



**T.C.
DÜZCE ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

**METAN TESPİT ROBOTU ÜRETİMİ VE ISI DAYANIMININ
KOMPOZİT MALZEME KULLANIMI İLE YÜKSELTİLMESİ**

OĞUZHAN ŞENEL

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
KOMPOZİT MALZEME TEKNOLOJİLERİ ANABİLİM DALI**

**DANIŞMAN
DOÇ. DR. GÜRCAN SAMTAŞ**

DÜZCE, 2022

T.C.
DÜZCE ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

METAN TESPİT ROBOTU ÜRETİMİ VE ISI DAYANIMININ
KOMPOZİT MALZEME KULLANIMI İLE YÜKSELTİLMESİ

Oğuzhan ŞENEL tarafından hazırlanan tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından Düzce Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Kompozit Malzeme Teknolojileri Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı

Doç. Dr. Gürcan SAMTAŞ

Düzce Üniversitesi

Jüri Üyeleri

Doç. Dr. Gürcan SAMTAŞ

Düzce Üniversitesi

Doç. Dr. Mert YILDIRIM

Düzce Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi Salih KORUCU

Gazi Üniversitesi

Tez Savunma Tarihi: 27/06/2022

BEYAN

Bu tez çalışmasının kendi çalışmam olduğunu, tezin planlanmasından yazımına kadar bütün aşamalarda etik dışı davranışımın olmadığını, bu tezdeki bütün bilgileri akademik ve etik kurallar içinde elde ettiğimi, bu tez çalışmasıyla elde edilmeyen bütün bilgi ve yorumlara kaynak gösterdiğimi ve bu kaynakları da kaynaklar listesine aldığımı, yine bu tezin çalışılması ve yazımı sırasında patent ve telif haklarını ihlal edici bir davranışımın olmadığını beyan ederim.

27 Haziran 2022

Oğuzhan ŞENEL



TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın gelişimi ve bu tezin hazırlanma sürecinde bana olan inancı, gösterdiği destek ve yardımlardan dolayı çok değerli hocam Doç. Dr. Gürcan SAMTAŞ'a en içten dileklerimle teşekkür ederim.

Tüm eğitim hayatımda olduğu gibi bu çalışma boyunca da desteklerini bir an olsun eksik etmeyen başta kıymetli babam Avni ŞENEL olmak üzere sevgili aileme sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Bu çalışmanın ülkemiz açısından önemine inanarak tüm atölye imkânlarını ve işçiliğini ücretsiz sağlayan Batı Çelik firmasına teşekkürlerimi sunarım.

Projede kullanılan ısı yalıtım ürünlerinin temin edilmesinde yardımlarını esirgemeyen başta Sayın Fatih KAVAKLI olmak üzere projenin ısı yalıtım sponsoru Teksan Refrakter firmasına en içten dileklerimle teşekkür ederim.

Bu tez çalışması, Düzce Üniversitesi BAP-2021.06.06-1168 numaralı Bilimsel Araştırma Projesiyle desteklenmiştir.

Metan gazı kaynaklı patlama ve yangınların önlenmesi adına yapılacak olan çalışmalara katkı sağlaması dileğiyle.

27 Haziran 2022

Oğuzhan ŞENEL

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ŞEKİL LİSTESİ	vii
ÇİZELGE LİSTESİ	viii
KISALTMALAR.....	ix
SİMGELER.....	x
ÖZET	xi
ABSTRACT.....	xii
1. GİRİŞ.....	1
2. LİTERATÜR İNCELEMESİ.....	2
3. GENEL BİLGİLER.....	6
3.1. METAN GAZININ ÖZELLİKLERİ VE TEHLİKE POTANSİYELİ	6
3.2. ROBOT KAVRAMI.....	7
3.3. ROBOTLARIN TARİHSEL GELİŞİMİ.....	8
3.3.1. Makine Benzeri İlk Yapılar	8
3.3.2. Rönesans Döneminde Robotlar.....	10
3.3.3. Radar ve Sensör Teknolojilerindeki Gelişmeler	10
3.3.4. Yapay Zekâ Alanındaki Gelişmeler.....	11
3.3.5. Robotların Yaygınlaşması ve İnsan-Robot İlişkisi.....	12
3.4. ROBOTLARIN SINIFLANDIRILMASI	12
3.4.1. Kullanım Alanlarına Göre Robotlar	13
3.4.2. Hareket Durumlarına Göre Robotlar	14
3.5. KOMPOZİT MALZEMELER	14
4. MATERYAL VE YÖNTEM	16
4.1. ŞASI ÜRETİMİNDE KULLANILAN MALZEME VE EKİPMANLAR.....	16
4.2. ISI YALITIM MALZEMELERİ	19
4.3. ELEKTRONİK MALZEMELER.....	19
4.4. TEST EKİPMANLARI	24
5. METAN TESPİT ROBOTU TASARIM VE ÜRETİMİ	27
5.1. ROBOTUN TASARIMI	27
5.1.1. Elektronik Aygıtların Çizimleri.....	27
5.1.2. Şasi Tasarımı	28
5.2. ROBOTUN ÜRETİMİ	30
5.2.1. Şasi Üretimi	30
5.2.2. Yalıtım İşleminin Uygulanması	31
5.2.3. Elektronik Aygıtların Bağlantıları.....	32
5.3. YAZILIMIN GELİŞTİRİLMESİ	33
5.3.1. Algoritma Tasarımı	33
5.3.2. Robotun Çalışma Mantığı.....	34

6. DENEYSEL SONUÇLAR.....	37
6.1. SENSÖR DOĞRULUK TESTLERİ	37
6.2. ISI DAYANIM TESTLERİ	39
6.2.1. Alev Dayanım Testi	39
6.2.2. Isı Yalıtım Testi	41
7. BULGULAR VE TARTIŞMA	43
8. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	45
9. KAYNAKLAR	48
ÖZGEÇMİŞ.....	52



ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 3.1. Metan tutuşmasını ifade eden grafik [28].	7
Şekil 3.2. Ctesibius'un su saati [34].	9
Şekil 3.3. Hero'nun Aeolipile'i [35].	9
Şekil 3.4. İlk mobil robot Shakey [39].	11
Şekil 3.5. İnsansı robot Asimo [41].	12
Şekil 3.6. Endüstriyel kaynak robotu [44].	13
Şekil 3.7. Tahta-plastik kompozit malzeme [47].	15
Şekil 3.8. Seramik elyaf battaniye [50].	15
Şekil 4.1. CNC lazer kesim makinesi.	17
Şekil 4.2. CNC lazer kesim makinesi kesici lazeri.	17
Şekil 4.3. Ermaksan AP 3100 x 120 pres makinesi.	18
Şekil 4.4. Kullanılan bıçaklar.	18
Şekil 4.5. Kullanılan dijital kumpas.	24
Şekil 4.6. Isı yalıtım testinde kullanılan kutu fırın.	25
Şekil 4.7. Sıcaklık ölçüm cihazları.	25
Şekil 5.1. Elektronik aygıtlar. a) Arduino mega b) Mesafe sensörü c) Gaz sensörü d) Sıcaklık sensörü e) Wi-fi modülü f) Zil modülü g) RGB LED kartı	27
Şekil 5.2. Motorlar ve sürücü kartı.	28
Şekil 5.3. Lityum polimer pil.	28
Şekil 5.4. Şasi tasarımı ve ölçüleri.	29
Şekil 5.5. Elektronik aygıtların şasi üzerindeki görünümü.	29
Şekil 5.6. Tekerli tasarım.	30
Şekil 5.7. Paletli tasarım.	30
Şekil 5.8. Şasi açık görünümü.	31
Şekil 5.9. Hazırlanan şasi.	31
Şekil 5.10. Yalıtım işleminin ardından şasinin görünümü.	32
Şekil 5.11. Elektronik aygıtların bağlantıları.	32
Şekil 5.12. Üretilen tekerli tasarımın son görünümü.	33
Şekil 5.13. Üretilen paletli tasarımın son görünümü.	33
Şekil 5.14. Robotun hareket algoritması.	34
Şekil 5.15. Gaz sensörleri ısınırken robotun görünümü.	35
Şekil 5.16. Tarama işlemi esnasında robotun görünümü.	35
Şekil 5.17. Metan birikimi tespit edildiğinde robotun görünümü.	36
Şekil 7.1. İzolasyonsuz ve izolasyonlu şasi iç sıcaklık artışı.	44

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa No

Çizelge 2.1. Çöplüklerde meydana gelen yangınların bazıları.	2
Çizelge 4.1. AISI 310 paslanmaz çelik saca ait bileşenler (Matweb).	16
Çizelge 4.2. AISI 310 paslanmaz çelik saca ait mekanik özellikler (Matweb).	16
Çizelge 4.3. AISI 310 paslanmaz çelik sacın ısı özellikleri (Matweb).	16
Çizelge 4.4. Han Kwang FL-3015 lazer kesim makinesi özellikleri (Hankwang).	17
Çizelge 4.5. Ermaksan AP 3100 x 120 pres makinesinin özellikleri (Ermaksan).	18
Çizelge 4.6. Seramik elyaf battaniyenin fiziksel özellikleri (Unifrax).	19
Çizelge 4.7. Seramik elyaf battaniyeye ait bileşenler (Kiltas).	19
Çizelge 4.8. Seramik elyaf battaniyenin ısı özellikleri (Kiltas).	19
Çizelge 4.9. Arduino mega temel özellikleri (Arduino).	20
Çizelge 4.10. Ultrasonik mesafe sensörünün temel özellikleri (Elec Freaks).	20
Çizelge 4.11. MQ-4 gaz sensörünün özellikleri (Pololu).	21
Çizelge 4.12. Gravity: I2C sıcaklık sensörünün temel özellikleri (DFRobot).	21
Çizelge 4.13. ESP-01 kablosuz ağ modülünün özellikleri (Aithinker).	22
Çizelge 4.14. Tercih edilen motorun temel özellikleri (Pololu).	22
Çizelge 4.15. Tercih edilen motor sürücü kartının temel özellikleri (Pololu).	23
Çizelge 4.16. Seçilen li-po pilin özellikleri (Farnell).	23
Çizelge 4.17. OEM KMP150 dijital kumpasın özellikleri.	24
Çizelge 4.18. Testte kullanılan fırının temel özellikleri (Batı Çelik).	25
Çizelge 4.19. Mastech MY-64 dijital ısı ölçer multimetre özellikleri (Mastech).	26
Çizelge 4.20. CEM DT-8835 infrared termometrenin özellikleri (RAM).	26
Çizelge 6.1. Mesafe sensörü doğruluk testi sonuçları.	37
Çizelge 6.2. Standart oda koşullarında metan yoğunluk ölçüm değerleri.	38
Çizelge 6.3. Metan püskürtülmesi sırasındaki yoğunluk ölçüm değerleri.	39
Çizelge 6.4. Hasar derecelendirme tablosu.	40
Çizelge 6.5. Alev dayanım testi sonrası oluşan hasar dereceleri.	41
Çizelge 6.6. Isı yalıtım testinde yapılan ölçüm sonuçları.	42

KISALTMALAR

AC	Alternatif akım
AE	Aktivasyon enerjisi
AES	Gelişmiş şifreleme standardı
Al ₂ O ₃	Alüminyum oksit
CH ₄	Metan
CNC	Bilgisayarlı sayısal kontrol
CO ₂	Karbondioksit
DC	Doğru akım
EEPROM	Silinip programlanabilir salt okunur bellek
Fe ₂ O ₃	Demir oksit
FTP	Dosya transfer protokolü
GPIO	Genel amaçlı giriş-çıkış pini
H ₂ O	Su
HTTP	Hiper metin transfer protokolü
I ² C	Entegre devre veri yolu
I ² S	Ses aktarım veri yolu
IPv4	İnternet protokol versiyonu 4
IR	Kızılötesi
ISO	Uluslararası Standardizasyon Kuruluşu
LED	Işık yayan diyot
LI-PO	Lityum-polimer
O ₂	Oksijen
PWM	Sinyal genişlik modülasyonu
QEPTS	Diyapazonlu gelişmiş fototermal spektroskopi
RAM	Rastgele erişimli bellek
RGB	Kırmızı-yeşil-mavi
SiO ₂	Silisyum dioksit
SPI	Seri çevresel arayüz
SRAM	Durağan rastgele erişimli bellek
TCP	Gönderim kontrol protokolü
TiO ₂	Titanyum dioksit
TKIP	Geçici anahtar bütünlüğü protokolü
UART	Evrensel asenkron alıcı-verici
UDP	Kullanıcı veribloğu iletişim kuralları
WEP	Kablolu eşdeğer gizlilik
WI-FI	Kablosuz ağ
WPA	Wi-fi korumalı erişim

SİMGELER

A	Amper
C	Karbon
cc	Santimetre-kare
cm	Santimetre
Cr	Krom
dk	Dakika
Fe	Demir
g	Gram
GHz	Gigahertz
Hz	Hertz
J	Joule
K	Isı iletim katsayısı
kB	Kilobyte
kg	Kilogram
kHz	Kilohertz
kPa	Kilopascal
kW	Kilowatt
kΩ	Kiloohm
m	Metre
mA	Miliamper
MJ	Megajoule
mm	Milimetre
Mn	Manganez
MPa	Megapascal
mV	Milivolt
mW	Miliwatt
MΩ	Megaohm
nF	Nanofarad
Ni	Nikel
P	Fosfor
pF	Pikofarad
ppm	Milyonda bir birim
rpm	Dakikadaki devir
S	Kükürt
Si	Silisyum
V	Voltaaj
W	Watt
μA	Mikroamper
μF	Mikrofarad
μm	Mikrometre
Ω	Ohm
°C	Santigrat derece
°F	Fahrenhayt derece

ÖZET

METAN TESPİT ROBOTU ÜRETİMİ VE ISI DAYANIMININ KOMPOZİT MALZEME KULLANIMI İLE YÜKSELTİLMESİ

Oğuzhan ŞENEL

Düzce Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Kompozit Malzeme Teknolojileri Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Doç. Dr. Gürcan SAMTAŞ

Haziran 2022, 51 sayfa

19. yüzyıldan itibaren robotlar risk faktörünün yüksek olduğu çalışma ortamlarında yaygın olarak kullanılmaktadır. Çöp fabrikalarında yoğun miktarda bulunan metan gazının tutuşarak patlaması ve akabinde ciddi can ve mal kayıplarına yol açması, bu alanda güvenlik robotlarının kullanımını zorunlu hale getirmiştir. Bu çalışmada, bulunduğu alanda tarama yaparak metan sızıntısını tespit eden mobil bir güvenlik robotu geliştirilmiştir. Metan sızıntısı tespit edildiğinde robot uyarı vererek patlama koşulları oluşmadan önce metan gazının tahliye edilmesine olanak sağlamaktadır. Gerekli önlemler alınsa da patlama riski hiçbir zaman tamamen ortadan kalkmamaktadır. Bu nedenle aleve ve yüksek sıcaklığa maruz kalması durumunda, iç sıcaklığın belirli bir süre boyunca içerideki elektronik aygıtların zarar görmeyeceği seviyede tutulması adına robotun ısı dayanımı artırılmıştır. Bu işlem için iki ayrı materyal kullanılmıştır. Birinci materyal robotun tutuşmaya karşı dayanım kazanmasını sağlayacak olan paslanmaz çelik sacdır. İkinci materyal ise ısı yalıtımını sağlayacak olan seramik elyafıdır. Şasinin tasarım ve üretiminin ardından seramik elyafın paslanmaz iç gövdeye sabitlenmesi ile ısı yalıtım işlemi tamamlanmıştır. Isı dayanımının artırılmasının ardından yapılan testlerde robot 200°C sıcaklıkta 15 dakika boyunca içerisindeki elektronik aygıtları korumayı başarmıştır. Robotun yüksek sıcaklığa dayanıklı hale gelmesi, olası bir yangının ilk dakikalarında ortam verisini dışarı aktarmasına ve gerekli önlemlerin alınmasına imkân sağlayacaktır.

Anahtar sözcükler: Isı yalıtımı, Kompozit malzeme, Robot, Tasarım.

ABSTRACT

MANUFACTURING METHANE DETECTION ROBOT AND INCREASING ITS HEAT RESISTANCE BY USING COMPOSITE MATERIALS

Oğuzhan ŞENEL

Düzce University

Institute of Graduate Studies, Department of Composite Material Technologies

Master's Thesis

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Gürcan SAMTAŞ

June 2022, 51 pages

Robots have been widely used in working areas with a high-risk factor since the 19th century. The dense methane gas in garbage factories may explode and cause loss of lives and properties, so security robot usage has become obligatory in this working area. This study developed a mobile security robot that detects methane gas leakage by scanning the area. The robot enables the degasification of methane gas before the explosion conditions are occurred by giving a warning when the leakage is detected. Even though the necessary precautions are taken, the explosion risk will not be eliminated. Thus, the heat resistance of the robot is increased with an isolation process to keep the inner temperature of the chassis below the harmful level to the electronic components inside. Two different materials are used throughout the process. The first material is stainless steel which can protect the cache against flames and igniting, and the second material is ceramic fiber for thermal insulation. After designing and manufacturing the stainless chassis, the isolation process was completed by applying the ceramic fiber to the inner surface of the robot. The robot managed to protect its inner electronic components for 15 minutes at 200 °C during the heat resistance tests. Becoming resistant to high temperatures will allow the robot to transfer the data to the authorized units and prevent the spread of fire.

Keywords: Composite materials, Design, Heat resistance, Robot.

1. GİRİŞ

Ülkemizde her yıl çok sayıda metan gazı kaynaklı patlama meydana gelmektedir. Bu patlamalar ve akabinde meydana gelen yangınlarda ciddi can ve mal kayıpları yaşandığı gibi, doğal yaşam da büyük ölçüde zarar görmektedir. Gerekli önlemlerin alınmaması durumunda metan gazı ciddi bir tehdit unsurudur [1]. Bu sebeple sürekli olarak kontrol altında tutulması gerekmektedir.

Teknolojinin hızla gelişmesiyle robotlar endüstriyel alanda yaygın olarak kullanılır hale gelmişlerdir [2]. Yorgunluk, dikkat dağınıklığı ve konsantrasyon kaybı gibi unsurlardan etkilenmeden düşük hata payıyla çalışmaları, robotların endüstriyel alanda tercih edilmelerinin en önemli sebeplerindendir. Özellikle güvenlik alanında kendine yer edinen robotlar, fabrikaların çeşitli bölümlerinde güvenliğini sağlamak adına görev yapmaktadır [3]. Son yıllarda metan birikimi sonucu meydana gelen patlama ve yangınların hızla artması, mobil güvenlik robotlarına bu alanda da ihtiyaç duyulduğunu göstermektedir. Günümüzde bu doğrultuda atılan adımlar mevcut olsa da yakın gelecekte bu patlamaların tamamının önlenemeyeceği ortadadır. Bu nedenle metan gazının kontrolünde kullanılacak güvenlik robotlarının patlamayı önleme çalışmalarına ek olarak patlama sonrası oluşan hasarı en aza indirmek için de görev alabilmesi önem arz etmektedir.

Güvenlik robotları; yüksek basınç, tozlu ve havasız ortamlar, zehirli gazların bulunduğu kapalı alanlar gibi insanların çalışamayacağı zorlu ortam şartlarında görev alabilen işbirlikçi robotlardır [4]. Fakat yangın durumunda ortam sıcaklığı hızla yükselerek robotu oluşturan elektronik aygıtların hasar göreceği seviyelere ulaşmaktadır. Bu nedenle gerekli ısı dayanımına sahip olmayan robotlar yangının yayılmasını önleyici bir eylemde bulunamadan deformasyona uğramaktadırlar.

Bu çalışmada, bulunduğu alanda metan taraması yaparak patlamayı önceden tespit edip uyarı veren mobil bir güvenlik robotu üretmek ve üretilen robota belirli bir sıcaklığa kadar dayanım kazandırmak amaçlanmıştır. Bu sayede metan gazı kaynaklı patlamaların büyük çoğunluğunun önüne geçilebilecek; önlenemeyen yangınlarda ise yangının yayılmasını önleyici adımların atılabilmesi için robotun bir süre daha aktif kalması sağlanacaktır.

2. LİTERATÜR İNCELEMESİ

Madenler ve geri dönüşüm fabrikaları gibi, insanların bulunduğu ortamlarda sıkça rastlanan metan gazının kontrol altında tutulmasına yönelik önlemler alınmadığı takdirde, ortamdaki metan gazı patlamaya elverişli hale gelebilmektedir. Her yıl meydana gelen metan gazı kaynaklı patlama ve yangınlarda can ve mal kayıpları yaşanmaktadır. Buna ek olarak yangınların yayılmaları neticesinde doğal yaşam da ciddi ölçüde zarar görmektedir. Dünya genelinde olduğu gibi ülkemizde de her yıl çok sayıda metan gazı kaynaklı patlama meydana gelmekte, bunların bir kısmı feci sonuçlara yol açmaktadır. Türkiye’de meydana gelen çöplük yangını facialarının bir kısmı Çizelge 2.1’de verilmiştir.

Çizelge 2.1. Çöplüklerde meydana gelen yangınların bazıları (1).

Yer	Tarih	Görsel
Ezine, Çanakkale [5]	04.07.2021	
Merkez, Karabük [6]	27.08.2020	
Ayvalık, Balıkesir [7]	19.08.2020	
Salihli, Manisa [8]	14.08.2020	

Çizelge 2.2. Çöplüklerde meydana gelen yangınların bazıları (2).

Yer	Tarih	Görsel
Alaşehir, Manisa [9]	19.04.2019	
Bodrum, Muğla [10]	31.07.2016	
Havran, Balıkesir [11]	26.08.2015	
Merkez, Manisa [12]	07.08.2015	
Kırkağaç, Manisa [13]	23.09.2014	
Burgazada, İstanbul [14]	06.10.2003	
Ümraniye, İstanbul [15]	28.04.1993	

Bu yangınların yol açtığı hasarın boyutları 21. yüzyılda daha gözle görülür hale gelmiştir. Nüfusun çoğalması ile artan atık miktarı, geri dönüşüm tesisi sayısında artışa yol açmış; bu durum metan patlamalarını daha sık rastlanır hale getirmiştir. Bu gelişmeler doğrultusunda patlayıcı özellik gösteren gazların kontrol altında tutulmasına yönelik çalışmalar 21. yüzyılın başlarında hız kazanmıştır.

Bu alanda patlayıcı gazların tespit edilmesine yönelik yaptıkları çalışmada Hegenberg vd. [16], insan-robot iş birliğini artırarak gaz kaçaklarının tespit edilmesini daha kolay hale getiren bir prototip kamera sistemi tasarlamışlardır. Robotun yönü ve kamera sistemi gibi çok sayıda parametrenin senkronize olarak kontrol edilmesi gerektiği için geleneksel robot tipi cihazların çalışmaya uygun olmadığı kanısına varmışlardır. Bu doğrultuda geleneksel robotlardan farklı olarak insan – robot iş birliğini öne çıkarmayı hedeflemişler ve temel fonksiyonların insan tarafından gerçekleştirilmesini sağlayacak bir giyilebilir gaz kaçağı tespit sistemi prototipi geliştirmişlerdir.

Bir diğer çalışmada Raju ve Rani [17], Android tabanlı bir mobil gaz tespit robotu üzerine çalışmışlardır. Çalışmada prototip tasarımı ve üretimi gerçekleştirilen mobil robot, sensörler aracılığıyla gaz yoğunluğu ölçümü yaparak ölçüm değerlerini Android tabanlı bir telefona aktarmaktadır. Robot, gerçekleştirilen gaz kaçağı ölçümlerinde başarılı sonuçlar ortaya koysa da Raju ve Rani prototiplerinin endüstriyel kullanım için halen gelişime ihtiyacı olduğunu belirtmişlerdir.

Patlayıcı gaz kaçaklarının tespiti üzerine yaptığı çalışmada Kanlı [18], serbest dolaşım yaparak ortamdaki gaz kaçağını tespit etmeyi hedefleyen mobil bir robotun prototip tasarımını ve üretimini gerçekleştirmiştir. Çalışmada yürütülen testler sonucunda robotun gaz ölçüm değerlerinin, robot ve gaz kaynağı arasındaki mesafeye göre farklılaştığı gözlemlenmiştir.

Farklı bir çalışmada Zhang vd. [19], metan gazının gözetimi için Diyapazonlu Gelişmiş Fototermal Spektroskopi (QEPTS) tekniği ile çalışan bir gaz kaçağı tespit sistemi geliştirmişlerdir. Geliştirdikleri sistem, ortamdaki gaz yoğunluğunu ölçerek grafiğe dönüştürmektedir. Zhang vd., metan gazının gözlemlendiği testlerde 1200 – 6000 ppm aralığında ölçümler elde etmişlerdir.

Belirlenen alandaki tüm gaz kaçağı kaynaklarının daha kısa sürede tespit edilebilmesi adına yaptıkları çalışmalarında Polvara vd. [20], gaz sensörüne sahip mobil bir robot platformunun izleyeceği algoritma adımlarını ele almışlardır. Çalışma ile diğer

uygulamalardan farklı olarak çevrimiçi bir gaz tespit algoritması ortaya koymuşlardır.

Evlerde metan birikimi sonucu meydana gelen patlamaların önlenmesi adına yaptıkları çalışmada Denizli ve Ayyıldız [21], gaz kaçağı tespit edilmesi halinde elektriği kesen akıllı priz prototipi tasarlamışlardır.

Tesislerden salınan gazların tespit edilmesine yönelik yaptıkları çalışmada Öztürk vd. [22] , eski gaz tespit yöntemlerini incelemişlerdir. Bu yöntemlerin kusurlu taraflarını ortaya koyarak, aranan gazın etkin olduğu aralıkta imza tabanlı hedef tespitine dayanan yeni bir gaz tespit yöntemi önermişlerdir.

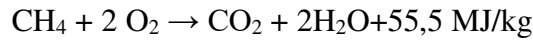
Yapılan literatür taramalarında metan gazının tespit edilmesi amacıyla endüstri sektöründe kullanıma uygun olabilecek şasi ve ısı dayanıma sahip bir çalışmaya rastlanmamıştır.

3. GENEL BİLGİLER

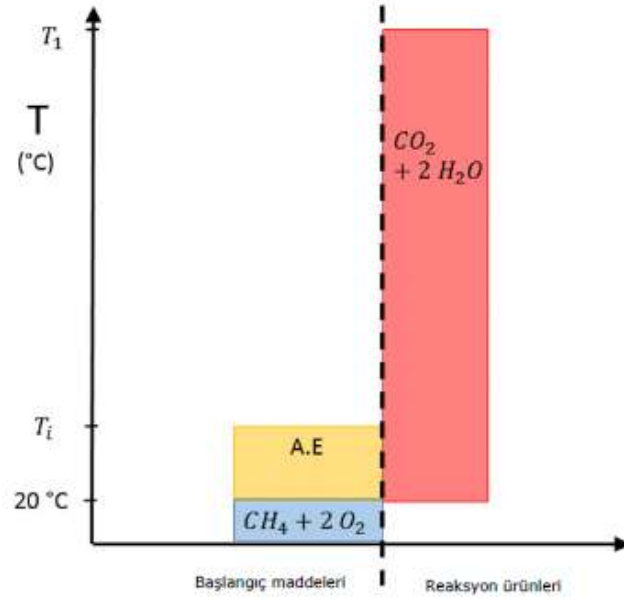
3.1. METAN GAZININ ÖZELLİKLERİ VE TEHLİKE POTANSİYELİ

Kimyasal formülü CH₄ olan metan gazı; rengi ve kokusu olmayan, belirli koşullarda patlayıcı özellik gösterebilen tehlikeli bir sera gazıdır [23] . Genellikle bataklık, çöplük ve kirli su kanalları gibi habitatlarda yaşayan metanojen isimli arke bakteriler tarafından üretilmektedir [24]. Doğal gazın temel bileşenlerinden biri olarak bilinen metan gazının patlaması havada %4-%15 metan yoğunluğu bulunan durumlarda gerçekleşebilmektedir. En güçlü patlama ise ortam havasında %9,5 metan oluşumu ile meydana gelmektedir [25]. %15 yoğunluğun üzerinde metan gazı tutuşarak yanabilmekte fakat patlama reaksiyonu göstermemektedir [26]. Geri dönüşüm fabrikaları ve kömür madenlerinde sıkça rastlanan bu patlamalar ‘Grizu Patlamaları’ olarak da adlandırılır. Bu patlamalar çöp, çalı, ağaç gibi kolay tutuşabilen materyallere yakın bir alanda meydana geldiğinde yangına dönüşerek ciddi etkilere yol açabilmektedir. Yangın ortamında sıcaklık; ilk beş dakikadan sonra 500 °C, 10 dakika sonra 600 °C, 15 dakika sonra 700 °C ve 30 dakika sonra 800 °C dolaylarında seyreder [27]. Sonrasında zaman geçtikçe sıcaklık daha yavaş artmaktadır.

Metanın yanma ısısı, ısı kaynağına bağlı olarak 650-750 °C arasında değişmektedir [28]. Metan gazının yanma formülü aşağıda verilmiştir.



Bu reaksiyonun gerçekleşebilmesi için belirli bir düzeyde enerji gerekmektedir. Bu enerjiye aktivasyon enerjisi (A.E.) denir. Tutuşmayı başlatmak için gereken enerji miktarı ortam sıcaklığı ile bağlantılıdır. Ortam sıcaklığı ne kadar düşükse gereken aktivasyon enerjisi o kadar fazla olur. Lambert, bu ilişkiyi aşağıda verilen grafik ile özetlemiştir.



Şekil 3.1. Metan tutuşmasını ifade eden grafik [28].

Patlayıcı özellik göstermesinin yanı sıra metan gazı belirli bir yoğunluğun üzerine ulaştığında boğucu özellik de gösterebilmektedir. Metan gazının bu denli tehlike arz etmesi nedeniyle dünya genelinde bu konuda önlemler alınmış ve alınmaya devam edilmektedir.

3.2. ROBOT KAVRAMI

Kullanım alanları ve fonksiyonları birçok durumda farklılık gösterdiğinden robot kavramı için belirli bir tanımlama yapmak bir hayli zordur. Genel olarak ele alındığında robotlar, içerisinde bulundukları durumu algılayarak bu duruma uygun işlemler gerçekleştiren makineler olarak ifade edilebilir. Robot kelimesi ilk kez 1921 yılında Karel Čapek tarafından “Rossum’un Uluslararası Robotları” isimli tiyatro oyununda kullanılmıştır [29]. Çekçe “zorla çalışmak”, “köle” anlamlarına gelen bu kavram hızla yaygınlaşarak kullanılmaya başlamıştır. Robot kavramının yaygınlaşması ile robotlar belirli etik kurallar çerçevesinde incelenmeye başlamıştır. Bilim kurgu yazarı olan Asimov’a göre robotların üç temel kurala uyması beklenmektedir [30].

1. Bir robot, insanlara zarar veremez ya da zarar görmelerine tepkisiz kalmaz.
2. Bir robot, birinci kuralla çelişmediği sürece insanların emirlerine itaat etmek zorundadır.
3. Bir robot, birinci ve ikinci kuralla çelişmemek koşuluyla kendi varlığını korumak zorundadır.

İlerleyen zamanlarda robotların hızla gelişimi sonucu Asimov, robotların tek bir insandan ziyade tüm insanlığın zarar görmesini engelleyebileceği fikrinden yola çıkarak, 1985 yılında “Sıfırıncı Yasa” olarak adlandırdığı dördüncü bir yasa ortaya sürmüştür [31]. Bu yasaya göre bir robot “insanlığa” zarar veren herhangi bir eylemde bulunamaz ya da böyle bir eylem karşısında sessiz kalamaz.

3.3. ROBOTLARIN TARİHSEL GELİŞİMİ

Robot kavramı ilk olarak 20. yüzyılda ortaya çıkmış olsa da robotların ataları olan ilkel makinelerin tarihi gelişimleri bundan çok daha eskiye dayanmaktadır. Tekerleğin icat edilmesinin akabinde tarım alanında kullanılan basit çark sistemlerinin tasarlanması, ağır cisimlerin silindirik dal parçaları üzerinde hareketi, kaldıraç benzeri mekanizmalarla ağır yüklerin kaldırılması gibi çalışmalar ilk makinelerin temelini atmıştır [32]. Zaman içerisinde bu makineler önce mekanik olarak yüksek verimle çalışır hale gelmiş, sonrasında bilgisayar ve yapay zekâ teknolojilerinin gelişimi ile çalışırken kendi karar mekanizmalarını kullanır hale gelmişlerdir.

3.3.1. Makine Benzeri İlk Yapılar

Makine benzeri ilk yapılara milattan önceki birkaç yüz yıl içerisinde rastlanmaktadır. MÖ 200’lü yıllarda hava esnekliği ve pnömatik üzerine çalışmalar yapan Ctesibius’un icat ettiği otomatik su saati, servo kontrol alanına yapılmış ilk katkı olarak nitelendirilmektedir [33].



Şekil 3.2. Ctesibius'un su saati [34].

MS 10 – MS 70 yılları arasında İskenderiye'de yaşamış olan Hero'nun icat ettiği Aeolipile isimli müzik aletinin ise ilk buharlı makine olduğu öne sürülmektedir. Bu ve benzeri çalışmalara ek olarak MS 100'lü yıllarda İskenderiye'de otomatik açılan kapılar olduğu bilinmektedir.



Şekil 3.3. Hero'nun Aeolipile'i [35].

MS 200 yılına kadar makine çalışmaları ivme kazansa da bundan sonraki dönemde robotların gelişimine ciddi anlamda zarar veren bazı hadiseler meydana gelmiştir. Bu hadiselerden biri, dönemin en önemli bilim merkezlerinin başında gelen İskenderiye

Kütüphanesi'nin yakılmasıdır. İskenderiye Kütüphanesi tüm uygarlıklarda yapılan çalışmaların toplandığı, bir daha bir araya gelmesi mümkün olmayan bilgilerle dolu bir kütüphane olarak bilinmekteydi. Özellikle matematik alanında gelişmiş bir topluluk olan Mısır halkının çalışmalarına ev sahipliği yapmaktaydı. MÖ 3. yüzyıldan elde edilen bilgiye göre kütüphanede 200.000'den fazla kitap bulunmaktaydı. Ortaçağ'a göre; Julius Caesar'ın İskenderiye'yi işgali sırasında çıkan yangında ilk hasarı alan kütüphane MS 7. yüzyıla gelindiğinde işlevini büyük ölçüde yitirmiş bulunmaktaydı [36]. Makine bilimine dair el yazması kaynakların hatırı sayılır kısmının yok olması ve kütüphanenin birçok kez saldırıya uğraması nedeniyle verimli çalışma ortamı bozulmuştur. Bu nedenle MS 200 – MS 800 yılları makine bilimi açısından kısıtlı ilerlemelerin olduğu kısır bir dönem olarak nitelendirilmektedir.

3.3.2. Rönesans Döneminde Robotlar

MS 10. yüzyıla gelindiğinde iş ve eğlence amaçlı makine çalışmaları tekrar hız kazanmıştır. 12. yüzyılda yaşamış olan ve kendi çağının çok ötesinde bir mühendislik sergileyen El Cezeri; filli su saati, mekanik hayvanlar, şifreli kasalar gibi icatlarla makinelerin gelişimine önemli katkılarda bulunmuştur. Leonardo Da Vinci'nin de Fransa kralı I. François'in eğlenmesi için mekanik bir aslan tasarladığı bilinmektedir. Rönesans dönemi ile 15. yüzyılda eğlence amaçlı makinelerin üretimi artmış ve bu makineler günlük hayatta sıkça rastlanır hale gelmiştir. Önceki dönemlere göre mekanizmaları çok daha gelişmiş olan bu makineler; müzik çalma, zamanı bildirme, insanları eğlendirme gibi işleri pekâlâ başarsalar da algılama kabiliyetleri hala günümüz robotlarından çok uzaktadır.

3.3.3. Radar ve Sensör Teknolojilerindeki Gelişmeler

Robotların algılama kabiliyetindeki gelişmeler 1940 yılında Massachusetts Teknoloji Enstitüsünde (MIT) radar teknolojisinin geliştirilmesi ile bir üst aşamaya ilerlemiştir. Sonraki dönemde radar ve benzeri teknolojilerin kullanımı ile robotların etraflarındaki cisimleri algılaması ve takip etmesi üzerine çalışmalar yapılmaya başlanmıştır. 1954 yılında ilk insansı robot George Devol tarafından tasarlanarak patenti alınmıştır. 1958 yılında ise Devol ve Engelberger [37], ilk endüstriyel robot olan Unimate'i üretmişlerdir. Unimate 1962 yılında General Motors tarafından satın alınarak üretimde kullanılan ilk robot olmuştur. 1968 yılında Stanford Araştırma Enstitüsü ilk mobil robot olan Shakey'i üretmiştir [38].



Şekil 3.4. İlk mobil robot Shakey [39].

3.3.4. Yapay Zekâ Alanındaki Gelişmeler

1990 yılında bilgisayar biliminin bir alt dalı olan ‘Makine Öğrenmesi’ ayrı bir alan olarak belirginleşmeye başlamış ve robotların kendi karar mekanizmalarına sahip olması üzerine çalışmalar hızlanmıştır. Bu dönemde robotlar özellikle bilim kurgu yapımlarında kendilerine yer edinmeye başlamışlar ve bu yapımların büyük kısmında çeşitli alanlarda insanlardan üstün özellikler göstermişlerdir. Bu durum robotların popülaritesini artırmış olduğu gibi, dünyayı ele geçirebileceklerine yönelik düşüncelerin oluşmasına da ortam hazırlamıştır. Robotlar hakkındaki bu görüşler henüz tazeliğini korurken 1996 ve 1997 yıllarında Deep Blue adlı satranç robotu, ünlü satranç ustası Garry Kasparov ile 2 kez karşı karşıya gelmiştir. İlk karşılaşmada mağlup olan Deep Blue’nun ikinci karşılaşmada Kasparov’u mağlup etmesi dönem kamuoyunda büyük yankı uyandırmıştır. Deep Blue bu galibiyet ile robotların sadece fiziksel olarak değil zekasal olarak da insanlara denk olabileceğine yönelik tartışmalara neden olmuştur. Robotlar bazı alanlarda insanlardan üstün olarak görünse de günümüzde bunun aksi yönde görüşler de mevcuttur. Robotların tarihsel gelişimini ele alan çalışmasında Han [40], robotları gelişmeye iten etmenin insanlar olduğunu ileri sürmüştür. Han’a göre robotların gelişiminin en üst düzeyi insanların bulunduğu düzeydir. Bu nedenle robotların insanlardan üstün olması da mümkün olmayacaktır.

3.3.5. Robotların Yaygınlaşması ve İnsan-Robot İlişkisi

1998 yılında Fury isimli robot köpeğin piyasaya sürülmesiyle robotlara karşı duyulan endişe yerini tekrar sempatiye bırakmıştır. Sonrasında çeşitli oyuncak robotların üretilerek evlere girmesi ile insanların robotlarla etkileşimi hız kazanmaya başlamıştır. 2000 yılında Honda tarafından üretilen Asimo isimli insansı robot ise robotlara duyulan ilgiyi daha da artırarak robot teknolojisinin gelişiminde önemli bir etken olmuştur. İnsansı robotlar üzerine daha eski çalışmalar mevcut olsa da televizyon ve internet gibi iletişim araçlarının etkisiyle Asimo en popüler insansı robotlardan biri olmayı başarmıştır.



Şekil 3.5. İnsansı robot Asimo [41].

3.4. ROBOTLARIN SINIFLANDIRILMASI

Robotların yapıları kullandıkları alan ve amaçlara göre değişiklik göstermektedir. Günümüzde havada, karada ve suda hareket edebilen; farklı ebatlarda, çok sayıda benzersiz robot bulunmaktadır. Bu sebeple robotların sınıflandırılması, referans alınan kriterlere göre birçok farklı şekilde yapılabilir. Dobra, robotların sınıflandırılmaları üzerine yaptığı çalışmada pozisyonlarına göre robotları sabit ve hareketli robotlar olmak üzere iki ana gruba ayırmıştır [42]. Gürgüze ve Türkoğlu [43] ise çalışmalarında robotları kullanım alanlarına göre; endüstriyel robotlar, mobil robotlar ve haptik sistemler olmak üzere üç ana grup altında incelemişlerdir.

3.4.1. Kullanım Alanlarına Göre Robotlar

Günümüzde robotlar kullanım alanlarına göre; endüstriyel robotlar, tıp ve sağlık sektöründe kullanılan robotlar, savunma sanayisinde kullanılan robotlar, eğitim ve eğlence amaçlı kullanılan robotlar olarak sıralanabilmektedir.

Endüstriyel robotlar; ISO 8373 tanımlamasında belirtildiği üzere en az üç programlanabilir eksenli olan, otomatik kontrollü ve belirli bir çalışma alanına sabitlenmiş robotlardır. Kaynak, ürün paketleme, lazer kesim, depolama, makine montajı gibi endüstriyel üretimin çeşitli alanlarında görev alan robotlar endüstriyel robotlara örnek olarak verilebilir. Bu alanda kullanılan robotların büyük çoğunluğu bir yere sabitlenmiş olarak çalışmakta, kalan kısmı ise sınırlı bir menzilde hareket etmektedir.



Şekil 3.6. Endüstriyel kaynak robotu [44].

Tıp alanında tanı koymaya yardımcı olan, fizik tedavi uygulamalarında kullanılan, cerrahi işlemleri gerçekleştiren veya bu işlemlerin gerçekleştirilmesine katkı sağlayan robotlar bulunmaktadır. Özellikle yüksek hassasiyet gerektiren cerrahi operasyonlarda robotların kullanımı oldukça yaygındır.

Robotlar savunma sanayisinde geniş bir kullanım alanına sahiptir. Bu alanda otomatik tahrip sistemleri, bomba imha robotları, insansız hava araçları gibi askeri amaçlı kullanılan robotlar olduğu gibi; nükleer enerji kontrolü, yanıcı ve patlayıcı maddelerin kontrolü gibi özel sektörde güvenlik amaçlı kullanılan robotlar da mevcuttur. Bu robotların bir kısmı uzaktan kontrol edilmekte, diğer kısmı ise kendi karar mekanizmalarına bağlı olarak hareket etmektedir.

Robotların en geniş kullanım alanlarından biri de eğlence sektörüdür. Robotların tarihine bakıldığında geçmişte yapılan çalışmaların büyük çoğunluğu eğlence amaçlı müzik çalan veya hayvanları taklit eden kukla benzeri makineler üzerine olmuştur. Günümüzde çocukların favorisi olan oyuncak robotların yanı sıra, yüksek teknolojiye sahip insansı robotlar da üretilmektedir. Yapay zekâ çalışmalarının büyük çoğunluğu da insansı robotlar üzerinde gerçekleştirilmektedir.

3.4.2. Hareket Durumlarına Göre Robotlar

Hareket durumlarına göre robotlar; sabit robotlar ve mobil robotlar olarak iki ana grup altında incelenmektedir. Sabit robotlar, bulundukları yerde hareket edebilseler de kendi konumlarını değiştiremeyen robotlar olarak nitelendirilmektedir. Ürünlerin ayırt edilmesi, makine montajı, kaynak gibi işlemleri gerçekleştirmede kullanılan robot kollar sabit robotlara örnek olarak verilebilir. Dış faktörlerden bağımsız olarak kendi konumunu değiştirebilen robotlar; mobil robotlar ya da hareketli robotlar olarak adlandırılmaktadır. Çizgi izleyen robotlar, endüstride kullanılan kablolu robotlar gibi kısıtlı bir alanda çalışan mobil robotlar olduğu gibi; insansız hava araçları ve robot köpekler gibi sınırsız menzile sahip robotlar da bulunmaktadır.

3.5. KOMPOZİT MALZEMELER

Kompozitler, en az iki malzemenin güçlü yanlarının birleştirilmesiyle meydana gelen ve bileşenlerinden üstün özelliklere sahip olan malzemelerdir [45]. Genellikle daha dayanıklı ya da aynı dayanıklılığa sahip daha hafif ürünler elde etmek amacıyla üretilmektedirler. Kompozitleri oluşturan malzemeler matris ve takviye malzemeler olmak üzere iki ana grup altında toplanmaktadır. Kompozitler tokluk ve süneklik özelliklerini matris malzemedan almaktadır [46]. Genel olarak polimerler, metaller ve seramik esaslı malzemeler matris malzemelere örnek olarak verilebilir. Takviye malzemeler ise kompozitlere dayanım özelliklerini veren malzemelerdir. Çelik, karbür, naylon gibi malzemeler kompozit üretiminde takviye malzemeler olarak kullanılmaktadır. Bilinen en eski kompozit malzemelerden biri ülkemizde kırsal bölgelerde sıkça görülen kerpiçtir. Çamurun içine saman karıştırılarak üretilen kerpiç, uzun yıllar Anadolu coğrafyasında ev ve ahır gibi yapıların yapımında kullanılmış ve halen kullanılmaya devam etmektedir. Günlük hayatta sıkça karşımıza çıkan bir diğer kompozit ise kum ve çimentonun birleşiminden oluşan betondur.



Şekil 3.7. Tahta-plastik kompozit malzeme [47].

Yapı alanında olduğu gibi ısı yalıtımı alanında da kompozitler sıkça kullanılmaktadır. Isı yalıtım malzemeleri üzerine yaptığı çalışmada Yalçın [48], seramik elyaf battaniyelerin endüstriyel fırınlar gibi yüksek sıcaklıkların bulunduğu yapıların ısı izolasyonunda oldukça başarılı olduğunu belirtmiştir. Elyaf iplik üzerine seramik dolgu yapılması ile oluşan seramik elyaf battaniyeler 1200°C gibi yüksek sıcaklıkların yalıtımında kullanılmaktadır [49].



Şekil 3.8. Seramik elyaf battaniye [50] .

4. MATERYAL VE YÖNTEM

4.1. ŞASİ ÜRETİMİNDE KULLANILAN MALZEME VE EKİPMANLAR

Robotun tutuşmaya ve yüksek sıcaklığa karşı dayanımının artması için, şasi AISI 310 paslanmaz çelik sacdan üretilmiştir. Kullanılan sacın teknik özellikleri Çizelge 4.1, Çizelge 4.2 ve Çizelge 4.3'te verilmiştir.

Çizelge 4.1. AISI 310 paslanmaz çelik saca ait bileşenler (Matweb).

C	Cr	Fe	Mn	Ni	P	Si	S
<=	%	%	<=	%	%	<=	<=
%0,25	24 – 26	48,18 – 57	%2,0	19 – 22	0,045	%1,5	%0,030

Çizelge 4.2. AISI 310 paslanmaz çelik saca ait mekanik özellikler (Matweb).

Yoğunluk	Sertlik Rockwell B	Akma Dayanımı	Kopma Dayanımı
8,00 g / cc	85	310 MPa	620 MPa

Çizelge 4.3. AISI 310 paslanmaz çelik sacın ısı özellikleri (Matweb).

Isıl Genleşme Katsayısı	Özgül Isı Kapasitesi	Isıl İletkenlik	Ergime Noktası
15,8-19,1 $\mu\text{m/m } ^\circ\text{C}$	0,500 J/g $^\circ\text{C}$	14,2 W/m.K	1400-1455 $^\circ\text{C}$

Şasi tasarımı ve çelik sacın kesim işlemleri için gerekli çizimler Solidworks ve AutoCAD programları kullanılarak tamamlanmıştır. Yüksek hassasiyet gerektiren kesim işlemleri için Şekil 4.1'de görseli verilen Han Kwang FL-3015 lazer kesim makinesi kullanılmıştır. Kullanılan lazer kesim makinesinin temel özellikleri Çizelge 4.4'te verilmiştir.

Çizelge 4.4. Han Kwang FL-3015 lazer kesim makinesi özellikleri (Hankwang).

Güç	5000 Watt
Maksimum çalışma alanı	1,524 x 3,048 mm
Maksimum hareket hızı	120 m/dk
Konum doğruluğu	$\pm 0,1 / 3,000$ mm
Yeniden konumlandırma doğruluğu	$\pm 0,03$ mm



Şekil 4.1. CNC lazer kesim makinesi.



Şekil 4.2. CNC lazer kesim makinesi kesici lazeri.

Lazerde kesimi tamamlanan paslanmaz sacın büküm işlemleri Ermaksan AP 3100 x 120 pres makinesi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Büküm işleminin yapıldığı pres makinesinin teknik özellikleri Çizelge 4.5’te verilmiştir.

Çizelge 4.5. Ermaksan AP 3100 x 120 pres makinesinin özellikleri (Ermaksan).

Pres gücü	120 Ton
Büküm uzunluğu	3100 mm
Eksen sayısı	3
Motor gücü	8,2 kW

Büküm makinesinin görünümü Şekil 4.3'teki gibidir.



Şekil 4.3. Ermaksan AP 3100 x 120 pres makinesi.



Şekil 4.4. Kullanılan bıçaklar.

4.2. ISI YALITIM MALZEMELERİ

Şasinin ısı yalıtımında seramik elyaf battaniye kullanılmıştır. Seramik elyaf battaniyenin 96 kg/m^3 ve 128 kg/m^3 yoğunluk olmak üzere iki ayrı çeşidi bulunmaktadır. Çalışmada ısı yalıtımının sağlanabilmesi için 2,5 cm kalınlığa ve 96 kg/m^3 yoğunluğa sahip seramik elyaf battaniye kullanımı tercih edilmiştir. Tercih edilen malzemenin özellikleri Çizelge 4.6, Çizelge 4.7 ve Çizelge 4.8’de verilmiştir.

Çizelge 4.6. Seramik elyaf battaniyenin fiziksel özellikleri (Unifrax).

Yoğunluk	Çekme Dayanımı	Fiber Çapı
96 kg/m^3	41 kPa	2,5-3,5 μm

Çizelge 4.7. Seramik elyaf battaniyeye ait bileşenler (Kiltas).

Al_2O_3	SiO_2	Fe_2O_3	TiO_2
%45-46	%51-52	%0,1-0,2	%0,1-0,2

Çizelge 4.8. Seramik elyaf battaniyenin ısı özellikleri (Kiltas).

Maksimum Sıcaklık	Sürekli Kullanım Sıcaklığı	Erime Noktası	400°C için Isı İletim Katsayısı	800°C için Isı İletim Katsayısı
%45-46	%51-52	%0,1-0,2	0,09 W/m.K	0,15 W/m.K

Seramik elyafın şasi iç yüzeyine sabitlenmesi ve deliklerin kapatılması için yüksek ısı dayanımlı silikon kullanılmıştır.

4.3. ELEKTRONİK MALZEMELER

Motorlar dışındaki tüm elektronik aygıtların doğrudan, motorların ise dolaylı yoldan kontrolünü sağlayacak olan mikro denetleyici kart olarak Arduino Mega modeli tercih edilmiştir. Arduino platformunun çok sayıda sensör ve sürücü kartı ile uyumlu çalışması bu tercihin en temel sebebidir. Arduino Mega’nın temel özellikleri Çizelge 4.9’da belirtilmiştir.

Çizelge 4.9. Arduino mega temel özellikleri (Arduino).

İşlemci	ATmega2560
Kullanım voltajı	5 V
Önerilen giriş voltajı	7-12 V
Maksimum giriş voltajı	6-20 V
Dijital pin sayısı	54
Analog pin sayısı	16
Pin başına akım miktarı	20 mA
Bellek	256 kB
SRAM	8 kB
EEPROM	4 kB

Robotun etrafındaki engelleri algılamasını için HCSR04 ultrasonik mesafe sensörü kullanılmıştır. Bu sensör, trigger bölümü ile ses dalgaları üretmekte ve echo bölümü ile ses dalgalarını algılamaktadır. Ultrasonik mesafe sensörünün temel özellikleri Çizelge 4.10’da verilmiştir.

Çizelge 4.10. Ultrasonik mesafe sensörünün temel özellikleri (Elec Freaks).

Çalışma voltajı	DC 5V
Çalışma akımı	15 mA
Çalışma frekansı	40 Hz
Maksimum menzil	400 cm
Minimum menzil	2 cm
Ölçüm açısı	15°
Pin başına akım miktarı	20 mA
Trigger giriş sinyali	256 kB
Echo giriş sinyali	8 kB
EEPROM	4 kB

Çalışmada metan gazının tespiti ve yoğunluk ölçümlerinde kullanılacak sensör MQ-4 gaz sensörü olarak belirlenmiştir. Bu sensör 300-10.000 ppm arası çok düşük yoğunlukların ölçümünde kullanılabilir. Bu sensörün kullanımı, robotun eser miktardaki

sızıntıları dahi tespit edebilmesine olanak sağlamıştır. Gaz sensörünün özellikleri Çizelge 4.11’deki gibidir.

Çizelge 4.11. MQ-4 gaz sensörünün özellikleri (Pololu).

Model			MQ-4
Sensör tipi			Yarı iletken
Kapsülleme standardı			Bakalit (Siyah Bakalit)
Gaz türü			Metan gazı / doğal gaz
Konsantrasyon			300-10000 ppm
Devre	Voltaj	V_c	≤ 24 V DC
	Isıtıcı voltajı	V_H	5,0 V $\pm$ 0,2 V AC veya DC
	Yük direnci	R_L	Ayarlanabilir
Karakteristik	Isıtıcı direnci	R_H	31 $\Omega \pm 3 \Omega$ (Oda sıcaklığı)
	Isı tüketimi	P_H	≤ 900 mW
	Algılama direnci	R_S	2K Ω -20K Ω (5000 ppm CH ₄ için)
	Hassasiyet	S	$R_S(\text{hava})/R_S(5000 \text{ ppm CH}_4) \geq 5$
	Slope	α	$\leq 0,6(R_{5000 \text{ ppm}}/R_{3000 \text{ ppm CH}_4})$

Metan gazının yanı sıra robotun ortam sıcaklığını da sürekli ölçerek yangın durumunu değerlendirebilmesi gerekmektedir. Sıcaklığın ölçümü için en uygun sensör Gravity: I2C olarak belirlenmiştir. Sıcaklık sensörünün temel özellikleri Çizelge 4.12’de verilmiştir.

Çizelge 4.12. Gravity: I2C sıcaklık sensörünün temel özellikleri (DFRobot).

Giriş voltajı	3,3V ~ 5,5V
Prob türü	K Tipi Termokupl
Sıcaklık aralığı	-270 °C ~ 1372 °C
Çözünürlük	0.25 °C
Hata	$\leq \pm 2$ °C (-200 °C~700 °C) ~ ± 4 °C (700 °C~1350 °C)

Çalışmanın en kritik noktalarından biri; ölçülen değerlerin dış ortama aktararak takibinin yapılabilmesidir. Bu aktarımın gerçekleşebilmesi için, içerisinde ESP8266 kablosuz ağ iletim modülü bulunan ESP-01 geliştirme kartı tercih edilmiştir. Tercih edilen kartın özellikleri Çizelge 4.13’te belirtilmiştir.

Çizelge 4.13. ESP-01 kablosuz ağ modülünün özellikleri (Aithinker).

Wi-fi Özellikleri	Wi-fi protokolü	802,11 b/g/n
	Frekans aralığı	2,4GHz – 2,5GHz (2400 M – 2483,5 M)
Donanım Özellikleri	Çevre veriyolu	UART/HSPI/I2C/I2S/Ir
		GPIO/PWM
	Çalışma gerilimi	3,0 ~ 3,6 V
	Çalışma akımı	80 mA (ortalama değer)
	Çalışma sıcaklığı	-40 °C~125 °C
	Çalışma ortam sıcaklığı	Normal sıcaklık
Yazılım Özellikleri	Wi-fi modu	Station/SoftAP/SoftAP+station
	Güvenlik	WPA/WPA2
	Şifreleme	WEP/TKIP/AES
	Network protokolleri	IPv4, TCP/UDP/HTTP/FTP

Robotun görsel uyarıları gerçekleştirebilmesi için RGB modülü, sesli uyarıları gerçekleştirebilmesi için ise zil modülü kullanımına karar verilmiştir. Motorların kendi ağırlıkları, elektronik aygıtlar, pil ve yalıtım malzemeleri göz önünde bulundurulduğunda robotun toplam ağırlığının 2 kg'a yaklaşacağı öngörülmüştür. Bu ağırlığı hareket ettirmek üzere 19:1 redüksiyon oranına sahip 12 V redüktörlü DC motor seçimi yapılmıştır. Tercih edilen modelin özellikleri Çizelge 4.14'te verilmiştir.

Çizelge 4.14. Tercih edilen motorun temel özellikleri (Pololu).

Nominal gerilim	12 V
Zorlanma akımı	5,5 A
Yüksüz çalışma akımı	0,2 A
Dışlı oranı	19:1
Yüksüz devir	530 rpm
Tork	8,5 kg.cm
Maksimum güç	12 W

Robotun sağlıklı bir şekilde hareket etmesi için iki motorun farklı yön ve hızlarda birbirinden bağımsız olarak sürülebilmesi gerekmektedir. Bu doğrultuda sürücü kartı olarak 5-28V gerilim altında kanal başı sürekli olarak 3A, anlık olarak 6A akım verebilen çift motor sürücü kartı seçilmiştir. Seçilen sürücü kartının özellikleri Çizelge 4.15'te ifade edilmiştir.

Çizelge 4.15. Tercih edilen motor sürücü kartının temel özellikleri (Pololu).

Çalışma gerilimi	5-28 V
Kanal başı sürekli akım	3 A
Kanal başı anlık akım	5 A
Çalışma frekansı	20 kHz
Koruma özellikleri	Yüksek voltaj koruması
	Düşük voltaj koruması
	Aşırı ısınma koruması
	Ters voltaj koruması

Çalışmada mikrodnetleyici kartı ve motorlar farklı güç kaynakları ile beslenmiştir. Motorları beslemek için lityum polimer (Li-po) pil kullanılırken, mikrodnetleyici kart 9V pil ile beslenmiştir. Seçilen Li-po pilin özellikleri Çizelge 4.16’da verilmiştir.

Çizelge 4.16. Seçilen li-po pilin özellikleri (Farnell).

Pil türü	Lityum polimer batarya
Voltaj	11,1 V
Kapasite	4000 mAh 35C
Hücre Sayısı	3

Pilin önemli bir bölümü motorlar tarafından kullanılmaktadır. Kullanılan motorların bir tanesi maksimum zorlanma altında 5.5A akım çekmektedir. Diğer elektronik aygıtlarla birlikte robotun maksimum zorlanmada çekeceği akım değeri ortalama 13A dolaylarında olacaktır. Bu durumda robotun maksimum zorlanma altındayken pilin tükenme süresi aşağıdaki eşitlikle hesaplanabilir.

$$\frac{4000 \text{ mAh}}{13000 \text{ mA}} \times 0,7 = 0,215 \text{ saat} = 13 \text{ dak} \quad (4.1)$$

4000 mAh akü kapasitesine sahip robotun 13000 mA akım çekmesi durumunda pilin tükenme süresi Eş. 4.1’de 13 dakika olarak hesaplanmıştır. Robotun tam güç çekmesi ancak üzerine ağır bir cisim devrilmesi gibi kendini kurtaramayacağı bir sıkışma pozisyonunda mümkün olacaktır. Tarama yapılan alandaki zemin eğimi ve engel sayısı gibi etmenlere bağlı olarak çekilen akım miktarı değişse de normal kullanımda pil ömrünün 2-3 saat aralığında olması beklenmektedir.

4.4. TEST EKİPMANLARI

Ultrasonik mesafe sensörlerinin doğruluk testlerinde objelerin uzaklık kontrolü OEM KMP150 dijital kumpas ile yapılmıştır (Şekil 4.5).



Şekil 4.5. Kullanılan dijital kumpas.

Kullanılan dijital kumpasın teknik özellikleri Çizelge 4.17’de verilmiştir.

Çizelge 4.17. OEM KMP150 dijital kumpasın özellikleri.

Ölçüm aralığı	0-150 mm / 0-6"
Hassasiyet	0,01 mm / 0,0005"
Çözünürlük	0,01 mm / 0,00039"
Üst çene boyu	22 mm
Alt çene boyu	40 mm
Rakam yüksekliği	12 mm
Ekran	LCD ekran
Ağırlık	152 g
Güç kaynağı	1 adet LR44 pil

Isı yalıtım testlerinde 200 °C sabit sıcaklık elde etmek için kaskad dökümünde kullanılan sanayi tipi kutu fırın kullanılmıştır (Şekil 4.17). Fırının üzerinde ulaşılmak istenen değeri turuncu, fırının o anki iç sıcaklık değerini ise kırmızı olarak gösteren bir ekran bulunmaktadır. Test kapsamında fırının iç sıcaklığı bu ekrandan takip edilmiştir.



Şekil 4.6. Isı yalıtım testinde kullanılan kutu fırın.

Çizelge 4.18. Testte kullanılan fırının temel özellikleri (Batı Çelik).

Çalışma voltajı	220- 240 V
Güç	1800 W
Maksimum sıcaklık	400 °C
Hacim	48 litre
Gösterge tipi	LED ekran

Test sırasında şasinin iç sıcaklığı Mastech MY-64 dijital ısı ölçer multimetre ile takip edilmiştir. Dış sıcaklık CEM DT-8835 infrared termometre ile kontrol edilmiştir. Kullanılan ölçüm aletlerinin görüntüsü Şekil 4.7’deki gibidir.



Şekil 4.7. Sıcaklık ölçüm cihazları.

Dijital ısı ölçer multimetrenin teknik özellikleri Çizelge 4.19’da belirtilmiştir.

Çizelge 4.19. Mastech MY-64 dijital ısı ölçer multimetre özellikleri (Mastech).

Özellikler	Aralık	Çözünürlük	Doğruluk
DC voltaj	200mV/2V/20V/200V	0.1mV/1mV/10mV/100mV	$\pm (0,5\%+2)$
	1000 V	1 V	$\pm (0,8\%+2)$
AC voltaj	2 V	1 mV	$\pm (0,8\%+3)$
	20 V/200 V	10 mV/100 mV	$\pm (0,8\%+3)$
	750 V	1 V	$\pm (1,2\%+3)$
DC akım	2 mA/20 mA	1 μ A/10 μ A	$\pm (0,8\%+1)$
	200 mA	0,1 mA	$\pm (1,5\%+1)$
	10 A	10 mA	$\pm (2,0\%+5)$
AC akım	20 mA	10 μ A	$\pm (1,0\%+5)$
	200 mA	0,1 mA	$\pm (1,8\%+5)$
	10 A	10 mA	$\pm (3,0\%+7)$
Direnç	200 Ω	0,1 Ω	$\pm (0,8\%+3)$
	2k Ω /20k Ω /200k Ω /2M Ω	1 Ω /10 Ω /100 Ω /1k Ω	$\pm (0,8\%+2)$
	20 M Ω	10 k Ω	$\pm (1,0\%+2)$
	200 M Ω	0,1 M Ω	$\pm (6,0\%+10)$
Kapasitans	2 nF/20 nF/200 nF/2 μ F	1 pF/10 pF/0,1 nF/1 nF	$\pm (4,0\%+3)$
	100 μ F	100 nF	$\pm (6,0\%+10)$
Frekans	20 kHz	10 Hz	$\pm (2,0\%+5)$
Sıcaklık	-20 °C~0 °C	1°C	$\pm (5,0\%+4)$
	1°C~400 °C	1°C	$\pm (2,0\%+3)$
	401 °C~1000 °C	1°C	$\pm (2,0\%+5)$

Çalışmada kullanılan infrared termometrenin özellikleri Çizelge 4.20’de verilmiştir.

Çizelge 4.20. CEM DT-8835 infrared termometrenin özellikleri (RAM).

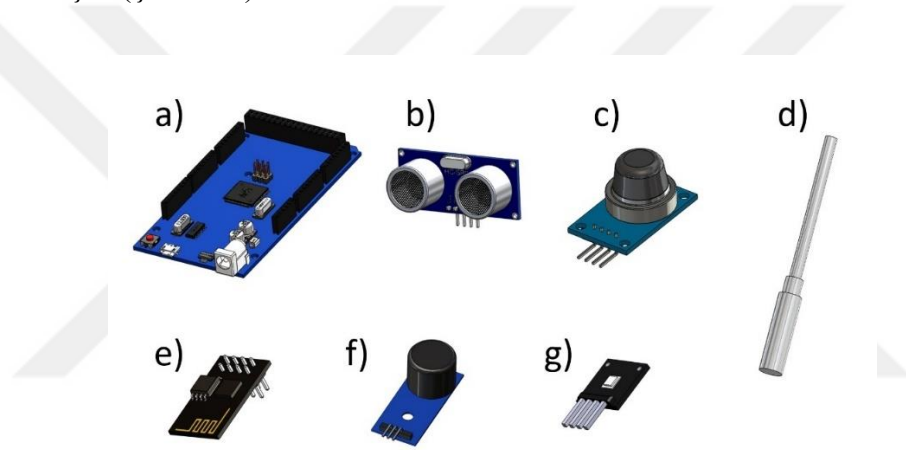
Ölçüm birimi	°C, °F
Ölçüm aralığı	-50 °C- 1050°C
Hassasiyet	$\pm 1,5^\circ\text{C}$
Çözünürlük	0,1°C

5. METAN TESPİT ROBOTU TASARIM VE ÜRETİMİ

5.1. ROBOTUN TASARIMI

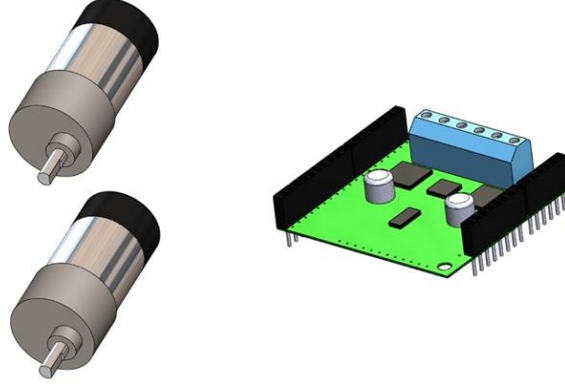
5.1.1. Elektronik Aygıtların Çizimleri

Pil ömrünü artırmak adına tasarım sürecinde robotun mümkün olduğu kadar hafif olmasına önem verilmiştir. Robotun ağırlığını belirleyen en önemli faktörlerden biri şasi olduğundan, şasi tasarımı mümkün olan en küçük boyuta indirgenmiştir. Bu süreçte ilk olarak önceden belirlenen elektronik aygıtların çizimleri yapılarak boyutları hesaplanmıştır (Şekil 5.1).



Şekil 5.1. Elektronik aygıtlar a) Arduino mega b) Mesafe sensörü c) Gaz sensörü d) Sıcaklık sensörü e) Wi-fi modülü f) Zil modülü g) RGB LED kartı.

Sonrasında tercih edilen motorlar, motor sürücü kartı ve li-po pilin çizimleri tamamlanarak tasarıma dahil edilmiştir.



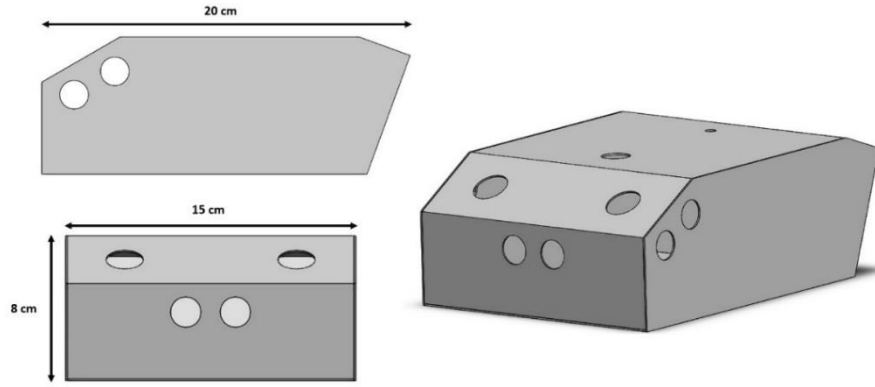
Şekil 5.2. Motorlar ve sürücü kartı.



Şekil 5.3. Lityum polimer pil.

5.1.2. Şasi Tasarımı

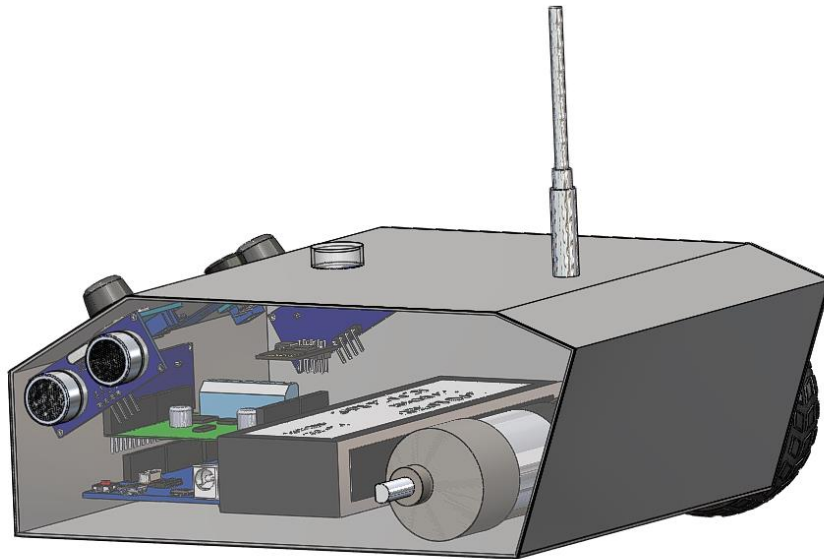
Elektronik aygıtların çizimlerinin tamamlanmasının ardından ihtiyaç duyulan şasi boyutları kısmen ortaya çıkmıştır. Bu boyutlar esas alınarak şasinin tasarımı gerçekleştirilmiştir (Şekil 5.4).



Şekil 5.4. Şasi tasarımı ve ölçüleri.

Şasi tasarımı tamamlandıktan sonra aygıtların şasi üzerine yerleşim planı bilgisayar ortamında hazırlanmıştır. Robotun engebeli alanlarda ilerleyebilmesi için şasiye uygun bir palet tasarımı yapılmıştır (Şekil 5.5). Fakat paletler robotun ağırlığını büyük ölçüde artırarak enerji kaybına yol açacağından, çalışmada palet yerine teker kullanımı tercih edilmiştir.

Şasinin şekli ve aygıtların ağırlıkları göz önünde bulundurularak robotun ağırlık merkezinin ortaya yakın olması için gerekli düzenlemeler yapılmıştır. Yerleşim esnasında ileride gerçekleştirilecek olan ısı yalıtım işlemi göz önünde bulundurularak gerekli boşlukların bırakılmasına dikkat edilmiştir (Şekil 5.5).



Şekil 5.5. Elektronik aygıtların şasi üzerindeki görünümü.

Şasi tasarımı ve elektronik aygıtların şasi içerisinde yerleşiminin tamamlanmasının ardından normal teker kullanımına ek olarak engebeli arazide için bir palet sistemi tasarlanmış ve iki farklı nihai tasarım elde edilmiştir (Şekil 5.6 ve Şekil 5.7).



Şekil 5.6. Tekerli tasarım.

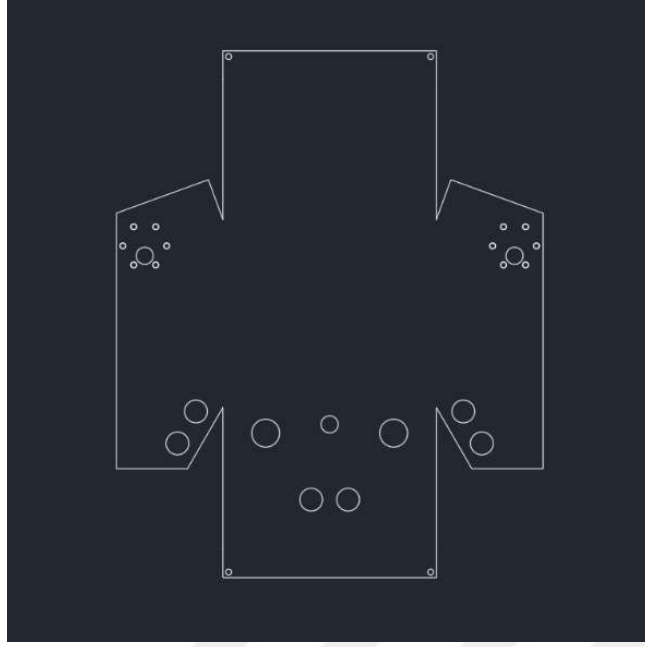


Şekil 5.7. Paletli tasarım.

5.2. ROBOTUN ÜRETİMİ

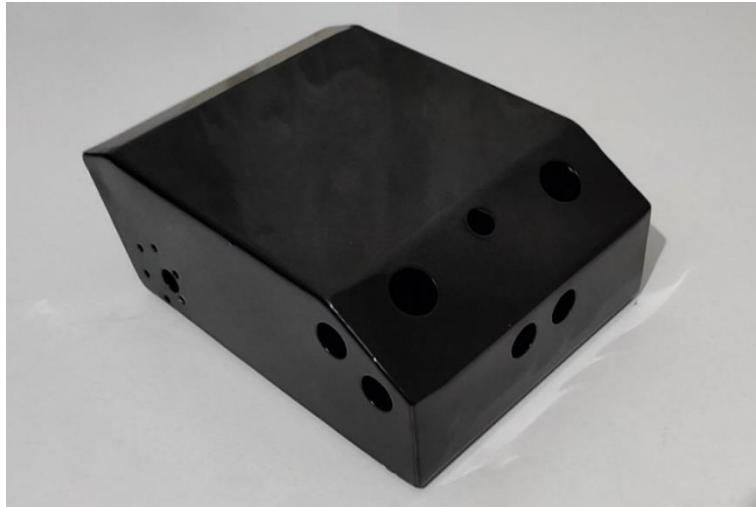
5.2.1. Şasi Üretimi

Tasarımı tamamlanan şasinin üretimi gerçekleştirilirken dikkat edilmesi gereken en önemli hususlardan biri motorların pozisyonudur. Robotun hareket esnasında yalpalamaması ve belirli bir yöne çekmemesi için motorlar gövdeye birbirleri ile aynı hizada sabitlenmelidir. Bu durum göz önünde bulundurularak motor ve sensörlerin bağlanacağı deliklerin imalat resimleri bilgisayar ortamında hazırlanmış ve lazer kesime gönderilmiştir (Şekil 5.8).



Şekil 5.8. Şasi açık görünümü.

Şasiyi oluşturacak paslanmaz levhanın kesim ve delme işlemleri lazer kesim cihazında gerçekleştirilmiştir. Bu işlemlerin ardından büküm makinası ile gerekli büküm işlemleri tamamlanmıştır. Şasi kutu halini aldıktan sonra ilk olarak kaynak işlemi ile şasi sağlamlaştırılmış, ardından zımpara işlemi ile şasi üzerinde düzeltmeler yapılmıştır. Sonrasında mekanik olarak hazır hale gelen şasi elektrostatik toz boya ile boyanmış ve pürüzsüz bir yüzey elde edilmiştir (Şekil 5.9).

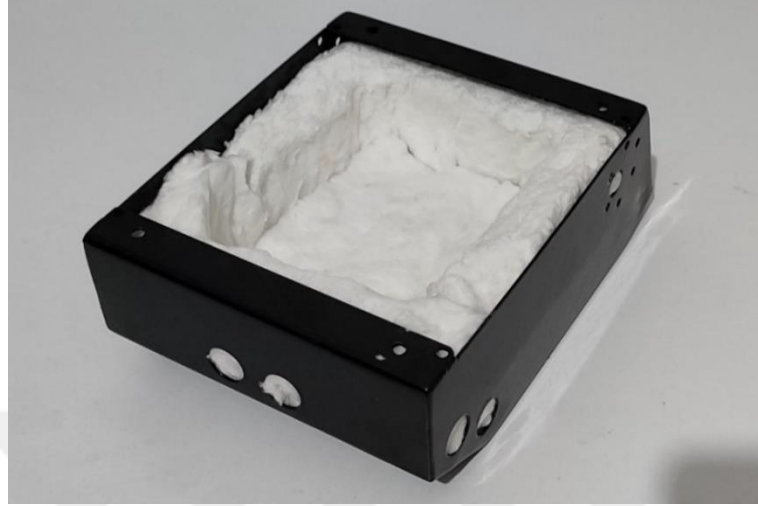


Şekil 5.9. Hazırlanan şasi.

5.2.2. Yalıtım İşleminin Uygulanması

Şasinin üretilmesinin ardından iç yüzeyine 2,5 cm kalınlığında seramik elyaf battaniye ile

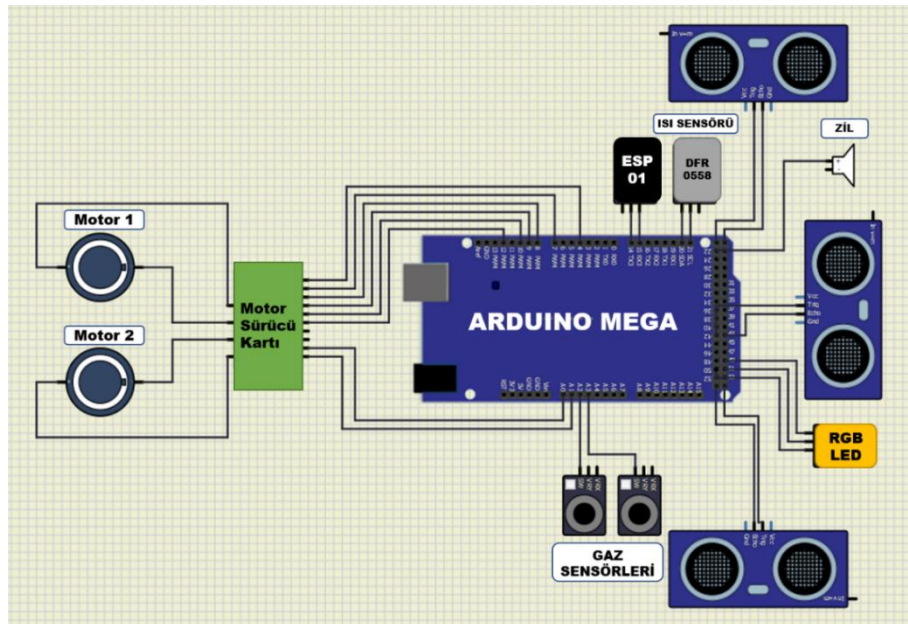
yalıtım işlemi uygulanmıştır. Seramik elyafı şasiye sabitlemek için yüksek sıcaklığa dayanıklı yapıştırıcı kullanılmıştır. Gerçekleştirilen işlemden sonra şasinin görüntüsü şekildeki gibidir (Şekil 5.10).



Şekil 5.10. Yalıtım işleminin ardından şasinin görünümü.

5.2.3. Elektronik Aygıtların Bağlantıları

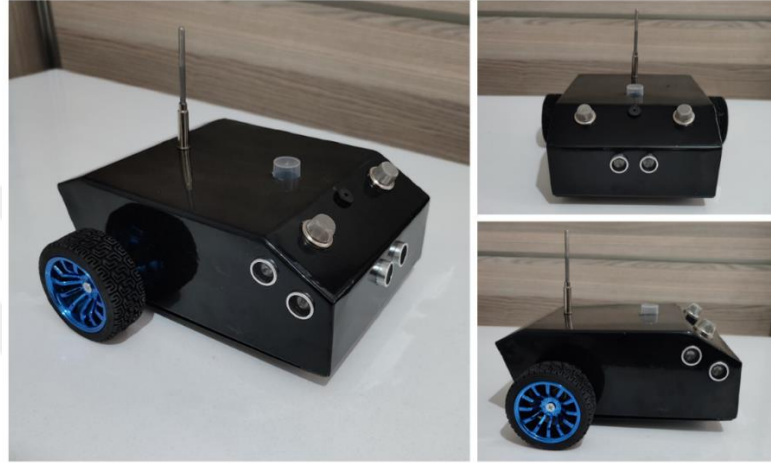
Çalışmada kullanılan elektronik aygıtların bağlantıları şekildeki gibi gerçekleştirilmiştir (Şekil 5.11).



Şekil 5.11. Elektronik aygıtların bağlantıları.

Devrede mikrodnetleyici ve motor sürücü kartları tek bir güç kaynağından beslenebileceği gibi sadece mikrodnetleyici kart için ayrı bir pil de kullanılabilir. Bu

durum sürücü kartı üzerinden çekilen akımı düşüreceği gibi robotun pil ömrünü de uzatacağından mikrodenetleyici için ayrı pil kullanımı tavsiye edilmektedir. Kullanılan LED'in uzun ömürlü olması için genellikle devrede direnç ile kullanılması önerilmektedir. Fakat çalışmada sade bir RGB LED yerine üzerinde koruyucu devre elemanları olan bir RGB LED kartı kullanıldığı için devrede direnç kullanımına gerek görülmemiştir. Elektronik bağlantıların tamamlanmasının ardından iki farklı tasarımın son görünüşleri şekildeki gibidir (Şekil 5.12 ve Şekil 5.13).



Şekil 5.12. Üretilen tekerli tasarımın son görünümü.



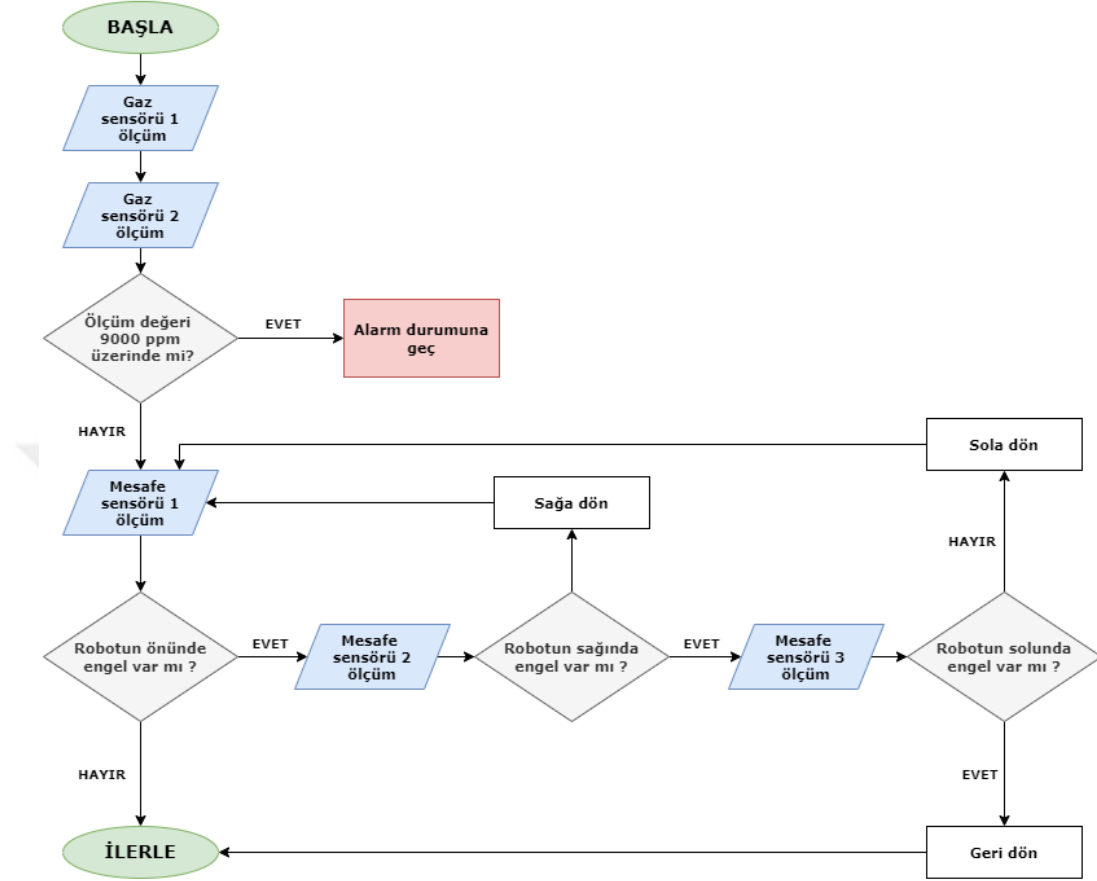
Şekil 5.13. Üretilen paletli tasarımın son görünümü.

5.3. YAZILIMIN GELİŞTİRİLMESİ

5.3.1. Algoritma Tasarımı

Bu aşamada ilk olarak robotun hareket algoritması tasarlanmıştır. (Şekil 5.14). Robotun

hareketi, belirlenen algoritma üzerine kurgulanarak mikrodenetleyici platformunun derleyicisinde derlenmiş ve mikrodenetleyici karta yüklenmiştir.



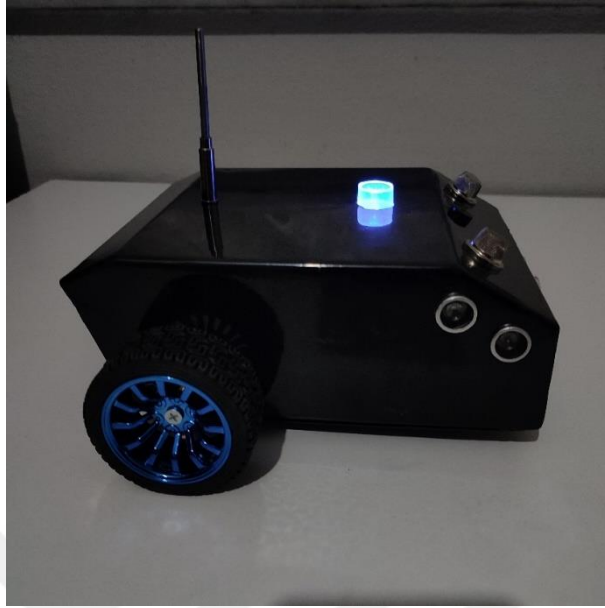
Şekil 5.14. Robotun hareket algoritması.

Tasarlanan algoritmaya göre her metan gazı ölçümünden önce robotun bir adım ilerlemesi gerekmektedir. Fakat ortamdaki engellere bağlı olarak manevra süresi uzayabilmekte ve bu durum ölçümün gecikmesine yol açmaktadır. Bu sorundan kaynaklanabilecek risk faktörünü ortadan kaldırmak için kod bloğunda düzenlemeye gidilerek hareket algoritmasına ek yoğunluk ölçümleri eklenmiştir. Bu ölçümler hareket algoritmasından bağımsız olarak yapılmaktadır. Ek yoğunluk ölçümleri sonucunda metan birikimi tespit edildiği takdirde hareket algoritması yarıda kesilerek robot uyarı durumuna geçmektedir.

5.3.2. Robotun Çalışma Mantığı

Çalışmada kullanılan gaz sensörünün daha isabetli ölçümler yapabilmesi adına sensöre enerji geldikten sonra bir süre sensörün ısınması için beklenmelidir. Bu nedenle başlama komutu verilmesiyle robot 10 saniye boyunca hareketsiz kalarak gaz ölçüm sensörlerinin ısınmasını beklemektedir. Bu süreçte robotun üzerinde bulunan uyarı ışığı mavi renkte

yanacak şekilde ayarlanmıştır (Şekil 5.15). Gaz ölçüm sensörlerinin ısınmasının ardından robot harekete hazır hale gelmektedir.



Şekil 5.15. Gaz sensörleri ısınırken robotun görünümü.

Harekete hazır olan robotun, bulunduğu alanda gezerek metan taraması yapması ve varsa ortamdaki metan birikimini tespit etmesi beklenmektedir. Metan taraması esnasında robotun üzerindeki uyarı ışığı yeşil renkte yanacak şekilde ayarlanmıştır (Şekil 5.16).



Şekil 5.16. Tarama işlemi esnasında robotun görünümü.

Sızıntı tespit edilmesi halinde robot, alarm durumuna geçerek sesli ve görsel uyarıda bulunmaktadır. Uyarı durumunda robotun üstündeki uyarı ışığı kırmızı renkte yanmaktadır (Şekil 5.17).



Şekil 5.17. Metan birikimi tespit edildiğinde robotun görünümü.

Çalışmanın ana hedefi; metan gazı sızıntısını patlama koşulları oluşmadan tespit ederek ortamdaki gazın tahliye edilmesine imkân sağlamaktır. Zira metan gazı yoğunluğunun %4-%15 aralığına ulaştığı bir ortamda elektronik cihaz kullanmak veya tahliye işlemi gerçekleştirmek büyük ölçüde risk arz edecektir. Bu sebeple ortamda %4 metan gazı yoğunluğu oluşmadan önce sızıntı tespit edilmeli ve en kısa sürede tahliye işlemi gerçekleştirilmelidir. Fakat her metan sızıntısı metan gazının ortamda birikimine yol açmaz. Havadan çok daha hafif olması sebebiyle metan, çoğu durumda yükselerek havalandırma veya çeşitli diğer yollardan tahliye olmaktadır. Metan birikiminin olmadığı durumlarda robotun sızıntıyı tespit ederek tesisin iş akışını durdurması istenmemektedir. Bu nedenle havada %0,03 oranına tekabül eden çok düşük yoğunluklar tespit edilse de uyarı durumuna geçilmeyecektir. Ölçüm sonuçlarında tespit edilen metan yoğunluğu 9000 ppm değerini aştığında, sızıntı “ortamda metan birikimine sebebiyet verebilecek durum” olarak değerlendirilecektir.

6. DENEYSEL SONUÇLAR

6.1. SENSÖR DOĞRULUK TESTLERİ

Robotun patlama koşullarını önceden tespit edebilmesi için en önemli iki fonksiyonu olan dolaşım ve gaz yoğunluğu ölçüm işlemlerini başarılı bir şekilde gerçekleştirmesi gerekmektedir. Bu adımların başarılı bir şekilde gerçekleştirilmesi ise kullanılan mesafe ve gaz sensörlerinin tutarlı ve doğru ölçümler yapmasına bağlıdır. Etrafındaki engelleri ve engellerle arasındaki mesafeyi tespit ederek bir sonraki ilerleme yönüne karar vermesi için robota; birisi ön, ikisi de yanlarda olmak üzere 3 adet mesafe sensörü konumlandırılmıştır. Kullanılan sensör, engeli ve mesafeyi algılamak için ses dalgalarından yararlanmaktadır. Sensörün üzerinde trig ve echo olmak üzere iki bölüm bulunmaktadır. Mesafe ölçümü için ilk olarak sensörün trig bölümünden bir ses dalgası gönderilmektedir. Gönderilen ses dalgası önündeki engele çarparak sensörün echo bölümüne geri dönmekte ve bu iki işlem arasındaki süre mikro saniye olarak ölçülmektedir. Ses dalgası bu süre içerisinde engele kadar gidip geri geldiğinden; ölçülen süre ikiye bölünerek sesin sensörden engele ulaşma süresi hesaplanmaktadır. Bu süre, sesin 1 mikro saniyede milimetre cinsinden aldığı yol olan 0.343 değeri ile çarpılarak engel ile sensör arasındaki uzaklık milimetre olarak hesaplanmaktadır (Eşitlik 6.1).

$$Mesafe = \frac{\text{Ölçülen süre}}{2} \times 0,343 \quad (6.1)$$

Sensörlerin doğruluğunu test etmek adına farklı yöne bakan 3 sensörün de önüne birer engel konulmuş ve engeller ile sensörler arasındaki mesafe dijital kumpas ile 100 mm olarak ayarlanmıştır. Sonrasında Eşitlik 6.1 kullanılarak her sensör ile 5 adet ölçüm yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar Çizelge 6.1’de gösterilmiştir.

Çizelge 6.1. Mesafe sensörü doğruluk testi sonuçları.

	Deneme 1 (mm)	Deneme 2 (mm)	Deneme 3 (mm)	Deneme 4 (mm)	Deneme 5 (mm)
Sensör 1	100	100	101	101	101
Sensör 2	103	102	102	102	102
Sensör 3	103	102	102	102	102

Gaz yoğunluğunun ölçümünde kullanılan sensörlerin doğruluk testleri metanla ilişkisi olmayan standart oda koşullarında gerçekleştirilmiştir. Kullanılan sensörlerin daha isabetli sonuçlar vermesi için teste başlamadan önce 10 saniye sensörlerin ısınması beklenmiş ve sonrasında teste başlanmıştır. Test iki aşamada tamamlanmıştır. İlk aşamada standart oda koşullarında 5 saniye içerisinde 10 adet ölçüm yapılmıştır. İlk aşamada elde edilen ölçüm sonuçları Çizelge 6.2’de verilmiştir.

Çizelge 6.2. Standart oda koşullarında metan yoğunluk ölçüm değerleri.

Ölçümler (<i>ppm</i>)	Sensör 1	Sensör 2
Ölçüm 1	292,00	289,00
Ölçüm 2	287,00	286,00
Ölçüm 3	287,00	288,00
Ölçüm 4	286,00	287,00
Ölçüm 5	287,00	287,00
Ölçüm 6	288,00	289,00
Ölçüm 7	292,00	292,00
Ölçüm 8	290,00	292,00
Ölçüm 9	289,00	292,00
Ölçüm 10	288,00	288,00

İkinci aşamada sensörlerin üzerine her ikisine de eşit mesafede bulunan kaynaktan içinde yaklaşık %90 metan gazı bulunan doğal gaz karışımı püskürtülmüş ve işlem esnasında 5 saniye içinde 10 adet ölçüm yapılmıştır. İkinci aşamada elde edilen ölçüm değerleri Çizelge 6.3’te verilmiştir.

Çizelge 6.3. Metan püskürtülmesi sırasındaki yoğunluk ölçüm değerleri.

Ölçümler (ppm)	Sensör 1	Sensör 2
Ölçüm 1	731,00	729,00
Ölçüm 2	711,00	715,00
Ölçüm 3	719,00	713,00
Ölçüm 4	720,00	719,00
Ölçüm 5	727,00	728,00
Ölçüm 6	728,00	728,00
Ölçüm 7	727,00	726,00
Ölçüm 8	733,00	721,00
Ölçüm 9	731,00	730,00
Ölçüm 10	732,00	735,00

6.2. ISI DAYANIM TESTLERİ

Çalışmada prototip tasarımı ve üretimi gerçekleştirilen robotun bulunduğu ortamda yangın oluşumunu tespit etmesi ve bu veriyi dış ortama aktarması beklenmektedir. Bu işlemlerin gerçekleştirilebilmesi için yangının tespitinde kullanılan sıcaklık sensörü, mikrodenetleyici kartı ve sıcaklık verisini dış ortama aktaran kablosuz ağ modülünün yangın koşullarında belirli bir dayanıma sahip olması gerekmektedir. Bu dayanım, iki ana unsurdan oluşmaktadır. Bu unsurlardan ilki; şasinin veya söz konusu elektronik aygıtların tutuşmaya elverişli olmamasıdır. Aksi takdirde basit bir kıvılcım sıçramasında dahi şasi tutuşarak elektronik aygıtların zarar görmesine neden olacaktır. Diğer unsur ise ortam sıcaklığının artmasıyla iç aygıtların eriyerek deforme olmasının önlenmesidir. Bu kapsamda şasiye uygulanan izolasyon işleminin yeterliliğinin test edilmesi adına iki adet test gerçekleştirilmiştir. Bu testlerin ilki şasi ve elektronik aygıtların tutuşmaya karşı dayanımını, ikincisi şasi iç sıcaklığının yükselme derecesini ölçmektedir.

6.2.1. Alev Dayanım Testi

Şasi, alev ya da kıvılcıma maruz kaldığında tutuşarak yanmaması için çelik sacdan üretilmiştir. Üzerinde bulunan delikler, sensörlerin yerleştirilmesi ile kapatılmıştır. Şasinin iç yüzeyinde sensörlerin arkasına yerleştirilen 2,5 cm kalınlığındaki seramik elyaf ısı yalıtımında oldukça başarılı olmasının yanı sıra tutuşmama özelliğiyle de

bilinmektedir. Böylece seramik elyaf katmanının içinde bulunan mikrodenetleyici kart ve kablosuz ağ modülü kıvılcım ve alevlerin ulaşamayacağı bir bölgede koruma altına alınmıştır. Sıcaklık sensörünün probu ölçüm için mecburi olarak şasinin dışında bırakılmıştır. Probun tamamen metal olması nedeniyle bu durum sorun teşkil etmemektedir. Tutuşmaya karşı alınan önlemlerin yeterliliğinin test edilmesi adına ilk olarak şasi 1 metre uzaklıkta farklı açılardan 120 saniye boyunca kıvılcıma maruz bırakılmıştır. Bu işlem sonucunda şaside ya da dış sensörler ve iç elektronik aygıtlarda herhangi bir deformasyona rastlanmamıştır. Ardından şasi önceden yakılan ateşin içine doğrudan bırakılarak alevlerin arasında 240 saniye bekletilmiş ve deformasyon durumu tekrar kontrol edilmiştir. Test sonucunda oluşan hasar boyutunun daha anlaşılabilir olması için, hasar düzeyi 0-3 arası derecelere ayrılmıştır (Çizelge 6.4).

Çizelge 6.4. Hasar derecelendirme tablosu.

Hasar Derecesi	Açıklama
0	Herhangi bir hasar belirtisi yoktur.
1	Düşük miktarda hasar mevcuttur. Çalışır durumdadır.
2	Yüksek miktarda hasar mevcuttur. Çalışamaz durumdadır.
3	Bütünlüğünü kaybedecek düzeyde hasar mevcuttur.

Alev dayanım testi sonucunda elektronik aygıtlar ve şaside meydana gelen hasar Çizelge 6.4'te belirtilen kriterlere göre derecelendirilmiştir (Çizelge 6.5).

Çizelge 6.5. Alev dayanım testi sonrası oluşan hasar dereceleri.

Malzeme	Hasar Derecesi
Şasi	1
Gaz Sensörü 1	2
Gaz Sensörü 2	2
Mesafe Sensörü 1	3
Mesafe Sensörü 2	3
Mesafe Sensörü 3	3
Sıcaklık Sensörü	0
Zil Modülü	3
RGB LED Kartı	2
Mikrodenetleyici Kartı	1
Kablosuz Ağ Modülü	0
Motor Sürücü Kartı	0
Motor 1	0
Motor 2	0
Li-po Pil	0
9V Pil	0

Alev dayanım testinde hasar gören sensörler yenileri ile değiştirilerek robot ısı yalıtım testine hazır hale getirilmiştir.

6.2.2. Isı Yalıtım Testi

Isı yalıtım testinde şasi izolasyonsuz ve izolasyonlu olarak 200 °C sıcaklıktaki fırında 15 dakika bekletilmiş ve iç sıcaklığın yükselişi gözlemlenmiştir. Test aşamasında şasi fırına girmeden önce giriş sıcaklığı ölçülerek not edilmiştir. Fırına girdikten sonra birer dakika arayla toplam 15 adet ölçüm yapılmıştır. 15 dakika sonunda izolasyonsuz şasinin iç sıcaklığı 197 °C'ye ulaşırken, izolasyonlu şasinin iç sıcaklığının 60 °C'ye yükseldiği gözlemlenmiştir. Testte yapılan ölçümler sonucu elde edilen değerler Çizelge 6.6'da verilmiştir.

Çizelge 6.6. Isı yalıtım testinde yapılan ölçüm sonuçları.

İzolasyonsuz		İzolasyonlu	
Ölçüm	Sıcaklık (°C)	Ölçüm	Sıcaklık (°C)
Giriş sıcaklığı	16	Giriş sıcaklığı	22
1. dakika	78	1. dakika	23
2. dakika	97	2. dakika	23
3. dakika	115	3. dakika	24
4. dakika	129	4. dakika	24
5. dakika	141	5. dakika	25
6. dakika	151	6. dakika	27
7. dakika	160	7. dakika	29
8. dakika	167	8. dakika	32
9. dakika	173	9. dakika	35
10. dakika	179	10. dakika	38
11. dakika	184	11. dakika	42
12. dakika	188	12. dakika	46
13. dakika	192	13. dakika	50
14. dakika	195	14. dakika	55
15. dakika	197	15. dakika	60

7. BULGULAR VE TARTIŞMA

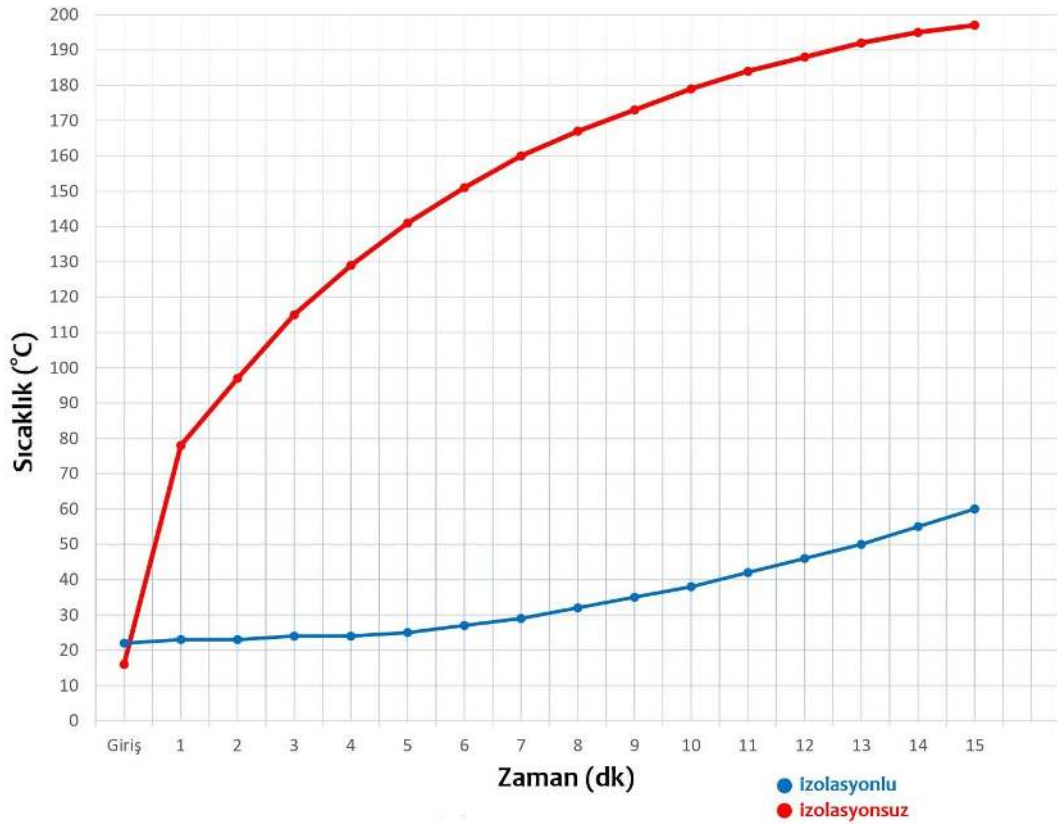
Bu çalışmada sensörlerin doğruluğunu ve ısı yalıtım işleminin yeterliliğini test eden 4 adet deney yapılmıştır. Mesafe sensörlerinin doğruluk testleri gerçekleştirilirken her sensörün 100 mm uzağına bir engel konularak 5 adet ölçüm gerçekleştirilmiştir. Toplamda 15 ölçüm sonucunda 100 mm – 103 mm aralığındaki değerlere rastlanmıştır. 3 mm yanılma payı kabul edilebilir olarak değerlendirilmiştir. Bunun yanında sensörler ve engeller sabit olmasına rağmen aynı sensörden farklı ölçüm sonuçları alınmıştır. Birinci sensör 2 kez 100 mm, 3 kez 101 mm değerlerini göstermiştir. İkinci ve üçüncü sensörler 1 kez 103 mm, 4 kez 102 mm değerlerini göstermişlerdir. Bu durum sonucunda ortam koşullarının ses dalgalarını etkileyerek ölçüm sonuçlarında az da olsa hatalara sebebiyet verdiğine kanaat getirilmiştir. İlerleyen çalışmalarda üretilen ses dalgalarının gürültülü, tozlu ve yüksek sıcaklıktaki ortamlardaki bozulma oranları ve bu ortamlardaki ölçüm hassasiyetlerinin incelenmesi gerektiği düşünülmektedir.

Gaz sensörlerinin testleri iki aşamada gerçekleştirilmiştir. İlk aşamada standart oda koşullarında yapılan 10 adet ölçümde 286 ile 292 ppm arası değerlere rastlanmıştır. Sensör 300 ppm'in altında ölçüm yapamadığı için 300 ppm'in altındaki bu değerler neticesinde ortamda metan gazı bulunmadığı varsayılmıştır. İkinci aşamada %90 metan içeren doğal gazın 2 barlık basınçla sensörlere püskürtülmesi esnasında 10 adet ölçüm daha yapılmış ve 711 ile 730 ppm arası değerler ile karşılaşmıştır. Metan gazının patlama aralığına ulaşabilmesi için havada en az %4 yoğunluk oranına, yani 40.000 ppm değerine ulaşması gerekmektedir. Test aşamasında ise sabit hızla sensörlere doğru püskürtülmesine rağmen ölçülen metan değeri 300 ppm dolaylarından 730 ppm dolaylarına yükselebilmektedir. Bu durum metanın hafif olması sebebiyle ortamda hızla dağıldığını göstermektedir. Ölçülen bu değerler neticesinde metanın ortamda birikmeye başladığı kanısına varılabilmesi için ortam zemininde ulaşması gereken değer 9000 ppm olarak belirlenmiştir.

Robotun ateşe direkt olarak maruz kaldığında tutuşmaya karşı göstereceği dayanımı görmek için gerçekleştirilen alev dayanım testinde sıcaklık sensörü hariç şasi dışında kalan elektronik aygıtların tamamı deforme olmuştur. Şaside, üzerindeki boyanın bozulması dışında bir hasar gözlemlenmemiştir. Amaçlanan şekilde şasi içerisindeki

mikrodenetleyici kart, sürücü kartı, wi-fi modülü, motorlar ve pillerde ise herhangi bir hasar oluşmamıştır.

Isı yalıtım testi sonrası şasinin izolasyonsuz ve izolasyonlu hallerinin sıcaklık artışları kıyaslandığında ısı yalıtım işleminin elektronik aygıtları 200 °C’de 15 dakika korumak için yeterli seviyede olduğu gözlemlenmiştir (Şekil 7.1).



Şekil 7.1. İzolasyonsuz ve izolasyonlu şasi iç sıcaklık artışı.

İzolasyonsuz şasinin iç sıcaklığının 1 dakika içerisinde elektronik aygıtların zarar göreceği 80 °C bandına yaklaşması, izolasyon işleminin gerekliliğini göstermiştir.

8. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada bulunduğu alanda engellerden kaçarak metan taraması yapan mobil bir güvenlik robotu prototip tasarımı ve üretimi gerçekleştirilmiştir. İçerisindeki elektronik devre elemanlarının yangın anında belirli bir süre sıcaklıktan korunabilmesi için robot gövdesine ısı yalıtım işlemi uygulanmıştır. Robotun hareketinin ve ölçümlerin aksamaması adına ilk olarak sensör doğruluk testleri yapılmıştır. Sonrasında robotun sıcaklığa karşı dayanımının ne düzeyde arttığı test edilmiştir. Bu çalışma ile elde edilen sonuçlar şu şekilde sıralanabilir;

- Bulunduğu alanda hareket ederek metan taraması yapan ve metan birikimine rastladığında bulunduğu bölgede sabit kalarak uyarı veren bir mobil güvenlik robotu üretilmiştir.
- Robot ısı yalıtım işlemi uygulanmadan 200 °C sıcaklığa maruz bırakıldığında iç sıcaklık 2 dakika içerisinde 100 °C'ye yaklaşmış ve elektronik aygıtlar kullanılamaz hale gelmiştir.
- Isı yalıtım işlemi sonucunda şasi içindeki elektronik aygıtlar 200 °C sıcaklıkta 15 dakika boyunca işlevlerini korumayı başarmışlardır. Fakat mesafe ve gaz sensörleri gibi şasi dışında bulunan aygıtlar sıcaklıktan etkilenerek kullanılamaz hale gelmişlerdir.
- Sadece ölçüm probunun dışarıda olması ve probun ısıya dayanıklı olması sebebiyle sıcaklık sensörü testlerde deforme olmayan tek dış aygıt olarak gözlemlenmiştir.
- Isı yalıtım işleminde kullanılan seramik elyafın çok düşük ısı geçirgenliği olmasının yanında elektronik malzemeleri tutuşmaya karşı da koruduğu gözlemlenmiştir.
- Seramik elyafın dışarıdan şasi içerisine ısı geçişine izin vermediği gibi içerideki elektronik aygıtların oluşturduğu ısıyı dışarı çıkmasına da engel olduğu gözlemlenmiştir.
- Mesafe sensörlerinin test aşamasında, üç adet mesafe sensörünün her biri,

kendisinden 100 mm uzaklıkta konumlandırılmış nesne ile arasındaki mesafeyi hesaplayan 5 adet ölçüm yapmıştır. Toplamda 15 adet ölçümde 100-103 mm aralığında değerler elde edilmiştir. Test sonucunda mesafe sensörlerinin belirlenen hata oranı proje için kabul edilebilir seviyede olarak değerlendirilmiştir.

- Gaz sensörlerinin testlerinde iki adet sensör ile önce metan ile ilişkisi olmayan standart oda koşullarında 10 adet ölçüm yapılmış ve ölçüm sonucunda odada metan gazının bulunmadığı doğru bir şekilde tespit edilmiştir. Sonrasında dışarıdan metan gazı verilen ortamda 10 adet ölçüm yapılmış ve 711 – 730 ppm arası değerlere rastlanmıştır. Bu doğrultuda sensörlerin ortamdaki metan birikimini tespit edebildiği gözlemlenmiştir.
- Bu çalışmada kullanılan motorlar, şasiyi taşımak için ihtiyaç duyulandan çok daha yüksek tork gücüne sahip olduklarından normal kullanımda düşük miktarda akım çekmektedirler. Bu sayede sürücü kartı ve pilde ısınmaya neden olmamaktadırlar. Elektronik aygıtların ısınma olasılığının daha yüksek olduğu projelerde ısı yalıtım işlemi uygulanırken şasi içindeki sıcak havanın tahliye durumu göz önünde bulundurulmalıdır.
- Çalışmada kullanılan li-po pilin tükenme süresi kullanım alanı ve şekline göre farklılık göstermektedir. Genel olarak pilin tükenme süresinin 2 saatin üzerinde olduğu gözlemlenmiştir. Fakat acil bir durum olmadıkça li-po piller tamamen bitecek şekilde kullanılmamalıdır. Bu durum pil ömrünü ciddi düzeyde kısalttığı gibi, pil hücrelerine zarar vererek kullanım süresini de azaltabilir. Bu nedenle robotun pili tamamen tükenmeden yeniden şarj edilmelidir. Testlerdeki kullanım sırasında pilde ısınmaya rastlanmamıştır.
- Robot serbest dolaşımı esnasında ölçtüğü metan değeri 9000 ppm düzeyine ulaştığında bulunduğu yerde sabit kalarak sesli uyarı vermektedir. Böylelikle metan yoğunluğu %0,9'dan %4'e yükselene kadar uyarıyı fark ederek tahliye işlemlerinin gerçekleşmesi için zaman kazanılmıştır. Fakat uyarının fark edilerek gerekli adımların atılması insan faktörüne bağlıdır.
- İnsan faktörünü ortadan kaldırarak hata payını en azına indirebilmek adına ileride robotun kablosuz ağ yapılanması bulunan tesislerde kullanılması durumunda bu ağ üzerinden veri aktarımı yapabilmesi için bir kablosuz ağ modülü robota

eklenmiştir. Bağlanılmak istenen ağ adı, ağ şifresi ve verinin gönderileceği adres yazılıma dahil edilmelidir. Kullanılan kablosuz ağ modülünün güvenlik açıklarına sebep olabileceği göz önünde bulundurularak belirlenen şifre ve adresler hiçbir koşulda üçüncü kişiler ile paylaşılmamalı, herhangi bir platformda yayınlanmamalıdır.

Robotlar ve yapay zekanın kullanımı ile metan gazı kaynaklı patlama ve yangınların büyük bir kısmını önlemek mümkündür. Fakat robotların bu alanda etkili bir şekilde kullanılabilmeleri için daha fazla çalışmaya ihtiyaç vardır.



9. KAYNAKLAR

- [1] M. Durukan, Gazlarla İlgili Zararlı Ortamlar ve Gaz Güvenliği [Röportaj], 11 Kasım 2013.
- [2] B. Çengelci ve H. Çimen, "Endüstriyel Robotlar", *Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi*, c. 2, sayı 2, ss. 69-78, 2005.
- [3] S. Dilibal ve H. Şahin, "İşbirlikçi Endüstriyel Robotlar ve Dijital Endüstri", *International Journey of 3D Printing Technologies and Digital Industry*, c. 1, sayı 2, ss. 86-95, 2005.
- [4] A. O. Karacıgan, "İş Birlikçi Endüstriyel Robotlarda İş Güvenliği ve Risk Analizi Yaklaşımları", Yüksek lisans tezi, İş Sağlığı ve Güvenliği Anabilim Dalı, Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Üsküdar Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 2021.
- [5] İhlas Haber Ajansı. (2021, 18 Eylül). *Çanakkale'de çöplük yangını: Dumanlar Bozcaada'dan görülüyor*, [Online]. Erişim: <<https://www.karar.com/sehir-haberleri/canakkalede-copluk-yangini-dumanlar-bozcaadadan-goruluyor-1623493>>
- [6] BRTV. (2021, 18 Eylül). *Karabük'te Çöp Toplama Tesisinde Yangın*, [Online]. Erişim: <<https://www.brtv.com.tr/karabukte-cop-toplama-tesisinde-yangin>>
- [7] Sabah Gazetesi. (2021, 18 Eylül). *Ayvalık'ta çöplük yangını*, [Online]. Erişim: <<https://www.sabah.com.tr/balikesir/2020/08/23/ayvalikta-copluk-yangini>>
- [8] İhlas Haber Ajansı. (2021, 18 Eylül), *Manisa'da çöp depolama alanında yangın çıktı*, [Online]. Erişim: <<https://www.trthaber.com/haber/turkiye/manisada-cop-depolama-alaninda-yangin-cikti-508784.html>>
- [9] Habertürk Gazetesi. (2021, 18 Eylül), *Alaşehir çöplüğünde yangın*, [Online]. Erişim: <<https://www.haberturk.com/manisa-haberleri/68453074-alasehir-coplugunde-yangin>>
- [10] İhlas Haber Ajansı. (2021, 18 Eylül). *Bodrum'da çöplük alanda yangın*, [Online]. Erişim: <<https://www.ihha.com.tr/haber-bodrumda-copluk-alanda-yangin-577151>>
- [11] İhlas Haber Ajansı. (2021, 18 Eylül). *Havran'da çöplük yangını*, [Online]. Erişim: <<https://www.ihha.com.tr/haber-havranda-copluk-yangini-491101>>
- [12] İhlas Haber Ajansı. (2021, 18 Eylül). *Manisa çöplüğünde yangın*, [Online]. Erişim: <<https://www.ihha.com.tr/haber-manisa-coplugunde-yangin-485955>>
- [13] Anadolu Ajansı. (2021, 18 Eylül). *Manisa'da çöplük yangını*, [Online] Erişim: <<https://www.trthaber.com/haber/turkiye/manisada-copluk-yangini-145425.html>>
- [14] Sabah Gazetesi. (2021, 18 Eylül). *Yandı Burgazada*, [Online] Erişim: <<https://arsiv.sabah.com.tr/2003/10/07/ia0101.jpg>>
- [15] Jurnalist. (2021, 18 Eylül). *Ümraniye'de patlayan çöp dağı faciaya neden olmuştu*,

- [Online]. Erişim: <<https://www.gzt.com/jurnalist/umraniyede-patl原因-cop-dagi-faciaya-neden-olmustu-3459278>>
- [16] J. Hegenberg, L. Cramar ve L. Schmidt, "Task- and user-centered design of a human-robot system for gas leak detection: From requirements analysis to prototypical realization", *10th IFAC Symposium on Robot Control*, Dubrovnik, Croatia, 2012, ss. 793-798.
- [17] C. M. Raju ve N. S. Rani, "An Android Based Automatic Gas Detection and Indication Robot", *International Journal of Computer Engineering and Applications*, c. 8, sayı 1, ss. 55-59, 2014.
- [18] Ö. Kanlı, "The Development of Gas Detection Robot", M. S. thesis, Department of Mechanical Engineering , Graduate School of Natural and Applied Sciences, Adnan Menderes University, Aydın, Türkiye, 2016.
- [19] Q. Zhang, W. Gong, J. Chang, Y. Wei, T. Zhang, Z. Wang, Y. Li, W. Zhang ve T. Liu, "Long-distance free space gas detection system based on QEPTS technique", *Infrared Physics & Technology*, c. 122, 2022.
- [20] R. Polvara, M. Trabattoni, T. P. Kucner, E. Schaffernicht, F. Amigoni ve A. J. Lilienthal, "A Next-Best-Smell Approach for Remote Gas Detection with a Mobile Robot", *arXiv preprint*, arXiv: 1801.06819, 2018.
- [21] M. Denizli ve M. Ayyıldız, "Nesnelerin İnterneti ile Akıllı bir Priz Prototipi", *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, c. 7, sayı 1, ss. 722-728, 2019.
- [22] Ş. Öztürk, Y. E. Esin, Y. O. Artan ve A. Atvar, "A method for region selection in spectral signatures for gas detection", *25th Signal Processing and Communications Applications Conference (SIU)*, Antalya, Türkiye, 2017, ss. 1-4.
- [23] T. GÜYAGÜLER, "Türkiye'de Meydana Gelen Grizu Patlamalarının İrdelenmesi ve Önlem Önerileri", *Proceedings of the 13th Turkish Coal Congress*, ss. 45-51 Zonguldak, 2002.
- [24] D. Işık ve G. Ökmen, "Metan Üreten Mikroorganizmalar", *Türk Bilimsel Derlemeler Dergisi*, c. 2, sayı 6, ss. 79-85, 2013.
- [25] M. Durşen ve B. Yasun, *Yeraltı Madenlerinde Bulunan Zararlı Gazlar ve Metan Drenajı*, Ankara, Türkiye: İSGÜM, 2012, ss. 1-20.
- [26] O. Solak, "Türkiye'deki Katı Atık Deponi Alanlarında Oluşan Gazın Çevresel ve Ekonomik Açından İncelenmesi", Yüksek lisans tezi, Çevre Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Fen Bilimleri Enstitüsü, Hacettepe Üniversitesi, Ankara, Türkiye, 2015.
- [27] A. Kılıç, *Ateşi Tutan Eller - ATEŞ KAHRAMANLARI*, 1. baskı, İstanbul, Türkiye: Teknik Yayıncılık, 2010.
- [28] K. Lambert; Tercüme: Yusuf Doğan Gürer (2021, 20 Ağustos), *Yanıcılık Sınırları*, [Online]. Erişim: <http://www.cfbt-be.com/images/artikelen/artikel_34_TR.pdf>
- [29] K. Çapek, *R.U.R Rossum'un Uluslararası Robotları*, 1. baskı, İstanbul, Türkiye: İthaki Yayınları, 2021.
- [30] I. Asimov, *Ben Robot*, 3. baskı, İstanbul, Türkiye: İthaki Yayınları, 2016.
- [31] I. Asimov, *Robotlar ve İmparatorluk*, 1. baskı, İstanbul, Türkiye: İthaki Yayınları, 2021.

- [32] A. Erden, Robotik-1, *Bilim ve Teknik*, c. ek, sayı: Mayıs, 2003.
- [33] K. K. Tan ve A. S. Putra, *Drives and Control for Industrial Automation*, 1. baskı, Springer London, 2011, ss. 182.
- [34] Wikimedia Commons 2017. (2021, 20 Kasım). *Gts-tg's Ctesibius water clock, 3rd century BC, Alexandria (reconstruction). Thessaloniki Technology Museum*, [Online]. Erişim: <https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/5/59/Ctesibius%27s_water_clock%2C_3rd_century_BC%2C_Alexandria_%28reconstruction%29.jpg>
- [35] Wikimedia Commons 2017. (2021, 20 Kasım). *Gts-tg's Hero's Aeolipile, 1st century AD, Alexandria (reconstruction). Thessaloniki Technology Museum*, [Online]. Erişim: <https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/3/3e/Hero%27s_Aeolipile%2C_1st_century_AD%2C_Alexandria_%28reconstruction%29.jpg>
- [36] İ. Ortaylı, "İskenderiye kütüphanesi", *Türk Kütüphaneciliği*, c. 20, sayı 1, ss. 85-88, 2006.
- [37] J. F. Engelberger, "Three million hours of robot field experience", *Industrial Robot: An International Journal*, c. 1, sayı 4, ss. 164-168, 1974.
- [38] N. J. Nilsson, *Shakey the Robot*, 1.baskı, California, United States of America: SRI International, 1984.
- [39] Wikimedia Commons 2007. (2021, 20 Kasım). *C. Nardone's Shakey the Robot (developed between 1966-1972 at SRI International) - Computer History Museum*, [Online]. Erişim: <https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/e/ec/Shakey_the_Robot_%28developed_between_1966-1972_at_SRI_International%29_-_Computer_History_Museum_%282007-11-10_23.16.01_by_Carlo_Nardone%29.jpg>
- [40] M. Han, "Robotların Tarihsel Gelişimi, Çeşitleri ve Hayatımızdaki Yerlerinin İncelenmesi", Yüksek lisans tezi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Fen Bilimleri Enstitüsü, Balıkesir Üniversitesi, Balıkesir, Türkiye, 2011.
- [41] Unsplash 2020. (2021, 20 Kasım). *Maximalfocus's the humanoid robot ASIMO of Honda live in action at Miraikan museum of emerging science and innovation*, [Online]. Erişim: <<https://unsplash.com/photos/eZWGK5sliBM>>
- [42] A. Dobra, "General classification of robots. Size criteria", *23rd International Conference on Robotics in Alpe-Adria-Danube Region*, Smolenice Castle, Slovakia, 2014, ss. 1-6.
- [43] G. Gürgüze ve İ. Türkoğlu, "Kullanım Alanlarına Göre Robot Sistemlerinin Sınıflandırılması", *Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, c. 31, sayı 1, ss. 53-66, 2018.
- [44] Wikipedia 2008. (2021, 20 Kasım). *Robotworks's Industrial Welding Robot*, [Online]. Erişim: <<https://upload.wikimedia.org/wikipedia/en/a/a5/Robotworx-welding-robot.jpg>>.
- [45] M. Balasubramanian, *Composite materials and processing*, 1. baskı, Boca Raton, Amerika Birleşik Devletleri: CRC press, 2014.
- [46] A. İ. Kaya, "Kompozit Malzemeler ve Özellikleri", *Putech & Composite*

Poliüretan ve Kompozit Sanayi Dergisi, c. 29, ss. 38-45, 2016.

- [47] Wikimedia Commons 2007. (2021, 20 Kasım). V. Rajendran's Wood plastic composite, [Online]. Erişim: <https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/9/93/Wood_plastic_composite.JPG>
- [48] B. Ö. Yalçın, "Isıl İşlem Fırınlarında Kullanılan Isı Yalıtım Malzemelerinin Araştırılması, Tür ve Boyut Optimizasyonu", Yüksek lisans tezi, Metalurji Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 2001.
- [49] R. İlhan ve E. Feyzullahoğlu, "Cam Elyaf Takviyeli Polyester (CTP) Kompozit Malzemelerde Kullanılan Doğal Elyaf ve Dolgu Maddeleri", *El-Cezerî Fen ve Mühendislik Dergisi*, c. 6, sayı 2, ss. 355-381, 2019.
- [50] Wikimedia Commons 2011. (2021, 20 Kasım). A. Hering's 50mm thick roll of ceramic fibre insulation, [Online]. Erişim: <https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/2/24/50mm_thick_ceramic_fibre_roll.jpg>.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Oğuzhan ŞENEL

Yabancı Dili : İngilizce

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Alan	Okul/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Y. Lisans	Kompozit Malzeme Teknolojileri	Düzce Üniversitesi	2022
Lisans	Mekatronik Mühendisliği	Düzce Üniversitesi	2019
Lise		Erkut Soyak Anadolu Lisesi	2014

YAYINLAR

- O. Şenel ve G. Samtaş, “Kritik Metan Yoğunluğu Tespit Robotu Prototip Tasarımı ve Üretimi”, *İmalat Teknolojileri ve Uygulamaları*, c. 3, sayı 1, ss. 33-46, 2022