmamaktadır. Şekil 3.7’de gösterilen R20 servo motoru kendi mil merkezinden 10 mm uzaklıkta 20 kg yük taşıma kapasitesine sahiptir.



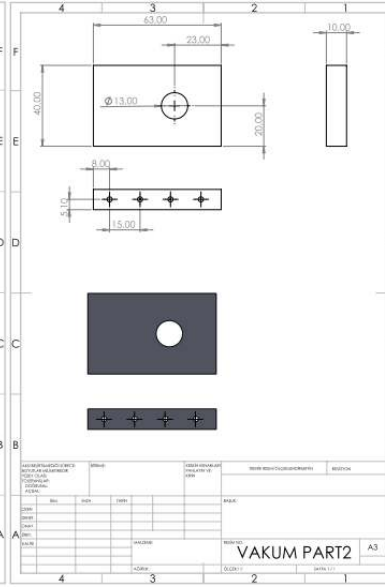
Şekil 3.7. R20 Servo Motor

3.1.1 Solidworks Tasarımları

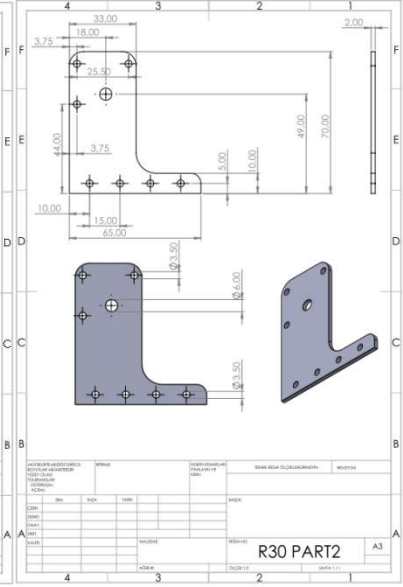
Tasarımı yapılan mekatronik tırmanma robotunun sisteminde başta ve kuyrukta inç kurdunda olduğu gibi bütün vücudu desteklemek için nesnelere kenetlenebilen, yapışabilen veya emilebilen iki ayak dizisi vardır. Ayak dizisi üzerinde R30 servo motor, vakum pedi ve ayak parçaları mevcuttur. Şekil 3.8’deki çizim parçası R30 servo motor montaj parçasıdır. Ayak dizisinde kenetlenmeyi sağlamak için vantuz kullanılmıştır. Vantuzun ayaklara montajını yapmak için Şekil 3.9’daki parça tasarlanmıştır. Şekil 3.10’daki parça R30 servo motor miliyle eş merkezde montaj noktasını üzerinde bulundurarak R30 servo motor ile birlikte gövdeyle bağlantıyı sağlamaktadır.



Şekil 3.8. R30 Part1

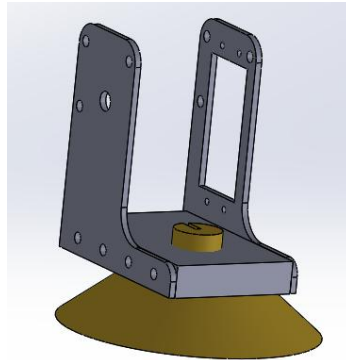


Şekil 3.9. Vakum Part2



Şekil 3.10. R30 Part2

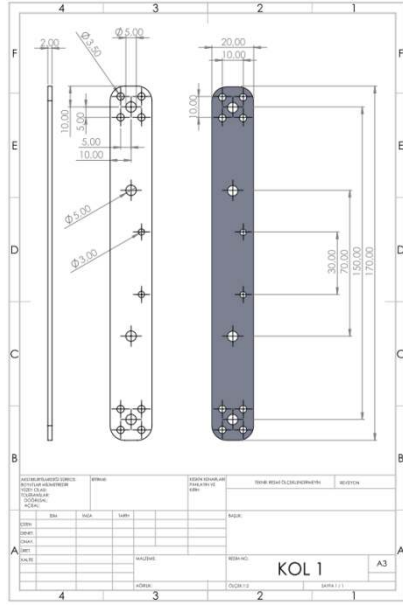
Tasarımı yapılan tırmanma robotunun baş ve kuyruğu oluşturan parçaların teknik resimleri Şekil 3.8, Şekil 3.9 ve Şekil 3.10'da verilmiştir. Bu tasarımlar vantuzun yüzeye kenetlenmesi, servo motor montajı, robotun hareketleri, kablo ve hortumların geçiş yerleri göz önünde bulundurularak tasarlanmıştır. Bu parçaların bir araya getirilerek ve vantuz eklenerek oluşturulan montaj Şekil 3.11'de verilmiştir.



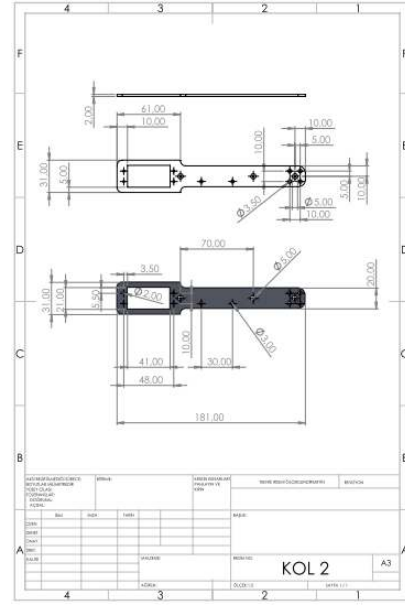
Şekil 3.11. Baş ve Kuyruk Tasarımı

Bütün bileşenlerin bir tasarım üzerinde toplanmasını sağlayan gövde elektronik bileşenleri, kabloları, hortumları ve motorları üzerinde barındırdığı gibi aynı zamanda baş ve kuyrukla da bağlantılıdır. Robot tırmanış sırasında yerçekimine karşı bir iş yapar ve bu işin büyüklüğü ağırlıkla doğru orantılı olarak artar. Asgari düzeyde enerji sarfiyatı için robot asgari ağırlıkta olacak şekilde tasarlanmalıdır. Robot bütün bunların yanı sıra tırmanışı esnasında yüzeyde rahat hareket edebilmek için ve engelleri kolaylıkla geçebilmek için, esnek bir yapıda tasarlanmalıdır. Bütün bu hususlar dikkate

alınarak olabildiğince sistemi esnek ve basit bir yapıda tasarımı yapılmıştır. Sistem gövdesi temelde iki ana parçadan oluşmaktadır. Bu parçaların simetriği kullanılarak gövde oluşturulmuştur. Gövdeyi oluşturan temel iki parça Şekil 3.12 ve Şekil 3.13'te verilmiştir. R30 servo motor yataklaması Şekil 3.13'teki parça üzerinde yapılmıştır.

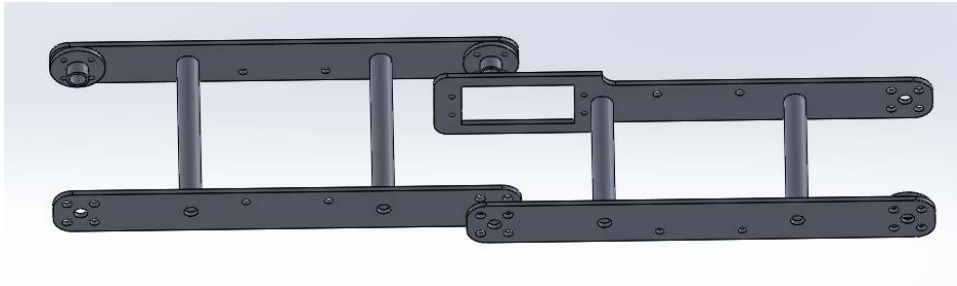


Şekil 3.12. Kol 1



Şekil 3.13. Kol 2

Bütün tasarım esasları göz önünde bulundurularak bir gövde tasarlanmıştır. Bu tasarımın gövde iskeleti Şekil 3.14'te gösterilmiştir.

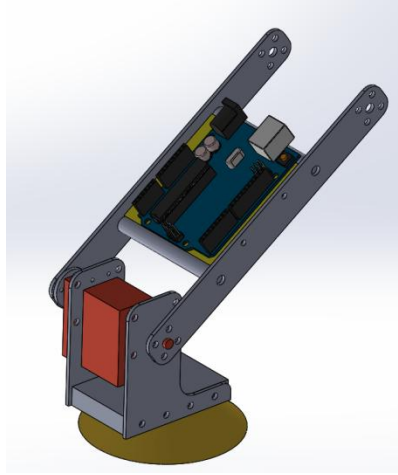


Şekil 3.14. Gövde Tasarımı

3.1.2 Solidworks Montajı

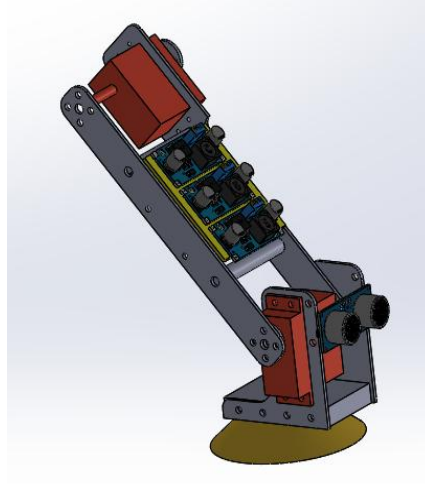
S-Omurgasız tırmanma robotu inç kurdunun hareketlerini gerçekleştirmesi için 3 serbestlik derecesine sahip bir biçimde tasarlanmıştır. 1. Serbestlik derecesi kuyruk kısmının hareketini göstermektedir. Kuyruk kısmı yüzeye kenetlenmesini vakum pedi sayesinde gerçekleştirmektedir. Vakum pedinin hemen üstündeki sistem hem vakum pedinin montajı hemde kuyruk motorunun montajını kendi üzerinde bulundurmaktadır. Aynı zamanda bu bölge sistemin geri kalanını taşımak ve her türlü hareketi

gerçekleştirebilecek bir biçimde tasarlanmıştır. Kuyruk bölgesi ve gövdenin kuyruk tarafının montajı kuyruk motoru ve kuyruk motoruyla aynı eksende bulunan mekanik bir sistem ile gerçekleşmektedir. Gövdenin kuyruk kısmına yakın tarafa hafıza görevi gören Arduino UNO montajı bulunmaktadır. Bütün bu bileşenlerin bir araya getirilerek oluşturulan kuyruk tarafının montajı Şekil 3.15'te gösterilmektedir.



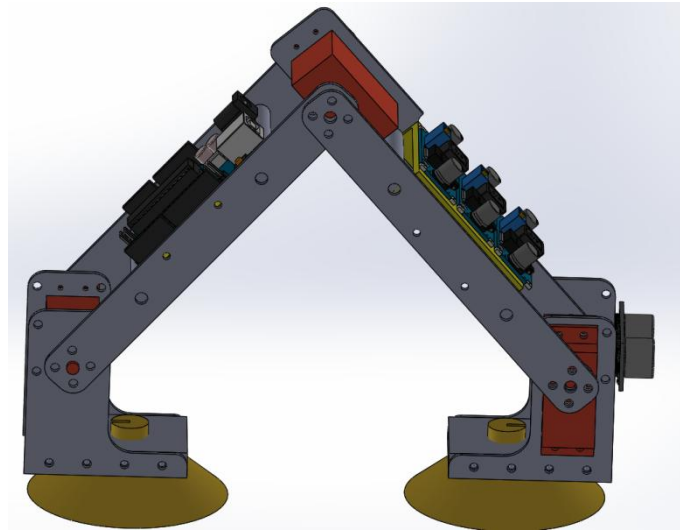
Şekil 3.15. Kuyruk Solidworks Montaj

S-Omurgasız tırmanma robotu 2. Serbetlik derecesi baş kısmının hareketini göstermektedir. Baş kısmı yüzeye kenetlenmesini vakum pedi sayesinde gerçekleştirmektedir. Vakum pedinin hemen üstündeki sistem hem vakum pedinin montajı hemde baş motorunun montajını kendi üzerinde bulunduruyor. Aynı zamanda bu bölge sistemin geri kalanını taşımak ve her türlü hareketi gerçekleştirebilecek bir biçimde tasarlanmıştır. Baş bölgesi ve gövdenin baş tarafının montajı baş motoru ve baş motoruyla aynı eksende bulunan mekanik bir sistem ile gerçekleşmektedir. Baş kısmında ultrasonik sensör montajı yapılmıştır. Bu sensör robotun duvara olan yakınlığını hesaplar ve duvarlar arası geçişte mesafeye göre geçiş konumunun hesaplanmasında rolü vardır. Gövdenin baş kısmına yakın tarafa her bir motorun güç kaynağı 12V DC invertörün montajı bulunmaktadır. Bütün bu bileşenlerin bir araya getirilerek oluşturulan baş tarafının montajı Şekil 3.16'da gösterilmektedir.



Şekil 3.16. Baş Solidworks Montaj

S-Omurgasız tırmanma robotu 3. Serbestlik derecesi gövde kısmının hareketini göstermektedir. Gövde kısmındaki 3. Serbestlik derecesi baş ve kuyruk taraflarının birleşmesi işlemini üstlenmektedir. 3. Serbestlik derecesi tırmanma robotunun tırmanma işleminde büyük rol almaktadır. Adım atmada ve duvarlar arası geçişte istenilen hareketleri gerçekleştirmeye uygun kıvrak bir yapıya sahip bir şekilde tasarlanmıştır. Tırmanma robotunun tasarlanmış mekatronik sistemin Solidworks montajı Şekil 3.17’de gösterilmektedir.



Şekil 3.17. S-Omurgasız Tırmanma Robotu Solidworks Montaj

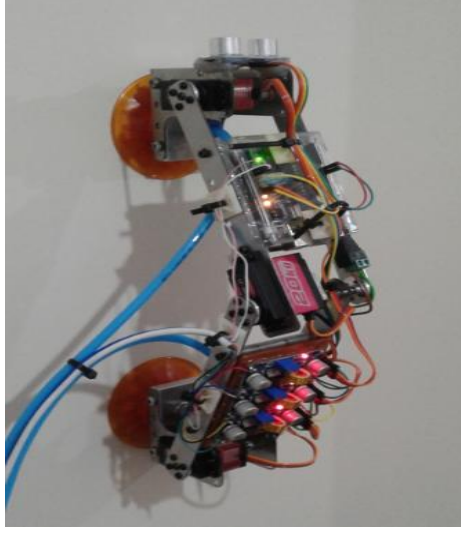
3.1.3 Fiziksel Gerçekleme

S-Omurgasız tırmanma robotunun tasarımı olduğu gibi parçalar lazer kesimde kesilmiş ve montajı yapılmıştır. Motor ve diğer malzemeler satın alınmıştır. Robotun ağır olmasından kaçınıldığı için parçalar 1mm'lik saclardan kestirilmiştir. Vakum montaj parçaları sistemi taşıması, vakum ve yan sacların montajının kolay olması için 10 mm'lik alüminyumdan yapılmıştır. Her bir eksen en az 200 derece hareket edebilme kapasitesine sahiptir. Robotun kuru iskeletinin fiziksel gerçekleştirilmesi Şekil 3.18'de gösterilmektedir.



Şekil 3.18. S-Omurgasız Tırmanma Robotu Fiziksel Gerçekleşme 1

S-Omurgasız tırmanma robotu tasarımı olduğu gibi Arduino UNO montajı yapılmıştır. Arduino UNO montajı hem baş tarafının hemde gövde tarafının hareketlerini kısıtlamayacak biçimde konumlandırılmıştır. Arduino UNO montajı ve konumlandırılması yapılırken kablo geçişleri ve Arduino UNO besleme jakı göz önünde bulundurularak yapılmıştır. Motorlar fazla akım çektiğinden ve 12V'tan düşük voltajlarla çalıştıklarından dolayı her bir motor beslemesi için ayrı ayrı invertörler kullanılmış ve bu invertörlerin monrajı sistem hareketini kısıtlamayacak ve kısa devre oluşmayacak bir biçimde yapılmıştır. İnvertörlerin konumu ve montajı sisteme enerji dağıtım kolaylığı ve kabloların geçişi göz önünde bulundurularak yapılmıştır. Ultrasonik sensör duvar mesafesini algılama ve hareketi engellemeyecek biçimde baş tarafa konumlandırılıp montajı yapılmıştır. Robotun tamamlanmış fiziksel gerçekleştirilmesi Şekil 3.19'da gösterilmektedir.



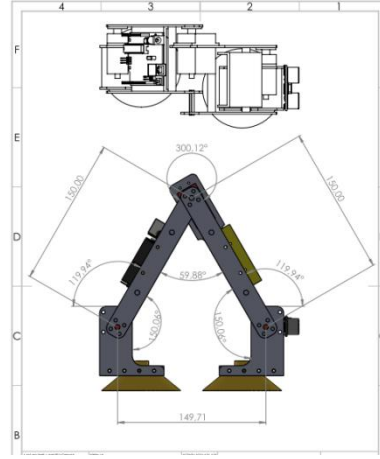
Şekil 3.19. S-Omurgasız Tırmanma Robotu Fiziksel Gerçekleşme 2

3.1.4 Kolların ve Elektronik Devrenin Yerleşim Özellikleri

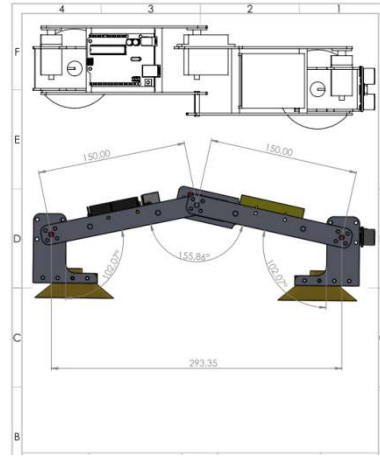
S-Omurgasız tırmanma robotu tasarımı yapılırken kullanılan motorların kaldırma kuvveti (motor güçleri) ve elektronik devrelerin konumları göz önünde bulundurularak robot kol uzunlukları belirlenmiştir. Belirtilen kol uzunlukları ile yapılan tasarımda robotun dar pozisyon ile geniş pozisyon arasındaki fark yani adım uzunluğu 144 mm'dir. Bu adım ölçüleri, robotun geniş ve dar açıdaki pozisyonları, robotun hareket eksenleri arasındaki mesafe ölçüleri ve eksenlerdeki açılar Şekil 3.20 ve Şekil 3.21'de gösterilmektedir.

$$\text{Adım} = 293 - 149 = 144 \text{ mm}$$

Elektronik devrelerin yerleşim pozisyonları her 3 eksen de herhangi bir hareket kısıtlamasına sebebiyet vermeyecek bir biçimde konumlandırılmıştır. Aynı zamanda bu konumlandırma yapılırken kablo geçişleri ve hava hortumlarının geçişleri de göz önünde bulundurulmuştur.



Şekil 3.20. S-Omurgasız Tırmanma Robotu Yerleşim Özellikleri 1



Şekil 3.21. S-Omurgasız Tırmanma Robotu Yerleşim Özellikleri 2

Robotun üzerinde bulunan elektronik devreler dışında, robotun kenetlenmesinde (vakumlamada) kullanılan vakum motorları, 12V DC güç kaynağı ve vakum bırakmada kullanılan selonoid aç kapa valfi robottan uzakta bulunmaktadır. Bu sistemle robot arasında hava hortumu ve kablolar sayesinde iletişim sağlanmaktadır.

3.1.5 Vantuzların Seçimi ve Yapısı

S-Omurgasız sisteminde kenetlenme işlemi için kullanılan VFC75P vantuz, kıvrımlı ve düz yüzeylerin taşınması için mükemmeldir. Vantuzdaki mandallar, tutma parçası ile vantuz arasındaki sürtünmeyi artırır. Bu nedenle, ürünleri yatay veya dikey olarak hareket ettirmek büyük mükemmellik ile sağlanabilmektedir. Vantuz Şekil 3.22’de gösterilmektedir.

Kaldırma Kuvveti ($\uparrow$): 19,38 Kg @ -60 kPa

Kaldırma Kuvveti ($\rightarrow$): 15.46 Kg @ -60 kPa

Hacim: 30.0 cm³

Çap: 75 mm



Şekil 3.22. VFC75P Vantuz

3.2. Deneysel Sonuçlar ve Hesaplamalar

Yukarıda bahsedilen aşamalardan geçerek tasarımı ve prototip üretimi yapılan S-Omurgasız tırmanma robotun teknik özellikleri Tablo 3.3'te gösterilmektedir.

Tablo 3.3. Tırmanma Robotu Teknik Özellikleri

ROBOTUN TEKNİK ÖZELLİĞİ	BİRİM
Robotun ağırlığı	1050 gr
Robotun boyu	430 mm
Robotun geniş adımdaki uzunluğu	347 mm
Robotun dar adımdaki uzunluğu	197 mm
Robotun adım uzunluğu	144 mm
Robotun bir adımı atma süresi (baş kısmı ileriye atıp arka kısmı toplaması)	14 sn

Tırmanma robotlatını incelediğimizde hepsinin farklı tırmanma yüzeylerinde kendine özgün avantaj ve dezavantajları mevcuttur. Bir tırmanma robotu bütün tırmanma yüzeylerinde diğer tırmanma robotlarına göre daha avantajlıdır denilemez. Örneğin; ferromanyetik yüzeylerde tırmanan bir robot hızlı hareket edebilmektedir. Hareket ve yapışma mekanizması çok daha iyi olabilirken, ferromanyetik olmayan tırmanma yüzeylerinde hiçbir işe yaramamaktadır. Çünkü tırmanma yüzeyi değişmektedir. Bu yüzden robotları birbiriyle kıyas etmek zordur. Ancak aynı tırmanma yüzeyinde ve aynı yöntemle tırmanan robotlar arasında kıyas yapılabilir. S-Omurgasız tırmanma robotunun benzerleriyle kıyaslandığında avantaj ve dezavantajları Tablo 3.4'te gösterilmektedir.

Tablo 3.4. S-Omurgasız tırmanma robotunun avantaj ve dezavantajları

S-Omurgasız tırmanma robotunun diğer tırmanma robotlarına göre avantaj ve dezavantajları	
Avantaj	Dezavantaj
Karşısındaki duvarı algılama	Yavaş olması
Yüzeye keneylendiği bilgisini alma	Kablosuz olmaması
Esnek bir yapıya sahip olma	Uzaktan komanda ile kontrol edilememesi
Geliştirilebilir bir yapıda tasarlanmış olması	
Simmecanic modellemesinin yapılmış olması	

S-Omurgasız tırmanma robotunun manipülasyon ve esneklik hareketlerinin test edildiği bazı ortamlardaki deneysel sonuçlar, vakum pedinin test analizi ve servo motorların yük taşıma hesaplamaları yapılmıştır.

3.2.1. Vakum Pedinin Testi

VFC75P vakum pedinin teknik özellikleri aşağıda verilmiştir.

Kaldırma Kuvveti (↑): 19,38 Kg @ -60 kPa

Kaldırma Kuvveti (→): 15.46 Kg @ -60 kPa

Hacim: 30.0 cm³

Çap: 75 mm

$$FV = P v * R v$$

(3.1)

Burada **FV**, vakum pedinin kaldırma kuvvetini, **Pv**, vakum pedine asılan kütleyi ve **Rv** ise vakum pedinin asılan ağırlığa olan uzaklığı göstermektedir. Vakum pedine bağlanmış olan plastik parça, vakum pedine asılı duran 3.5 kg'lık ağırlığı duvardan 120 mm (12cm) uzakta tutmaktadır. Buna bağlı olarak yapılacak olan hesaplamada yük çarpı yol bize kuvveti yani yüzeydeki kenetlenmeyi vermektedir. Yapılan teste ait görseller Şekil 3.23 ve Şekil 3.24'te verilmiştir. Denklem 3.1'e göre hesaplama yapılırsa,

$$F_v = 3.5 \text{ kg} * 12 \text{ cm}$$

$$F_v = 42 \text{ kg.cm}$$

vakum pedine uygulanan kuvvet 42 kg.cm olarak bulunur. Bu kuvvete rağmen vakum pedi yüzeyden kopmamıştır.



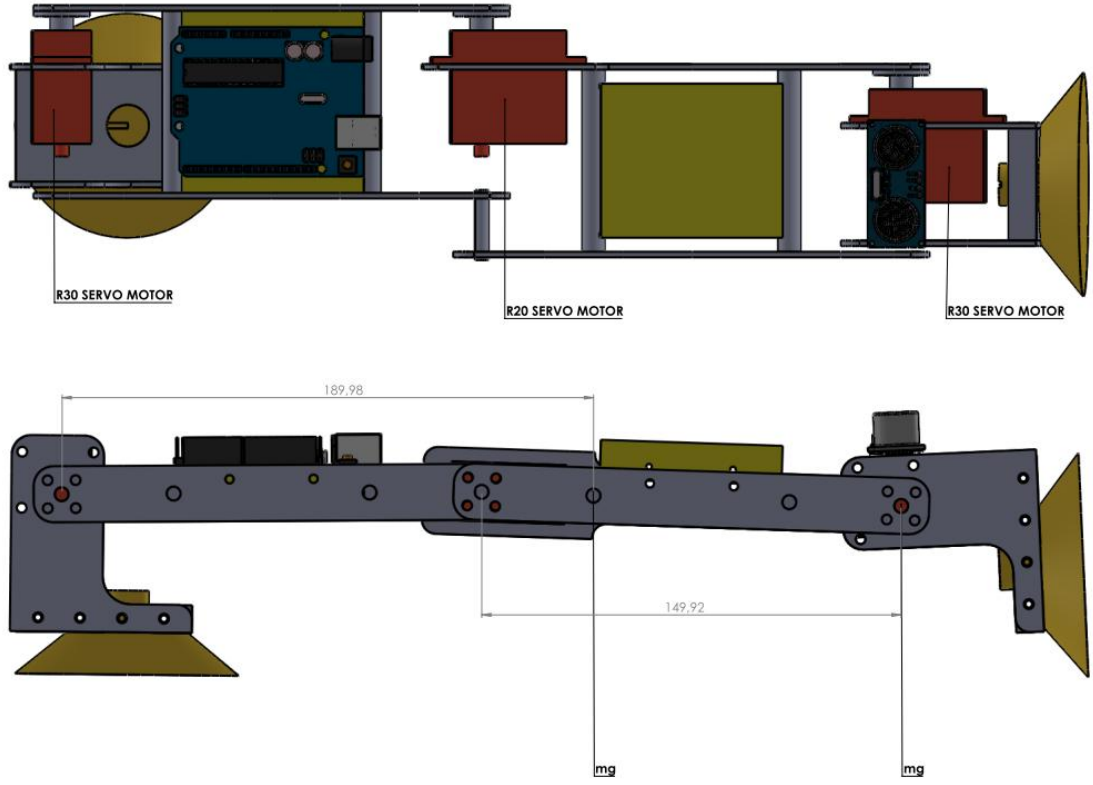
Şekil 3.23. Vakum Padi Test 1



Şekil 3.24. Vakum Padi Test 2

3.2.2. Servo Motor Yük Taşıma Hesaplamaları

Tırmanma robotlarında en önemli maddelerden biride ağırlık dağılımını iyi yapmak ve bu ağırlık dağılımlarına göre yeterli güçte motor kullanarak tırmanmayı gerçekleştirmektir. Aksi takdirde eğer motor yeterli güce sahip değil ise yaptığınız bütün her şey boşa gider ve tekrar baştan başlamak zorunda kalabilirsiniz. Tasarımı gerçekleştirilen tırmanma robotunda yük dağılımına göre kullanılan R30 ve R20 servo motorlara düşen yükler aşağıda hesaplanmıştır. S-Omurgasız tırmanma robotunun yük dağılımına göre R30 ve R20 servo motorlara düşen yükün ağırlık merkezleri Şekil 3.25'te gösterilmiştir.



Şekil 3.25. Servolar İçin Ağırlık Merkezleri

R30 servo motor yük hesabı;

R30 servo motor 7 V ta motor miline 10 mm uzaklıkta 30 kg yük taşıma kapasitesine sahiptir.

$$F = mg * l \quad (3.2)$$

Burada **F**, kuvveti, **mg**, ağırlığı ve **l**, kuvvet kolu uzunluğunu göstermektedir. Denklem 3.2'ye göre R30 taşıma kapasitesi hesabı yapılırsa,

$$F_{R30} = 30 \text{ kg} * 1 \text{ cm} = 30 \text{ kg.cm}$$

R30 servo motor taşıma kapasitesi 30 kg.cm olarak bulunur. Denklem 3.2'ye göre R30 servo motora uygulanan kuvvet hesabı yapılırsa,

$$F_{R30F} = 1,050 \text{ kg} * 19 \text{ cm}$$

$$F_{R30F} = 19,95 \text{ kg.cm}$$

Ağırlık merkezine göre R30 servo motora uygulanan maksimum yük 19,95 kg.cm olarak bulunur. Robot kolu en uzak noktaya uzandığında R30 servo motora uygulanan maksimum yük F_{R30F} denkleminde hesaplanmıştır.

$F_{R30} > F_{R30F}$ Bu verilere göre R30 servo motor yük taşıma kapasitesi R30 servo motura uygulanan maksimum yükten büyük olduğundan dolayı R30 servo motor rahatlıkla tırmanma robotu ağırlığını taşıyabilir.

R20 servo motor yük hesabı;

R20 servo motor 7 V ta motor miline 10 mm uzaklıkta 20 kg yük taşıma kapasitesine sahiptir. Denklem 3.2'ye göre R30 taşıma kapasitesi hesabı yapılırsa,

$$F_{R20} = 20 \text{ kg} * 1 \text{ cm} = 20 \text{ kg.cm}$$

R20 servo motor taşıma kapasitesi 20 kg.cm olarak bulunur. Denklem 3.2'ye göre R20 servo motora uygulanan kuvvet hesabı yapılırsa,

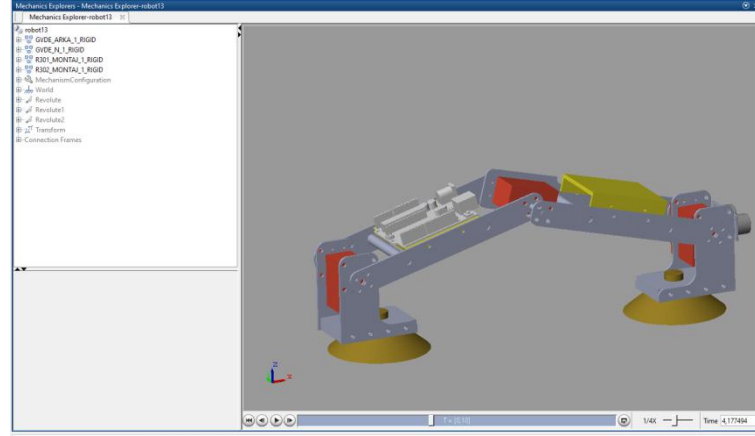
$$F_{R20F} = 0,525 \text{ kg} * 15 \text{ cm}$$

$$F_{R20F} = 7,875 \text{ kg.cm}$$

Ağırlık merkezine göre R20 servo motora uygulanan maksimum yük 7,875 kg.cm olarak bulunur. Robot kolu en uzak noktaya uzandığında R20 servo motora uygulanan maksimum yük F_{R20F} denkleminde hesaplanmıştır. $F_{R20} > F_{R20F}$ bu verilere göre R20 servo motor yük taşıma kapasitesi R20 servo motura uygulanan maksimum yükten büyük olduğundan dolayı R20 servo motor belirtilen pozisyonda uygulanan yükü rahatlıkla taşıyabilir.

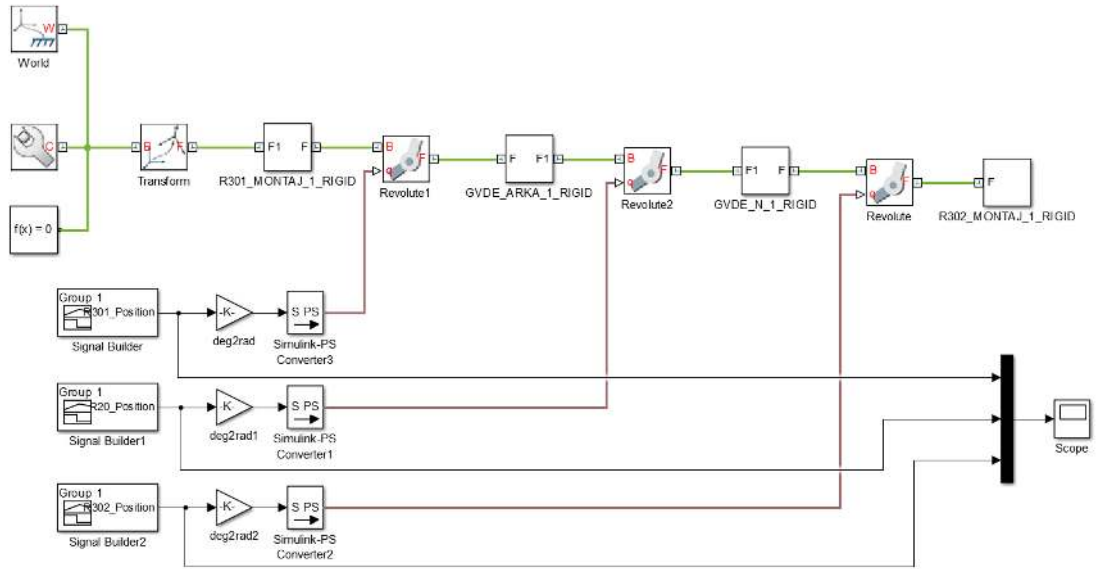
3.2.3. S-Omurgasız Tırmanma Robotunun Simulink/Simmechanics Uygulaması

Tasarımı gerçekleştirilen S-Omurgasız tırmanma robotu imalata geçmeden önce MATLAB ortamında simülasyonu yapılmıştır. Robotun simülasyonunu gerçekleştirmek için Solidworks ortamında çizilen tırmanma robotunun tasarımın simmekanik modeli elde edilmiştir. Simmekanik modeli MATLAB ortamında aktarılmıştır. Simülasyonu yapılan S-Omurgasız robot Şekil 3.26'da gösterilmektedir.



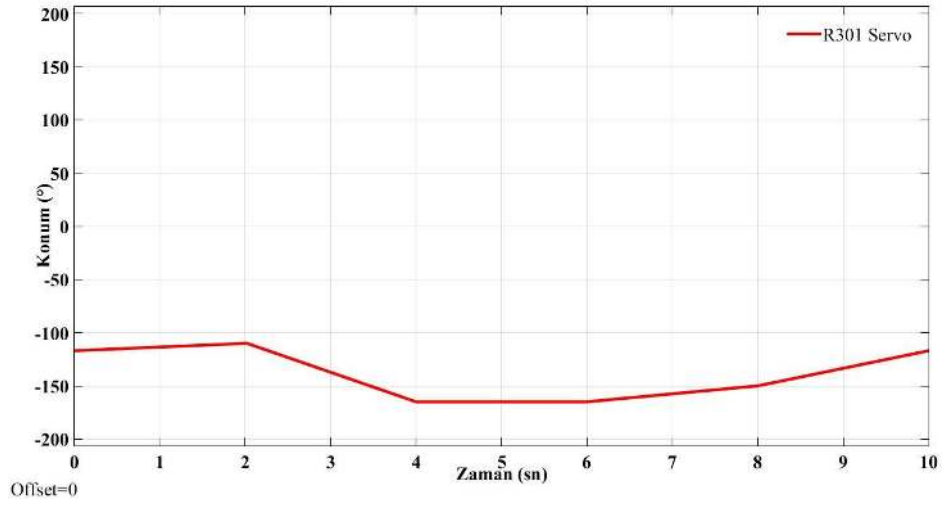
Şekil 3.26. S-Omurgasız Tırmanma Robotu Simulink Simülasyonu

MATLAB ortamına aktarılan tırmanma robotunun simulink diyagramı oluşturulmuştur. Diyagramda 3 serbestlik dereceli robotun her bir eklemine pozisyon bilgileri girilmiştir. Derece olarak girilen pozisyon değerleri radyana dönüştürülerek eklemlere hareket verilmiştir. Robot tırmanma işlemini ardı sıra gelen işlemleri tekrarlayarak tırmanmayı gerçekleştirmektedir. Her bir ekleme uygulanan pozisyonlar mux komutu aracılığıyla scope komutuna aktarılmaktadır. Bütün bu işlemlerin diagramı Şekil 3.27’de gösterilmektedir.



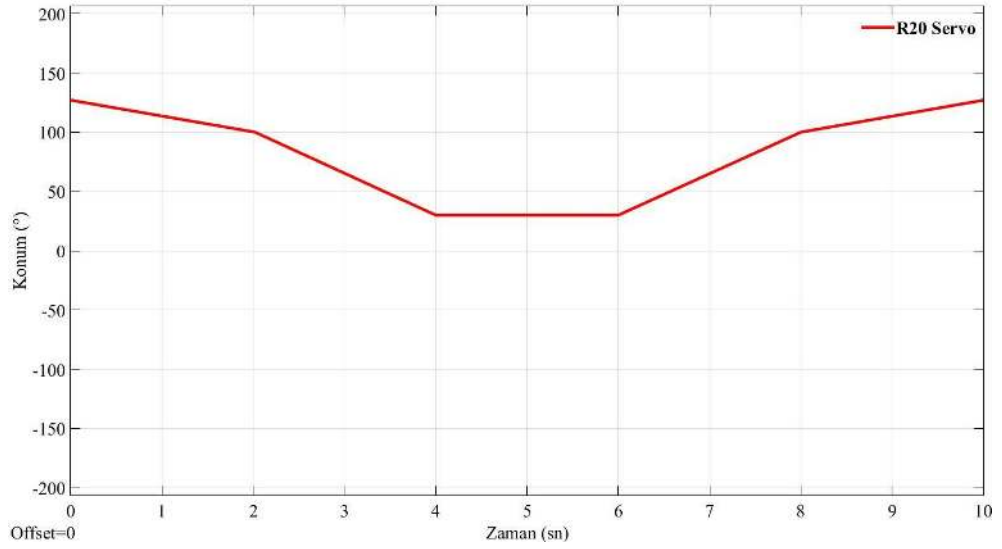
Şekil 3.27. S-Omurgasız Tırmanma Robotu Simulink Diagramı

R301 servo motorunun (tırmanma robotunun arka servo motoru) girişine uygulanan pozisyon değerleri grafiği Şekil 3. 28’de gösterilmektedir.



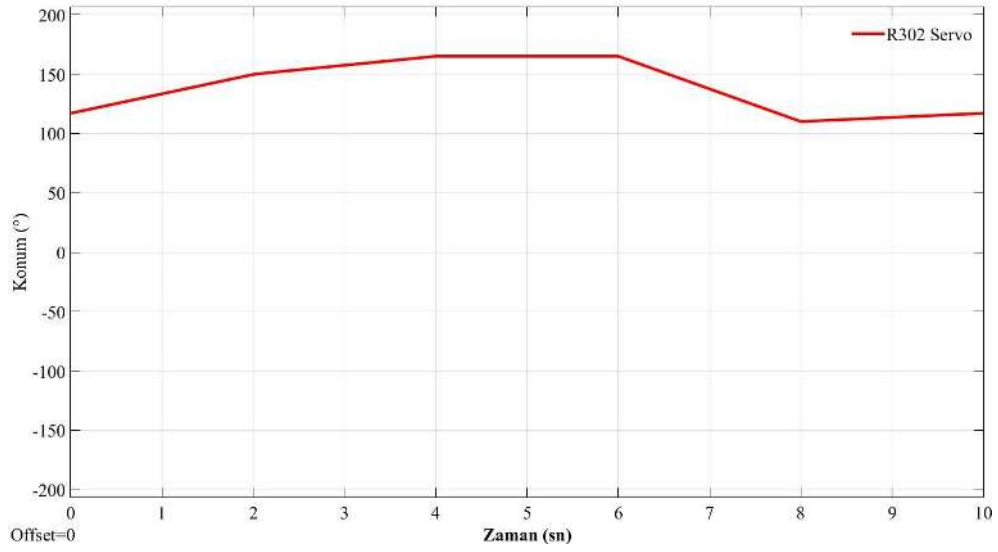
Şekil 3.28. R301 Servo Motor Pozisyonları

R20 servo motorunun (tırmanma robotunun gövde servo motoru) girişine uygulanan pozisyon değerleri grafiği Şekil 3. 29'da gösterilmektedir.



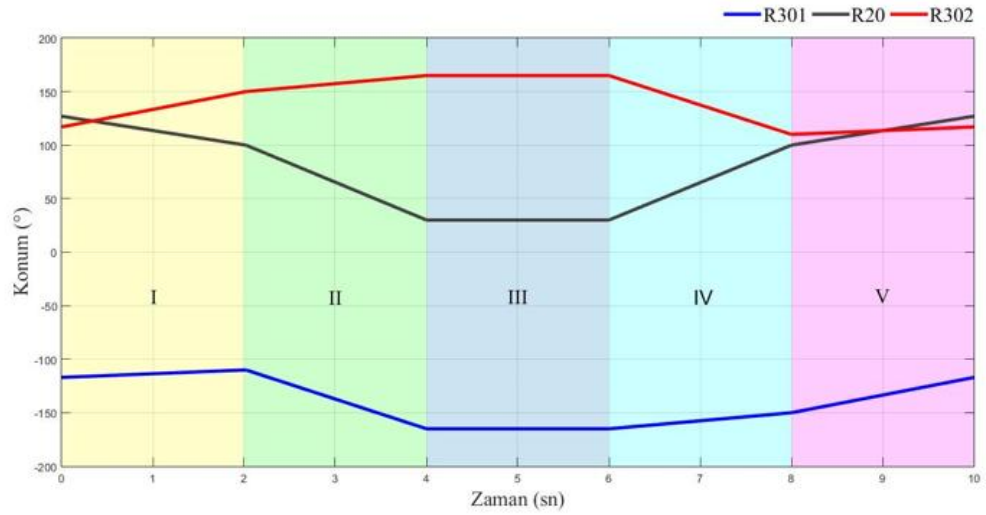
Şekil 3.29. R20 Servo Motor Pozisyonları

R302 servo motorunun (tırmanma robotunun ön servo motoru) girişine uygulanan pozisyon değerleri grafiği Şekil 3. 30'da gösterilmektedir.



Şekil 3.30. R302 Servo Motor Pozisyonları

Tırmanma ve yürüme işlemini gerçekleştirmek için 4 farklı pozisyon değeri uygulanmaktadır. Bu pozisyonlar tekrarlanınca tırmanma veya yürüme işlemi gerçekleşmiş olacaktır. Simulasyonda yapılan hesaplamalarda robot bir adımı 14 saniyede tamamlanacağını göstermektedir. Fakat bu hesaplama vakumlama süresi ve vakumlamadan gelen sensör bilgisi hesaba dahil edilmemiştir. Robotun bütün eklemlerine uygulanan pozisyon değerleri Şekil 3.31’de gösterilmektedir.

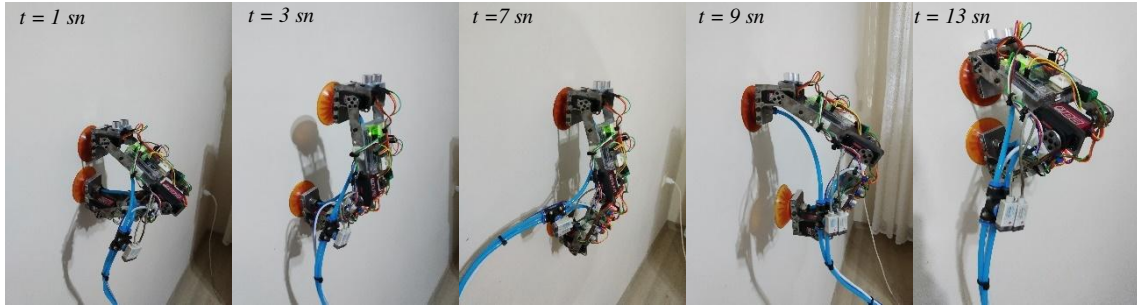


Şekil 3.31. Servo Motorların Pozisyonları

Servo motorların gerçek yüzeyde yürüme ve tırmanma pozisyonlarının matematiksel hesaplamaları tırmanma robotunun hareketinin lineer olacak şekilde hesaplanıp robot programına dahil edilmiştir. Bu hesaplamalar bölüm 5'te program akışı bölümünde yazılımın içerisinde yer almaktadır.

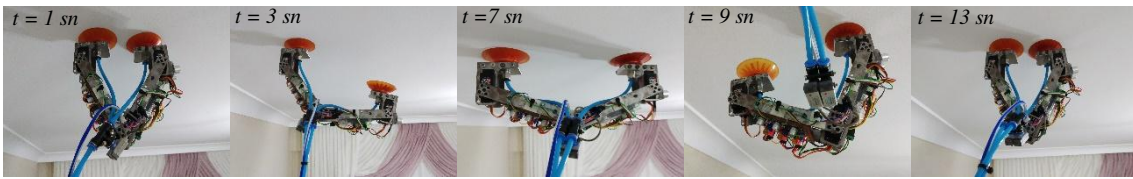
3.2.4. Robotun Çeşitli Tırmanma Alanlarındaki Testi

S-Omurgasız tırmanma robotunu çeşitli alanlarda tırmanma işlemini gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen bu tırmanma işlemlerinde %80 başarı elde edilmiştir. Eksik kalınan nokta ise gerek motorlardan gerekse mekanikten kaynaklı meydana gelen ufak tefek boşluklardan kaynaklanmaktadır. Duvarda gerçekleştirilen tırmanma işlemine ait resimler Şekil 3.32'de gösterilmektedir.



Şekil 3.32. Duvarda Dikey Tırmanma

S-Omurgasız tırmanma robotuyla tavanda tırmanma gerçekleştirilmiştir. Tavanda yüzey dikey duvara göre daha pürüzlü olmasına rağmen kenetlenme işleminde istenilen başarıya ulaşılmıştır. Tavanda yürüme işlemine ait resimler Şekil 3.33'te gösterilmektedir.



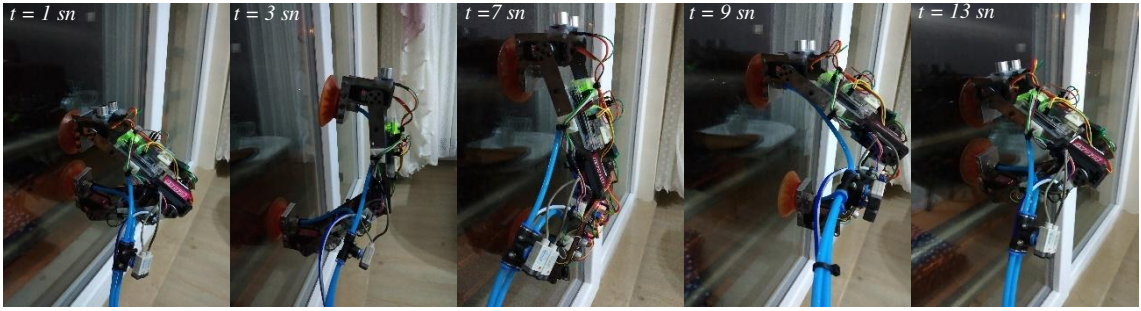
Şekil 3.33. Tavanda Yürüme

Tırmanma robotuyla yapılan testlerden bir diğeri de robotu duvarda yatay tırmandırmaktır. Duvarda yatay tırmanmaya ait resimler Şekil 3.34'te gösterilmektedir.



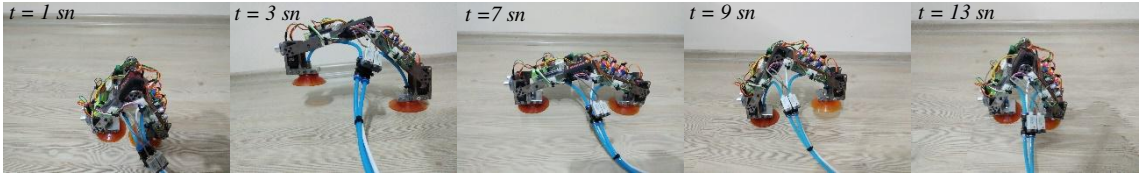
Şekil 3.34. Duvarda Yatay Yürüme

Dikey tırmanmanın gerçekleştirildiği diğer pürüzsüz tırmanma yüzeylerinden biri olan cam yüzeyde tırmanma gerçekleştirilmiştir. Bu yüzeyde de istenilen kenetlenme ve malipülasyon sağlanmıştır. Bu tırmanma işlemine ait resimler Şekil 3.35'te gösterilmektedir.



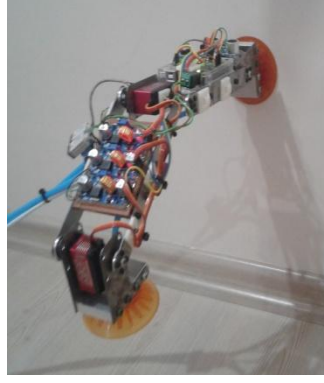
Şekil 3.35. Camda Dikey Tırmanma

Pürüzsüz yüzeylerde gerçekleştirilen tırmanma işlemlerinden sonra robot parkede yürütülmüştür. Robotun parkede yürüme işlemine ait resimler Şekil 3.36'da gösterilmektedir.



Şekil 3.36. Yerde Yürüme

Vakum pedi testinde $F_v=42 \text{ kg.cm}$ kuvvet uygulanmasına rağmen vakum pedi duvardan kopmamıştır. Şimdi de aynı hesabı robot tek vakumla duvara kenetlenip ileriye uzatılarak hesaplanmıştır. Duvara kenetlenme testine ait resim Şekil 3.37'de gösterilmektedir.



Şekil 3.37. Duvarda Vakum Testi

Robot uzatıldığında toplam boy 430 mm'dir.

Robotun ağırlık merkezi $430/2=215$ mm'dir. $215\text{mm} = 21,5\text{cm}$ 'dir.

Robot ağırlığı $1050\text{ gr} = 1,05\text{ kg}$ 'dır.

$$F_{Vr} = 1,05 * 21,5 = 22,475\text{ kg.cm}$$

Tırmanma robotu uzatıldığında vakum pedine uygulanan kuparma kuvveti F_{Vr} 'dir. $F_V > F_{Vr}$ olduğundan vakum pedleri rahatlıkla robotun ağırlığını taşıyabilmektedir.

4. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Yüksek binalar ve devasa yapılardaki yüksek işler için, modüler bir duvar tırmanma robotu geliştirilmiştir. S-Omurgasız robotun ana gövdesi aslında bir koldan oluşmaktadır. Üç serbestlik dereceleri ve çift emme modülleri iki uç yapışkan aletler ve uç efektörler olarak işlev görebilir.

Bu yapı ve eğimli tırmanma modu sayesinde S-Omurgasız;

1. Engellerin üstesinden gelmek için güçlü motorlara ve esnek bir yapıya sahiptir.
2. Duvarlar arasında geçiş yapmak için duvarı algılaması ve aradaki mesafeyi ölçmek için ultrasonik sensör kullanılmıştır.
3. Duvarla arasındaki mesafeyi ölçerek geçiş pozisyonlarını hesaplayabilmektedir.
4. Kullanılan vakum pedinin özellikleri sayesinde ağırlığını rahatlıkla dikey yüzeylerde taşıyabilmektedir.

Robotun serbestlik derecelerine, bir ortak modül ekleyerek veya ölçeklendirilerek istenen kinematik yapıya sahip 5 serbestlik derecesine kolayca genişletilebilir. Aşağı tırmanma ve manipülasyon görevlerine bağlı olarak basitlik için daha az serbestlik derecesi, emme güvenliği analizi ve yapışma testleri, vakum pedlerinin özelliği tırmanmanın emniyetini ve güvenilirliğini sağlayabileceğini göstermiştir. Robotla bir dizi zorlu ve kapsamlı deney üstün mobilite ve manipülasyon fonksiyonunu tam olarak göstermiştir.

Sonuçlar, S-Omurgasız duvara tırmanan robotların geliştirilmesinde önemli bir ilerlemeyi temsil ettiğini göstermektedir. Diğer tırmanma yüzeyleri ile başa çıkmak için S-Omurgasız modifiye etmek mümkündür. Örneğin, vantuz manyetik pedlerle değiştirilirse, robot çelik yüzeylere tırmanabilir. Gelecekte, daha fazla ultrasonik sensörler veya jiroskoplar yapışma yüzeylerine göre oryantasyonlarını ayarlamak için emme modüllerinin üzerine monte edilebilir. Engelleri ve bilinmeyen ortamları algılamak için kameralar veya lazer menzili kullanılabilir. Robota bu tür özellikler eklendikten sonra robot keşif, hasar tespiti ve daha benzeri işlerde kullanılabilir.

KAYNAKLAR

- [1] Ashish dutta, Mikell P Groover, Mitchel weiss, Nicholas G Odrey and Roger N Nagel, “Industrial robotics technology, programming and applications” published by Mcgraw hill education (india) private limited at the year 2013, pp. 1839-1869.
- [2] V. Loc, I. Koo, T. Trong, Y. Song, H. Kim, H. Moon, and H. Choi, “Sensing and control of quadruped walking and climbing robot over complex environment,” in Proc. IEEE/RSJ Int. Conf. Intell. Robots Syst., 2008, pp. 3884–3889.
- [3] M. Minor, H. Dulimarta, G. Danghi, R. Mukherjee, R. Lal Tummala, and D. Aslam, “Design, implementation, and evaluation of an under-actuated miniature biped climbing robot,” in Proc. IEEE/RSJ Int. Conf. Intell. Robots Syst., 2000, pp. 1999–2005.
- [4] T. Miyake, H. Ishihara, and T. Tomino, “Vacuum-based wet adhesion system for wall climbing robots—Lubricating action and seal action by the liquid,” in Proc. IEEE Int. Conf. Robot. Biomimet., 2009, pp. 1824– 1829.
- [5] J. Shang, T. Sattar, S. Chen, and B. Bridge, “Design of a climbing robot for inspecting aircraft wings and fuselage,” J. Ind. Robot, vol. 34, no. 6, pp. 495–502, 2007.
- [6] R. Lal Tummala, R. Mukherjee, N. Xi, D. Aslam. H. Dulimarta, J. Xiao, M. Minor, and G. Dangi, “Climbing the walls—Presenting two underatuated kinematic designs for miniature climbing robots,” IEEE Robot. Autom. Mag., vol. 9, no. 4, pp. 10–19, May 2002.
- [7] S. Fish, UGV's in future combat systems, Proceedings of the SPIE-unmanned Ground Vehicle Technology VI, Orlando, USA, 2004, 288–291.
- [8] G. Peters, D. Pagano, D.K. Liu, and K. Waldron, “A prototype climbing robot for inspection of complex ferrous structures,” in Proc. CLAWAR2010: 13th Int. Conf. Climbing Walking Robots Support Technol. Mobile Mach., 2010, pp. 144–156.
- [9] W. Sheng, J. Gu, and Y. Shen, “Permanent magnetic system design for the wall-climbing robot,” in Proc. IEEE Int. Conf. Mechatronics Autom., 2005, pp. 2078–2083.
- [10] M. Murphy and M. Sitti, “Waalbot: An agile small-scale wall-climbing robot utilizing dry elastomer adhesives,” IEEE/ASME Trans. Mechatron- ics, vol. 12, no. 3, pp. 330–338, Jun. 2007.

- [11] Taewon Seo and Metin Sitti, “Tank-like module-based climbing robot using passive compliant joints,” *IEEE/ASME Trans. Mechatronics*, to be published.
- [12] J. Xiao, A. Sadegh, M. Elliott, A. Calle, A. Persad, and H. Chiu, “Design of mobile robots with wall climbing capability,” in *Proc. IEEE/ASME Int. Conf. Adv. Intell. Mechatronics*, 2005, pp. 438–443.
- [13] Y. Song, C. Lee, I. Koo, D. Tran, H. Moon, and H. Choi, “Development of wall climbing robotic system for inspection purpose,” in *Proc. IEEE/RSJ Int. Conf. Intell. Robots Syst.*, 2008, pp. 1990–1995.
- [14] H. Prahlaḍ, R. Pelrine, S. Stanford, J. Marlow, and R. Kornbluh, “Elec-troadhesive robots—Wall climbing robots enabled by a novel, robust, and electrically controllable adhesion technology,” in *Proc. IEEE Int. Conf. Robot. Autom.*, 2008, pp. 3028–3033.
- [15] T. Bretl, S. Rock, and J.-C. Latombe, “Motion planning for a three-limbed climbing robot in vertical natural terrain,” in *Proc. IEEE Int. Conf. Robot. Autom.*, 2003, pp. 2947–2953.
- [16] W. Provancher, S. Jensen-Segal, and M. Fehlbeg, “ROCR: An energyefficient dynamic wall-climbing robot,” *IEEE/ASME Trans. Mechatronics*, vol. 16, no. 5, pp. 897–906, Oct. 2011.
- [17] S. Kim, M. Spenko, S. Trujillo, B. Heyneman, D. Santos, and M. R. Cutkosky, “Smooth vertical surface climbing with directional adhesion,” *IEEE Trans. Robot.*, vol. 24, no. 1, pp. 65–74, Feb. 2008.
- [18] M. Murphy, C. Kute, Y. Menguc, and M. Sitti, “Waalbot II: Adhesion recovery and improved performance of a climbing robot using fibrillar adhesives,” *Int. J. Robot. Res.*, vol. 30, pp. 118–133, 2011.
- [19] M. Silva, J. Machado, and J. Tar, “A survey of technologies for climbing robots adhesion to surfaces,” in *Proc. IEEE Int. Conf. Comput. Cybern.*, 2008, pp. 127–132.
- [20] B. Bahr, Y. Li, and M. Najafi, “Design and suction cup analysis of a wall climbing robot,” *Comput. Electrical Eng.*, vol. 22, no. 3, pp. 193–209, 1996.
- [21] J. Liu, K. Tanaka, L. Bao, and I. Yamaura, “Analytical modelling of suction cups used for window-cleaning robots,” *Vacuum*, vol. 80, no. 6, pp. 593–598, 2006.

- [22] K. A. Daltorio, T. C. Witushynsky, G. D. Wile, L. R. Palmer, A. Malek, and M. R. Ahmad, "A body joint improves vertical to horizontal transitions of a wall-climbing robot," in *Proc. IEEE Int. Conf. Robot. Autom.*, 2008, pp. 3046–3051.
- [23] D. Longo and G. Muscato, "The alicia 3 climbing robot: A three-module robot for automatic wall inspection," *IEEE Robot. Autom. Mag.*, vol. 13, no. 1, pp. 42–50, Mar. 2006.
- [24] B. Luk, D. Cooke, S. Galt, A. Collie, and S. Chen, "Intelligent legged climbing service robot for remote inspection and maintenance in hazardous environments," *Robot. Auton. Syst.*, vol. 53, pp. 142–152, 2005.
- [25] A. Nagakubo and S. Hiroseand, "Walking and running of the quadruped wall-climbing robot," in *Proc. IEEE Int. Conf. Robot. Autom.*, 1994, pp. 1005–1012.
- [26] C. Balaguer, A. Gimenez, A. J. Huete, A. M. Sabatini, M. Topping, and G. Bolmsjo, "The mats robot: Service climbing robot for personal as-sistance," *IEEE Robot. Autom. Mag.*, vol. 13, no. 1, pp. 51–58, Mar. 2006.
- [27] S. Krosuri and M. Minor, "A multifunctional hybrid hip joint for improved adaptability in miniature climbing robots," in *Proc. IEEE Int. Conf. Robot. Autom.*, 2003, pp. 312–317.
- [28] H. Chen, W. Sheng, N. Xi, and J. Tan, "Motion control of a micro biped robot for nondestructive structure inspection," in *Proc. IEEE Int. Conf. Robot. Autom.*, 2005, pp. 480–485.
- [29] <http://www.frontline.in/static/html/fl2806/stories/20110325280609800.htm> (Eriřim Tarihi: 15.11.2019)
- [30] <https://www.treehugger.com/clean-technology/clever-but-creepy-tree-climbing-robot-mimics-inchworms-video.html> (Eriřim Tarihi: 15.11.2019)
- [31] <https://kodlab.seas.upenn.edu/past-work/rise/> (Eriřim Tarihi: 15.11.2019)
- [32] <http://www.roboticsspace.com/disneys-new-wall-climbing-robot-vertigo/> (Eriřim Tarihi: 15.11.2019)
- [33] <http://shb.skku.edu/irms/research/previous/wallclimbing.jsp> (Eriřim Tarihi: 15.11.2019)

- [34] http://www.malab.se.ritsumei.ac.jp/top/robot/wall_e.php Eriřim Tarihi: (15.11.2019)
- [35] <https://pdfs.semanticscholar.org/85ab/2ccd3fddceb49a5939623ba41eb5cf3ca226.pdf> (Eriřim Tarihi: 15.11.2019)
- [36] <http://shb.skku.edu/irms/research/previous/wallclimbing.jsp> (Eriřim Tarihi: 15.11.2019)
- [37] <https://robotik.dfki-bremen.de/en/research/robot-systems/magnet-crawler-ii.html> (Eriřim Tarihi: 20.11.2019)
- [38] <https://tr.pinterest.com/pin/835417799605969068> (Eriřim Tarihi: 15.11.2019)
- [39] S. Hirose, “Biologically Inspired Robots (Snake-Like Locomotor and Manipulator). London, U.K.: Oxford Univ. Press, 1993.
- [40] W. Wang, Y. Wang, K. Wang, H. Zhang, and J. Zhang, “Analysis of the kinematics of module climbing caterpillar robots,” in Proc. IEEE/ASME Int. Conf. Adv. Intell. Mechatronics, 2008, pp. 84–89.

EKLER

Program Akışı:

```
#include <Servo.h>

// Tanımlamalar

int  tek=1;  //

int  i=0;    // adım 1 R20 açı değeri

float a=47;  // adım 2 R301 açı değeri

float b=0;   // adım 2 R20 açı değeri

float d=60;  // adım 2 R301 açı değeri

float c=75;  // adım 3 R20 açı değeri

float e=0;   // adım 3 R301 açı değeri

float f=70;  // adım 3 R302 açı değeri

float g=14;  // adım 4 R301 açı değeri

float h=100; // adım 4 R302 açı değeri

float r=64;  // adım 4 R20 açı değeri

float k=20;  // adım 5 R20 açı değeri

float m=90;  // adım 5 R302 açı değeri

float n=60;  // adım 5 R301 açı değeri

int  Adim =2;

// Vakum Ok Bilgileri

const int VakumOnOk = 2;    // ön vakum ok bilgi adresi
```



```

const int VakumArkaOk = 3;    // arka vakum ok bilgi adresi

// Vakum birakma

int VakumOnBirak=4;          // ön vakum birakma adresi

int VakumArkaBirak=5;        // arka vakum birakma adresi

// Vakum motor

int VakumOn=6;                // ön vakum motor adresi

int VakumArka=7;              // arka vakum motor adresi

// Ultrasonik sensor

const int trigPin = 11;      // arka vakum motor adresi

const int echoPin = 12;      // arka vakum motor adresi

long duration;

int distance;

// Servo Motorlar

Servo myservoR20;            // gövde motor adresi  8

Servo myservoR301;           // arka motor adresi  9

Servo myservoR302;           // ön motor adresi   10

void setup() {

    Adim=2;

    pinMode(trigPin, OUTPUT);

    pinMode(echoPin, INPUT);

    Serial.begin(9600);

    pinMode(VakumOnOk,INPUT);

    pinMode(VakumArkaOk,INPUT);

    pinMode(4,OUTPUT);

    pinMode(5,OUTPUT);

    pinMode(6,OUTPUT);

```

```

pinMode(7,OUTPUT);

myservoR20.attach(8);

myservoR301.attach(9);

myservoR302.attach(10);

myservoR20.write(0);

myservoR301.write(47);

myservoR302.write(60);

delay(1000);

digitalWrite(VakumArka,1);

delay(5000);
}

void loop()
{
    if( Adim==2)
        {Adim2();}

    if( Adim==3)
        {Adim3();}

    if( Adim==4)
        {Adim4();}

    if( Adim==5)
        {Adim5();}

    distance = calculateDistance();

    Serial.print(distance);

    Serial.print("*");

}

void Adim2()

```

```

{
    // R302 , R302 ve R20 motorlarının eş zamanlı olarak hareket etmesini sağlıyor.

    b=b+(1);    //R20 motoru 0 den 75 a çıkacak.

    a=a-(0.62666); //R301 motoru 47 den 0 a düşecek.

    d=d+(0.13334); //R302 motoru 60 den 70 a çıkacak.

    myservoR20.write(b);

    myservoR301.write(a);

    myservoR302.write(d);

    Serial.println("Adim2 Calisiyor");    //Arka vakum tutarken ileri adım atacak

    Serial.println(b);

    Serial.println(a);

    Serial.println(d);

    delay(30);

    if(b>=75)

    {

        delay(100);

    //      b=0;

        Adim=3;

    }

}

void Adim3()

{

    // R302 , R302 ve R20 motorlarının eş zamanlı olarak hareket etmesini sağlıyor.

    c=c-(0.3466);    //R20 motoru 75 ten 64 e düşecek.

    e=e+(0.4866);    //R301 motoru 0 dan 14 e çıkacak.

    f=f+(1);    //R302 motoru 70 den 100 e çıkacak.

```

```

myservoR20.write(c);

myservoR301.write(e);

myservoR302.write(f);

delay(30);

Serial.println(c);

Serial.println(e);

Serial.println(f);

        if(f>=100)           //Arka vakum tutarken ön kısmı aşağıya indirip ön kısmın
vakumunluyacak.

    {

        digitalWrite(VakumOnBirak,0);

        delay(100);

        digitalWrite(VakumOn,1);

        delay(3000);

        digitalWrite(VakumArkaBirak,1);

        delay(1000);

        digitalWrite(VakumArka,0);

        delay(2000);

        Adim=4;

    }

}

void Adim4()

{

    // R302 , R302 ve R20 motorlarının eş zamanlı olarak hareket etmesini sağlıyor.

    r=r-(0.95652);           //R20 motoru 64 den 20 e düşecek.

    g=g+(1);                 //R301 motoru 14 den 60 a çıkacak.

```

```

h=h-(0.21739);      //R302 motoru 100 den 90 a düşecek.

myservoR20.write(r);

myservoR301.write(g);

myservoR302.write(h);

delay(30);

Serial.println("Adim4 Calisiyor");           //Ön vakum tutarken arka kısmı
biraz yukarı kaldıracak.

Serial.println(r);

Serial.println(g);

Serial.println(h);

    if(g>=30)
    {
        delay(100);
        Adim=5;
    }
}

void Adim5()
{
    // R302 , R302 ve R20 motorlarının eş zamanlı olarak hareket etmesini sağlıyor.

    k=k-(1);      // R20 motoru 20 den 0 a dusecek

    n=n-(0.65);    // R301 motoru 60 dan 47 ye dusecek

    m=m-(1.5);     // R302 motoru 90 dan 60 a düşecek

    //Arka tarafı başlangıç konumuna getirecek ve arka vakumu açıcak. Daha sonra
    döngüyü başa döndürecek.

    myservoR20.write(k);

    myservoR301.write(n);

```

```

myservoR302.write(m);

delay(30);

Serial.println("Adim5 Calisiyor");

Serial.println(k);

Serial.println(n);

Serial.println(m);

delay(30);

    if(k<=0)
    {
        digitalWrite(VakumArkaBirak,0);

        delay(100);

        digitalWrite(VakumArka,1);

        delay(3000);

        digitalWrite(VakumOnBirak,1);

        delay(1000);

        digitalWrite(VakumOn,0);

        delay(2000);

        Adim=2;

        i=0;

        a=47;

        b=0;

        c=75;

        d=60;
        //Döngünün başa dönebilmesi için bütün
değerleri ilk değerlere eşitliyor.

        e=0;

        f=70;

```

```

        g=14;

        h=100;

        r=64;

        k=20;

        m=90;

        n=60;

    }

}

int calculateDistance(){
digitalWrite(trigPin, LOW);
delayMicroseconds(2);
digitalWrite(trigPin, HIGH);
delayMicroseconds(10);
digitalWrite(trigPin, LOW);
duration = pulseIn(echoPin, HIGH);
distance= duration*0.034/2;
return distance;
}

```

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Doğum Tarihi	01/02/1992 Güroymak
Adres	Çalı mah. Yaylacık yolu caddesi no:11 Arkat Çalı Konutları A blok daire 5 Nilüfer / BURSA
Telefon	(+90) 5395931610
E-mail	ridvanuslug@gmail.com

EĞİTİM BİLGİLERİ

11/09/1999-18/06/2007	İlkokul ve Ortaokul YİBO (Yatılı İlköğretim Bölge Okulu), Güroymak / BİTLİS
13/09/2007-16/06/2011	Lisesi Bitlis Anadolu lisesi, BİTLİS
13/09/20011-16/06/2015	Mekatronik Mühendisi Fırat Üniversitesi, Elâzığ

İŞ TECRÜBESİ

01/07/2015-Devam ediyor	Proje ve Servis Mühendisi Robotmer Robotlu Otomasyon Sistemleri, BURSA
-------------------------	---

