



**DEMİRYOLLARI KATENER SİSTEMLERİNİN KONTROLÜ VE ARIZA
TESPİTİ İÇİN GÖRÜNTÜ İŞLEME TEMELLİ ROBOT TASARIMI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Uğur AÇIKGÖZ

Danışman

Dr. Öğr. Üyesi Mustafa ŞAHİN

ELEKTRİK ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Mayıs 2023

AFYON KOCATEPE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**DEMİRYOLLARI KATENER SİSTEMLERİNİN KONTROLÜ VE
ARIZA TESPİTİ İÇİN GÖRÜNTÜ İŞLEME TEMELLİ ROBOT
TASARIMI**

Uğur AÇIKGÖZ

Danışman

Dr. Öğr. Üyesi Mustafa ŞAHİN

ELEKTRİK ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Mayıs 2023

ÖZET
Yüksek Lisans Tezi

**DEMİRYOLLARI KATENER SİSTEMLERİNİN KONTROLÜ VE ARIZA TESPİTİ
İÇİN GÖRÜNTÜ İŞLEME TEMELLİ ROBOT TASARIMI**

Uğur AÇIKGÖZ
Afyon Kocatepe Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Elektrik Elektronik Mühendisliği
Anabilim Dalı

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Mustafa ŞAHİN

Bu araştırmada, katener sistemlerinin kontrolü için robot tasarımı yapılmıştır. Mevcut durumda katener sistemlerinin bakımı tren trafiği kesilerek daha çok gece bakımları şeklinde yapılmaktadır. Bu durum hem kısa zaman aralıklarında çalışma hem de anlık müdahale yönünden dezavantajdır. Tasarlanan robot sayesinde sürekli kontrol işlemleri yapılabilecektir. Robot kullanılacak alana yönelik küçük değişikliklerle hattın karakteristiğine uygun hale getirilerek kullanımı kolay, düşük maliyetli ve geliştirilebilir şekilde dizayn edilmiştir. Robot dış ortamda çalışacağından tasarım aşamasında rüzgâr ve sıcaklık faktörleri göz önünde bulundurulmalıdır. Geliştirilmesi durumunda görüntü almanın yanı sıra hat temizleme, hatta takılı kalan yabancı cisimlerin uzaklaştırılmasında da kullanılabilecektir.

2023, x + 86 sayfa

Anahtar Kelimeler: Katener muayene, Robot tasarım, Tek telde robot, Topraklama telinde robot.

ABSTRACT

M.Sc. Thesis

IMAGE PROCESSING BASED ROBOT DESIGN FOR CONTROL AND TROUBLE DETECTION OF RAILWAYS CATHENER SYSTEMS

Uğur AÇIKGÖZ

Afyon Kocatepe University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Electrical Electronic Engineering

Supervisor: Asst. Prof. Mustafa ŞAHİN

In this research, robot design was made for the control of catenary systems. In the current situation, the maintenance of catenary systems is done mostly in the form of night maintenance by cutting off the train traffic. This is a disadvantage in terms of both working in short time intervals and instant intervention. Thanks to the designed robot, continuous control operations will be possible. The robot has been designed in a way that is easy to use, low cost and can be developed by adapting it to the characteristics of the line with small changes for the area to be used. Since it will work outdoors, attention should be paid to its wind and temperature resistance. If it is developed, it can be used for line cleaning and even for removing foreign objects stuck on the line, well as taking images.

2023, x + 86 pages

Keywords: Catenary control, Robot designs, Robot in one wire, Robot in ground wire.

TEŞEKKÜR

Bu araştırmanın konusu, çalışmaların yönlendirilmesi, sonuçların değerlendirilmesi ve yazımı aşamasında yapmış olduğu büyük katkılarından dolayı tez danışmanım Sayın Dr. Öğr. Üyesi Mustafa ŞAHİN'e, araştırma ve yazım süresince yardımlarını esirgemeyen Sayın Prof. Dr. Yüksel OĞUZ'a her konuda öneri ve eleştirileriyle yardımlarını gördüğüm hocalarıma ve arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Bu araştırma boyunca maddi ve manevi desteklerinden dolayı aileme teşekkür ederim.

Uğur AÇIKGÖZ
Afyonkarahisar 2023

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

	Sayfa
ÖZET	i
ABSTRACT	iii
TEŞEKKÜR	iv
İÇİNDEKİLER DİZİNİ	v
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	viii
ŞEKİLLER DİZİNİ	ix
ÇİZELGELER DİZİNİ	xi
1. GİRİŞ	1
2. LİTERATÜR BİLGİLERİ	4
2.1 Katener Sistemlerine Genel Bakış	4
2.2 Katener Sistemlerinin Bileşenleri.....	5
2.3 Türkiye’deki Katener Sistemleri	9
2.3.1 Metro Sistemleri, Hafif Raylı Sistemlerdeki Katener Sistemleri.....	9
2.3.2 TCDD İşletmesi Katener Sistemleri.....	10
2.3.2.1 Konvansiyonel Hatlardaki Katener Sistemleri	11
2.3.2.2 Yüksek Hızlı Tren Hatlarındaki Katener Sistemleri.....	11
2.4 Katener Sistemlerinin Bakımları	12
2.4.1 Önleyici Bakım	13
2.4.2 Düzeltici Bakım	14
2.4.3 Koruyucu Bakım	14
2.4.4 Bakım Süresine Göre Gruplandırma	14
2.4.5 Ekipman çeşitleri yönünden bakımlar	16
2.4.5.1 Betonarme Direklerin Bakımı	16
2.4.5.2 Metalik Direklerin Bakımı	16
2.4.5.3 Direk Temelleri ve Bakımı.....	16
2.4.5.4 Konsol Hoban Sistemi Bakımı	17
2.4.5.5 Dar Gabarili Yerler ve Şezlerin Bakımı.....	17
2.4.5.6 İzolatörlerin Bakımı	18
2.4.5.7 İzolatörün Temizlenmesi:.....	18
2.4.5.8 İzolatör Bakımı	18
2.4.5.9 Portör Teli Bakımı	18
2.4.5.10 Seyir Telinin Bakımı.....	19

2.4.5.11 Pandüllerin Bakımı	19
2.4.5.12 Besleme Bağlantılarının Bakımı.....	20
2.4.5.13 Makas Kateneri Bakım ve Ayarı	20
2.5 Dış Etkenlerden Kaynaklanan Arızalar	21
2.6 Katener Sistemlerinin Kontrol Metodları	21
2.7 Katener sistemlerinin kontrol Yöntemleri	22
2.7.1 Gözle Muayene	22
2.7.2 Ekipman Kullanılarak Yapılan Muayene	25
2.7.3 Alternatif Kontrol Sistemleri	26
2.8 TCDD Harici Diğer İşletmelerde Yüksek Gerilim hatları Bakım Yöntemleri	27
2.9 Görüntü İşleme İşlemi:	29
2.9.1 Görüntü Türleri	30
2.9.1.1 Optik Görüntü.....	31
2.9.1.2 Analog Görüntü	31
2.9.1.3 Sayısal Görüntü	31
2.9.1.4 Gri Görüntü	32
2.9.1.5 İkili (Binary) Görüntü.....	32
2.9.2 Görüntü İşlemenin Kullanıldığı Alanlar.....	32
3. MATERYAL ve METOT	34
3.1 Malzeme ve Ekipman Teknik Özellikler	34
3.1.1 Mikroişlem: Arduino Mega 2560 ve Teknik Özellikleri.....	34
3.1.1.1 Güç.....	37
3.1.1.2 Pin ve Giriş Çıkışlar.....	37
3.1.1.3 USB Aşırı Akım Koruması	39
3.1.2 Arduinonun Bileşenleri	40
3.1.3 Üretimde Kullanılan Diğer Malzemeler	41
3.1.3.1 Servo Motorlar.....	41
3.1.3.2 Kızak ve Sonsuz Vidalar	42
3.2 Çizim ve uygulama aşamaları	43
3.3 Robot Kodlama.....	46
4. BULGULAR.....	73
4.1 Robotun İlerleyişi	73
4.2 Robotun Engel Aşma Süresi	73
4.3 Malzeme Seçimi	74

4.4 Robot İlerleyişine Etki Eden Diğer Hususlar	76
5. TARTIŞMA ve SONUÇ	79
6. KAYNAKLAR	82
ÖZGEÇMİŞ.....	Hata! Yer işareti tanımlanmamış.



SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler

AC	Alternatif Akım
DC	Doğru Akım
Hz	Hertz
Hz	Hertz
km	Kilometre
kV	Kilovolt
V	Volt
W	Watt
Ah	Ampersaat

Kısaltmalar

EPRI	Elektrik Enerjisi Araştırma Enstitüsü
TCDD	Türkiye Cumhuriyeti Devlet Demiryolları
TEİAŞ	Türkiye Elektrik İşletmeleri Anonim Şirketi
UIC	Uluslararası Demiryolu Birliği
UV	Ultra Viole
YHT	Yüksek Hızlı Tren

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 2.1 Katener sistemi bileşenleri	6
Şekil 2.2 Direk, lente ve ankraj temelleri.....	6
Şekil 2.3 Şerzler.....	7
Şekil 2.4 Konsol-hoban bileşenleri.....	7
Şekil 2.5 Otomatik gergi tertibatları	8
Şekil 2.6 Metro hatlarında örnek bir transformatör merkezi açık hat şeması	10
Şekil 2.7 TEİAŞ Çalışmalarından örnek.....	28
Şekil 2.8 TEİAŞ Helikopter ile yüksek gerilim hatlarının temizlenmesi	29
Şekil 2.9 Temel görüntü işleme blok diyagramı	30
Şekil 2.10 Görüntü türleri	31
Şekil 2.11 Sayısal görüntü oluşum aşamaları.....	31
Şekil 2.12 Örnek ikili (Binary) görüntü.....	32
Şekil 2.13 Katener sistemlerinden alınan görüntü örnekleri	33
Şekil 3. 1 Arduino mega kartı ön görünüşü.	34
Şekil 3. 2 Arduino mega kartı arka görünüşü.....	35
Şekil 3. 3 Arduino mega 2560 pinleri (Altuntaş 2016).....	36
Şekil 3. 4 Servo motor (İnt. Kyn. 5).	41
Şekil 3. 5 Sonsuz vida (İnt. Kyn.6).....	42
Şekil 3. 6 Kızaklar (İnt. Kay. 7) (11.02.2023).	42
Şekil 3. 7 Mini CNC doğrusal klavuz ray (İnt. Kyn. 8).....	43
Şekil 3. 8 Kızılötesi bariyer sensörü (İnt. Kyn. 9).....	43
Şekil 3. 9 Robotun önden görünümü.	44
Şekil 3. 10 Enerji temini için kullanılan güneş paneli.	44
Şekil 3. 11 Topraklama telini sabit tutan bağlantı malzemesi (engel) ve robot montajı.	45
Şekil 3. 12 Katener sistemlerinde örnek topraklama tutucuları (engel).	45
Şekil 3. 13 Robot çenelerinin açılması	46
Şekil 3. 14 Robotun tele tutturulması için kodlama şematığı, çene kapatma	47
Şekil 3. 15 Robotun çalışması akış diyagramı.	48
Şekil 3. 16 Robotun tele yerleştirilmiş halinin sketchup çizimi.	49
Şekil 3. 17 Robotun tele yerleştirilmesi öncesi tüm çeneler açık iken görünümü.	49
Şekil 3. 18 Katener sistem toprak iletkeni üzerine robotun yerleştirilme işleme ait görüntü.	50

Şekil 3. 19	Arduino set üzerinde butonun gösterimi.	50
Şekil 3. 20	Tele robotun yerleştirilmesi, çeneler kapalı.....	51
Şekil 3. 21	Robotun görüntü alma işlemi için geri gelmesi.	57
Şekil 3. 22	Robotun 1. çenesinin açılması ve engeli aşma hareketi.	59
Şekil 3. 23	Robotun engele yaklaşımı ve ilk çenenin açılmaya başlaması.	60
Şekil 3. 24	Dur komutunu veren switch.....	60
Şekil 3. 25	Robotun 1. çenesinin açılması ve engeli aşma hareketi.	61
Şekil 3. 26	Çenelerin açılımının tamamlandığını bildiren kızılötesi sensör.	63
Şekil 3. 27	İlk bölümün engeli aşması.	64
Şekil 3. 28	Robotun tüm çeneleri kapalı.	64
Şekil 3. 29	Robotun 1. ve 3.çenesi kapalı, 2. çene (B Grubu) açılma anı.....	66
Şekil 3. 30	Robotun 1. çenesi kapalı, 2. çene (B Grubu) tamamen açık.	66
Şekil 3. 31	Robotun 1. ve 3. çeneleri kapalı, 2. çene tamamen açık.	67
Şekil 3. 32	Engelden 2. çenenin geçmesi.	67
Şekil 3. 33	Robotun 2. çenesinin telden geçmesi.	68
Şekil 3. 34	A ve B grubu çene kapalı, C grubu çene açılırken.....	69
Şekil 3. 35	C Grubu 3. çenenin açılması.....	70
Şekil 3. 36	Üçüncü bölümün engeli geçişi.....	71
Şekil 4.1	Robotun batarya grubu	74
Şekil 4.2	Robotun güneş paneli	75
Şekil 4.3	Üretim aşamalarına ait resimler	76
Şekil 4.4	Robotun düz ilerleyişinde üst tekerlekler en üstte boştaadır.....	76
Şekil 4.5	Birinci grup (a) servo motorun sketchup çizimi, (b) bir çeneye ait servo motorlar.....	77
Şekil 4.6	Üçlü servo grubunun birlikte görünümü	78
Şekil 5.1	Değişik robot tasarımları	79

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 2. 1 TCDD Hat dağılımı (İnt. Kyn. 1).....	11
---	----



1. GİRİŞ

Bir sistemin doğru ve belirlenen eşik değerler arasında çalışması için belirli zaman aralıklarında düzenli bakımlarının yapılması gerekmektedir. Bakım çalışmalarının bir iş takvimine göre düzenli yapılması ile o sistemin ayakta kalması sağlanabilir. Bakımlarının sistematiği içinde kontrol ve yapılacak işlemler bir plan dâhilinde olmalıdır. Bu robot tasarımında hedeflenen demiryolları katener sistemlerinin tren trafiğini kesintiye uğratmadan, emniyetli, verimli çalışmasının kontrolü için gerekli bakım süreçlerini doğru yapılmasıdır.

Mevcut haliyle demiryolları katener sistemlerinin bakım işleri, tren trafiği olduğu zaman aralıklarında hat kenarından göz ile muayene yöntemi ile veyahut tren işletme saatleri dışında (genellikle gece) demiryolu üzerinden ilerleyen araçlarla veya ekipmanlarla yapılmaktadır. Bu projede tasarımı yapılan tek telde yürüyen robot sayesinde kesintisiz bir şekilde katener sistem kontrolleri yapılabilecektir. Bu ise bakım hizmetlerinin yerine getirilmesinde zamandan kazanç sağlayacaktır. Pratik, hızlı, güvenilir bir veri aktarımı ile katener sistemlerinin bakım ve arıza ıslah maliyetlerinde de düşüş sağlayacaktır. Robotik kontrol ile alakalı literatür incelendiğinde yapılan çalışmalar aşağıda maddeler halinde verilmiştir.

Phillips vd. (2012) Elektrik Enerjisi Araştırma Enstitüsü (EPRI) tarafından iletim hatlarının kontrolünü sağlamak için bir robotik sistem tasarlanmıştır.

Jiang vd. (2008) Kontrol robotu ve tüm parçaları için yeni bir mekanik yapı tasarlanmıştır. Robotun prototipi yapılmış ve simülasyon hattında deneyler gerçekleştirilmiştir. Deney sonucunda, tasarlanan robotun engelleri aşma, uzun mesafe tel izleme gibi verilen görevleri tamamladığı gözlemlenmiştir.

Song vd. (2011) Engelleri aşmak için yeni bir inceleme robotu tasarlamışlardır. Bu robot 2 kolludur. Robotun her bir koluna birer pasif döner mafsalları eklenerek yeni bir tekerlek-kol mekanizması önerilmiştir. Tasarlanan robotun engelleri aştığı 500 kV'lık bir iletim hattındaki yapılan deney ile gösterilmiştir.

Debenest ve Guarnieri (2010) İletim hatlarındaki arızaları izlemek için kamera ve ayna tertibatı geliştirmişlerdir. Kablo kalınlığının belirlenmesi için lazer sensörler eklenmiştir. Ayrıca emniyet kancaları eklenmiş ve her bir kolda bulunan tekerlek sayıları iki adet olacak şekilde tasarlamışlardır.

Liyan ve Shouyin (2011) enerji iletim hattı kontrolü için üç koordinatlı robot tasarlamışlardır. Ayrıca engel aşmak için yeni bir kontrol yöntemi geliştirmişlerdir. Tasarlanan bu prototip robot test edilmiş ve bu robotun engelleri aştığı gözlemlenmiştir.

Lorimer ve Boje (2012) Havai iletkenler üzerindeki engellere tırmanabilen üçgen iki kollu bir robot tasarlamışlardır.

Wang vd. (2014) Enerji iletim hatlarının mevcut kontrol yöntemlerine ek olarak farklı bir robot önermişlerdir. Bu çalışmada robotta üç kollu bir askı yapısı kullanılmıştır. Bu yapının kullanılma amacı halat üzerinde robotu ileriye doğru hareket ettirebilmektir.

Tao vd. (2016) Engel geçişlerinde hattan bağımsız olarak ayrılabilen beş kollu bir robot tasarımını önermişlerdir.

Debenest vd. (2008) Enerji iletim hatlarının kontrolü için uzaktan kumandalı bir robot tasarlamışlardır. Robot iletim hatlarının incelenmesini kolaylaştırmak için tasarlanmıştır. Tasarlanan robot iki kollu ve gövdeden oluşmaktadır.

Yang vd. (2014) Engelleri aşma amacıyla üç kollu bir robot tasarımı gerçekleştirmişler ve tasarlanan bu robotun hareket verimliliğini artırmışlar. Tüm bunlara ek olarak her bir koldaki kuvveti dengede tutarak bitişik engeli aşma yeteneğini tasarladıkları robota kazandırmışlardır.

Ribeiro vd. (2016) Çalışmalarında enerji iletim hatlarının kontrolü için FURNAS robotunun yeni bir prototipini önermişlerdir. Yeni prototipte ağırlıkta keskin azalma, uzatılmış pil ömrü ve kolların yer değiştirme yeteneği geliştirilmiştir.

Literatür araştırmasından da görüldüğü üzere, uygulamadaki çalışmalar enerji nakil hatlarının kontrolü, engelleri aşma, uzun mesafe tel izleme vb. konularla alakalıdır. Hali hazırda katener sistemlerinin robotik kontrolü ile alakalı bir çalışma mevcut değildir. Bu da çalışmaya özgünlük katmaktadır.



2. LİTERATÜR BİLGİLERİ

Çalışmanın bu bölümde katener sistemleri hakkında genel bilgilere, bileşenlerine, ülkemizdeki katener sistemleri hakkındaki bilgilere ve bu sistemlerinin bakım işlemleri hakkındaki bilgilere yer verilmiştir. Bu bilgilere ek olarak görüntü işleme konusuna da değinilmiştir.

2.1 Katener Sistemlerine Genel Bakış

Dünya genelinde demiryolu elektrikli hatlarında iki tip besleme yapılmaktadır. Uzak mesafeler için genelde 50 Hz 25kV AC besleme, şehir içi gibi kısa mesafeler için 750V DC besleme sistemleri kullanılmaktadır. Elektrikli tren sıklığına bağlı olarak güç tüketimine göre daha yüksek gerilim değerlerine ihtiyaç duyulabilir. Doğru akım kullanan raylı sistemlerde besleme mesafeleri ortalama 7km.lik mesafelere kurulur ve enerji kaynaklarının primer tarafları 11-33kV AC gerilimin indirgeme yapılması ile kullanılır. Hafif raylı sistemler olan metro ve tramvaylar 600-750V DC besleme şeklindedir. AC beslemeli hatlarda ise 154kV/25kV gerilim değerleri yaklaşık 50km.lik mesafeleri besler. Her 50 şer kilometrelik etaplardan oluşan kesimlerden demiryolu araçları enerjisini pantoğraf diye adlandırılan ekipmandan alırlar (Sarısakal 2015).

Elektrifikasyon sistemleri; elektrikli demiryolu araçlarının elektrik enerjisinin teminini sağlayan trafo, skada (sistem kumandası) ve katener diye adlandırılan 3 bileşenden oluşur. Katener sistemi lokomotifin pantoğrafi vasıtasıyla kesintisiz enerji sağlayan hava hatlarıdır. Katener sistemleri demiryolu araçlarının hız, çektiği akım miktarına bağlı gerilim değeri ve imalat tiplerine göre farklılıklar göstermektedir. Teknolojik gelişmeler sonucunda elektrifikasyon tesisleri standartlara bağlanmış ve dünya literatüründe çeşitli sınıflandırmalar yapılmıştır (Karakuş ve Yumurtacı 2018).

Bugüne Kadar Uygulanmış Elektrikli Cer Akım Türleri:

- *750 V DC -Metro hatlarında kullanılan akım türüdür.
- *1500 V DC -Çoğu ülkelerde terk edilmiştir.
- *3000 V DC -Çoğu ülkelerde terk edilmiştir.

*15 KV 16 2/3 Hz AC -İskandinav ülkelerinde kullanılan akım türüdür.

*25 KV 50-60 Hz AC -Genellikle tercih edilir.

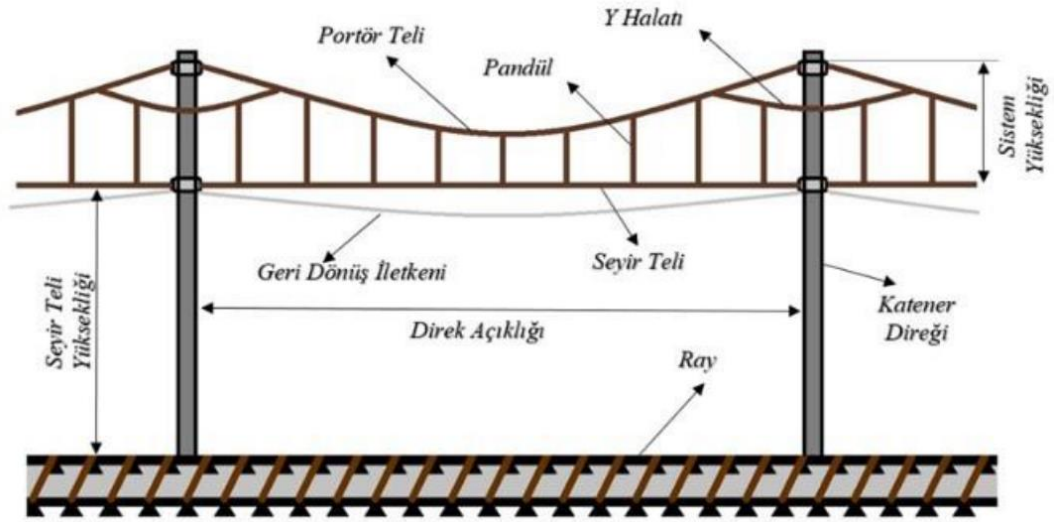
*25 KV-50 Hz AC -Ülkemizde kullanılan akım türüdür.

*50 KV 50-60 Hz AC -Ağır yük nakliyatlarının yapıldığı hatlarda kullanılır
(TS EN Standartları 2022).

2.2. Katener Sistemlerinin Bileşenleri

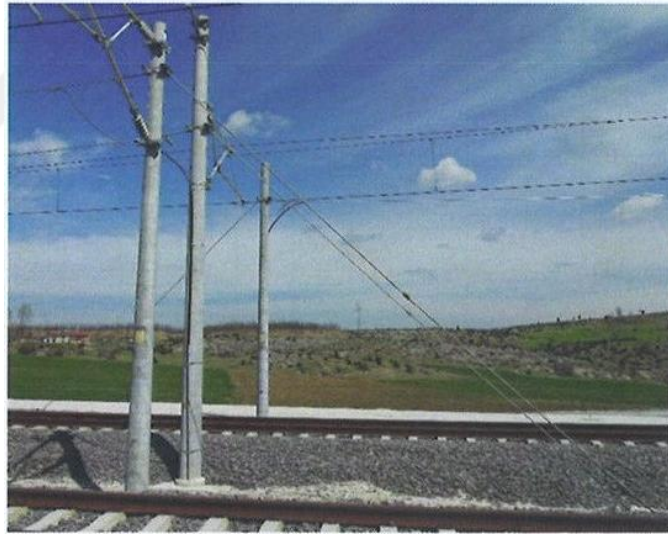
1. Direk ve ankraj temelleri, lente
2. Şerzler
3. Konsol hoban donanımları
4. Seyir teli
5. Portal teli
6. Y halatı
7. Pandül
8. Besleme bağlantıları
9. Otomatik gergi cihazları
10. Geri Dönüş İletkenleri
11. Fider İletkenleri ve Konsollar (TCDD İnönü Köseköy kesimi eğitim notları, 2014)

Şekil 2.1’de katener sistemi bileşenleri gösterilmiştir. TCDD Katener sistemlerinde 154 kV/25 kV gerilim değeri kullanıldığından trenin temas ettiği seyir teli ve seyir telini sabit tutmak için portör teli birlikte kullanılıp tamamına katener sistemi denilmektedir. Hafif raylı sistemlerde sadece seyir telleri mevcuttur. Çünkü tren hızları düşük sistemlerde dinamik yük az olduğundan taşıyıcı portör teline gerek yoktur. Türkiye genelinde 0-160 km/saat konvansiyonel trenler ve 160 km/saat – 250 km/saat hızda yüksek hızlı tren işletmeciliği yapılmakta ve Şekil 2.1’deki katener sistemleri kullanılmaktadır.



Şekil 2. 1 Katener sistemi bileşenleri (Kuşdoğan ve Doğruer 2021).

Şekil 2.2’de katener direklerinin rijitliğini sağlamak için kullanılan lente ve ankraj temelleri görülmektedir.



Şekil 2. 2 Direk, lente ve ankraj temelleri (TCDD İnönü Köseköy kesimi eğitim notları 2014).

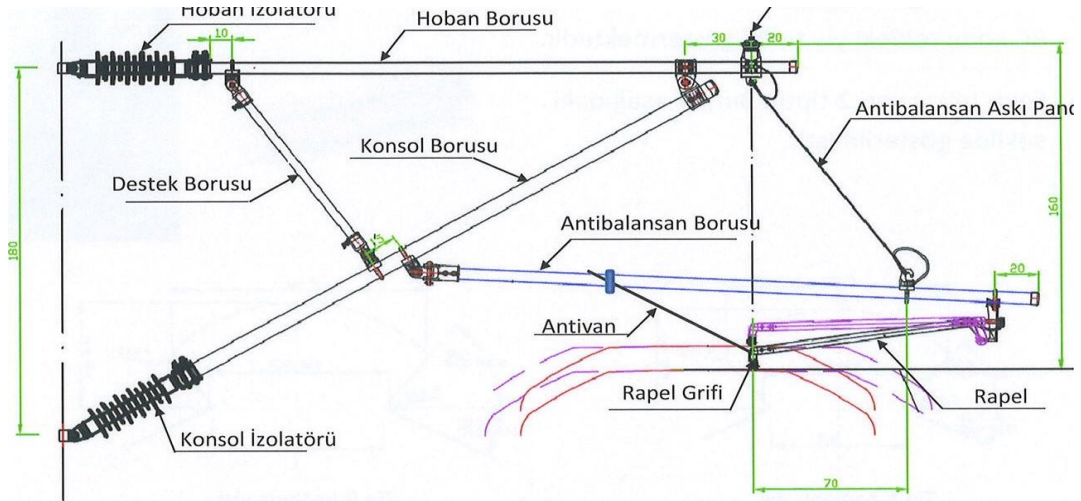
Şekil 2.2’de gösterildiği gibi direk tipleri tren dinamik yükleri ve rüzgâr yüklerinin bileşke moment değerlerine göre yapılan hesaplamalar sonucu farklı boy ve ebatla imalat ve montajları yapılmaktadır. (TCDD İnönü Köseköy kesimi eğitim notları 2014)

Şekil 2.3'te tünel içinde montajı yapılmış şerze ait görsel verilmiştir.



Şekil 2. 3 Şerzler (TCDD İnönü Köseköy kesimi eğitim notları 2014).

Şerzler, direk dikimi mümkün olmayan demiryolu tünellerinde ve viyadüklerde kullanılan katener sistemlerinin sabitleme ekipmanlarıdır. Tünel duvarlarına monte edilerek hattın devamlılığı sağlanır.

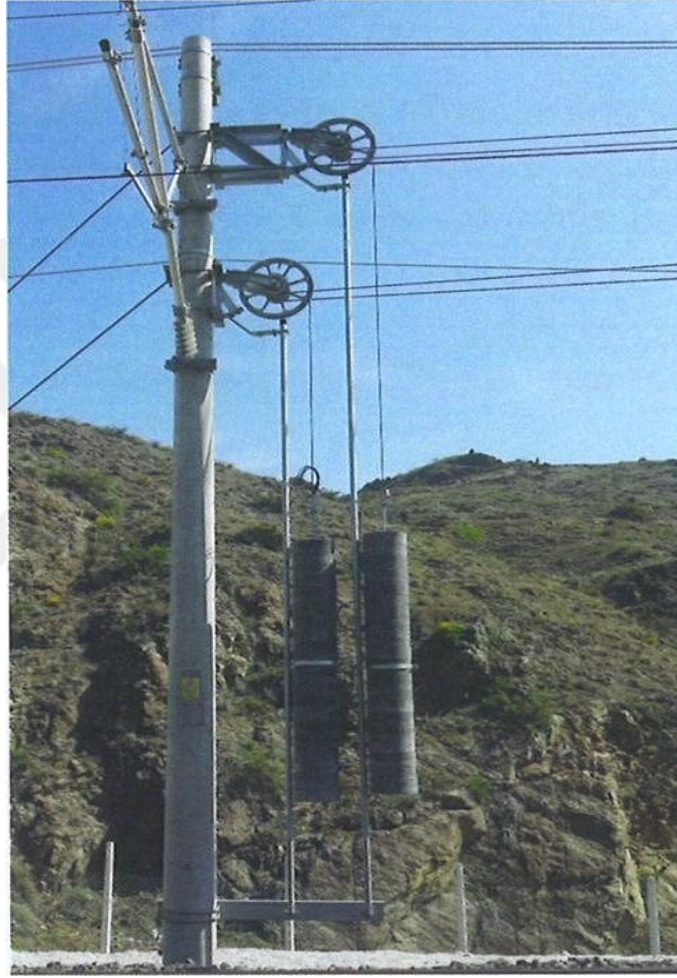


Şekil 2. 4 Konsol-hoban bileşenleri (TCDD İnönü Köseköy kesimi eğitim notları 2014).

Şekil 2.4'te seyir teli, portör teli, Y halatı, pandül gibi katener bileşenlerini taşıyan, istenilen seviye ve eksende tutulmasını sağlayan Konsol-Hoban donanımı gösterilmiştir.

Bu şekilde katener direği ile konsol-hoban donanımını elektriksel izolesi izolatörlerle sağlanmıştır.

şekil 2.5’de otomatik gergi tertibatlarına ait görsel verilmiştir (TCDD İnönü Köseköy kesimi eğitim notları 2014).



şekil 2. 5 Otomatik gergi tertibatları (TCDD İnönü Köseköy kesimi eğitim notları 2014).

şekil 2.5’te gösterilen otomatik gergi tertibatları katener istemlerinin gergin durmasını sağlayan ekipmanlardır. Etap uzunluğu ve dinamik yük hesabı sonucu farklı ağırlıklar kullanılarak hattın rijitliğu sağlanır (TCDD İnönü Köseköy kesimi eğitim notları 2014).

2.3 Türkiye’deki Katener Sistemleri

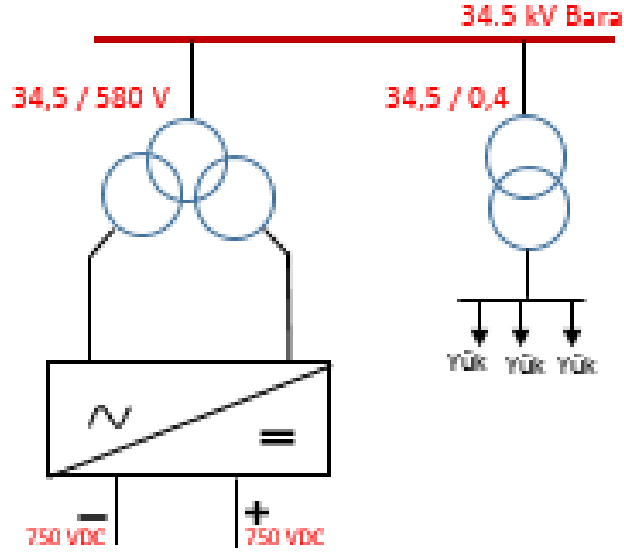
Raylı sistemlerde kullanılan elektrik enerjisi gerilim ve frekans değerlerine göre iki kısımdır. Gerilim değeri 1600-3000 V DC olan sistemler hafif raylı hatlarda, 25000-27500V AC gerilimli sistemler TCDD hatlarında kullanılmaktadır. Değinilen DC gerilimli sistemler daha çok metro ve şehir içi raylı taşımacılıkta kullanılır. Katener tesisinin bakım işlerinin bir kısmı gerilimli alanda da yapılabilir. DC gerilimi uzak mesafelere taşımak trafo merkezlerinin çok sık kullanılması ile mümkündür. En büyük dezavantajı korozyon probleminin olmasıdır. Kaçak akımlar; yer alandaki petrol, doğal gaz ve su boru hatları üzerinde malzeme kaybına neden olur (Güzel 2022).

Yüksek Gerilimli ve Özel Frekanslı AC Sistemi 25 kV, 50 Hz AC ile beslenen hatlara sahip olan demiryolları gerekli elektrik enerjisini ulusal elektrik şebekesinden alır. Trafo merkezleri 154kV/25kV şeklinde ve iki transformatör merkezi arasındaki mesafe 50 -70 km'dir. Lokomotif 25 kV 50 Hz alternatif akımın doğru akıma çevrilerek seri DC motorlarına verilmesi ile hareket eder. Diğer sistemlere göre ekonomiktir. Enerji kesilerek bakım yapılır (Özsoy 2022).

Bu çalışmanın asıl amacı katener sistemleri enerjili iken; enerji kesintisi yapmadan tasarlanan muayene robotu ile görüntü alıp bakım kuşağında (genelde gece) hattın tamir ve bakımına imkân sağlamaktır.

2.3.1 Metro Sistemleri, Hafif Raylı Sistemlerdeki Katener Sistemleri

Metro hatlarında 34,5 kV AC gerilim trafo merkezlerinde 580V’a dönüştürülür. Şekil 2.6’da metro hatlarında kullanılan örnek bir transformatör merkezi açık şeması verilmiştir. Dönüştürülen AC gerilim doğrultucularla 750V DC gerilim olarak hatta verilir (Yıldız 2019).



Şekil 2. 6 Metro hatlarında örnek bir transformatör merkezi açık hat şeması (Yıldız 2019).

2.3.2. TCDD İşletmesi Katener Sistemleri

TCDD Kurumunda ilk katener hattı Sirkeci-Halkalı arasında 1952-1955 yılları arasında yapılmış ve 1956 yılı başında işletmeye açılmıştır. Daha sonra 1965-1969 yılları arasında Haydarpaşa-Gebze, 1969-1972 yılları arasında Sincan-Kayaş, 1977-1984 yılları arasında Halkalı-Çerkezköy, 1984-1991 yılları arasında Arifiye-Eskişehir, 1988-1993 yılları arasında Eskişehir-Sincan, 1988-1996 yılları arasında İskenderun-Divriği, 1991-1997 yılları arasında Çerkezköy-Kapıkule demiryolu hatları elektrifikasyonlu hale getirilmiştir. 2009 yılı itibariyle ilk hızlı tren hattı Ankara-Eskişehir arasında açılması ile demiryolları hızlı trenle tanışmış ve TCDD'deki katener sistemleri Konvansiyonel ve Yüksek Hızlı Tren hatları olarak 2 türde nitelendirilmeye başlanmıştır. İki sistemin gerilim değerleri aynı olmakla beraber tren hızlarının farklılığı sebebiyle kullanılan malzeme ebatları farklılık göstermektedir. Çizelge 2.1'de TCDD hat uzunlukları ve açılış yılları gösterilmektedir (İnt. Kyn. 1).

Çizelge 2. 1 TCDD Hat dağılımı (İnt. Kyn. 1).

	2003	2003-2019	2022
Toplam Demiryolu Ağı	10 959 km	1 844 km	13 050 km
Yüksek Hızlı Hat Uzunluğu	-	1 213 km	1 241 km
Hızlı Hat Uzunluğu	-	-	219 km
Konvansiyonel Hat Uzunluğu	10 959 km	631 km.	11.590 km
Sinyalli Hat Uzunluğu	2 505 km	3 304 km	7 094 km

2.3.2.1. Konvansiyonel Hatlardaki Katener Sistemleri

Konvansiyonel hat tanımı uluslararası literatürde tren hızının 0-160km/sa hıza göre hatlarının sınıflandırma adıdır. TCDD toplam hat uzunluğunun yaklaşık %55'sinde elektrikli tren işletmeciliği yapılmaktadır. Tren hızının YHT'ye göre düşük olması nedeniyle katener sistemlerindeki ekipmanların kesitleri daha küçüktür (İnt. Kyn. 1).

2.3.2.2 Yüksek Hızlı Tren Hatlarındaki Katener Sistemleri

Ülkemizde hızlı tren hatları Mart 2009'dan günümüze Ankara-İstanbul, Ankara-Konya arası çalışan, açılışı yakın Ankara-Sivas ve yapımı devam eden Ankara-İzmir kesimi olmak üzere azami 250 km/h hız yapabilen 4 kesimden oluşmaktadır. Son yıllarda dünyada ulaştırma sektörüyle ilgili hız, emniyet ve konfor gibi kaliteyi belirleyen faktörlerin ön plana çıktığı görülür. Ekonomik bir işletmecilik olanağı sağlayan elektrifikasyon sistemlerinin devreye girmesiyle hat kapasitesi artırılan demiryolu taşımacılığı cazip hâle gelmiştir. Elektrifikasyon sistemleri ile yapılan elektrikli tren işletmesinin dizel tren işletmeciliğine göre daha üstün ve avantajlı olduğu aşikârdır (İnt. Kyn. 1).

2.4 Katener Sistemlerinin Bakımları

Katener sistemlerinin bakımları uluslararası standartlarda tanımlanmış ve Uluslararası Demiryolu Birliği (UIC) normlarında ne şekilde yapılacağı belirlenmiştir. Ülkemizde de UIC standartlarında katener bakımları yapılmaktadır. Tüm demiryolu altyapı bakımlarının tek tip kriterler yerine getirilmesi hedeflenmiştir. UIC-791 Bakım normunda katener sistemlerinin bakımı bileşenleri tanımlanmış ve aşağıdaki gibidir (Uluslararası Demiryolları Birliği 2022).

Temel bakım faaliyeti:

Bakım: Mevcut durumun değerlendirilmesi ve tespitine ilişkin ve istenilen durumun korunması ve istenilen duruma getirilmesine ilişkin önlemlerin bütünü kapsar. Bakım olması gereken durumun muhafaza edilmesine yönelik tedbirleri kapsayan hizmeti (örneğin; temizlemek, yağlamak), mevcut durumun değerlendirilmesi ve tespitine ilişkin tedbirleri kapsayan kontrolü içerir (Uluslararası Demiryolları Birliği 2022).

İzleme (kontrol): Bir elemanın durumunu gözlemlemek amacı ile manuel veya otomatik olarak uygulanan faaliyet (Uluslararası Demiryolları Birliği 2022).

Bakım girişimleri: Bir elemanı istenilen fonksiyonu yerine getirmesi için, bir durumda tutmak veya o duruma getirmek amacı taşıyan tüm teknik faaliyetlerin bir kombinasyonu (idari ve izleme faaliyetleri hariç) (Uluslararası Demiryolları Birliği 2022).

Denetimler: Katener hattının durumunu gözetlemek ve gerekli bakım çalışmasının boyutunu tahmin etmek amacıyla yönelik faaliyetler, örneğin yaya denetimleri, tanı araçları ile yapılan seferler, pantograf reaksiyonlarının izlenmesi vb. Denetimler normal olarak havai hatta elektrik var iken yapılır (Uluslararası Demiryolları Birliği 2022).

Ölçümler: Katener sisteminin durumunu ve güvenilirlik seviyesini karakterize eden (geometrik, mekanik ve elektriksel) ana parametreleri ölçmek için uygulanan faaliyetler. Ölçüm işlemleri için yolun işleme kapatılması ve de elektrik hattının kapatılması

gerekebilir (Uluslararası Demiryolları Birliği 2022).

Ölçüm seferleri: Katener sisteminin statik ve dinamik davranışını belirlemek amacıyla gerçekleştirilen faaliyetler. Dinamik davranış genel olarak müsaade edilen azami hat hızında belirlenir. Ölçüm seferleri normal olarak akım altındaki katener hatlarında yapılır (Uluslararası Demiryolları Birliği 2022).

İncelemeler / Muayeneler: Donanımların parçalarını kontrol etmek amacıyla yürütülen faaliyetler. Bu faaliyetler sadece kapalı ve topraklanmış katener hatlarında itina ile yürütülür. Muayeneler, ölçüm seferleri, kısa devreler ve kontrollerin sonucuna bağlı ihtiyaca göre belirli bölgeler için düzenlenir. İncelemeler anlık denetim temelinde de yapılabilir (Uluslararası Demiryolları Birliği 2022).

İdari faaliyet: personel, bakım araçları ve bakım ekipmanları gibi gerekli kaynakların organizasyonunu ve yönetimini kapsar. Ekonomik ve işletme stratejilerinden etkilenir. Denetim faaliyet ile katener sisteminin en önemli bileşenlerinin durumu gözlenir ve bu bileşenlerin nasıl daha iyi çalıştırılacağına ilişkin tanımlar geliştirilir. Tüm teknik faaliyetlerin kombinasyonunun amacı, her bir elemanı istenilen fonksiyonu yerine getirebileceği bir duruma getirmeye veya arıza sonrası tekrar düzeltmeye yöneliktir. Bakım çalışmaları fonksiyonel olarak üç farklı kategoriye bölünür. Bunlar önleyici ve düzeltici ve koruyucu bakımdır (Uluslararası Demiryolları Birliği 2022).

2.4.1. Önleyici Bakım

Hatalı çalışan parçaların nedenleri tespit edilmelidir. Buna göre bir parçanın en uygun değiştirilme zamanına karar verilir. Arıza tanımlandığında çalışmayan parçanın değiştirilip veya tamir edilip uzun süre çalışabilir hale getirilmesi gerekir. Önceden belirlenen zaman aralıklarında veya belirlenen kriterlere göre yapılan ve arıza olabilirliğini veya bir elemanın işlev kabiliyetinin kötüye gitmesini aza indirmeye yönelik bakım çalışmalarıdır. Önleyici bakım katener sisteminin denetlenmesini kapsar. Gerekli bakım çalışmalarının boyutunu değerlendirmek için gereklidir. Önleyici bakım önceden tespit edilen periyotlarda veya öngörülen kriterlere göre gerçekleştirilir. Bir elemanın arıza olabilirliğini veya işlev kabiliyetinin kötüleşmesini önlemeye

yöneliktir (Uluslararası Demiryolları Birliği 2022).

2.4.2. Düzeltici Bakım

Her zaman için hata belirlendikten sonra uygulanır ve amacı, bir elemanı gerekli fonksiyonu tekrar yerine getirebileceği bir duruma getirmeye yöneliktir (Uluslararası Demiryolları Birliği 2022).

2.4.3. Koruyucu Bakım

Elektrifikasyon sistemlerinde bulunan parça ve ekipmanların çalışmaması durumunda en kısa sürede sorunu gidermek gerekir. Sistemdeki hataların düzeltilerek bakım işlemini en aza indirmek gerekir. Belirlenen periyotlar dâhilinde parça ve parçaların değişimi yapılır. Oluşabilecek montaj hataları ve ekipmanların performansını azaltıcı etkenleri gidermek önemlidir (Uluslararası Demiryolları Birliği 2022).

2.4.4. Bakım Süresine Göre Gruplandırma

Yukarıda belirtilen her üç bakım türü gereklidir, fakat hangi bakım türünün uygulanacağı ve de kullanılacak kaynaklar bulunabilirliğe, hedeflenen bakım seviyesine ve beklenen maliyetlere bağlıdır. Önleyici bakım denetimlere, izlemelere, kontrollere ve incelemelere dayanır. Sistematik bakım bir takvime göre gerçekleştirilir. Sistematik olmayan bakım ise bir elemanın durumuna ilişkin bir gösterge alındıktan sonra yapılır. Planlı ve koşula bağlı bakım her zaman bir alternatif değildir ve birinden birini tercih etmek ekonomik maliyet analizlere bağlıdır. Önleyici bakım tercih edilmez ise, düzeltici bakım mutlaka her zaman yapılmalıdır. Malzeme arızası, insan hatası veya harici nedenlerden kaynaklanan kusurlar hiçbir zaman ihmal edilemez. Hatanın düzeltilmesi için öncelikle hatanın tanımlanması ve yerinin tespit edilmesi şarttır. Hata teşhis edildikten sonra hemen önlem alınmadığında ve belirli kurallara göre erteleğinde "ertelenmiş bakım" terimi bazen düzeltici bakım için kullanılır. Ertelenmiş bakım incelemelerden ve ölçümlerden önce gelir; planlanmış bir iş durumuna gelir. İstisnai bakım esas olarak düzeltici amaçlar için uygulanır, ancak ertelenmiş veya planlanmış bir bakım çalışması durumunda buna

bir bakım periyodu eklenir ve bunun sonucunda önleyici bir bakım olarak anlaşılır. Önemli noktalardan birisi de yenilemelerdir. Planlı müdahaleler olarak yenilemeler, işletim tertibatlarının performansını kapsamlı bakım çalışmaları ile iyileştirmeye yöneliktir (bileşenlerin yenilenmesi, işlevsel özel hususların uyarlanması ve / veya işletim karakteristiklerinin iyileştirilmesi). Bakım çalışmalarının sıklığı ve yoğunluğu aşağıda belirtilen kriterlere bağlıdır;

- Hattın Önem Derecesi,
- Hattın Azami Hızı,
- Günlük Tren Sefer Sayısı veya Pantograf Geçiş Sayısı,
- Cer Akımı ve Pantograf Temas Şeridi Malzemesi ve Dizaynı İle İlgili Trafik Tipi,
- Katener Sistem Tipi ve Karakteristikleri,
- Katenerin Durumu ve Yaşı,
- Hava Kirliliğinin Tipi Ve Boyutu,
- Kısa Devre Akımlarının Büyüklüğü ve Süresi ,
- İşletim Düzensizliklerinin Sayısı.

Katener sistemi aşağıda belirtilen yedi farklı faaliyet kategorisine ait temel işlemlerin belirli bir sayısı ile işleme hazır durumda tutulur:

- Denetimler, İzlemeler, Gözetimler,
- Tetkikler, Kontroller Ve Ölçümler,
- Planlı Bakım Müdahaleleri,
- Durumu İyileştirmeye Yönelik Müdahaleler,
- Hatanın Giderilmesine Yönelik Müdahaleler,
- İstisnai Bakım Müdahaleleri,
- Yenilemeler.

İlk üç makro faaliyet (denetimler, ölçümler ve planlı müdahaleler) önleyici bakımı nitelerken, sonraki iki faaliyet (duruma bağlı bakım ve onarım) tipik düzeltici bakımı karakterize eder ve ilk iki majör faaliyetin sonuçlarına dayanır. Gerçekleştirilecek tüm işlemler yönetim veya bakım stratejilerinin sonucudur. Her iki durumda da bakım

maliyetlerinin düşürülmesi ve iş kaybının engellenmesi için koruyucu bakım yapılmalıdır. Bunların yanı sıra işletmeciliğin kesintiye uğramaması için iki farklı süre ölçekli bakım faaliyetleri de yapılır. Bunlar;

Geçici Bakım: Acil durumlarda tren trafiğini hızlı olarak açmak için yapılan bir tamirattır.

Kesin Bakım: Kesin olarak yapılan tamiratlardır (Uluslararası Demiryolları Birliği, 2022).

2.4.5. Ekipman çeşitleri yönünden bakımlar

2.4.5.1. Betonarme Direklerin Bakımı

Betonarme direkler sık periyodik kontrol gerektirmez. Çatlak olan direklerde bulunan çelik donatının hava ile temas etmemesi ve pas oluşmaması için epoksi malzeme ile çatlaklar kapatılabilir. Direk yüzeyi çok büyük hasar görmüşse değiştirilmelidir. Rutin kontrollerde büyük bir hasar tespit edilmemişse direklerin iki senede bir kontrol edilmesi yeterlidir.

2.4.5.2. Metalik Direklerin Bakımı

Metalik direkler sık sık kontrol gerektirmez. Su birikmesi durumunda tabanda küçük bir kazı yapılarak ya da toprak üzerine beton dökülerek bu durum engellenebilir. Galvaniz kaplamasında oluşabilecek ağır pas problemleri, soğuk galvanize boya yapılarak çözülebilir. Kısa devre sonucu oluşan aşırı sıcaklık değişimi ile metalik direkte büyük hasar oluşabilir, bu durumda direğin değiştirilmesi gerekir. Rutin kontrollerde büyük bir hasar tespit edilmemişse direklerin iki senede bir kontrol edilmesi yeterlidir (Uluslararası Demiryolları Birliği 2022).

2.4.5.3. Direk Temelleri ve Bakımı

Direk temelleri yamuk ve prizma şeklinde olan beton kütleden oluşur. Uzun süre herhangi bir bakım ihtiyacı istemez. Bazen direk altındaki dolgu sıkı ise dirençlerine ve kullanım sürelerine etki etmeyecek küçük çatlak ve kırılmalar olabilir. Yapılan kontrollerde temelde büyük bir kırığın olduğu gözlenirse özellikle kuyruklu tip temeller için yeni beton ve donatı ile bağlanması, yeniden beton atılarak tamir edilmesi gerekir. Rutin kontrollerde büyük bir hasar tespit edilmemişse dört senede bir kontrol edilmesi yeterlidir (Uluslararası Demiryolları Birliği 2022).

2.4.5.4. Konsol Hoban Sistemi Bakımı

Boruların doğru pozisyonda olduğu ve büyük bir hasar görüp görmediği kontrol edilir. Katener tellerinin kopması ya da hırsızlıktan kaynaklanan aşırı yüklenmeler boruların bükülmesine neden olabilir. Antivan askı takımının ve antibalansan pandülün durumu kontrol edilir. Rapel kolunda gözle görülür bir hasar olup olmadığına ve seyir telinin çekme nedeni ile dönüp dönmediğine bakılır. Olumsuz bir durum varsa rapel kolu aşağı yukarı hareket ettirilerek düzeltilir. Bağlantı parçasının ve cıvataların sıklığı kontrol edilir. Zaman içinde veya tren geçişlerinde oluşan Titreşim nedeniyle cıvatalar gevşeyebilir. Yapılacak kontrollerde değişiklikleri takip edebilmek için cıvata silinmez bir kalemle işaretlenmelidir. Rutin kontrollerde büyük bir hasar tespit edilmemişse senede bir kontrol edilmesi yeterlidir (Uluslararası Demiryolları Birliği 2022).

2.4.5.5. Dar Gabarili Yerler ve Şezlerin Bakımı

Tüneller ve dar gabarili yerler de buzlanma ve su akıntılarına karşı denetlenmelidir. Şez bağlantısının sağlamlığı ve cıvatalarının sıkı olup olmadığı kontrol edilmelidir. Zaman içinde veya tren geçişlerinde oluşan titreşim nedeniyle cıvatalar gevşeyebilir. Yapılacak kontrollerde değişiklikleri takip edebilmek için cıvata silinmez bir kalemle işaretlenmelidir. İzalatörler bu bölgelerde daha çok kirleneceği için gözden geçirilmeli, gerekli görülürse temizlik yapılmalıdır. Her bir parçanın tam olarak topraklandığı denetlenmelidir. Yer altında bulunan kablolar ohmmetre ile kontrol edilmelidir. Topraklama kablosundan toprağa olan ölçümler 5 ohm'dan fazla olamaz. Aksi takdirde elektrotlar incelenmeli ve kötü bağlantılar düzeltilmelidir. Altı ayda bir ve gerekirse

mevsimine göre gözden geçirilmelidir (Uluslararası Demiryolları Birliği 2022).

2.4.5.6. İzolatörlerin Bakımı

İzolatörler; zaman içinde dizel çalışan lokomotif egzozları, denize yakın olan bölgelerde deniz tuzu nedeniyle kirlenir. İyonlardan oluşması ve iletken olması sebebiyle elektriği ileten deniz tuzu izolatora çok zarar verir. Ayrıca porselen ya da cam izolatorün bir yaprağının ya da zincirinin kırılması atlama mesafesini değiştirdiğinden elektrik arklarının oluşmasına sebep olur (Uluslararası Demiryolları Birliği 2022).

2.4.5.7. İzolatörün Temizlenmesi:

İzolatörlerin bez ile temizlenmesi yeterlidir fakat aşırı kirlenmesi durumunda deterjanlı bir bez ile silinmesi gerekir. Denize yakın yerlerde ya da tünel ve istasyon içi gibi üstü kapalı, kirli bölgelerde izolatörlerin altı ayda bir temizlenmesi gerekir. Temiz ve açık bölgelerde temizliğin on iki ayda bir yapılması yeterlidir. Gece yapılacak bir kontrolde kıvılcımları aşırı kirli izolatörleri akım boyunca iyon akışınınötürü görmek mümkündür. Bu belirlendiğinde, bakım ekibine haber verip en kısa sürede o kesitin temizlenmesi sağlanmalıdır (Uluslararası Demiryolları Birliği 2022).

2.4.5.8. İzolatör Bakımı

Eğer çok küçük ya da sadece bir tek zincirde etkili olan bir hasar varsa değiştirilmesine gerek yoktur. Bu durum, ileride yapılacak değiştirilmelerde göz önünde bulundurulmalı ve bakım raporuna kaydedilmelidir. Porselen izolatörler, kırık parça elimizdeyse özel yapııştırıcılar ile tamir edilebilir. Porselen izolatorü boyunca akım akışı olduğundan bazen yüzeyde inci şeklinde kabartılar görmek mümkündür. İzolatörde büyük oranda bir bozulma varsa değiştirilmesi gerekir. Cam İzolatörler, plakalardan biri kırıkta plakalar 30 kV için yeterli olsa bile en kısa sürede yenisiyle değiştirilmelidir (Uluslararası Demiryolları Birliği 2022).

2.4.5.9. Portör Teli Bakımı

Portör teli çok fazla bakım gerektirmez, görsel olarak hasarlı ya da katener sistemine takılan yabancı maddelerin olup olmadığının kontrol edilmesi yeterlidir. Sistem ve seyir teli yüksekliğinin normal sistem değerlerinin dışında olan bölgelerinde bakıma daha çok dikkat edilmelidir. Bunlar, hemzemin geçit ya da köprü gibi alanlardır. Bu kesimlerde hat yüksekliği, sistem yüksekliği ve güvenli mesafenin kontrolü çok önemlidir. Tüm mekanik eklerin kontrol edilmesi gerekir. Çok ağır paslanma ya da aşırı ısı yüklemesi sonucu mekanik eklerde önemli derecede renk değişiklikleri olabilir. Bu durumda bir parça portör teli ve her iki taraftan grif yardımı ile elektrik akımını bypass etmek için ek yapmak gerekir (Uluslararası Demiryolları Birliği 2022).

2.4.5.10. Seyir Telinin Bakımı

Seyir teli kesitinin maksimum %20'si kadar sürtünmeden dolayı aşınmasına izin verilebilir. Seyir teli aşınması yaklaşık 2,5 milyon akım toplayıcı geçişinden sonra %20 sınır değerine ulaşır. %20'lik aşınma sınırına ulaştıktan sonra çekme kuvveti azaltılarak seyir telinin kullanım süresi uzatılabilir. Bu tedbir genellikle cep hatlarında ve tali yollarda uygulanır. Bir etapta bu değer dört yerde aşılmışsa seyir telinin değiştirilmesi gerekir. Sadece bir kesitiyse bir ek yapılması suretiyle düzeltilmelidir. Seyir teli koptuktan sonra takılan birleştirme klemensleri kalıcı bir tedbir olmamalıdır. Bitiştirme klemenslerinin çekme dayanımı seyir telinin çekme kuvvetinin en az 2,5 katı olmalıdır. Seyir telinin sürtünme kesiti için bu tür tespitler rastgele yapılmamalıdır. Senede en az bir kez seyir telinin kalınlığının kaydedilmesi, bunun özellikle sürtünmenin fazla olduğu yerlerde yapılması gerekir. Ölçümler, bir mikrometre ya da kumpasla ray hat üzerindeki herhangi bir platformlu araç ile yapılabilir. Seyir telinin yüksekliğinin her bir direk için doğru pozisyonda olup olmadığının kontrolü gereklidir. Ayar işleminin katenerde yapılan her bir değişiklikten sonra tekrarlanması gerekir (Uluslararası Demiryolları Birliği 2022).

2.4.5.11. Pandüllerin Bakımı

Pandülün pozisyonu ve muhtemel kırılmalar için gözle kontrol edilmesi gereklidir. Pandül yan yatmışsa düzeltilmeli, hasarlıysa yenisi ile değiştirilmelidir. Arıza durumlarında tren trafiğini geçici olarak sürdürmek için pandül sisteminde değişiklik

yapılabilir. Böyle bir durumda geçici pandüllerin proje değerlerindeki ile en kısa zamanda değiştirilmesi gerekir. Pandülün bakır teli ile grif arasındaki kanca hasar görmüşse pandülün tamamını değiştirmeye gerek yoktur. Hasarlı kısmın değiştirilmesi yeterlidir. Kısa devre oluştuğunda, seyir teli ile portör teli arası bağlantı bozulduğunda ya da bir hata oluştuğunda pandüllerin yapısı bozulabilir. Pandüller elektriksel olarak elektrik akımını iyi bir şekilde iletemez. Dolayısıyla bu tip bağlantılarda her bir tel için seyir teli ve portör teli arasında iletkenliğin sağlanması amacıyla pandüllerin değiştirilmesi gerekir. Katenerin köprü ve üst geçit gibi sistem yüksekliğinin düşük olduğu yerlerde pandüllere daha çok dikkat etmek gerekir. Pandüller çok kısa olunca işlevselliği o kadar iyi olmaz ve sorun çıkarabilir. Bu durumda çoğu yerde seyir teli yüksekliği azaldığından pantografin gücü artacak ve katenere etkisi artmış olacaktır. Ayda bir yaya olarak ve makine ile kontrol edilmesi yeterlidir. Olağan dışı işler olduğunda doğru bir bakım ya da tamirin yapılması gerekir (Uluslararası Demiryolları Birliği 2022).

2.4.5.12. Besleme Bağlantılarının Bakımı

Besleme ve grif bağlantılarının iyi, sıkı olmasının, renginin değişmediğinin, elektrik arkları ve kısa devreler nedeniyle yapısının bozulup bozulmadığının kontrol edilmesi gerekir. Besleme bağlantısına yakın olan yerlerde görsel bakım yapılmalı ve mekanik olarak bağlantının iyi olup olmadığı kontrol edilmelidir. Havanın çok sıcak ya da çok soğuk olması besleme kablosunun boyunda değişikliklere neden olur. Bağlantıların gerilmesiz olduğu ve seyir telinin altında yer alıp almadığı kontrol edilmelidir. Aksi takdirde pantograf geçiş sırasında telleri kopartarak hatta zarar verebilir. Altı ayda bir gözden geçirilmesi, iyi bir bağlantı sağlanması için yeterlidir. Yanlış bakım yapıldığında veya beklenmedik durumlar olduğunda tekrar kontrol edilmelidir (Uluslararası Demiryolları Birliği 2022).

2.4.5.13. Makas Kateneri Bakım ve Ayarı

Dezeksmanın doğru olduğundan ve yan hat katenerinin 5 cm yukarıda olduğundan emin olunmalıdır. Katener sisteminde seyir teli yüksekliklerinin makas geçişlerinde proje

değerlerinde olmasına dikkat edilmelidir. Pandüllerin tam olarak çalışıp çalışmadığının kontrol edilmesi ve uzunluklarının doğru olarak ayarlanması gerekir. Çapraz makaslarda geçiş kılavuzu (krozman çubuğu) kontrol edilmelidir. Makas bakımlarının doğru yapılması ve makas katenerinden pantograf geçişlerinin iyi tutulması gereklidir. Altı ayda bir fonksiyonellik özelliklerinin, ayarların doğru olup olmadığının ve düzgün çalışıp çalışmadığının bakım aracı ile kontrol edilmesi yeterlidir (Uluslararası Demiryolları Birliği 2022).

2.5. Dış Etkenlerden Kaynaklanan Arızalar

Periyodik ve rutin bakımların zamanında yapılmaması, dış etken kaynaklı fiziksel hasarlar (tünel içi akıntılar, vurma ve çarpmaya bağlı sebepler), ekipman montajının doğru yapılmaması (elektriksel açıklıkların sağlanmaması, ürünün yanlış montajı vb.) katener hattına uygun pantoğraf kullanılmaması ve hava şartlarından kaynaklanan olumsuz etkenler gibi nedenler katener sisteminin arızalanmasına yol açabilir (Uluslararası Demiryolları Birliği 2022).

Tüm bunlar düşünüldüğünde pantografin düzensiz aşınması sebebiyle işletme ömrü kısalır. Pantografta kırılma, kopma vb. sebeplerle işletme durabilir. Kopan, kırılan katener parçalarının kısa devreye yol açması ve koruma rölelerinin hattı açtırması sonucunda işletmenin durması gibi durumlarla karşılaşılabilir. (Raylı Sistemler Teknolojisi)

2.6. Katener Sistemlerinin Kontrol Metodları

Durum kontrolü ve gözetimler ile tesislerin durumu gözetlenir. Tren trafiği kesintiye uğramaz. Katener sistemi açık durumdadır. Bu çalışma normalde, katener sisteminin durumunu demiryolu hattı boyunca kenar yollardan yürüyerek gözlemleyen uzmanlar tarafından yapılır. Durum kontrolleri, katener sisteminin yapıları ve bileşenleri dikkatli bir şekilde izleyerek yapı olarak gerçekleştirilir. Kenar kısımlarda yürüme yolu bulunmayan hatlarda, köprülerde ve tünellerde yapılacak gözlemler bir drezin ile çok düşük hızda gerçekleştirilir. Özel durumları izlemek için yapılacak özel denetimler

düzenli trenler üzerindeki tanı aracı ile farklı hızlarda ve / veya özel tertibatlarla yapılır. Denetimler sırasında basit ölçümler yapılır, örneğin; direkler ve en yakın ray arasındaki mesafe, dış sıcaklığa ilişkin karşı ağırlıkların konumu. Katener hattının durumunun öğrenilmesinin yanı sıra elektrikli tren işletimine zarar verecek ve ciddi kazalara neden olabilecek ağaç, çalı, buz sarkıtları ve diğer nesnelerin varlığını da gözlemlemek önemlidir. Denetim ve gözetlemelerde gabariye, pantografin geçişi için gerekli boşluğa ve katener sisteminin gerektirdiği emniyet mesafelerine önem verilmelidir (Uluslararası Demiryolları Birliği 2022)..

2.7. Katener sistemlerinin kontrol Yöntemleri

2.7.1. Gözle Muayene

Belirli periyotlarla katener hatlarının gözle dezeksmen kontrollerinin yapılması önem arz etmektedir. Bununla birlikte bu kontroller sırasında hareketli demiryolu araçları üzerinden direk hareketli parçaları, seyir teli sağlamlık kontrolleri, Katener hattı etaplarının ayrılmasına olanak sağlayan ağırlık sistemlerinin durumları, gözle izlenen pantoğraf üzerinden elektriksel mesafelerin korunup korunmadığı ve sisteme bağlı ekipmanların sağlıklı çalışıp çalışmadıkları da kontrol edilmektedir (Uluslararası Demiryolları Birliği 2022).

Yaya olarak gerçekleştirilen bir denetim sırasında, denetimi yapan uzmanlar direğe tırmanmaksızın katener sisteminin tüm parçaları işletim güvenirliliği açısından gözlemlenir. Trenlerin geçişi esnasında dinamik davranışlar dâhil olmak üzere elemanların durumu ve çalışma konumuna genel bir dikkat verilmelidir. Her tren geçtiğinde pantograf tarafından uygulanan kuvvetlerin reaksiyonu altındaki katenerin hareketi özellikle izlenmelidir. Bunu takiben seyir tellerinin yükselmesi ve iletkenlerin dinamik geometrik konumları değerlendirilir. Trenlerin geçişleri müsaade ettiği ölçüde, aşağıdaki izleme yöntemi ile destek yapıları sistematik olarak gözetlenmelidir (Uluslararası Demiryolları Birliği 2022).;

- Yapıların durumu (direkler, portaller vb.),
- Temellerin durumu ve beton direkler (hasar, özellikle çatlaklar),

- Direklerin eğikliği ve düzlüğü,
- Direkler ve en yakın ray arasındaki mesafe,
- Direk numaralarının okunurluğu (işaretler),
- Gevşek hoban ve gergi telleri,
- Çöpler ve balast içindeki bitki büyümeleri,
- Kırık kablo ve halatlar,
- Toprak hareketleri.

Taşıyıcı yapıların gözlemlenmesinde özellikle şu hususlara dikkat edilmesi önemlidir:

- Askı noktaları ve iletkenler arasındaki yapı elemanlarının veya gerilim altındaki diğer parçaların durumu,
- Rapellerin ve antibalansların eğikliği ve düzlüğü,
- Dış hava sıcaklığına bağlı olarak konsolların konumu ve referans noktalarına mesafesi,
- Basit rapellerdeki kırık halatlar,
- İzolatörlerin konumu ve durumu (kıvılcımlar, temizlik, kırıklar vb.).

Yaya olarak etap boyu denetimlerinde dikkat edilmesi gereken hususlar ;

- Sıcaklığa bağlı olarak kruazman çubukların ve mafsalların doğru konumu ,
- Gevşek veya hasarlı pandüller ve halatlar,
- Seyir tellerinin kıvrım noktaları ve burulmaları,
- Katenerde ve diğer tellerde kırıklar,
- Ankraj kablolarında, tellerde ve katener sisteminin diğer elemanlarında oynama ,
- Pantografin geçişinde elektrik arkı.
- Özel açıklıkların gözlemlenmesinde özellikle dikkat edilecek hususlar:
- Dış hava sıcaklığı referans alınarak kesişen ve birleşen tellerin konumu ,
- Seksiyonerler ve faz ayırıcıların durumu ve konumu ,
- Hat izolatörleri vasıtasıyla pantografin rahat hareketi ve katener hattı kesişmeleri,
- İzoleli ekipmanlarda elektriksel açıklıklar.

Ankrajlar ve gerdirme tertibatlarında özellikle dikkat edilecek hususlar:

- İzolatörlerin konumu,
- Ağırlıkla gerdirme tertibatında kabloların,
- Gerdirme tertibatının esnekliği (ağırlık kaldırılarak),
- Sıcaklığa bağlı olarak ağırlıkların konumu.

Hidrolik gerdirme tertibatlarında özellikle dikkat edilmesi gereken hususlar:

- Yağ seviyesi,
- Yağ basıncı,
- Sızıntılar,
- Konteyner basınç testleri için zaman limit değerleri.

Denetleyiciler seksiyonman ve fider noktalarında durarak, aşağıdaki hususlara özellikle dikkat etmelidir;

- Elektrik bağlantılarında sıcak ve aşırı ısınmış kablolar,
- Ufalanmış veya hasar görmüş izolasyon muhafazaları,
- İzolatörlerde elektrik arkı izleri,
- Kir toplama,
- Yüksek gerilim kablolarının bağlantılarında sızıntı, yağ kaybı ve eksik izolasyon,
- Devre kesiciler ve anahtar çubuklarının durumu, manüel ve uzaktan kontrol fonksiyonu dahil.

Geri dönüş devreleri ile topraklama ve koruyucu akım devrelerinde dikkat edilmesi gereken hususlar:

- Ray, direk, vb. İle bağlantıların durumu,
- İletkenlerin durumu,
- Korozyon korumanın etkililiği,
- Valfler, diyotlar, devre kesiciler ve diğer donanımların durumu,

- Buster transformatörün yağ seviyesi,
- Hat boyu bulunan topraklama tertibatlarının ve voltaj detektörlerinin durumu.

Son olarak katener hattının denetimini yapan uzmanlar ayrıca, katener hattının geri kalan tün bileşenlerini, tali donanımları ve trafik emniyetini veya insanların emniyetini etkileyebilecek diğer koşulları kontrol etmelidir, örneğin;

- Gerilim altında bulunan ve topraklanmış parçalar arasındaki uygun emniyet mesafeleri,
- Ağaç ve çalılıkların mesafesi ve havai hat gabarisinin temizlenmesi,
- Koruyucu kafeslerin ve uyarı levhalarının durumu,
- Elektrikli tren işletmeciliği için sinyallerin durumu ve konumu,
- Trafolar ve elektrikli kumanda merkezleri ile sesli iletişim ile ilgili tertibatların fonksiyonu.

Tüm anormal durumlar ve alınması gereken önlemler denetim için görevlendirilen personel tarafından amacına uygun şekilde rapor edilmelidir. Böylece katener sisteminin gerçek durumu hakkında optimal bir genel bakış elde edilir ve gerekli müdahaleleri mümkün olduğunca basit planlamak için olanak doğar. Arka arkaya iki tam denetim arasındaki zaman aralığı, katener sisteminin karakteristiklerine, hat hızına ve beklenen performans ile seçilen bakım düzeyine bağlıdır ve altyapı yöneticisi tarafından belirlenir. Gözlemlene çalışması genellikle yaya olarak yapılan denetimlerin, tanı aracı ve düzenli trenler ile yapılan denetimin bir karması olarak planlanır ve toplanan verilerin ve katener sisteminin gerçek durumuna ilişkin detayların etkililiğini azaltmaksızın verimliliğin yükseltilmesine çalışılır. Buna ek olarak bu faaliyetlerden çıkarılan sonuçlar ileri gelecekte hata tanı ve gözetleme sistemlerinden çıkarılan veri çıkışları ile ayrıntılı olarak incelenir ve mukayese edilir (Uluslararası Demiryolları Birliği 2022).

2.7.2 Ekipman Kullanılarak Yapılan Muayene

Katener Sistemlerine besleme sağlayan trafo merkezlerinde yapılacak olan çalışmalarda elektrikli işletme besleme değerlerinin uygun aralıkta olup olmadığını denetleyen ölçüm cihazları, katener hattının uygun seyir teli yüksekliklerinin sağlanmasına yönelik

ölçümler için kullanılan eski tip taşınabilir pantograflarla yeni tip lazer metreler, Gergi ekipmanlarındaki kuvvetleri ölçmeye yarayan dinamometreler, katener hattının elektriksel mesafeleri ve birçok parametrelerini yerinde ölçerek sonuçlandırabilen hareketli demiryolu araçları ekipman kullanılarak yapılan muayenelere örnektir. Yaya denetimleri yerine veya bununla değişerek, özellikle hatta yürüme yolu olmadığı veya zaman kısa olduğunda veya kaynaklar kıt ise katener sisteminin durumunu tanı aracının içinden izlemek yararlı olabilir. Amaca uygun olduğunda daha düşük hızla gidilebilir ve sık sık direklerde, portallerde ve özel açıklıklarda durmak mümkün olur. İletkenlerin, askıların ve tünellerdeki konsolların sağlam durumunu, drezinin çatısından aydınlatarak, tespit edebilmek için bu denetimler özellikle efektiftir (Uluslararası Demiryolları Birliği 2022).

2.7.3. Alternatif Kontrol Sistemleri

Günümüzde hızlanan teknolojik gelişmelerin ışığında Katener Sistemlerinin her türlü bakım ve periyodik kontrolleri ekonomik, pratik, personel tasarrufuna olanak sağlayan bir yapı ile güvenli bir şekilde geliştirilecek cihaz ve sistemlerle yapılabilir. Bu denetimler, pantografin neden olduğu katener sisteminin dinamik davranışını gözlemlemek için özellikle tavsiye edilir. Katener sistemini lokomotifle en yakın vagonlardan izlemek genellikle daha kolaydır. Bu bakış açısından özellikle pantograf reaksiyonu, dezeksman ve özellikle aşağıda belirtilen hususlara dikkat edilmelidir:

- Gerdirme noktalarında, seksiyonmanlarda, anahtarlarda ve kruazmanlarda seyir tellerinin uç
- Kısımları ve besleme noktaları,
- Pantograf için gabari,
- Pantograf hareketinde kıvılcım oluşumu.

Bu faaliyetler grubu, donanımların ve bileşenlerin fiziki ve işlevsel karakteristiklerini izlemek ve kontrol etmek için yapılan periyodik çalışmaları içerir. Yasal olarak yapılması gereken işlemler ile altyapı işleticilerinin öngördüğü işlemleri ayırmak, ilgili masrafları ayrı ayrı tutmak için önemlidir. Yasal olarak yapılması gereken ölçümler için bazı örnekler ;

- İnsanların güvenliği için topraklama devrelerinin efektifliğinin incelenmesi,
- Katenerin gerilim altındaki parçaları ve toprak potansiyeli arasındaki mesafelerin kontrolü,
- Bakım yapan personel tarafından kişisel emniyet açısından kullanılan alet ve donanımların mekanik ve / veya elektriksel incelenmesi.

Katener sisteminin tavsiye edilen düzenli tetkiklerinde, genellikle askı altında ve açıklıkların merkezinde aşağıdakiler ölçülür;

- Seyir telleri ve katenerlerin yüksekliği,
- Seyir telleri ve katenerlerin dezaksmanı,
- Seyir tellerinin aşınması.

Ayrıca, izolatörlerin (porselen ve camdan yapılmış) sağlamlık durumunu vurma testi ile kontrol etmek önemlidir. Bazı demiryolu idareleri geometrik parametrelerin (seyir teli yüksekliği, dezeksman, aşınma) ölçümünü yılda bir kez istemektedir, fakat daha önemli hatlar üzerinde seyir teli yüksekliğinin ve dezeksmanın, dış hava sıcaklığının katener hatlarına etkisini daha doğru değerlendirmek amacıyla hem kış hem de yaz aylarında ölçülmesi tavsiye olunur. Aşınma ile ilgili ölçümler trafiğe, hattın durumuna ve pantograf şeritlerinin spesifik karakteristiklerine bağlı olarak daha çok veya az sıklıkta uygulanabilir. Birkaç yıl öncesine kadar ölçümler özel donanımlar kullanılarak manüel olarak veya merdivenli vagonların platformlarından yapıldı. Ancak bugün için kontroller modern sistemler kullanılarak gittikçe otomatikleşti. Bu sistemlerin özel tanı araçlarına, vagonlara veya trenlere kurulması mümkündür ve sürekli kontrol verileri ve de eğim, sehim vb. gibi parametrelerin basit hesaplamalarını aktarmaktadır. (UIC Fişi 1996).

2.8. TCDD Harici Diğer İşletmelerde Yüksek Gerilim hatları Bakım Yöntemleri

Canlı bakım olarak adlandırılan çalışmalarda enerji kesilmeden farklı yöntemlerle hat bakım ve onarımı yapılmaktadır. Kullanılan bu yöntemlerde cam, elyaf yalıtkan maddelerle bakım yapan personelin teması engellenme neticesinde çalışmalar

yapılmaktadır. Kullanılan bu metotlarda doğrudan insan temasını engelleyen izole yapışkan bilişenler kullanılmaktadır. Enerji iletim hatlarında çalışan işçiler canlı bakım çalışmalarında yalıtılmış cam elyaf kutuplara tutturulan aletleri kullanarak gerçekleştirmektedir. Bu yöntemler sıcak sopa, sıcak eldiven ve sıcak el yöntemidir (Çelik 2019).

Diğer bir yöntem ise hatların UV kamera ile muayenelerinin kontrolüdür. Bu yöntemle elektrik hatlarında meydana gelen gevşek bağlantılar, yalıtkan ve iletkenlerdeki kirlilik, korona halkalarının bozulması veya olmaması, doğru olmayan korona boynuzları, iletkenlerde oluşan korona deşarjının etkileri tespit edilebilmektedir (Tanrıöven 2018).

TEİAŞ’da hat bakımları birkaç şekilde yapılmaktadır. Bunlardan ilki çalışmanın belli bir izolasyon mesafesinden yapılmasıdır. İzoleli ıstankalar yardımıyla çalışanların gerekli emniyet tedbirlerini alarak hat bakım ve onarımlarını yapması şeklindedir. Bunun yanı sıra enerji kesilerek yapılan bakım çalışmaları da yapılmaktadır. Bu çalışmaya. örnek görsel Şekil 2.7’de verilmiştir.



Şekil 2. 7 TEİAŞ Çalışmalarından örnek (İnt. Kyn 2).

Diğer yöntem gerilim hattı ile eş potansiyel oluşturma metoduna dayanmaktadır. Yalıtımlı merdiven, kule vs. kullanarak yapılmaktadırlar. (TEİAŞ, 2023)

Başka bir yöntem ise helikopter vb. hava araçları (Ambatkar ve Dhatrak 2022) ile bakım yapmaktır (Karabacak 2021). Hattın enerjisi kesilmeden yapılan bu yöntemle toz, kum, kimyasal atık vb sebeplerle kirlenen önceden tespit edilen noktalara temizleme maksatlı püskürtülen saflaştırılmış su sıkılmasıdır (İnt. Kyn. 2). Şekil 2.8’de TEİAŞ helikopter ile yüksek gerilim hatlarının temizlenmesi ile ilgili görsel verilmiştir.



Şekil 2. 8 TEİAŞ Helikopter ile yüksek gerilim hatlarının temizlenmesi (İnt. Kyn. 3).

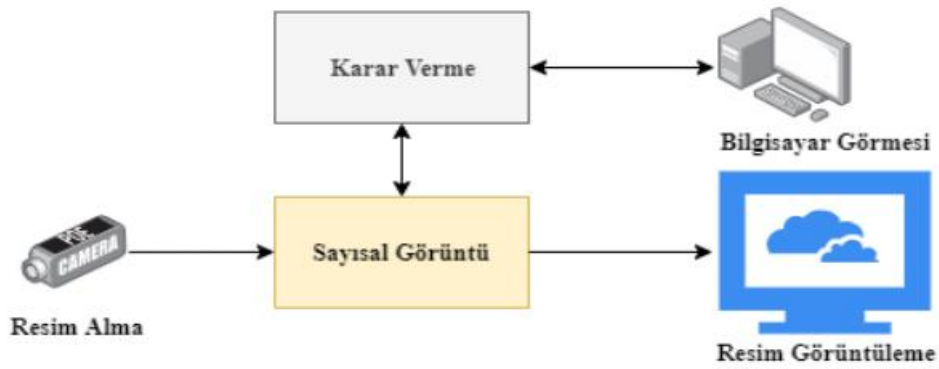
2.9 Görüntü İşleme İşlemi:

Literatürde tek telde ilerleyen ve katener sistemlerini yanal görüntüleyen bir sisteme rastlanılmamıştır. Bunun yanı sıra demiryolu araçlarının üzerine montajlı veya sabit tesisler kurularak görüntü alma işlemleri piyasada mevcuttur.

Katener sistemleri seyir teli ile lokomotif arası teması sağlayan pantografin görüntü işleme tabanlı çalışmalar sonucu modelleme ve arıza tespit için algoritmalar oluşturulan çalışmalar yapılmıştır. (Yaman vd. 2014)

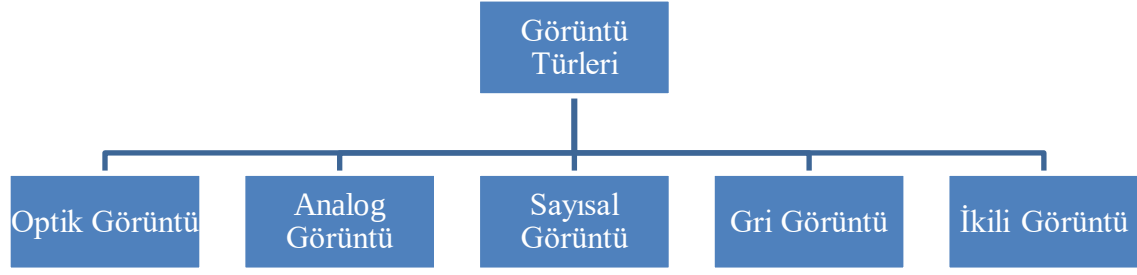
2.9.1. Görüntü Türleri

Görüntü işleme, verilerin kamera gibi cihazlar ile görüntülerinin alınıp değerlendirme işleminden sonra bilgisayarların okuyabileceği bir şekilde dijital ortama aktarılma işlemidir (Aksoy 2021). Görüntü işlemenin görünmesi zor nesneleri gözlemleme, bozuk görüntüleri iyileştirme, bir görüntüdeki çeşitli nesneleri tanımlama ve ayırt etme gibi amaçları mevcuttur. Temel amaç ise piksel değerleri ile işlem yaparak görüntüyü işlevsel hale getirmektir (Dağılgan 2021). Görüntü işleme; çeşitli cihazlarla görüntünün dijital ortama aktarılması, görüntü üzerinde analiz işlemleri yapılarak işlenmesi ve işlenen görüntünün veri raporunun ve çıktısının alınması olmak üzere üç adımda gerçekleşmektedir (Aksoy 2021). Temel görüntü işleme blok diyagramı Şekil 2.9'da verilmiştir (Sevgi 2020).



Şekil 2. 9 Temel görüntü işleme blok diyagramı.

Görüntü işlenin temel yapısını matrislerden oluşan pikseller oluşturmaktadır. $M \times n$ boyutlarından oluşan matrislerin her bir elemanı bir piksel olarak ifade edilmektedir. Bu da sayısal görüntünün piksel sayısına eşit olmakla birlikte görüntünün çözünürlüğünü de belirtmektedir. Bu matris boyutları 1920 x 1080, 1366 x 768 ve 800 x 600 gibi örneklendirilebilir. Bu iki sayının çarpımı piksel sayısını vermektedir (Sevgi 2020). Görüntü işleme de görüntü türleri Şekil 2.10'da görüldüğü üzere 5 başlık altında sınıflandırılmaktadır (Sevgi 2020).



Şekil 2. 10 Görüntü türleri.

2.9.1.1. Optik Görüntü

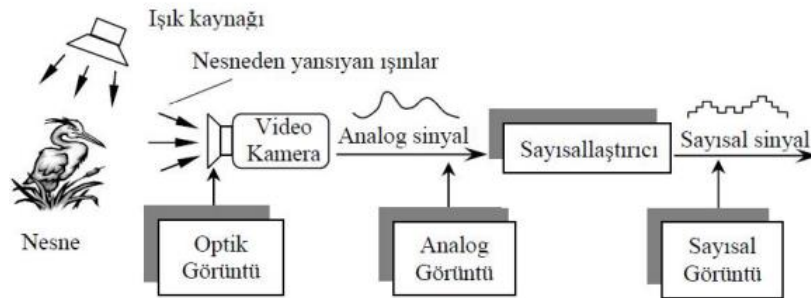
Optik görüntü kameralarda oluşan ilk görüntüdür. Işığın kırılma ve yansıma yöntemleri kullanılarak görüntü elde edilir (Sevgi 2020).

2.9.1.2. Analog Görüntü

Optik görüntünün kamera içinde elektriksel olarak dönüştürülmesiyle elde edilen görüntüye analog görüntü denilmektedir (Sevgi 2020).

2.9.1.3. Sayısal Görüntü

Analog görüntü fonksiyonları bilgisayar ayırt edemeyeceği için sayısallaştırma işleminin yapılması gerekmektedir. Fonksiyonlar sayısallaştırılarak matris haline dönüştürülmesiyle sayısal görüntü elde edilir (Sevgi 2020). Sayısal görüntünün oluşum aşaması Şekil 2.11’de gösterilmiştir (Yaşar 2019).



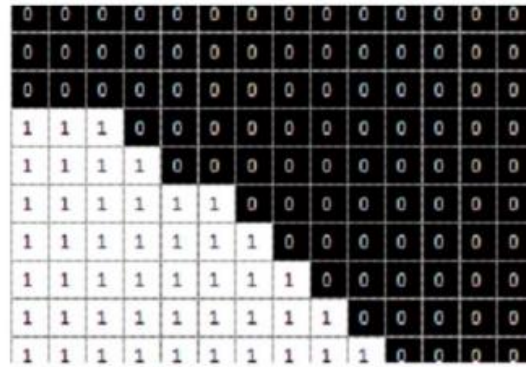
Şekil 2. 11 Sayısal görüntü oluşum aşamaları.

2.9.1.4. Gri Görüntü

Sayısal görüntüyle elde edilen matrisleri sadeleştirmek için renk katmanında filtreleme ile sadece gri renk ve tonlarına ayrılması sonucu oluşan görüntü gri görüntü olarak adlandırılmaktadır. Gri görüntüler; siyah ile beyaz arasında bulunan tüm renk tonlarını ifade etmektedir. Bir başka deyişle piksel değeri 0 ile 255 arasında olan piksellerin oluşturdukları görüntülerdir Gri görüntü oluşumu ile gereksiz renklerden kurtulur, işlem yükü ve gürültü azaltılır (Sevgi 2020).

2.9.1.5 .İkili (Binary) Görüntü

Siyah ve beyaz görüntüler ikili görüntü olarak adlandırılmaktadır. İkili görüntülerde görüntünün piksel değerleri 0 ve 1 ile simgelenmektedir (Yılmaz 2016). Şekil 2.12’de ikili görüntü sistemi örneği vardır.



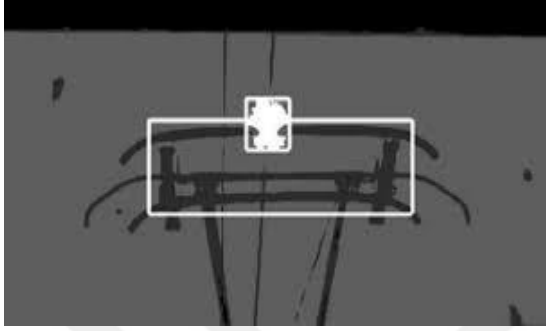
Şekil 2. 12 Örnek ikili (Binary) görüntü (Şenol 2014).

2.9.2. Görüntü İşlemenin Kullanıldığı Alanlar

Görüntü işleme birçok alanda tercih edilmektedir. Tıp alanında; hastalık/kırık belirleme, nodül tespiti, damar belirleme gibi yerlerde tercih edilirken uzay çalışmaları alanında; gezegenler, uydular, gökyüzü olayları vb. uzak yeryüzü kaynakları araştırmalarında uydu görüntüleri analiz etmede, güvenlik alanında; yüz tanıma, parmak izi tanıma, plaka okuma, kâğıt para tanıma, hareket tespitinde kullanılmaktadır (Yılmaz 2016).

Şekil 2.13’te katener sistemi ile pantograf teması ve tren seyri esnasında alınan görüntü

örneği gösterilmiştir. Pantograf kömüründe veya telde meydana gelen deformasyonlar görüntü işleme tekniği ile tespit edilerek ekipman tamiri veya değişimi yapılmaktadır. Bu çalışmada benzer yöntem ile robot üzerindeki kameradan alınan görüntüler katener sistemlerin ekipmanlarının hasar durumlarının tespitinde yarar sağlayacaktır.



(a)Görüntü işlem yöntemi görüntüsü



(b)Gerçek görüntüsü

Şekil 2. 13 Katener sistemlerinden alınan görüntü örnekleri (Yılmaz 2016).

Görüntü işleme sonucu elde edilen değerler bir önce alınan değerlerle karşılaştırılarak katener sistem bağlantılarındaki değişikler, zamanla oluşan kusurlar tespit edilebilir. Mevcut uygulamalarda katener sistemlerin kontrolü yukarıda bahsedildiği üzere gözle muayene veya gece bakımlarında tespit edilerek değişimleri yapılmaktadır. Bu tasarlanan robot ile gözden kaçan ekipman kusurları raporlanarak ikileri dönemde oluşabilecek büyük hasarların önüne geçilebilecektir.

3.MATERYAL ve METOT

Projede katener sistemlerinin direk arkası topraklama hattında ilerleyebilen ve her direk bağlantısını geçtikten sonra görüntü alması planlanan robot yapımını içermektedir. Yerden yaklaşık 5m yüksekte çalışacak robot rüzgar yükleri dikkate alınarak mümkün mertebe hafif olmasına çaba sarf edilmiştir. Robot yapımında servo motorlar, kızaklar, çeşitli sensörler, batarya grubu, enerji temini için güneş paneli (geliştirilmesi sonucu manyetik alandan enerji endükleme de kullanılabilir) ve yazılım kısmında Arduino IDE kullanılmıştır. Dış gövde olarak fiber glas malzeme tercih edilmiştir. Projede piyasadan temin edilen ve aşağıda belirtilen ekipman/malzemeler kullanılmıştır.

3.1. Malzeme ve Ekipman Teknik Özellikler

3.1.1. Mikroişlem: Arduino Mega 2560 ve Teknik Özellikleri

Arduino Mega 2560 'ta 54 tane dijital giriş / çıkış pini vardır (Kul 2021). Bunlardan 15 tanesi PWM çıkışı olarak kullanılabilir. Ayrıca 16 adet analog girişi, 4 UART (donanım seri port), bir adet 16 MHz kristal osilatörü, USB bağlantısı, power jakı (2.1mm), ICSP başlığı ve reset butonu bulunmaktadır (Yılmaz 2020). Arduino Mega 2560 bir mikrodenetleyiciyi desteklemek için gerekli bileşenlerin hepsini içerir. Arduino Mega 2560 bir bilgisayara bağlanarak, bir adaptör ile ya da pil ile çalıştırılabilir. Arduino Mega, Arduino Duemilanove ya da Diecimila için tasarlanan shield lerin çoğu ile kullanılabilir (İnt. Kyn.4). Şekil 3.1'de çalışmada kullanılan arduino mega kartın ön yüzüne Şekil 3.2'de ise arka görüşlerine ait görseller verilmiştir.



Şekil 3. 1 Arduino mega kartı ön görünüşü.

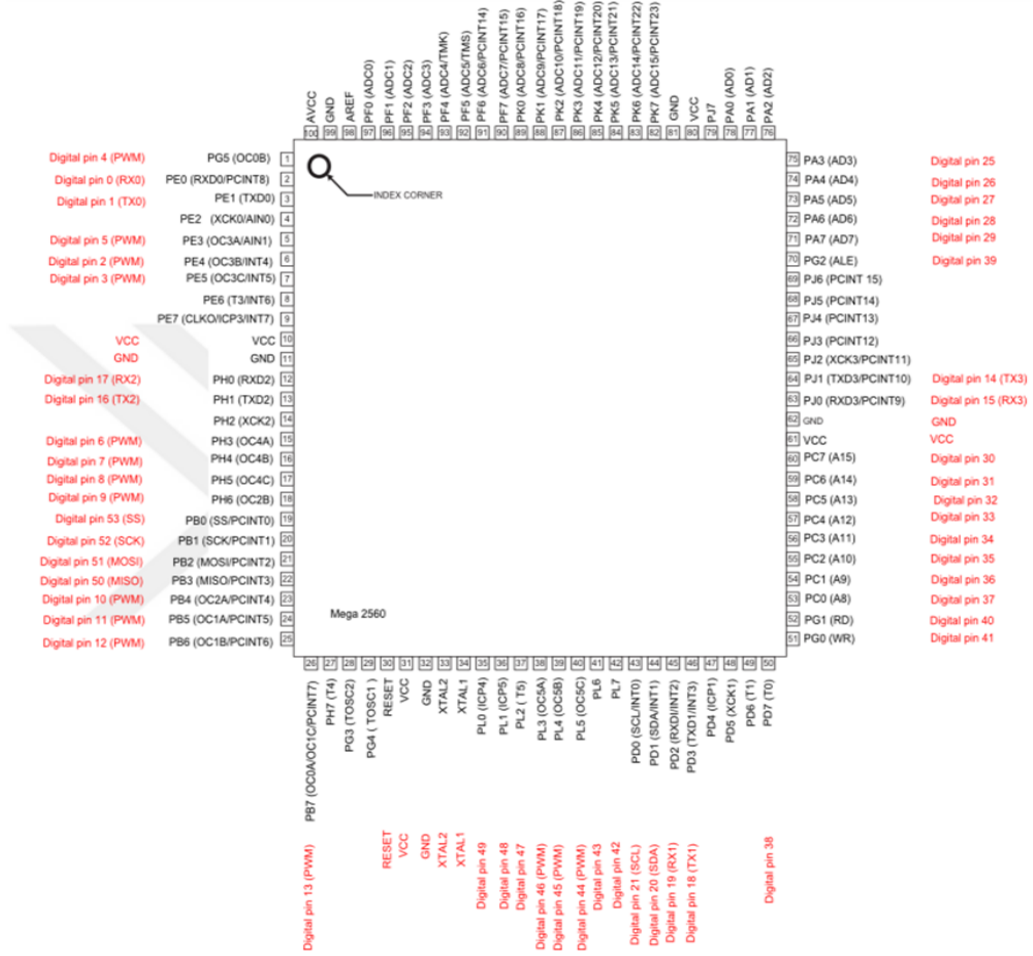


Şekil 3. 2 Arduino mega kartı arka görünüşü.

Arduino Mega 2560 R2 (revision 2) 8U2 HWB çizgisini toprağa çeken bir dirence sahiptir. Böylece DFU mode kullanmak kolaylaşır. Arduino Mega R3 (revision3) ise şu ek özelliklere sahiptir;

- Pinout : AREF pininin yanına SDA ve SCL pinleri eklenmiştir. Reset pininin yanına iki yeni pin eklenmiştir. IOREF shield lerin karttan sağlanan voltaja adapte olmasını sağlar. İleride shield ler hem 5 V ile çalışan AVR kullanan kartlar ile hem de 3.3 V ile çalışan Arduino Due ile uyumlu olacaktır. İkinci pin ise herhangi bir yere bağlı değildir. İleride yapılacak geliştirmeler için eklenmiştir.
- Daha güçlü reset devresi
- Arduino Mega 2560 R1 ve R2 de kullanılan atmega8u2 yerine R3 te atmega16u2 kullanılmıştır.

Şekil 3.3'te arduino mega 2560 pinleri gösterilmiştir.



Şekil 3. 3 Arduino mega 2560 pinleri (Altuntaş 2016).

Mikrodenetleyici: ATmega2560 (Kayaalp ve Özkorucuklu 2015)

- Çalışma gerilimi: +5 V DC
- Tavsiye edilen besleme gerilimi: 7 - 12 V DC
- Besleme gerilimi limitleri: 6 - 20 V
- Dijital giriş / çıkış pinleri: 54 tane (15 tanesi PWM çıkışını destekler)
- Analog giriş pinleri: 16 tane
- Giriş / çıkış pini başına düşen DC akım: 40 mA
- 3,3 V pini için akım: 50 mA
- Flash hafıza: 256 KB (8 KB bootloader için kullanılır)
- SRAM: 8 KB
- EEPROM: 4 KB
- Saat frekansı : 16 MHz

3.1.1.1. Güç

Arduino Mega 2560 bir USB kablosu ile bilgisayar bağlanarak çalıştırılabilir ya da harici bir güç kaynağından beslenebilir. Harici güç kaynağı bir AC-DC adaptör ya da bir pil/batarya olabilir. Adaptörün 2.1 mm jaklı ucunun merkezi pozitif olmalıdır ve Arduino Mega 2560'ın güç girişine takılmalıdır. Pil veya bataryanın uçları ise güç konnektörünün GND ve Vin pinlerine bağlanmalıdır (İnt. Kyn.4).

Arduino Mega 2560 6V-20V aralığında bir harici güç kaynağı ile beslenebilir (Altıntaş 2016). Ancak 7V altında bir besleme yapıldığında 5V pini 5V'tan daha düşük çıkış verebilir ve kart kararsız çalışabilir. 12V üzerinde bir voltaj beslemesi yapılması durumunda ise regülatör fazla ısınabilir ve karta zarar verebilir. Bu nedenle tavsiye edilen besleme gerilimi 7V-12V aralığındadır (Altıntaş 2016).

3.1.1.2. Pin ve Giriş Çıkışlar

VIN: Arduino Mega 2560 kartına harici bir güç kaynağı bağlandığında kullanılan voltaj girişidir.

5V: Bu pin Arduino kartındaki regülatörden 5 V çıkış sağlar. Kart DC power yakından (2 numaralı kısım) 7-12V adaptör ile, USB yakından (1 numaralı kısım) 5V ile ya da VIN pininden 7-12V ile beslenebilir. 5V ve 3.3V pininden voltaj beslemesi regülatörü bertaraf eder ve karta zarar verir.

3.3V: Arduino kart üzerindeki regülatörden sağlanan 3.3V çıkışıdır. Maksimum 50 mA'dir.

GND: Toprak pinidir.

IOREF: Arduino kartlar üzerindeki bu pin, mikrodenetleyicinin çalıştığı voltaj referansını sağlar. Uygun yapılandırılmış bir shield IOREF pin voltajını okuyabilir ve uygun güç kaynaklarını seçebilir ya da 3.3 V ve 5 V ile çalışmak için çıkışlarında gerilim dönüştürücülerini etkinleştirebilir (İnt. Kyn.4).

Giriş ve Çıkışlar

Arduino Mega 2560'ta bulunan 54 tane dijital giriş/çıkış pininin tamamı, pinMode(), digitalWrite() ve digitalRead() fonksiyonları ile giriş ya da çıkış olarak kullanılabilir. Bu pinler 5V ile çalışır. Her pin maksimum 40mA çekebilir ya da sağlayabilir ve 20-50KOhm dahili pull-up dirençleri vardır. Ayrıca bazı pinlerin özel fonksiyonları vardır:

Serial: 0 (RX) ve 1 (TX); Serial 1: 19 (RX) ve 18 (TX); Serial 2: 17 (RX) ve 16 (TX); Serial 3: 15 (RX) ve 14 (TX): Bu pinler TTL seri data almak (receive - RX) ve yaymak (transmit - TX) içindir. 0 ve 1 pinleri ayrıca ATmega16U2 USB-to-TTL Si çipinin ilgili pinlerine bağlıdır (Erten 2018).

Harici kesmeler 2 (kesme 0), 3 (kesme 1), 18 (kesme 5), 19 (kesme 4), 20 (kesme 3) ve 21 (kesme 2): Bu pinler bir kesmeyi tetiklemek için kullanılabilir (Erten 2018).

PWM: 2 - 13 , 44 - 46: Bu pinler analogWrite () fonksiyonu ile 8-bit PWM sinyali sağlar.

SPI: 50 (MISO), 51 (MOSI), 52 (SCK), 53 (SS): Bu pinler SPI kütüphanesi ile SPI haberleşmeyi sağlar.

LED 13: Digital pin 13 e bağlı bir leddir. Pinin değeri High olduğunda yanar, Low olduğunda söner.

TWI : 20 SDA 21 SCL: Wire kütüphanesini kullanarak TWI haberleşmesini destekler (Erten 2018). (Bu pinlerin yeri Arduino Duemilanove ve Diecimila kartlardaki ile aynı değildir.) Arduino Mega 2560 'ın 16 tane analog girişinden her biri 10 bit çözünürlüğü destekler. Varsayılan ayarlarda topraktan 5V'a kadar ölçerler. Ancak, AREF pini ve analogReference() fonksiyonu kullanılarak üst limit ayarlanabilir.

AREF: Analog girişler için referans voltajıdır. analogReference() fonksiyonu ile kullanılır.

RESET: Mikrodenetleyiciyi resetlemek içindir. Genellikle shield üzerine reset butonu eklemek için kullanılır.

Haberleşme

Arduino Mega 2560 bir bilgisayar ile, başka bir Arduino ile ya da diğer mikrodenetleyiciler ile haberleşme için çeşitli imkanlar sunar. ATmega2560 mikrodenetleyicisi TTL (5V) seri haberleşme için 4 donanımsal UART'a sahiptir. Kart üzerindeki bir ATmega16U2 seri haberleşmeyi USB üzerinden kanalize eder ve bilgisayardaki yazılıma sanal bir com portu olarak görünür. 16U2 standart USB com sürücülerini kullanır ve harici sürücü gerektirmez. Ancak, Windows 'ta bir .inf dosyası gereklidir. Kart üzerindeki RX ve TX ledleri USB den seri çipe ve USB den bilgisayara veri giderken yanıp söner. SoftwareSerial kütüphanesi Arduino Mega 2560 'ın dijital pinlerinden herhangi biri üzerinden seri haberleşmeye imkân sağlar. Ayrıca ATmega2560 TWI ve SPI haberleşmelerini de destekler (İnt. Kyn.4).

Programlama

Arduino Mega 2560 üzerindeki ATmega2560 mikrodenetleyicisine önceden bir bootloader yüklenmiştir. Bu bootloader sayesinde Arduino 'yu programlamanız için harici bir programlayıcı donanımına ihtiyacınız olmaz. Orjinal STK500 programını kullanarak haberleşir. Ayrıca Arduino ISP kullanarak Arduino 'nun bootloader 'ını devre dışı bırakabilir ve mikrodenetleyiciyi ICSP (In Circuit Serial Programming) pini üzerinden programlanabilir (İnt. Kyn.4).

3.1.1.3. USB Aşırı Akım Koruması

Arduino Mega 2560, bilgisayarınızın USB portunu aşırı akım ve kısa devreden koruyan resetlenebilir bir çoklu sigortası bulunur. Çoğu bilgisayarın portlar için kendi korumaları olmasına rağmen bu sigorta ekstra bir koruma katmanı sağlar. Eğer USB portuna 500 mA den fazla bir yük binerse, sigorta otomatik olarak bağlantıyı kısa devre veya aşırı akım durumu ortadan kalkana dek keser (İnt. Kyn.4).

3.1.2. Arduinonun Bileşenleri

Arduino mikrodnetçilerde kullanılan programlama bileşenlerini bir araya getirmiş, zengin kütüphanesi olan programlama dilidir. Arduino platformu aşağıdaki temel bileşenlerden oluşmaktadır.

- Arduino Geliştirme Ortamı (IDE)
- Arduino Bootloader (Optiboot)
- Arduino Kütüphaneleri
- AVR Dude (Arduino üzerindeki mikrodnetleyici programlayan yazılım)
- Derleyici (AVR-GCC)

Arduino doğrudan bu bileşenleri kullanarak mikrodnetleyici programlamayı sağlamaktadır. Arduino geliştirme ortamı processing dilini kullanır ve Java tabanlı yazılım kodlarını içerir. Normalde bir mikrodnetleyiciyi programlamak için kullandığımız ürüne yönelik geliştirilmiş olan programlayıcıları kullanmamız gerekir. Bunun bir alternatifi de seri haberleşme üzerinden mikrodnetleyiciyi programlamamızdır. Tabi bunun için mikrodnetleyicimizin bir seri haberleşme modülüne sahip olması ve kendi program belleğini programlama özelliğine sahip olması gerekiyor. Bir de bu programlama işini yapacak ufak bir programcığa ihtiyaç vardır. İşte bu programcığa bootloader denilir. Mikrodnetleyici çalışmaya başladıktan hemen sonra programlamaya başlamak için gerekli verilerin gelmesini bekliyor. Bu veriler gelmediyse doğrudan mikrodnetleyiciye yüklenmiş programı koşturmaya başlıyor. İşte Arduino'da kullanılan bootlooader'ın ismi OptiBoot'dur. Bu kodlara Atmega assembly kodlarını içermektedir. Arduino kütüphaneleri sayesinde mikrodnetleyiciler kolayca programlanabilir. Arduino ile birlikte gelen standart kütüphaneler yanında internette gönüllüler tarafından geliştirilmiş birçok farklı kütüphanede bulunmaktadır. Kodlar derlendikten sonra programlamak için kullanılan AVR Dude programı kullanılır (İnt. Kyn.4).

3.1.3.2. Kızak ve Sonsuz Vidalar

Çalışmada sonsuz vida olarak Şekil 3.5'te de gösterilen paslanmaz çelik korozyon dirençli hassas sürgü özellikli malzeme kullanılmıştır.



Şekil 3. 5 Sonsuz vida (İnt. Kyn.6).

Lineer hareketin sağlanması için çeneye sabitlenen Şekil 3.5 de gösterildiği gibi daire şeklinde üretilmiş somun içindeki sonsuz vida mili 8mm çapındadır. Milin iki ucunda milin rahat hareketi için kulaklı rulmanlar kullanılmıştır. Bu iki rulmanın biri robotun üst kenarına diğeri ise servo motorların bulunduğu üst kenara monte edilmiştir. Servo motorların mile bağlantısını sağlamak için ise kaplin kullanılmıştır. Lineer hareketi sağlayan sonsuz vida mili çene parçalarının geniş olması nedeniyle her çene için iki adet kullanılmış ve hareketin doğrusallığının bozulmaması için Şekil 3.6 ve Şekil 3.7 deki gibi iki adet kızak kullanılmıştır.



Şekil 3. 6 Kızaklar (İnt. Kay. 7) (11.02.2023).



Şekil 3. 7 Mini CNC doğrusal klavuz ray (İnt. Kyn. 8).

Şekil 3.8’de robotun engele geldiğini bildiren kızılötesi sensör gösterilmektedir



Şekil 3. 8 Kızılötesi bariyer sensörü (İnt. Kyn. 9).

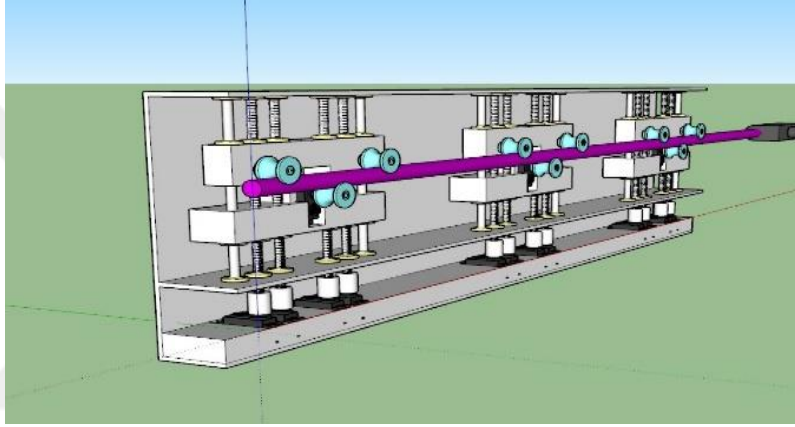
Bariyer sensörü, robotun hareketi sırasında direğin algılanması, çenelerin açılması ve kapanması gereken süreçleri belirlemek için kullanılmıştır.

3.2. Çizim ve uygulama aşamaları

Modelleme ve tasarım için SketchUp kullanılmıştır. SketchUp, mimarlık ve mühendislik departmanlarında kullanılan nesnelerin 3 boyutlu olarak tasarlamasına olanak sağlayan bir programdır (Kahraman 2014). Sketchup, haritalama ve 3 boyutlu tasarım özelliği ile gerçekliği geniş bir şekilde görmemize imkan sağlamaktadır (Özcan 2020). Ücretsiz tasarım aracı olan SketchUp açık kaynak kitaplıkları ve sayısız eklentisiyle kullanımı kolay bir uygulamadır. Tasarımda üçlü grup şeklinde topraklama teline tutunabilen 3 adet servo motor kullanılmıştır. Engel olarak adlandırılan aslında katener direklerine tutturulan topraklama

telini sabitleyen direk arkası kelepçedir. Dizayn olarak şekilde gösterilen klipsin, robot ilerleyişini engel teşkil eden parçanın, robot geçişi esnasında üçlü gruplarının 1 takımının çene diye adlandırırsak açılması bu esnada diğer 2 grubun robotu sabit bir şekilde tel üzerinde durmasını ve ilerleyişinin devamının sağlanması planlanmıştır.

Şekil 3.9’da robotun topraklama telinde normal ilerleyişini sembolize etmektedir. İki Katener direği arasında robot ilerlerken mor renk ile temsili gösterilen topraklama telini sınıksız kavramış durumdadır. Robot üçlü çene grubundan oluşmaktadır. Şekilde gözüken engeli aşmak için topraklama telinde en az 2 grup teli kavramış durumdadır.



Şekil 3. 9 Robotun önden görünümü.

Robotun enerjisi ihtiyacı değişik şekillerde temin edilebilir. Robot dahilinde bataryalar mevcuttur. Batarya şarjı şekil 3.10’da görüldüğü gibi güneş paneliyle sağlanmıştır. Güneş paneli yerine katener sisteminden endükleme yöntemiyle enerji de sağlanabilir.



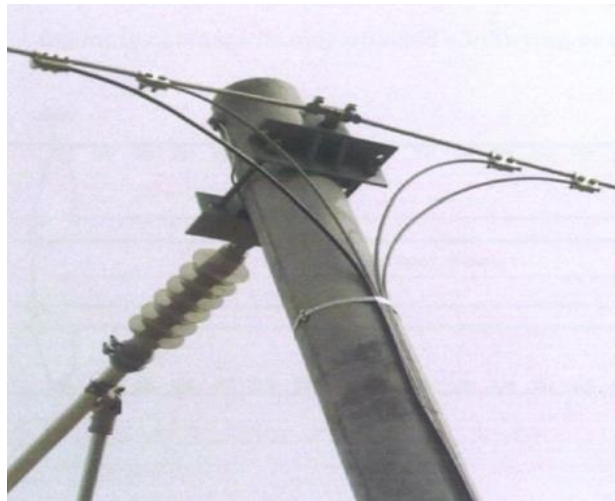
Şekil 3. 10 Enerji temini için kullanılan güneş paneli.

Topraklama telinin katener direklerine tutturulması Şekil 3.11’de gösterilen ara bağlantı malzemesi ve robotun tel üzerine montajlı hali gösterilmektedir. Tezimizde bu bağlantı elemanı engel olarak adlandırılmıştır. Çünkü robot ilerleyişine mani durumdadır ve bu engelin aşımı için çene sistemleri oluşturulmuştur.



Şekil 3. 11 Topraklama telini sabit tutan bağlantı malzemesi (engel) ve robot montajı.

Uygulamalarda katener topraklamaları geri dönüş akımının iletilmesini sağlar. Aynı anda hat boyunda yer alan diğer ekipmanlarının toprak irtibatı yine bu hatta bağlanarak topraklanmaları sağlanmaktadır (Şekil 3.12). Projemizde tek bir kroşe engeli ele alınmıştır. Robot işletilecek hatta bulunan tüm topraklama ekipmanları tek bir bağlantı noktasında birleştirilmelidir.

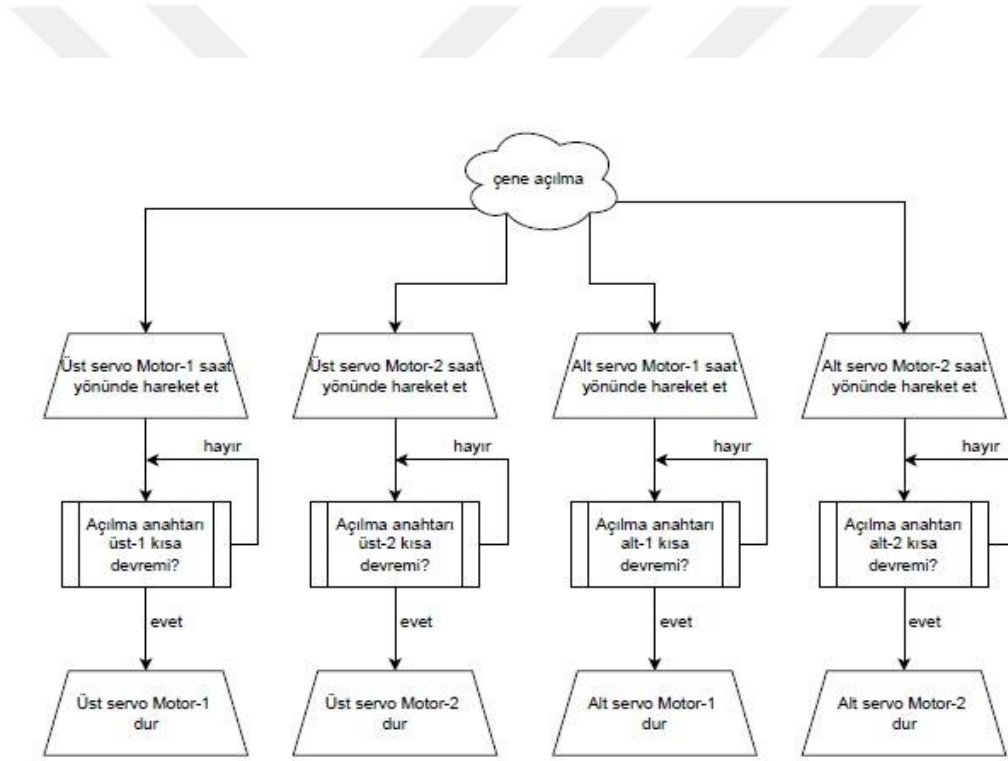


Şekil 3. 12 Katener sistemlerinde örnek topraklama tutucuları (engel).

3.3. Robot Kodlama

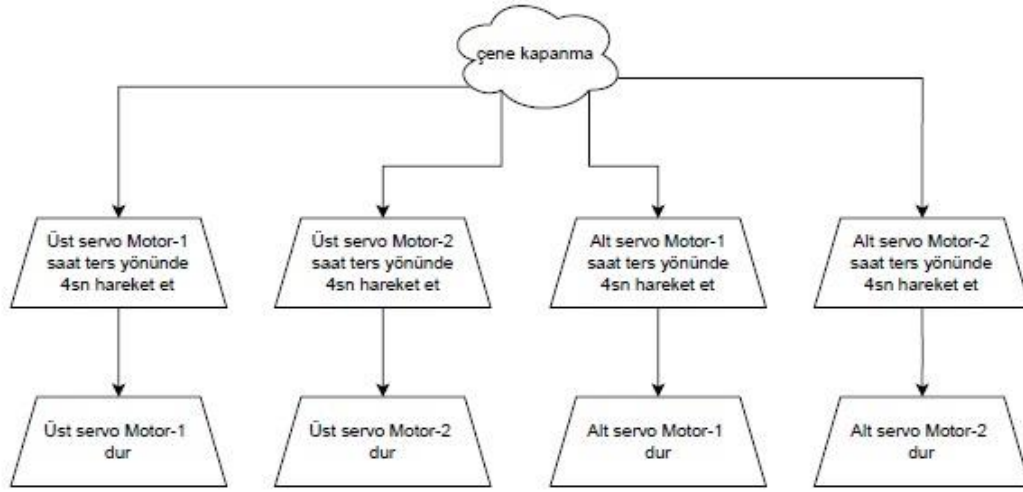
Robot tasarlanırken yazılım kısmında ilk olarak referans açma hareketi yapılmaktadır. Bu işlem için servolar teli tutacak olan çene kısımlarını sonuna kadar açar. Çene açma işlemi sonlandırma noktalarındaki switchlerin sinyal vermesi ile durdurulur. Bu sayede olası hata konumunda kalan servo motorlarda konum olarak sıfırlanmış olurlar. İlk referans açma işleminin başlaması için robot üzerindeki butona basılmaktadır. Bu sayede yavaş ve emniyetli şekilde çeneler sonuna kadar açılır. Açılma sonrası robot tel üzerine el ile yerleştirilir ve ikinci defa butona basılarak çeneler kapanmaya başlar.

Arduino yazılım çalışması şematik kodlama gösterimi çene açma işlemi şekil 3.13'deki sıralama ile olur.



Şekil 3. 13 Robot çenelerinin açılması

Robotun tele ilk yerleştirilmesi işlemi katener direğine çıkılarak elle yapılmalıdır. Robotun topraklama teline yerleştirilmesi için daha önce butona 1 kez basılması ve çene açma işleminin tamamlanmasının ardından butona tekrar basılarak robot çenelerinin teli kavraması ile sağlanır. Bu durum şekil 3.14'deki işlem basamaklarının çalıştırılması şeklinde gerçekleştirilir.



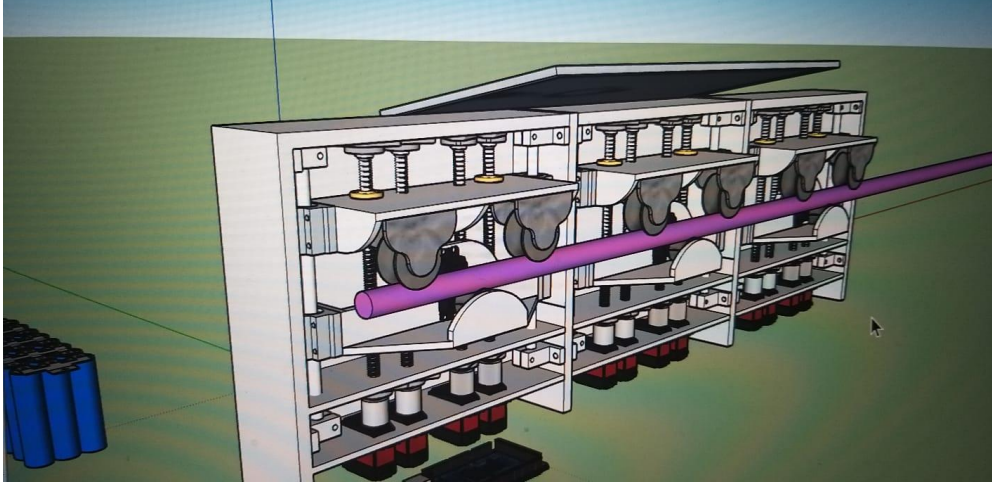
Şekil 3. 14 Robotun tele tutturulması için kodlama şematığı, çene kapatma

Robot çeneleri teli sıkıca kavramasından sonra butona tekrar basılır ve aşağıda Şekil 3.15’de gösterilen komut satırları çalıştırılır. Bu işlem her bir katener direği için tekrarlanır. Katener sistemlerinin kontrol alanlarının belirlenmesine göre robotun dur komutu da tasarıma göre yazılıma eklenebilir.



Şekil 3. 15 Robotun çalışması akış diyagramı.

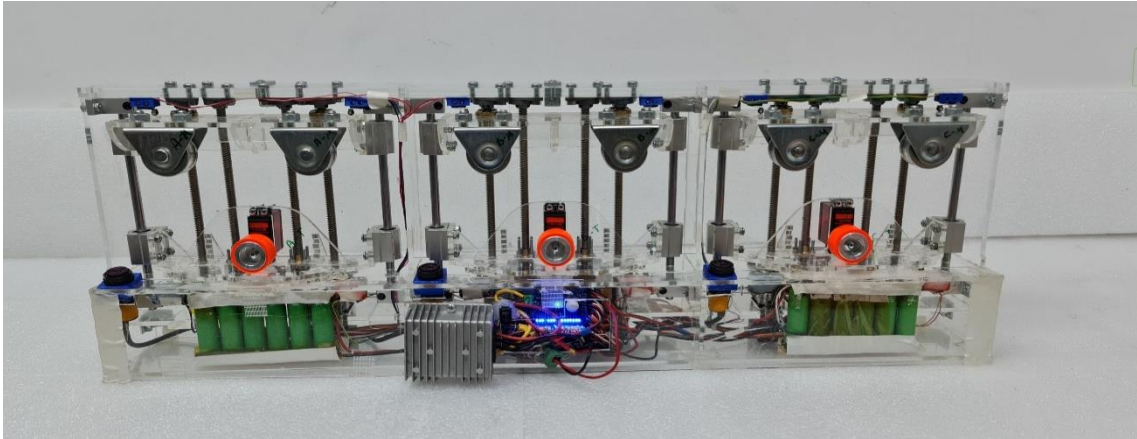
Şekil 3.16’de mor renk, resimlerde ise siyah-beyaz çizgili boru topraklama telini, kırmızı boru ise engeli temsil etmektedir.



Şekil 3. 16 Robotun tele yerleştirilmiş halinin sketchup çizimi.

Aşağıda robotun katener sisteminin topraklama teline yerleştirilmesi aşamalar halinde verilmiştir. Şekil 3.17, Şekil 3.18 ve Şekil 3.19’de bu işlem 3 kademedeyi detaylı bir şekilde açıklanmıştır.

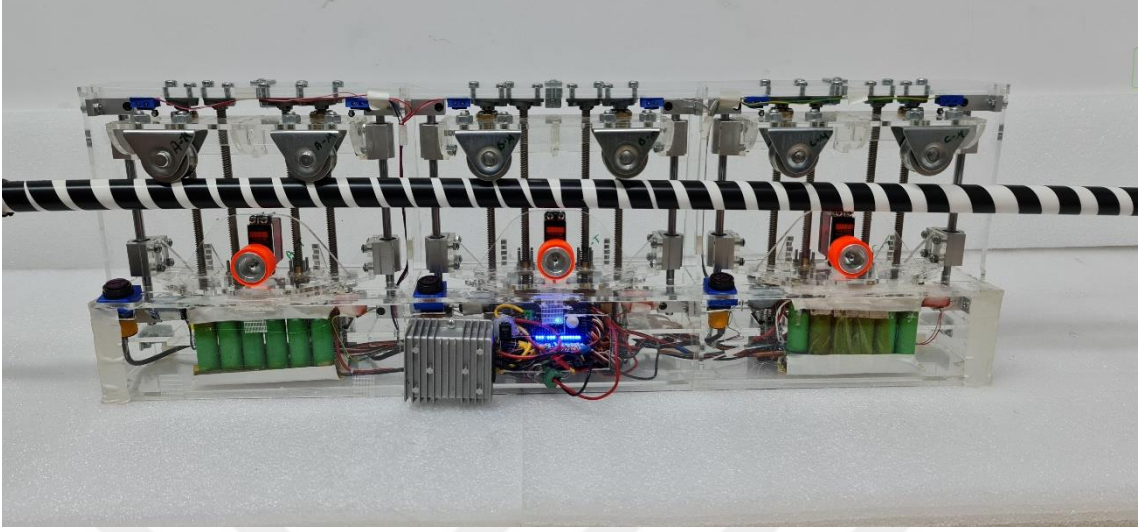
Şekil 3.17’de robotun tele yerleştirilmesi işleminin ilk aşaması görülmektedir. Bu aşamada tüm çeneler açıktır ve bundan sonra robotun tele yerleştirilmesi işlemi gerçekleştirilecektir.



Şekil 3. 17 Robotun tele yerleştirilmesi öncesi tüm çeneler açık iken görünümü.

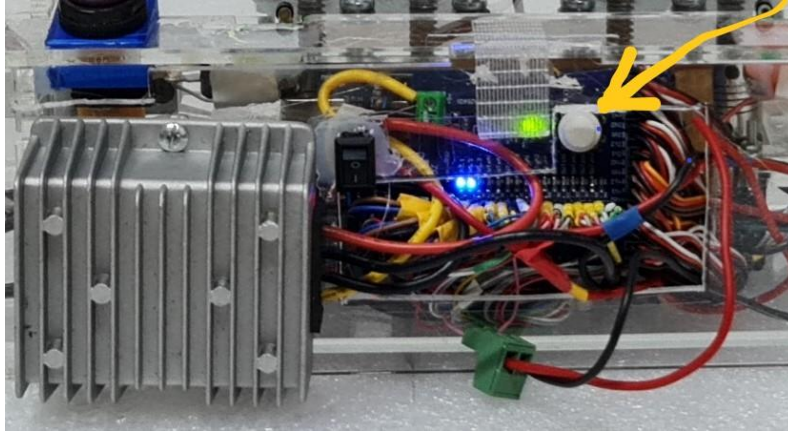
Bir önceki aşamada çeneleri açık vaziyette getirilen robot bu aşamada Şekil 3.18’de görüldüğü üzere katener sistemi topraklama iletkeni üzerine oturtulmuştur. Robot ile iletken arasındaki ayrımın daha iyi yapılabilmesi (farkındalığın artırılabilmesi) için

toprak iletkeni siyah beyaz şeritler halinde tasarlanmıştır.



Şekil 3. 18 Katener sistem toprak iletkeni üzerine robotun yerleştirilme işleme ait görüntü.

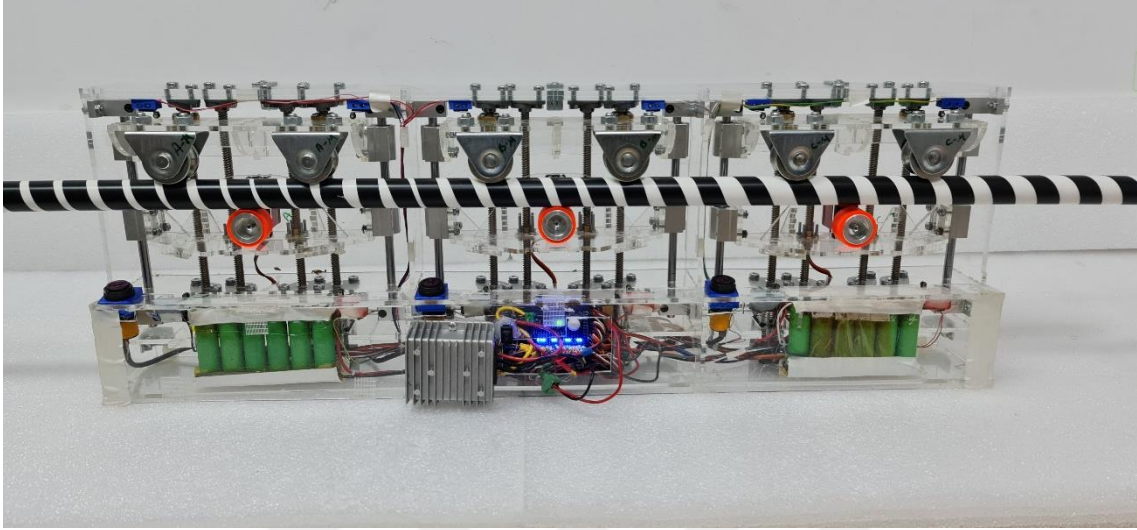
Şekil 3.19’da arduino set üzerindeki buton görülmektedir. Şekil üzerinde sarı ok ile gösterilmiştir. Robotun tüm çeneleri kapalı iken ilk hareket bu butonla verilir ve tüm çeneler sıralı olarak açılır. Diğer bir ifadeyle buton robotun tele yerleştirilmesi ve telden alınması için tasarlanmıştır.



Şekil 3. 19 Arduino set üzerinde butonun gösterimi.

Şekil 3.20’de katener sistem topraklama teli üzerine yerleştirilmiş, çeneleri kapalı yani iletkeni kenetlenmiş robotun son vaziyeti görülmektedir. Bu işlem için Şekil 3.19’daki butona 1 defa basılmış ve çeneler iletkeni kavramıştır. Çenelerin teli kavrama işlemi telin

apına göre değişkenlik göstermektedir. Bu yüzden topraklama telinin çapı ölçülüp bu değere bağlı olarak servo motorların dönüş açı değerleri kod satırıyla hesaplanarak belirlenmiştir. Eğer farklı tel çapları kullanılacaksa tel kalınlığı ölçülmeli ve buna göre motor dönüş açıları tekrardan kodlanmalıdır.



şekil 3. 20 Tele robotun yerleştirilmesi, çeneler kapalı.

Bu aşamaya kadar robotun katener sistemi toprak iletkeni üzerine yerleştirilip kullanıma hazır vaziyete getirme işlemi detaylı bir şekilde anlatılmıştır. Aşağıda ise yukarıda anlatılan aşamaların ve robot hareketine ait kodlama işlemleri verilmiştir.

Telin robota yerleştirilmesi işlemlerinin tamamı için “*void kurulum()*” fonksiyonu oluşturulmuştur. Yazılımın ilk aşamasında robotun tele yerleştirilmesi, robotun çeneleri vasıtasıyla teli sıkıştırması, robotun telde ilerlemesi ve fotoğraf çekme ana fonksiyonları tanımlanmıştır. Bu işlem için aşağıda belirtilen void döngüleri kullanılmıştır. Yazılımın okunaklı ve kolay işlenebilir olması için her aşamada kullanılacak olan döngü fonksiyonlarının tanımlanma işlemi yapılmıştır.

```
void loop() {  
  
    ileri();  
    geri_foto_cek();  
    ileri();
```

```
engel_atla();  
  
}
```

Bu sayede fonksiyonlar rahat takip edilebilmektedir. Kurulum fonksiyonunun ilk aşamasında servo motorlar robotu mekanik olarak sıkıştırmayacak biçimde ayarlanmıştır. İlk olarak aşağıdaki komut ile servo motorlar açılır.

```
void kurulum(){  
  
    servo1.write(94);  delay(10);  
    servo2.write(93);  delay(10);  
    servo3.write(95);  delay(10);  
  
    servoAu1.write(90); delay(10);  
    servoAu2.write(90); delay(10);  
    servoAa1.write(90); delay(10);  
    servoAa2.write(90); delay(10);  
    servoBu1.write(90); delay(10);  
    servoBu2.write(90); delay(10);  
    servoBa1.write(90); delay(10);  
    servoBa2.write(90); delay(10);  
    servoCu1.write(90); delay(10);  
    servoCu2.write(90); delay(10);  
    servoCa1.write(90); delay(10);  
    servoCa2.write(90); delay(10);  
}
```

Komut sonunda servo motorların durdurulması mekanizmaların alt ve üst sınırlama switchlerine gelene kadar sürer. Switchlerin tetiklemesi ile motorlar durur. Bu süreç B ve C katmanları için tekrarlanır.

Bu işlev için gerekli kodlama aşağıdaki gibidir.

```

//-----A KATMANI-----
Au1=40;
Au2=40;
while(digitalRead(swcaU1Pin)==1 | digitalRead(swcaU2Pin)==1){
delay(400);
if(digitalRead(swcaU1Pin)==0){ Au1=90;delay(10);}
if(digitalRead(swcaU2Pin)==0){ Au2=90;delay(10);}
servoAu1.write(Au1); delay(10);
servoAu2.write(Au2); delay(10);
}
servoAu1.write(90); delay(10);
servoAu2.write(90); delay(10);

Aa1=140;
Aa2=140;
while(digitalRead(swcaA1Pin)==1 | digitalRead(swcaA2Pin)==1){
delay(400);
if(digitalRead(swcaA1Pin)==0){ Aa1=90;delay(10);}
if(digitalRead(swcaA2Pin)==0){ Aa2=90;delay(10);}
servoAa1.write(Aa1); delay(10);
servoAa2.write(Aa2); delay(10);
}
servoAa1.write(90); delay(10);
servoAa2.write(90); delay(10);

//-----B KATMANI-----
Bu1=40;
Bu2=40;
while(digitalRead(swcbU1Pin)==1 | digitalRead(swcbU2Pin)==1){
delay(400);
if(digitalRead(swcbU1Pin)==0){ Bu1=90;delay(10);}
if(digitalRead(swcbU2Pin)==0){ Bu2=90;delay(10);}

```

```

servoBu1.write(Bu1);  delay(10);
servoBu2.write(Bu2);  delay(10);
}

servoBu1.write(90);  delay(10);
servoBu2.write(90);  delay(10);


Ba1=140;
Ba2=140;
while(digitalRead(swcbA1Pin)==1 | digitalRead(swcbA2Pin)==1){
delay(400);
if(digitalRead(swcbA1Pin)==0){ Ba1=90; delay(10);}
if(digitalRead(swcbA2Pin)==0){ Ba2=90; delay(10);}
servoBa1.write(Ba1);  delay(10);
servoBa2.write(Ba2);  delay(10);
}
servoBa1.write(90);  delay(10);
servoBa2.write(90);  delay(10);


//-----C KATMANI-----

Cu1=40;
Cu2=40;
while(digitalRead(swccU1Pin)==1 | digitalRead(swccU2Pin)==1){
delay(400);
if(digitalRead(swccU1Pin)==0){ Cu1=90;delay(10);}
if(digitalRead(swccU2Pin)==0){ Cu2=90;delay(10);}
servoCu1.write(Cu1);  delay(10);
servoCu2.write(Cu2);  delay(10);
}
servoCu1.write(90);  delay(10);
servoCu2.write(90);  delay(10);


Ca1=140;

```

```

Ca2=140;
while(digitalRead(swccA1Pin)==1 | digitalRead(swccA2Pin)==1){
delay(400);
if(digitalRead(swccA1Pin)==0){ Ca1=90;delay(10);}
if(digitalRead(swccA2Pin)==0){ Ca2=90;delay(10);}
servoCa1.write(Ca1); delay(10);
servoCa2.write(Ca2); delay(10);
}
servoCa1.write(90); delay(10);
servoCa2.write(90); delay(10);

```

Çenelerin tamamının açılma işlemi sonrası telin sıkıştırılma sürecine gelinmiş olur. Burada servo motorların hızları düşürülerek yavaş bir sıkma işlemi gerçekleşir. Servo motorların nerede duracağı ise telin kesitine göre yazılımsal olarak belirlenmiştir.

Butona basıldığında yazılım çalışmaya başlar ve aşağıdaki komut sıra ile servo motorlara iletilir.

```

//-----SIKIŞTIRMA-----
while(digitalRead(butonPin)==1 );
while(digitalRead(butonPin)==0 );
servoAa1.write(25); delay(10);
servoAa2.write(25); delay(10);
servoBa1.write(30); delay(10);
servoBa2.write(30); delay(10);
servoCa1.write(25); delay(10);
servoCa2.write(25); delay(10);
delay(10000); //sıkıştırma süresi
servoAa1.write(90); delay(10);
servoAa2.write(90); delay(10);
servoBa1.write(90); delay(10);
servoBa2.write(90); delay(10);
servoCa1.write(90); delay(10);

```

```
servoCa2.write(90); delay(10);  
}
```

```
void ileri(){
```

```
while(digitalRead(sns1Pin)==0){
```

```
servo1.write(0); delay(15);
```

```
servo2.write(0); delay(15);
```

```
servo3.write(0); delay(15);
```

```
}
```

```
servo1.write(94); delay(15);
```

```
servo2.write(93); delay(15);
```

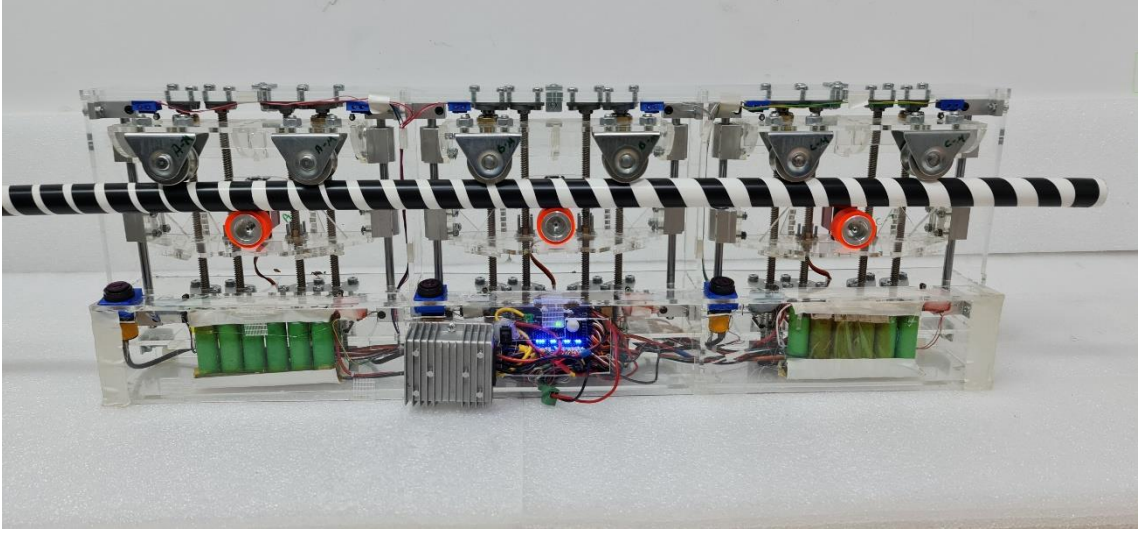
```
servo3.write(95); delay(15);
```

```
delay(1000);
```

```
}
```

Tel kavrama işleminden sonra robot üzerindeki butona tekrar basılır ve robot göreve başlar. Hareket tekerleri ileri yönde sürekli hareket eder. Bu bir sonsuz döngüdür. Bu döngü robotun ön kısmındaki mesafe bariyer sensörünün direk üzerindeki tel bağlantı ekipmanını (engelin) algılamasına kadar devam eder. Robot engele geldiğinde hareketini durdurur (döngü sona erer).

Sonra direk üzerindeki istenilen noktanın (direk, hat bağlantıları, yol vb.) fotoğrafının çekilebilmesi için belli bir mesafe geri yönde hareket eder. Bu işlem robotun şekil 3.21 durumunu almasıyla ve aşağıdaki kodlama sayesinde gerçekleştirilir



Şekil 3. 21 Robotun görüntü alma işlemi için geri gelmesi.

Bu geri gitme hareketi aşağıdaki kod ile sağlanmaktadır.

```
void geri_foto_cek(){  
  
    servo1.write(180);  delay(15);  
    servo2.write(180);  delay(15);  
    servo3.write(180);  delay(15);  
  
    delay(2000); // istenen süre boyunca geri gider  
  
    servo1.write(94);  delay(15);  
    servo2.write(93);  delay(15);  
    servo3.write(95);  delay(15);  
  
    delay(5000);  
  
}
```

Gerekli yerlerin fotoğrafının çekilme işlemi sonrasında ileri yönde hareket devam eder. Engelin tekrar algılanması ile engel atlama fonksiyonu aktif olur. Bu fonksiyon aşağıdaki

gibidir.

```
void engel_atla(){

    //-----engelden az geri gel-----

    servo1.write(180);  delay(15);
    servo2.write(180);  delay(15);
    servo3.write(180);  delay(15);

    delay(1000); // istenen süre boyunca geri gider

    servo1.write(94);  delay(15);
    servo2.write(93);  delay(15);
    servo3.write(95);  delay(15);
    delay(100);

    //-----ortala-----

    servoAu1.write(180);  delay(15);
    servoAu2.write(180);  delay(15);
    servoAa1.write(180);  delay(15);
    servoAa2.write(180);  delay(15);

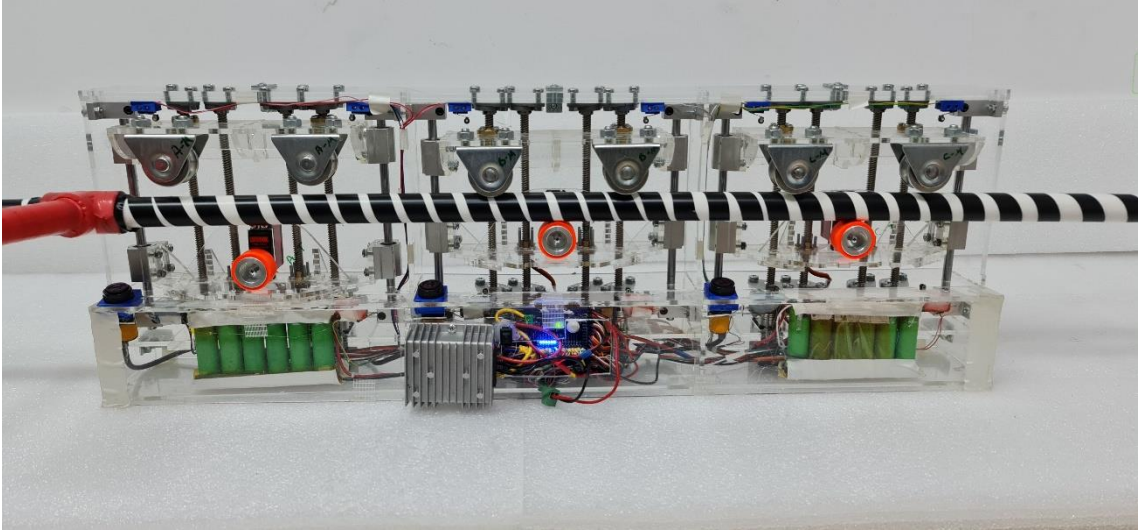
    servoBu1.write(180);  delay(15);
    servoBu2.write(180);  delay(15);
    servoBa1.write(180);  delay(15);
    servoBa2.write(180);  delay(15);

    servoCu1.write(180);  delay(15);
    servoCu2.write(180);  delay(15);
    servoCa1.write(180);  delay(15);
    servoCa2.write(180);  delay(15);
    delay(2000); // ortaya gelecek kadar süre hesabı
```



```
servoAu1.write(90); delay(10);  
servoAu2.write(90); delay(10);  
servoAa1.write(90); delay(10);  
servoAa2.write(90); delay(10);  
servoBu1.write(90); delay(10);  
servoBu2.write(90); delay(10);  
servoBa1.write(90); delay(10);  
servoBa2.write(90); delay(10);  
servoCu1.write(90); delay(10);  
servoCu2.write(90); delay(10);  
servoCa1.write(90); delay(10);  
servoCa2.write(90); delay(10);  
  
delay(100);
```

Bu komuttan sonra ile A katmanı dediğimiz 1. Çene açma işlemi başlar. Bu işleme ait görüntü Şekil 3.22’de verilmiştir.

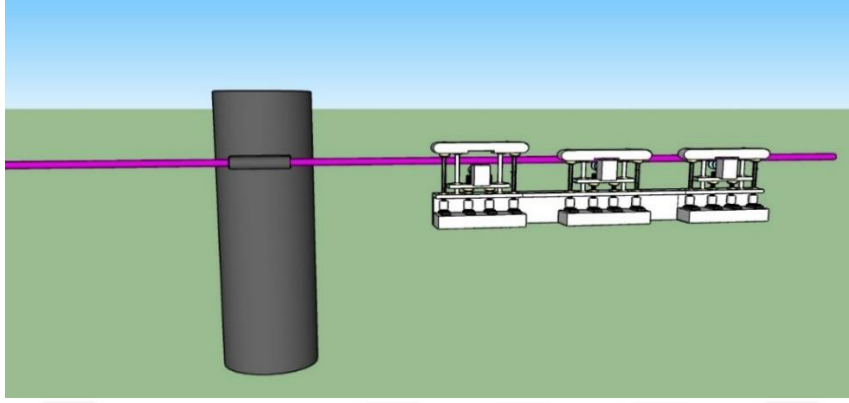


Şekil 3. 22 Robotun 1. çenesinin açılması ve engeli aşma hareketi.

Robotun rijit kalabilmesi için A çenesi açılırken B ve C çeneleri teli sıkıca kavramış durumdadır. Şekil 3.23’e bakıldığında soldan sağa doğru A (açık) , B ve C çeneleri

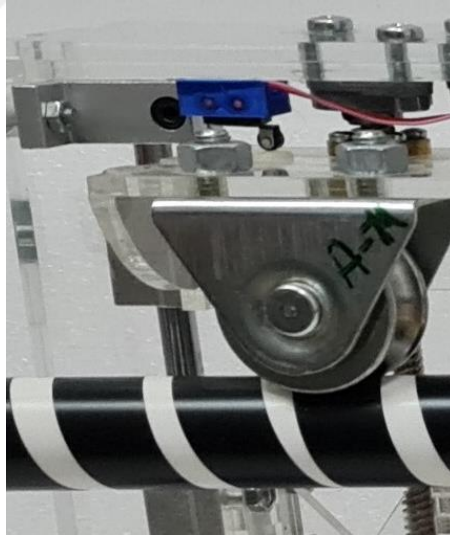
(kapalı) gözükmemektedir.

Robotun engele gelmesi, algıladığı engel sonrası geri gelmesi sonucu robotun 1. çenesinin açılması öncesi durum gösterilmektedir.



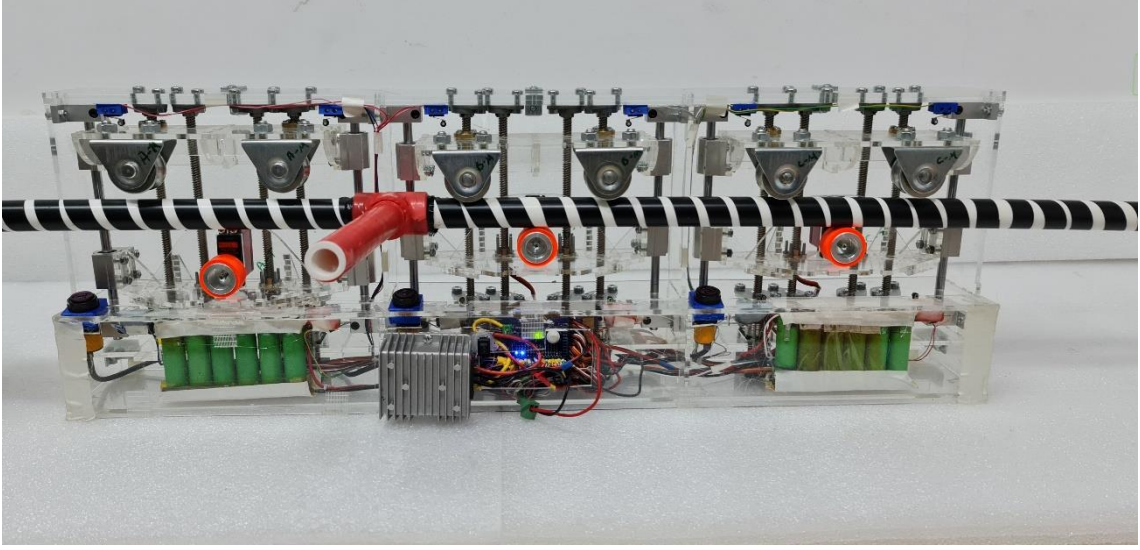
Şekil 3. 23 Robotun engele yaklaşımı ve ilk çenenin açılmaya başlaması.

A çenesi tamamen açıldığında A çeneleri üzerinde bulunan switch kapanır ve hareket komutu çalışır. Bu komutu sağlayan switch Şekil 3.24’de gösterilmiştir.



Şekil 3. 24 Dur komutunu veren switch.

Bu komut ile robotun B ve C ilerleme servoları çalışır. Bu servoların çalışması ile robot Şekil 3.25’deki pozisyonunu alır.



Şekil 3. 25 Robotun 1. çenesinin açılması ve engeli aşma hareketi.

1. Çenenin açılması ve engeli aşmasına ait komut aşağıdaki gibidir.

//-----A bölgesinin açılması-----

Au1=40;

Au2=40;

Aa1=140;

Aa2=140;

```
while(digitalRead(swcaU1Pin)==1    |    digitalRead(swcaU2Pin)==1    |
digitalRead(swcaA1Pin)==1 | digitalRead(swcaA2Pin)==1){
  delay(400);
```

```
if(digitalRead(swcaU1Pin)==0){ Au1=90;delay(10);}
```

```
if(digitalRead(swcaU2Pin)==0){ Au2=90;delay(10);}
```

```
if(digitalRead(swcaA1Pin)==0){ Aa1=90;delay(10);}
```

```
if(digitalRead(swcaA2Pin)==0){ Aa2=90;delay(10);}
```

```
servoAu1.write(Au1);  delay(10);
```

```
servoAu2.write(Au2);  delay(10);
```

```
servoAa1.write(Aa1);  delay(10);
```

```
servoAa2.write(Aa2);  delay(10);
```

```
}
```

```
servoAu1.write(90); delay(10);  
servoAu2.write(90); delay(10);  
servoAa1.write(90); delay(10);  
servoAa2.write(90); delay(10);
```

```
while(digitalRead(sns2Pin)==0){ //A bölgesinde engeli atla
```

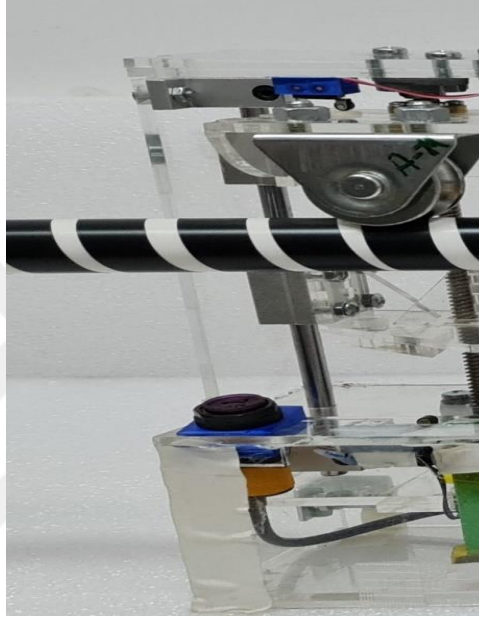
```
servo1.write(80); delay(15);  
servo2.write(80); delay(15);  
servo3.write(80); delay(15);  
}  
servo1.write(94); delay(15);  
servo2.write(93); delay(15);  
servo3.write(95); delay(15);  
delay(800);
```

```
servo1.write(100); delay(15);  
servo2.write(100); delay(15);  
servo3.write(100); delay(15);  
delay(300);  
servo1.write(94); delay(15);  
servo2.write(93); delay(15);  
servo3.write(95); delay(15);  
delay(800);
```

```
servoAu1.write(140); delay(10); //A bölgesi kapatma  
servoAu2.write(140); delay(10);  
servoAa1.write(40); delay(10);  
servoAa2.write(40); delay(10);  
delay(8500); //Kapanacak kadar süre  
servoAu1.write(90); delay(10);
```

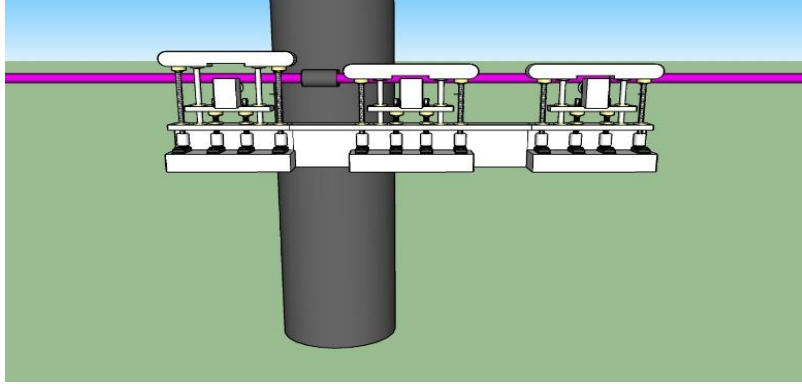
```
servoAu2.write(90); delay(10);  
servoAa1.write(90); delay(10);  
servoAa2.write(90); delay(10);
```

Robotun her çenesinin engeli aşması sonucu durması için Şekil 3.26’da gösterilen sensörler kullanılmıştır.



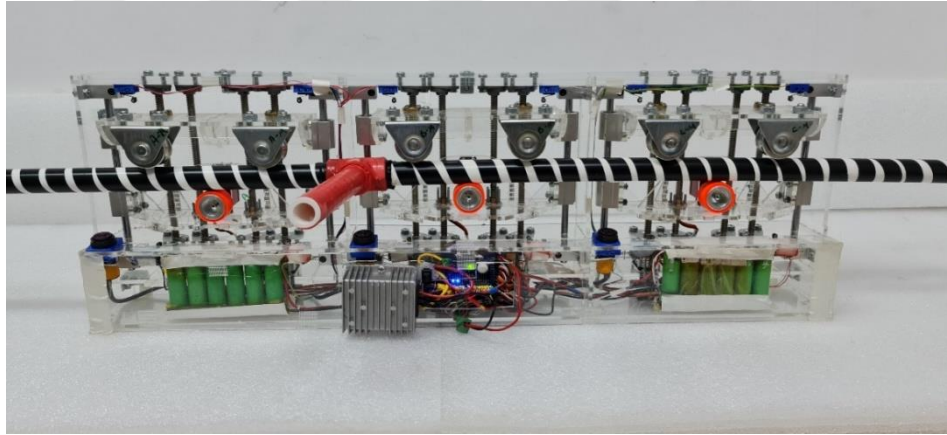
Şekil 3. 26 Çenelerin açılımının tamamlandığını bildiren kızılötesi sensör.

Robot ilerler, 1. çene engeli aştıktan sonra robot hareketi durur. Şekil 3.25 konumundaki robot 2. sensörün aktif olmasıyla birlikte 1. çene grubuna kapatma komutu gönderir. Bu aşamada 1. Çene engeli aşar, sensör engeli algılar ve robot durur, A çenesinin kapanma işlevi başlar. Bu durumun katener sistemi üzerindeki gösterimi şekil 3.27’deki gibidir.



Şekil 3. 27 İlk bölümün engeli aşması.

Komut sonrası tüm çeneler kapalıdır. Aşağıda robotun bu konumu Şekil 3.28’de gösterilmektedir.



Şekil 3. 28 Robotun tüm çeneleri kapalı.

1. Çene olan A grubu kapanmasını tamamladıktan sonra 2. çene olan B grubunun açılması için aşağıdaki komut başlar.

//-----B bölgesinin açılması-----

Bu1=40;

Bu2=40;

Ba1=140;

Ba2=140;

while(digitalRead(swcU1Pin)==1 | digitalRead(swcU2Pin)==1 |

```

digitalRead(swcba1Pin)==1 | digitalRead(swcba2Pin)==1){
    delay(400);
    if(digitalRead(swcbaU1Pin)==0){ Bu1=90;delay(10);}
    if(digitalRead(swcbaU2Pin)==0){ Bu2=90;delay(10);}
    if(digitalRead(swcbaA1Pin)==0){ Ba1=90;delay(10);}
    if(digitalRead(swcbaA2Pin)==0){ Ba2=90;delay(10);}

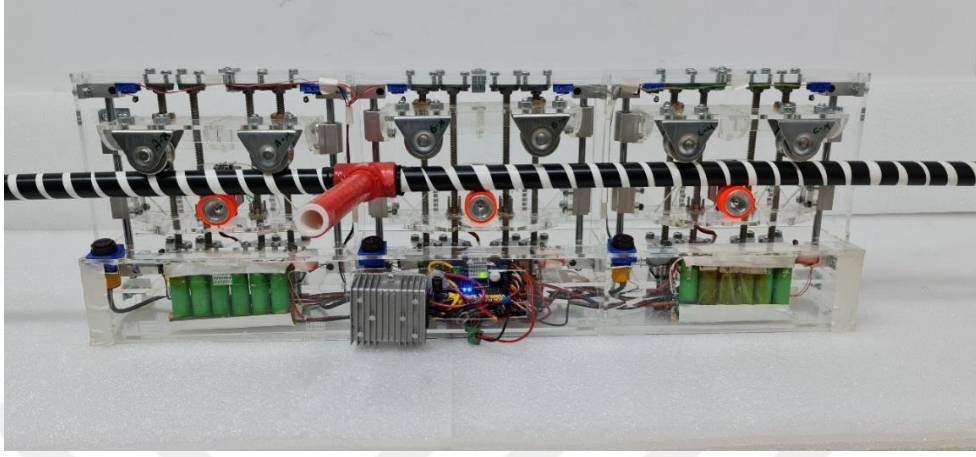
    servoBu1.write(Bu1);    delay(10);
    servoBu2.write(Bu2);    delay(10);
    servoBa1.write(Ba1);    delay(10);
    servoBa2.write(Ba2);    delay(10);
}
servoAu1.write(90);    delay(10);
servoAu2.write(90);    delay(10);
servoAa1.write(90);    delay(10);
servoAa2.write(90);    delay(10);

while(digitalRead(sns3Pin)==0){ //B bölgesinde engeli atla
    servo1.write(80);    delay(15);
    servo2.write(80);    delay(15);
    servo3.write(80);    delay(15);
}
servo1.write(94);    delay(15);
servo2.write(93);    delay(15);
servo3.write(95);    delay(15);
delay(800);

servo1.write(100);    delay(15);
servo2.write(100);    delay(15);
servo3.write(100);    delay(15);
delay(300);
servo1.write(94);    delay(15);
servo2.write(93);    delay(15);
servo3.write(95);    delay(15);
delay(800);

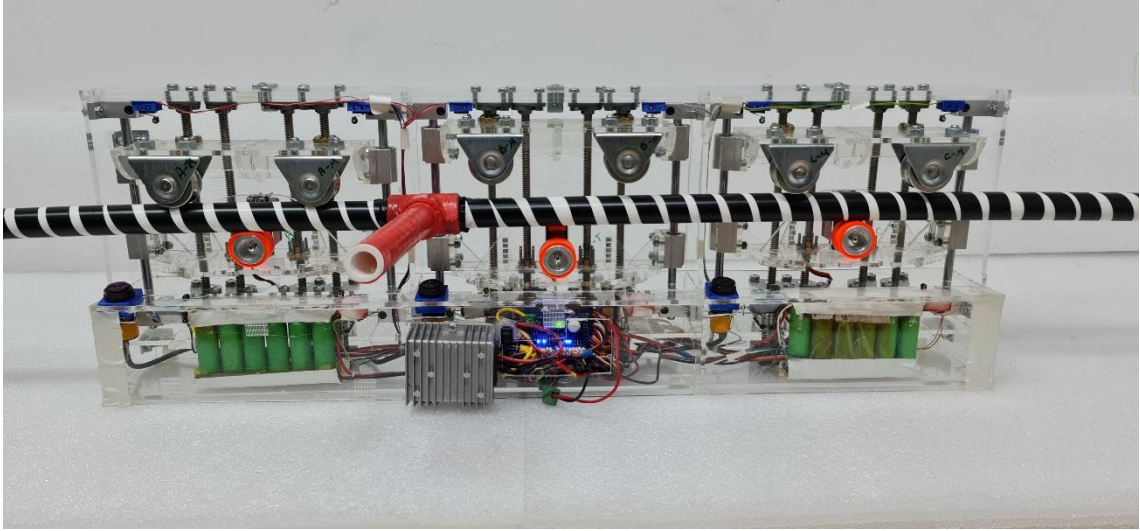
```


2. Çene açılırken robotun topraklama teli üzerinde durabilmesi için 1. ve 3. çene grubu sıkıca teli kavramıştır. B Grubu 2. çene yavaş yavaş açılmaya başlar (Şekil 3.29).



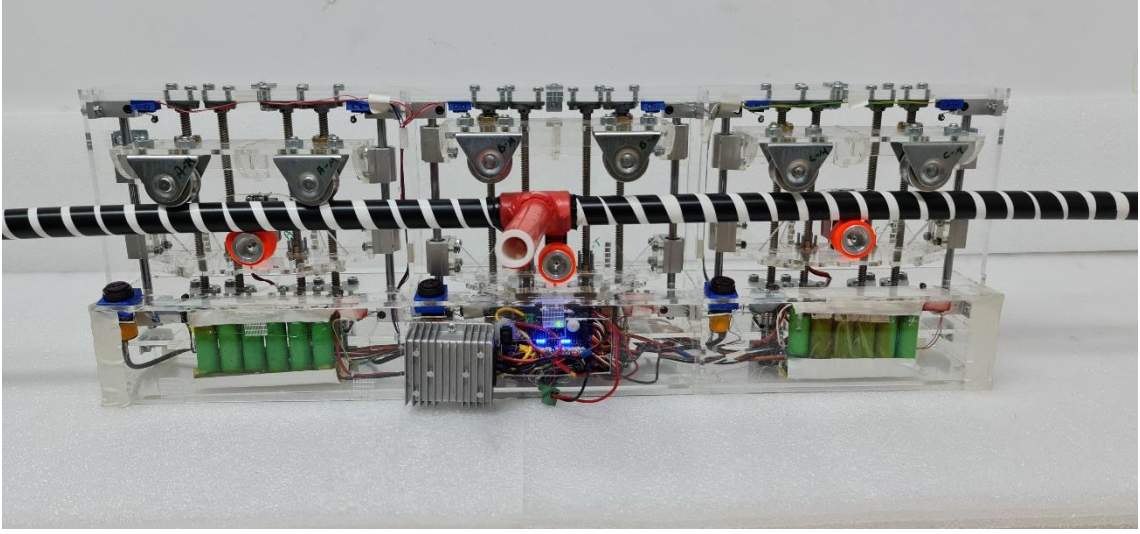
Şekil 3. 29 Robotun 1. ve 3.çenesi kapalı, 2. çene (B Grubu) açılma anı.

2. çene tamamen açıldığında (Şekil 3.30) 2. switch komut gönderir ve hareket servoları çalışır.



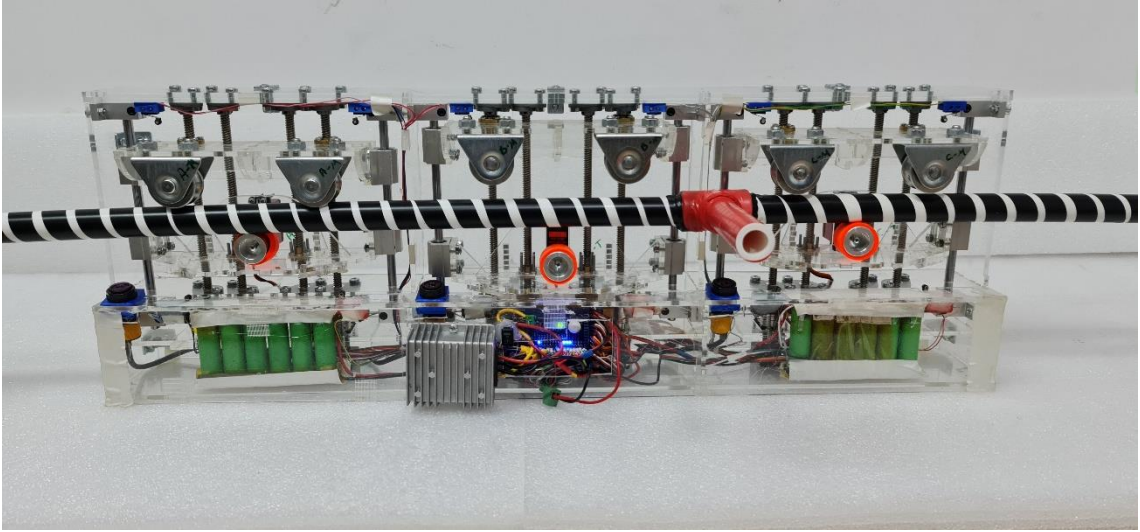
Şekil 3. 30 Robotun 1. çenesi kapalı, 2. çene (B Grubu) tamamen açık.

Turuncu renkli servo motorların çalışmasıyla robotun B grubu da engeli Şekil 3.31'deki gibi aşmaya başlar.



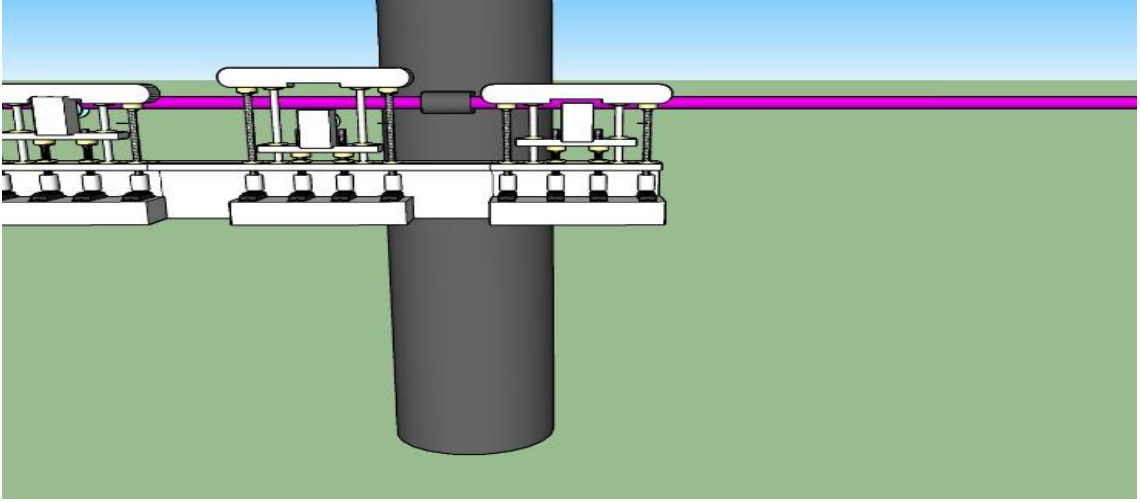
Şekil 3. 31 Robotun 1. ve 3. çeneleri kapalı, 2. çene tamamen açık.

Hareket servoları çalışırken 3. engel tespit sensörü engeli algılar ve motorları durdurma komutu verir. Bu durum Şekil 3.32’de gösterilmiştir.



Şekil 3. 32 Engelden 2. çenenin geçmesi.

Bu durumda robotun katener topraklama telindeki durumu Şekil 3.33’deki gibidir

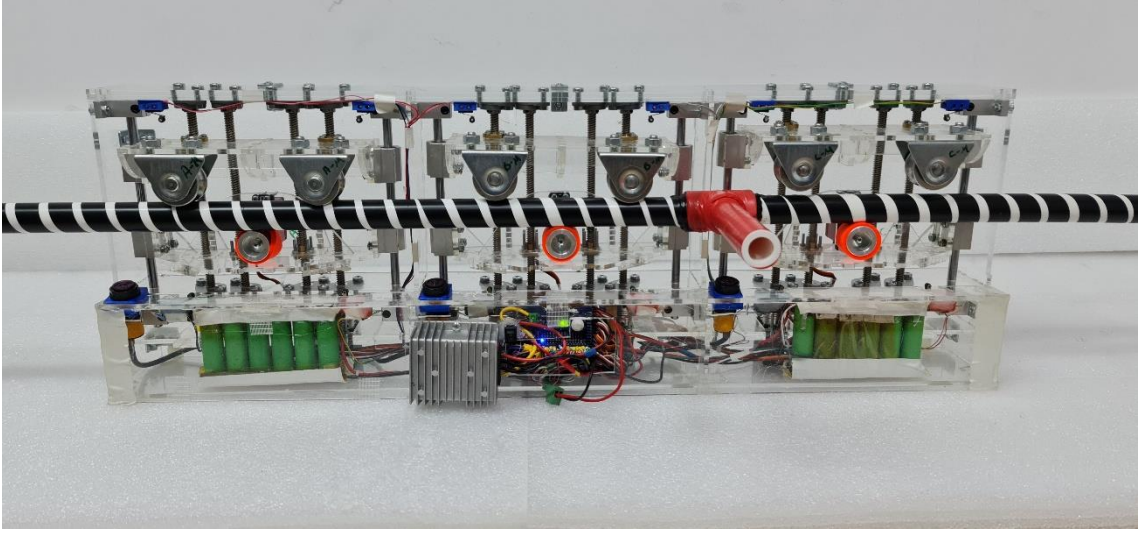


Şekil 3. 33 Robotun 2. çenesinin telden geçmesi.

Engel algılama sensörünün verdiği komut sonrası 2. Grup B çenesi kapanma işlemine başlar. İlgili komut aşağıdaki gibidir.

```
servoBu1.write(140); delay(10); //B bölgesi kapatma  
servoBu2.write(140); delay(10);  
servoBa1.write(40); delay(10);  
servoBa2.write(40); delay(10);  
delay(7000); //Kapanacak kadar süre  
servoBu1.write(90); delay(10);  
servoBu2.write(90); delay(10);  
servoBa1.write(90); delay(10);  
servoBa2.write(90); delay(10);
```

komut sonrası robot Şekil 3.34'deki pozisyonudadır.



Şekil 3. 34 A ve B grubu çene kapalı, C grubu çene açılırken.

2. çenenin kapanmasının ardından C grubu 3. Çene açılmaya başlar. İlgili komut aşağıdaki gibidir.

//-----C bölgesinin açılması-----

Cu1=40;

Cu2=40;

Ca1=140;

Ca2=140;

*while(digitalRead(swccU1Pin)==1 | digitalRead(swccU2Pin)==1 |
digitalRead(swccA1Pin)==1 | digitalRead(swccA2Pin)==1){*

delay(400);

if(digitalRead(swccU1Pin)==0){ Cu1=90;delay(10);}

if(digitalRead(swccU2Pin)==0){ Cu2=90;delay(10);}

if(digitalRead(swccA1Pin)==0){ Ca1=90;delay(10);}

if(digitalRead(swccA2Pin)==0){ Ca2=90;delay(10);}

servoCu1.write(Cu1); delay(10);

servoCu2.write(Cu2); delay(10);

servoCa1.write(Ca1); delay(10);

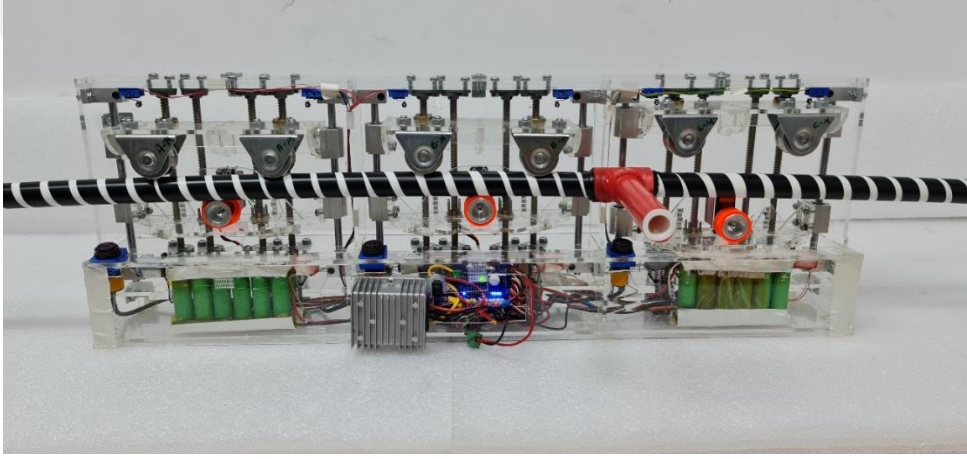
servoCa2.write(Ca2); delay(10);

```

}
servoCu1.write(90); delay(10);
servoCu2.write(90); delay(10);
servoCa1.write(90); delay(10);
servoCa2.write(90); delay(10);

```

Yine aynı şekilde C grubu açılırken 1. ve 2. çeneler teli sıkıştırmış vaziyettedir. 3. Çene açılma işlemini tamamlaması sonucu 3. Switch kapanır ve robota ilerleme komutu verilir. Robotun görünümü Şekil 3.35’deki gibidir.



Şekil 3. 35 C Grubu 3. çenenin açılması.

C grubu 3. Çene açıldığında üst tarafında yer alan switch kapanır ve robotun ilerleyiş komutu çalışmaya başlar. İlerleme servoları çalışır, ilk engele kadar sabit hızla ilerleyiş sağlanır. Bir sonraki engel yaklaşık 50 m uzaklıktaki diğer katener direği olacaktır.

Bu durumda çalışan komut aşağıdaki gibidir.

//C bölgesinde engeli atla

```

servo1.write(80); delay(15);
servo2.write(80); delay(15);
servo3.write(80); delay(15);

```

```
delay(4000); //C bölgesinde engeli atlamak için gerekli süre
```

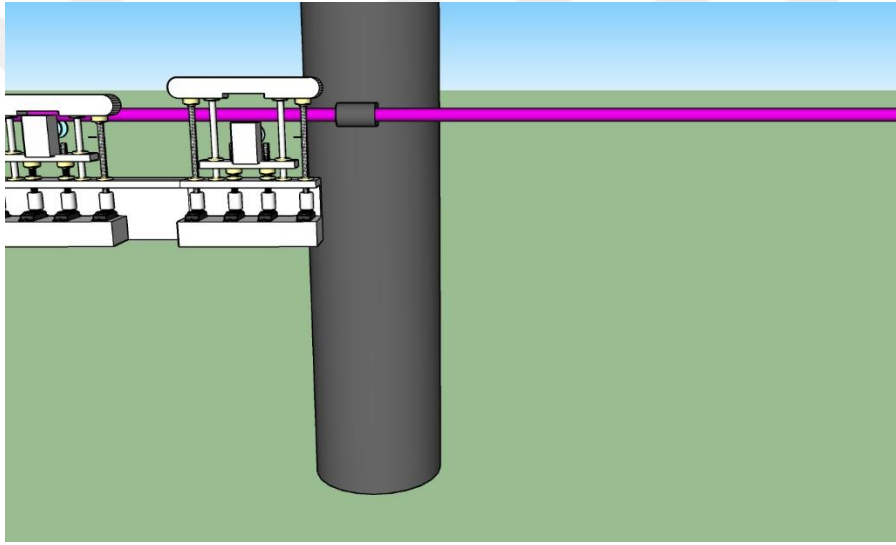
```
servo1.write(94); delay(15);
```

```
servo2.write(93); delay(15);
```

```
servo3.write(95); delay(15);
```

```
delay(800);
```

Engel tamamen aşıldığında katener direğinde asılı bulunana robotun konumu Şekil 3.36'daki gibidir.



Şekil 3. 36 Üçüncü bölümün engeli geçişi.

Engeli aşan robotun 3. Çenesi kapatılması için aşağıdaki komut devreye girer.

```
servoCu1.write(140); delay(10); //C bölgesi kapatma
```

```
servoCu2.write(140); delay(10);
```

```
servoCa1.write(40); delay(10);
```

```
servoCa2.write(40); delay(10);
```

```
delay(8500); //Kapanacak kadar süre
```

```
servoCu1.write(90); delay(10);
```

```
servoCu2.write(90); delay(10);
```

```
servoCa1.write(90); delay(10);
```

```
servoCa2.write(90); delay(10);
```

```
    delay(1000);  
}
```

```
}
```

Son engelden de kurtulan robot ana döngüdeki fonksiyonları sırası ile tekrar çalıştırmaya devam eder. Bununla ilgili kodlama aşağıdaki gibidir.

```
void loop() {  
    ileri();  
    geri_foto_cek();  
    ileri();  
    engel_atla();  
}
```

Bu döngü sayesinde robot bir sonraki katener direğine kadar yoluna devam eder.

4. BULGULAR

4.1 Robotun İlerleyişi

Robotun ilerleyişi sabit bir hızla gerçekleşmektedir. Hız bileşeni hareketi sağlayan 3 adet servo motorun komut satırıyla sağlanmaktadır. Her direk arası ortalama 50m olduğundan ortalama motor hızı 5 km/sa alırsak $t = \text{mesafe/hız}$ dan $t = 0,05/5 = 0,01$ saat buradan her katener direk arası 50 metre olduğundan robot 6 dakika gibi bir sürede ikinci katener direğine ulaşmış olacaktır. Robotun 24 saat kesintisiz ilerleyiş sağlaması amaçlı güneş paneli ve batarya grubu yerleştirilmiştir. Robotun ilerleyiş hızı motor dönme hızı ile tekerlek çapının büyüklüğüyle doğru orantılıdır.

Robot tasarımında tekerlek çapı her ne kadar değiştirebilse de karşılaşılan engel türüne göre ebatların engele göre seçilmesi kaçınılmazdır. Ayrıca robotun dış ortamda 5-7 m yükseklikte çalışacak olması telde rahat hareket etmesi, telden kurtulup düşmemesi için ilave ekipman oluşturulması gerekmektedir.

4.2. Robotun Engel Aşma Süresi

Robot engeli algıladığında toplamda 3 çene mekanizması olduğu hesaba katılırsa gözlemlere dayalı olarak 15 sn x 3 çene açma kapama süresi toplamında yaklaşık 45 saniyede engeli aşmış olacaktır. Engel aşımı sonrası robot görüntü alma süresi hesaplara dahil edilmelidir.

Robotun her 50 metrede engele denk gelmesi, durması, engel aşma prosedürünün başlatılması ve görüntü alma sonrası yoluna devam etmesi uygun zaman aralıklarındadır. Çünkü mevcut demiryolu işletmesinde tren seferleri yapılırken hat kontrolleri yapılamamaktadır. Hattın kontrolü sadece makinistin gözlemlerinden oluşmaktadır. Robot verilerinin; başka çalışmalarda anlık görüntü aktarma ile bakım merkezine gönderilmesi düşünüldüğünde canlı hat kontrol ve arıza tespitinde büyük faydalar sağlanacaktır. Tezin asıl amacı robot tarafından gün boyu verilerin toplanıp bakım periyotlarının yapılacağı aralıklara veri sağlanmasıdır. Eksik, arızalı ekipmanların tespiti ve değiştirilmesi bakım çalışma saatlerinde yapılmasına kılavuzluk yapacaktır.

4.3. Malzeme Seçimi

Uygulamada pleksiglass malzeme kullanılmıştır. Bunun sebebi robotun ağırlığının azaltılmasıdır. Nihai ürün ise manyetik alandan etkilenilmemesi adına faraday kafesi vazifesi görebilecek ve hafif olan alüminyum malzemeden yapılmalıdır. Düşük voltajlı sinyaller manyetik alandan çok fazla etkilenmektedir. Bu da devrenin motorlara ilettiği sinyalin bozulmasına sebep olur. Ayrıca metal gövde kullanımı çok güçlü servo motorlarının robot mekanikine zarar vermemesine fayda sağlayacaktır.

Sistemin enerjisinin sağlanması için lityum ion piller kullanılmıştır. Servo motorlar 4,5 – 6V arasında çalışmaktadır. Pillerin tam dolu voltajı 4,2 V dur. İkili seri pil olarak sistem tasarlanabileceği halde sistem 12 V a göre kurulmuştur. 3 lü seri hücrelerin 4 lü olarak paralel bağlantı yapılmış ve toplamda 12,6 V 7,5 Ah lik batarya elde edilmiştir. Tasarımın 12 V'a göre yapılması ile fazladan 12-5 V DC/DC çevirici ihtiyacını doğurmuştur. Robot gövdesine montajlı batarya grubu Şekil 4.1'de gösterilmektedir.



Şekil 4. 1 Robotun batarya grubu.

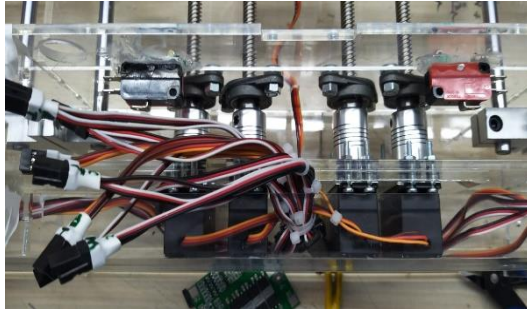
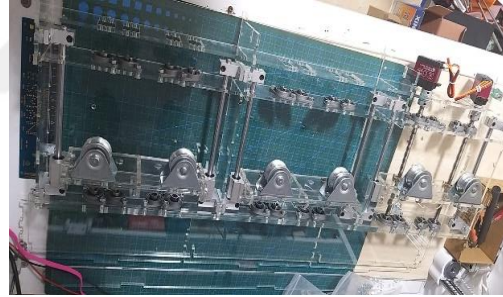
Sistemde 12 V kullanılması sayesinde şarj problemi ortadan kalkmıştır. Pillerin şarjı için güneş paneli kullanılmıştır. 50 W lık bir güneş paneli robotun üzerine yerleştirilerek pil tam dolu haldeyken yaklaşık 9 saatlik bir çalışma sağlamaktadır. $12\text{ V} \times 7,5\text{Ah} = 90\text{Wh}$ lik kapasiteye sahip batarya sistemi 50 W'lık güneş paneli ile yaklaşık 1 saat 48 dakikada dolmaktadır. Uygulamada ışık parlaklığına göre 2,5 saat gibi bir sürede tam şarj olmaktadır. Bu da tel hattının bir ucundan diğerine sürekli olarak görev yapabilme olanağı

sunmaktadır. Şekil 4.2’de robot üzerine yerleştirilmiş güneş paneli gösterilmektedir.



Şekil 4. 2 Robotun güneş paneli.

Robot tasarım aşamaları Şekil 4.3’te verilmiştir. Malzeme seçiminde tez çalışması olması sebebiyle tüm ekipmanların görünebilir olması amaçlanmıştır.



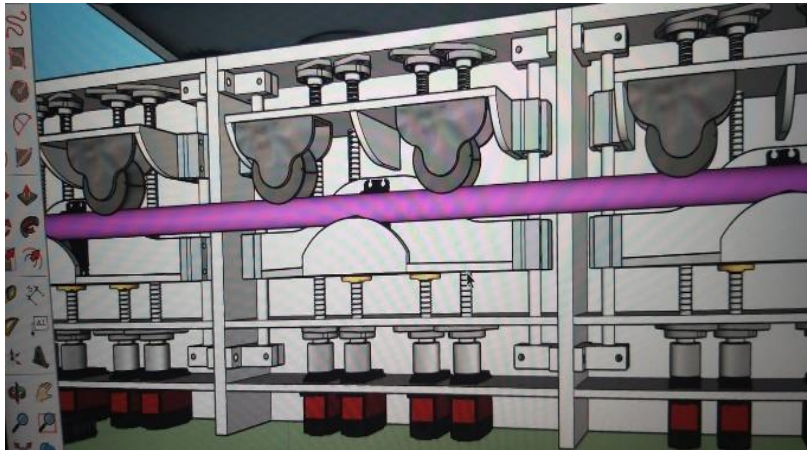


Şekil 4. 3 Üretim aşamalarına ait resimler.

Katener direk arkasında yer alan topraklama teli üzerinde ilerleyen robot; servo motorlar grubu ile bağlantı noktalarını aşacak şekilde mikro işlemci komutu ile işlem yapacaktır. Engelden geçme prosesi dışında direk önünde ve direk geçişi tespit edilecek noktalardan katener hattının görüntüsünü alma işlemi gerçekleştirecektir.

4.4. Robot İlerleyişine Etki Eden Diğer Hususlar

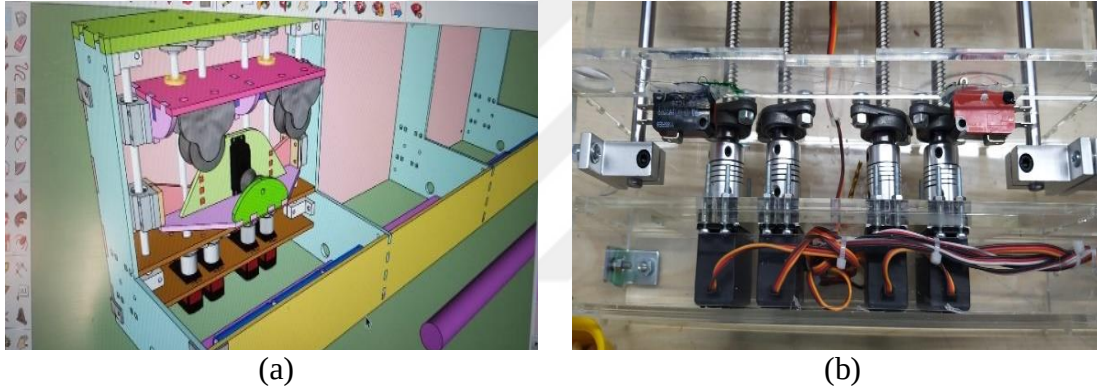
Engel geçildikten sonra diğer direğe doğru hareket başladığında tel çenelerin orta kısmında tutulmaktadır. Bu duruş 4 servo motorunda sıkma işlemi için enerji kaybı demektir. Enerjinin korunması amacıyla yazılımda optimizasyon yapılarak engel geçilmesinin ardından tel üst sınıra dayanacak Şekil 4.4'te görüldüğü gibi alt ve üst çeneler üst konuma doğru hareket etmektedir. Böylelikle üst çene robotun ağırlığını taşımak zorunda kalmaz. Telin ağırlığı oluklu avare tekerler üzerinde kalmaktadır.



Şekil 4. 4 Robotun düz ilerleyişinde üst tekerleklerin pozisyonu.

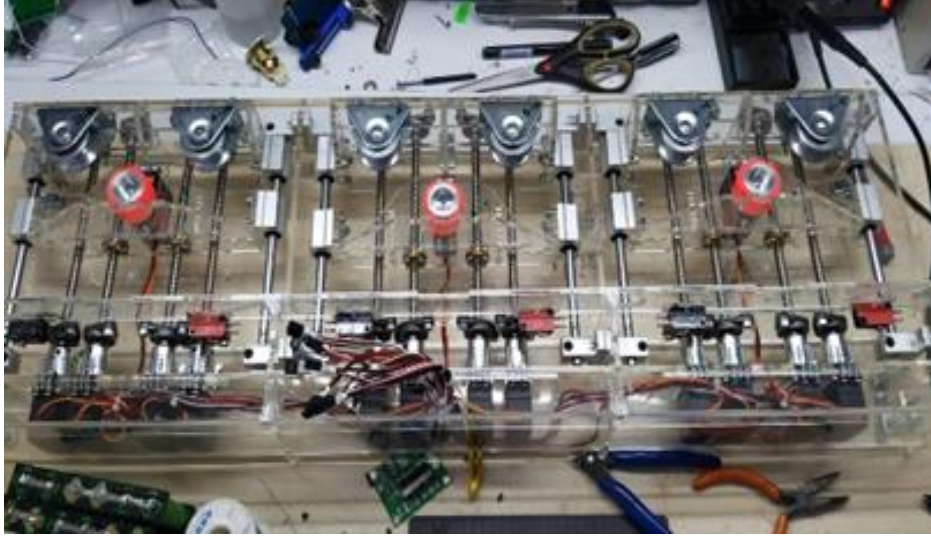
Her çene için 4 adet servo motor kullanılmıştır. Bu servolardan ikisi alt bölümü ikisi ise üst bölümü hareket ettirmek için kullanılmıştır. Her çenenin orta kısmında ise robotun ileri ve geri hareketi için bir adet daha güçlü servo motor yerleştirilmiştir. Her bölümde 5 servo ve toplamda 15 servo motor kullanılmıştır. Aynı kısımlara bağlı ikili servolar birbirleri ile aynı hareketleri yapmalarına rağmen sinyal girişleri birbirine bağlı değildir. Servoların üretiminden veya ortam koşullarından farklı etkilenebildikleri için farklı sinyal çıkışları ve farklı sonlandırma switchlerine sahiptirler. Her çene açma hareketi ile servolar sıfırlanmaktadır.

Şekil 4.5'te her bir çenede yer alan A, B ve C servo motor grupları gösterilmektedir.



Şekil 4. 5 Birinci grup (a) servo motorun sketchup çizimi, (b) bir çeneye ait servo motorlar.

4 adet servo motor ikisi üst diğer ikisi alt çeneyi hareket ettirmektedir. Her çeneye ait 2 adet alt çene 2 adette üst çeneye ait servo motorlar bulunmaktadır. Üçlü çene grubunun her birinde de hareketi sağlayan servo motorlar turuncu renktedir. Çene servoları 15kg, hareket servo motorları 20kg kuvvetindedir. Dış ortamda çalışacak robot için güçlü servo motorlarının kullanılması zorunluluk arz etmektedir. Çünkü rüzgar yükleri robotun ilerleyişine hatta asılı bulunduğu telden düşmesine yol açabilir. Çeneler teli iyi kavraması için bu olmazsa olmazdır. Ayrıca tüm çenelerin birbirleri ile senkron çalışması gerekmektedir. Şekil 4.6'da gözüktüğü gibi çeneler aynı düzlemde olması büyük önem taşımaktadır.



Şekil 4. 6 Üçlü servo grubunun birlikte görünümü.

Robot, tez çalışması olması nedeniyle yani gerek çalışma mekanizmasının gerekse tasarlanan mekanik ve elektriksel aksamaların daha kolay gözlemlenmesi amacıyla şeffaf pleksiglas malzemeden imal edilmiştir. Bu sayede malzemelerin tamamı göz ile görülebilmekte, yazılım denemeleri sırasında yanlış giden bir durum olduğunda anında fark edilip gerekli müdahale sağlanabilmektedir.

5. TARTIŞMA ve SONUÇ

Dünya genelinde orta veya yüksek gerilim hatlarında tel üzerinde hareket edebilen robot çalışmaları yapılmış olup Türkiye demiryollarında rastlanılan bir çalışma yapılmamıştır. Örneğin 2002 yılından itibaren Çin’de 500kV yüksek gerilim hatlarında çalışan tasarımlar yapılmıştır. Çin Bilimleri Akademisi 2010 yılında prototip robot tasarlamış ve hat kontrol sistemlerinde kullanıma yönelik deneyler yapmıştır. Aşağıdaki Şekil 5.1’de görüleceği üzere değişik robot tasarımları dünya genelinde mevcuttur.

1. Arka tekerlek
2. Arka kol
3. Sıkıştırma tekerleği desteği
4. Arka dönme istasyonu
5. Güneş paneli
6. Kanat plakası
7. Ön dönme istasyonu
8. Ön kol
9. Ön tekerlek
10. Genişletilebilir kol



Şekil 5. 1 Değişik robot tasarımları (W. Gongping 2010).

Bu tez çalışmasında katener sistem kontrolü amacıyla tasarımı yapılan robot yerden yaklaşık 5 metre yukarıda ve askıda hareket edeceğinden, rüzgâr güçlerine maruz kalacaktır. Bu durum robotun sağlıklı ilerleyişini zorlaştıracaktır. Rüzgârın yönü ve şiddeti sürekli değişebileceğinden robot bu yüklerde yoluna devam edebilmeli ve topraklama telinden kolay kolay kurtulmamalıdır. Bunu önlemek için robotta kilit mekanizması düşünülmüş ve olası sorunlarla baş edebilecek bir tasarım yapılmıştır. Rüzgâr yükünün yanı sıra tren geçişlerinde de ilave bir rüzgâr yükü oluşacağı bilinmektedir. Bir diğer hususta robotun yeryüzüyle yatay bir doğrultuda sabit ilerleyebilmesidir. Bunu sağlayabilmek için tasarım mümkün mertebede ağırlık merkezi dengeli yapılmaya çalışılmıştır. Olası bir ağırlık merkezi kaymalarında dengeleyici yükler ilave edilebilir.

Robotun çalışma ortamı 25-27,5 kV AC gerilim altında olduğundan sürekli bir manyetik alan etkisinde kalmaktadır. Ayrıca tren geçişleri kaynaklı ilave katener dönüş akımlarının oluşturduğu manyetik alanlar da robotu etkilemektedir. Bu çalışmada her ne kadar tasarım gövdesi fleksiglas malzeme olsa bile gerçek ortamda faraday kafesine benzer zırhlar oluşturulmalıdır.

Yapılan bu çalışma ile trenlere elektrik enerjisi sağlamak için tesis edilmiş katener sistemlerinin rijit ve dinamik yapısının korunması, tolerans sınırları içinde çalışmasının sağlanması, tren pantoğrafından (lokomatif ile katener sistemlerinin temas tertibatı) ve dış etkenlerden (dal parçası, yabancı cisim teması v.s.) oluşabilecek arızaları en aza indirebilmek amacı ile 24 saat esaslı hat üzerinde yürüyebilen hattın geometrik yapısının görüntü alma işleme yöntemlerinin kullanılacağı bir robot tasarımı yapılmıştır. Tasarımı yapılan robot katener direkleri arkasında yer alan topraklama iletkeninden ilerleyecek olması enerji kesmeye gerek kalmadan tren trafiği altında çalışma imkânı vermektedir.

Ülkemizde katener sistemleri arıza tespitleri ve bakımları gözle muayene veya tren trafiği durdurularak lazer sistemlerle yapılmakta olup, görüntü işleme ile hat kontrolü yeni teknolojiler kategorisinde yer almakta ve uygulaması az sayıdadır. Tasarlanan bu proje ile tren trafiği enerjisi kesilmeden her an anlık veri aktarımı ile katener sistemlerinin kontrolü ve arizi durumlar için müdahale yapılabilmektedir. Bu ise bu projenin özgün bir değerinin olmasını sağlamaktadır.

Çalışma sırasıyla aşağıdaki aşamalardan oluşmaktadır;

- Robotik malzeme temini yapılması ve mikroişlemci desteği ile bir örneği kurulacak katener sisteminde çalıştırılması,
- Katener sistemlerinin kurulması. Robot üzerine kamera takılması ve görüntü materyallerinin oluşturulması.
- Görüntü işleme ile hatta meydana gelen değişim miktarlarının analiz edilmesi.

Sonuçta; TCDD’de yaklaşık olarak 13000 km demiryolu ağı olduğu düşünülürse ve bunun %45 civarı elektrikli hat olduğu göz önünde alındığında, tasarlanan bu robot

sayesinde hattan 7/24 görüntü alındığı ve hali hazırda katener sistem kontrolü için böyle bir robotun olmayışı göz önünde bulundurulduğunda çalışmanın uygulama açısından son derece önem arz ettiği aşikârdır. Toplanan verilerin işlenmesi analizi ve uygun iletişimin araçları ile tek bir merkeze gönderilmesi sağlanacaktır. Verilerin radyolink, hafıza kartı veya 4.5 G teknoloji ile gönderilmesi düşünülürse anlık iletişim bu ve benzer robotlarla çok hızlı yapılabilecektir. Tasarım seçimine bağlı olarak taşıyıcı robotlarla değişik havai hatlarda yakın inceleme, gözetleme hatta müdahalelere imkân verecektir. Örneğin ulaşılması güç yüksek gerilim hatlarında robota monte edilecek kumandalı alev tabancası ile tellere takılan uçurtma vs. cisimler yakılarak veya izolatör temizliği için yine robota takılacak temizleme maksatlı püskürtme aparatları ile gerekli işlemlere kolaylık sağlayacaktır. Bu tez çalışmasında yukarıda belirttiğimiz katener sistemlerinin arıza ve bakım çalışmalarına yönelik hizmetler göz önünde tutulmuştur. Amaç ve kullanım yerlerine göre ve özellikle engel ölçülerine göre tasarımlar geliştirilebilir. Esas olan tek telde otonom bir robotu tasarlanması ve üretilmesinin bir başlangıç kabul edilmesi ve ihtiyaçlara göre yeni tasarımlara örnek olmasıdır.

6. KAYNAKLAR

- Aksoy B, 2021, Python ile İmgeden Veriye Görüntü İşleme ve Uygulamaları, Nobel Yayıncılık, Ankara.
- Ambatkar H P, Dhatrak R K, 2022, Drone applications in Transmission Line, In 2022 International Mobile and Embedded Technology Conference (MECON) (pp. 531-533). IEEE.
- Çelik M. Z. (2019). Yüksek Gerilim Tesislerinde Yapılan Canlı Bakım. 25-29.
- Dağılgan N S, 2021, İnşaat demiri paketlerinde görüntü işleme ile yüksek doğrulukta demir çubuk sayımı, İskenderun Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 79s, İskenderun.
- Debenest P, Guarnieri M 2010, Expliner—From prototype towards a practical robot for inspection of high-voltage lines, In 2010 1st International Conference on Applied Robotics for the Power Industry (pp. 1-6). IEEE.
- Debenest P, Guarnieri M, Takita K, Fukushima E F, Hirose S, Tamura K, Shiga F, 2008, Expliner-Robot for inspection of transmission lines, In 2008 IEEE International Conference on Robotics and Automation (pp. 3978-3984). IEEE.
- Güzel N, 2022, Sözlü görüşme, TCDD Genel Müdürlüğü, 11.11.2022, Yapım Dairesi Elektrifikasyon Şube Müdürlüğü.
- Jiang S Y, Hu Y, Wang Y, Jiao H, Ren L, 2008, Development of hanging-arm inspection robot for high-voltage transmission line, In Intelligent Robotics and Applications: First International Conference, ICIRA 2008, Wuhan, China, October 15-17, 2008, Proceedings, Part I 1 (pp. 1089-1098). Springer Berlin Heidelberg.
- Karabacak A, 2021, İnsansız hava araçları (İHA) İle enerji nakil hatlarının ölçülmesi üzerine derleme, *Türkiye Fotogrametri Dergisi*, 3(1), 1-8
- Karakuş F, Yumurtacı R, 2018, Raylı Sistemlerde Orta Gerilim Elektrifikasyon Sisteminin Modellenmesi Ve Besleme Senaryolarının Belirlenmesi, *EMO Bilimsel Dergi*, 8(1), 41-48.
- Kayaalp K, Özkorucuklu S, 2015, Arduino Teknolojisi Kullanılarak Tarla İçin

- Radyasyon Kapı Kontrolü Tasarımı, Uluslararası Teknolojik Bilimler Dergisi, 7(2), 39-47.
- Kuşdoğan Ş, Doğruer Ö, 2021, Demiryolu Elektrifikasyonunda Katener Sistem Tasarımı. Demiryolu Mühendisliği, (14), 130-142.
- Lorimer T, Boje E, 2012, A simple robot manipulator able to negotiate power line hardware, In 2012 2nd International Conference on Applied Robotics for the Power Industry (CARPI) (pp. 120-125). IEEE.
- Özsoy L, 2022, Sözlü görüşme, TCDD Genel Müdürlüğü, 09.10.2022, Bakım Dairesi Elektrifikasyon Başkanlığı.
- Phillips A, Engdahl E, McGuire D, Major M, Bartlett G, 2012, Autonomous overhead transmission line inspection robot (TI) development and demonstration, In 2012 2nd International Conference on Applied Robotics for the Power Industry (CARPI) (pp. 94-95). IEEE.
- Raylı Sistemler Teknolojisi, E. A. (tarih yok). TC Milli Eğitim Bakanlığı. MEB.
- Ribeiro A, Oliveira J, Abdo R, 2016, New concept of a robot for transmission lines inspection, In 2016 4th International Conference on Applied Robotics for the Power Industry (CARPI) (pp. 1-5). IEEE.
- Sarısakal S, 2015, Rijit Katener sistemlerinin Modellenerek Yolcu Üzerindeki Elektrik ve manyetik Etkilerinin İncelenmesi, 29-30 sf Yüksek Lisans. İstanbul Teknik Üniversitesi
- Sevgi A, 2020, Batarya elektrikli aracın derin öğrenme ve görüntü işleme ile otonom denetiminin gerçekleştirilmesi, Karabük Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 116s, Karabük.
- Şenol M, 2014, C# ile web kameradan optik form okuma, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 89s, Afyonkarahisar.
- Tanrıöven K, 2018, UV kamera ile OG hatlarında Bakım Planlaması, s. 2.
- Tao G, Fang L, Lin X, 2016, Optimization design of the multi-unit serial inspection robot for power transmission line, In 2016 4th International Conference on Applied Robotics for the Power Industry (CARPI) (pp. 1-6). IEEE.

- TCDD İnönü köseköy kesimi eğitim notları, R. K.-E. (2014). YHT projesi. İstanbul: Robat.
- TS EN Standartları, 5. (2022). TS EN standartları.
- UIC Fişi 704 791. (1996, 7 1). Demiryolu Taşımacılık Sistemleri. Avrupa: Uluslararası Demiryolu Birliği.
- Wu, G., Xiao, H., Xiao, X., Huang, Z., & Li, Y. (2010, October). Transmission line inspection robot and deicing robot: Key technologies, prototypes and applications. In *2010 1st International Conference on Applied Robotics for the Power Industry* (pp. 1-6). IEEE.
- Wang Y G, Yu H. D, Xu J K, 2014, Design and simulation on inspection robot for high-voltage transmission lines, In *Applied Mechanics and Materials* (Vol. 615, pp. 173-180). Trans Tech Publications Ltd.
- Wu G, Xiao H, Xiao X, Huang Z, Li Y, 2010, Transmission line inspection robot and deicing robot: Key technologies, prototypes and applications, In *2010 1st International Conference on Applied Robotics for the Power Industry* (pp. 1-6), IEEE.
- Yaman O, Karaköse M, Akın E, Aydın İ, 2014, Pantograf katener sistemlerde görüntü işleme ve model tabanlı ark tespiti.
- Yang D, Feng Z, Ren X, Lu N, 2014, A novel power line inspection robot with dual-parallel architecture and its vibration suppression control, *Advanced Robotics*, 28(12), 807-819.
- Yaşar G H, 2019, Görüntü işleme ile ağaç meyve yükünün hesaplanması, Konya Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 98s, Konya.
- Yıldız A, Arıkan O, 2019, DC Elektrikli Raylı Sistemler İçin Teknik ve Ekonomik Açıdan Verimlilik Analizi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (16), 729-739.
- Yılmaz M, 2016, Görüntü işleme teknikleriyle zirai tuzaklardaki böcek adedi tespiti Maltepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 62s, İstanbul.
- Yifeng S, Hongguang W, Fengren J, 2011, Obstacle performance analysis for a novel inspection robot with passive joints, In *2011 IEEE International Conference on*

Robotics and Biomimetics (pp. 926-931). IEEE.

Zhang L, He S, 2011, Mobile robot for overhead powerline inspection and a controlling method for obstacle avoidance, In 2011 International Conference on Electric Information and Control Engineering (pp. 512-515). IEEE.

İnternet kaynakları

1- tcdd.gov.tr, 31.12.2022

2- <https://www.teias.gov.tr>, 01.02.2023

3- <https://www.teias.gov.tr/helikopterli-bakim>, 10.1.2023

4- http://www.robotiksisitem.com/arduino_mega_2560_ozellikleri.html, 31.12.2022

5- <https://www.motorobit.com/urun/ds3218mg-20kg-su-gecirmez-dijital-servo-motor>, 30.12.2022

6- <https://www.joom.com/tr/products/5fb6fbc9e7ec220106e4fc87>, 11.02.2023

7- <https://www.oz-rulman.com/product/mgn7c-z0c-hiwin-lineer-dar-araba>, 11.02.2023

8-

https://tr.aliexpress.com/item/32922279063.html?pdp_npi=2%40dis%21USD%2162.50%2162.50%21%21%21%21%21%40211675cd16761381185271451e143b%2165992603971%21affd&dp=580316160011.52275443&aff_fcid=8e7075bd3d7a4ffd9157d9621f624911-1676138118764-06393&aff_fsk&aff_platform=api-new-product-detail&sk&aff_trace_key=8e7075bd3d7a4ffd9157d9621f624911-1676138118764-06393&terminal_id=5a5d023c4f1c49c8b8c65a6e01cf93ed&afSmartRedirect=y, 11.02.2023

9- <https://www.direnc.net/mz80-kizilotesi-sensor>, 11.2.2023

