

**T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

DEMİRYOLU TAŞIMACILIĞINA YÖNELİK ALGILAYICI TASARIMI

GAMZE GARİP

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
KONTROL MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
KONTROL MÜHENDİSLİĞİ PROGRAMI**

**DANIŞMAN
YRD. DOÇ. DR. İLKER ÜSTOĞLU**

İSTANBUL, 2013

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

DEMİRYOLU TAŞIMACILIĞINA YÖNELİK ALGILAYICI TASARIMI

Gamze GARİP tarafından hazırlanan tez çalışması 06.09.2013 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Kontrol ve Otomasyon Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı

Yrd. Doç. Dr. İlker ÜSTOĞLU
Yıldız Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri

Yrd. Doç. Dr. İlker ÜSTOĞLU
Yıldız Teknik Üniversitesi

Yrd. Doç. Dr. Janset DAŞDEMİR
Yıldız Teknik Üniversitesi

Yrd. Doç. Dr. Bülent VURAL
Yıldız Teknik Üniversitesi







ÖNSÖZ

Bu yüksek lisans çalışmasını öneren ve çalışmanın her aşamasında bilgi ve tecrübesiyle beni yönlendiren değerli hocam Yrd. Doç. Dr. İlker ÜSTOĞLU'na sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Değerli fikir ve eleştirileriyle tez çalışması boyunca destek ve yardımlarını hiç esirgemeyen değerli arkadaşım Ferhan ÖZTÜRK'e teşekkür ederim.

Bu yoğun süreç boyunca hep yanımda olan, sonsuz desteğini ve inancını sunan sevgili Yücel DEMİR'e bana ayırdığı zaman ve yardımlarından dolayı minnetlerimi sunarım.

Hayatım boyunca karşılaştığım tüm zorluklarda beni hiç yalnız bırakmayan, bütün başarılarımın kaynağı olan annem, babam ve biricik kardeşime maddi manevi destekleri ve duydukları güven için en içten teşekkürlerimi sunarım.

Eylül, 2013

Gamze GARİP

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ	vi
KISALTMA LİSTESİ	viii
ŞEKİL LİSTESİ.....	ix
ÇİZELGE LİSTESİ	xi
ÖZET.....	xii
ABSTRACT	xiv
BÖLÜM 1	
GİRİŞ.....	1
1.1 Literatür Özeti	1
1.2 Tezin Amacı	2
1.3 Hipotez	4
BÖLÜM 2	
KIZILÖTESİ ÖLÇÜM	5
2.1 Kızılötesi Işınım	5
2.1.1 Kızılötesi Enerjinin Alt Bantları	7
2.1.2 Kızılötesi Karakteristik Işıma	8
2.1.3 Metal Cisimlerin Ölçümü	10
2.1.4 Işınımı Belirleme	11
2.1.5 Çevre Sıcaklığı	12
2.2 Kızılötesi Ölçüm Sistemi	14
2.3 Kızılötesi Algılayıcılar	15
2.3.1 Kızılötesi Algılayıcı Kullanımının Avantajları	16
2.3.2 Kızılötesi Algılayıcı Türleri	16
BÖLÜM 3	
ALGILAYICI SİSTEM TASARIMI	19

3.1	Devre Tasarımı	21
3.1.1	Güç Kaynağı Devresi	25
3.1.2	Mikrodenetleyici.....	25
3.1.3	Kızılötesi Algılayıcı.....	27
3.1.3.1	Kızılötesi Algılayıcının Özellikleri ve avantajları	27
3.1.3.2	Kızılötesi Algılayıcının Kullanım Alanları.....	28
3.1.3.3	Kızılötesi Algılayıcı Blok Diyagram	28
3.1.3.4	Kızılötesi Algılayıcının Çalışma Prensipleri.....	29
3.1.3.5	Ortam Sıcaklığını Hesaplama	31
3.1.3.6	Cismin sıcaklığının Hesaplanması.....	33
3.1.3.7	Piksel Pozisyonları	37
3.1.3.8	Haberleşme Protokolü	38
3.1.3.9	Kızılötesi Algılayıcı ile Haberleşme	39
3.1.3.10	Algılayıcının Sıcaklık Ölçüm Doğruluğu	41
3.1.3.11	Algılayıcının Görüş Alanı.....	42
3.1.4	Tetikleme Anahtarı	43
3.2	CAN-BUS Protokolü.....	43
3.2.1	CAN-BUS Sisteminin Özellikleri.....	44
3.2.2	CAN-BUS Protokolünün Avantajları.....	45
3.2.3	CAN-BUS Protokolü Kullanım Alanları	45
3.2.4	CAN-BUS ile Devreler Arası İletişim	45
3.3	Terminal Programı	46
3.3.1	Yazılımın Komut Çubuğu ve Bilgi Ekranları	48
3.3.2	Yazılımın Özellikleri.....	49
3.3.2.1	Kullanıcı Yetkileri	49
3.3.2.2	Alarm Modülü	49
3.3.2.3	Veri Tabanı	50

BÖLÜM 4

DENEYSEL SONUÇLAR VE DOĞRULAMA	52
--------------------------------------	----

BÖLÜM 5

SONUÇ VE ÖNERİLER	61
KAYNAKLAR.....	64
ÖZGEÇMİŞ.....	67

SİMGE LİSTESİ

A_{CP}	Dengeleme pikselinin özgün aşım katsayısı
$A_{i(i,j)}$	Pikselin aşım katsayısı
B_{CP}	Dengeleme pikseli aşımının özgün T_a bağımlılığı
$B_{i(i,j)}$	Piksel aşımının T_a bağımlılığı
B_{i_scale}	Piksel aşım eğiminin ölçekleme katsayısı
$\Ç$	Çevre yayılımı
E	Emme yayılımı
K_{T1_H}	Eşik değer voltajının K_{T1} sıcaklık katsayısının yüksek değerlikli kısmı
K_{T1_L}	Eşik değer voltajının K_{T1} sıcaklık katsayısının düşük değerlikli kısmı
K_{T2_H}	Eşik değer voltajının K_{T2} sıcaklık katsayısının yüksek değerlikli kısmı
K_{T2_L}	Eşik değer voltajının K_{T1} sıcaklık katsayısının düşük değerlikli kısmı
$PTAT_{data}$	Çevre sıcaklığının ham değeri
T	Taşıma yayılımı
T_a	Çevre sıcaklığı
TGC	Termal eğim katsayısı
T_o	Nesne sıcaklığı
V_{CP}	Dengeleme pikselinin değeri
$V_{CP_OFF_COMP}$	Dengeleme pikselinin aşımı dengelenmiş parazitsiz değeri
$V_{IR(i,j)_dengelenen}$	Pikselin dengelenmiş parazitsiz değeri
$V_{IR(i,j)_TGC_COMP}$	Termal eğim dengeleme pikselinin aşımı dengelenmiş değeri
$V_{IR_OFF_COMP}$	Pikselin aşımı dengelenmiş parazitsiz değeri
V_{TH0}	Mutlak sıfır sıcaklığındaki eşik değer voltajı
V_{TH0_H}	Mutlak sıfır sıcaklığındaki eşik değer voltajının yüksek değerlikli kısmı
V_{TH0_L}	Mutlak sıfır sıcaklığındaki eşik değer voltajının düşük değerlikli kısmı
Y	Yansıma yayılımı
α_{0_H}	Piksellerin ortak hassasiyet katsayısının yüksek değerlikli kısmı
α_{0_L}	Piksellerin ortak hassasiyet katsayısının düşük değerlikli kısmı
α_{0_scale}	Ortak hassasiyet ölçekleme katsayısı
α_{CP_H}	Dengeleme pikselinin hassaslık katsayısının yüksek değerlikli kısmı
α_{CP_L}	Dengeleme pikselinin hassaslık katsayısının düşük değerlikli kısmı
ϵ_H	Isı yayım katsayısının yüksek değerlikli kısmı
ϵ_L	Isı yayım katsayısının düşük değerlikli kısmı

$\Delta\alpha_{(i,j)}$

$\Delta\alpha_{scale}$

Özgün hassaslık katsayısı

Özgün hassasiyet ölçekleme katsayısı

KISALTMA LİSTESİ

ADC	Analog to Digital Converter
CAN	Controller Area Network
CRC	Cyclic redundancy check
DLC	Data length code
EEPROM	Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory
EOF	End of Frame
I ² C	Inter-Integrated Circuit
IDE	Identifier extension bit
IR	Infrared
MCU	Microcontroller Unit
PTAT	Proportional to Absolute Temperature Sensor
RAM	Random Access Memory
RTR	Remote Transmission Request
SCL	Serial Clock
SDA	Serial Data
T _a	Ambient Temperature measured from chip
TGC	Temperature Gradient Coefficient
T _o	Object Temperature, seen from IR sensor
USB	Universal Serial Bus

ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 2. 1	Orta dalga kızılötesinde çekilmiş fotoğraf 5
Şekil 2. 2	Elektromanyetik tayf..... 6
Şekil 2. 3	Kızılötesi ölçüm için elverişli dalga boyları..... 8
Şekil 2. 4	Cismin sıcaklığı ile ilgili ışıma karakteristiği..... 9
Şekil 2. 5	Cisimden yayılan ışıma ve algılayıcının ışımayı algılaması 10
Şekil 2. 6	Hata durumunun dalga boyuna ve sıcaklığa bağlı olan durumu 11
Şekil 2. 7	1m uzunluğundaki havanın (32°C ve %75 nemde) iletimi 13
Şekil 2. 8	Çevre sıcaklığının dengelenmesi 13
Şekil 2. 9	Kızılötesi ölçüm sistemi 14
Şekil 3. 1	Algılayıcı sistem tasarım blok diyagramı 20
Şekil 3. 2	Algılayıcı yazılımının akış diyagramı 21
Şekil 3. 3	Algılayıcı kartının blok diyagramı 22
Şekil 3. 4	Algılayıcı kartının baskı devre çizim programında tasarımı 23
Şekil 3. 5	Algılayıcı kartının baskı devre çizim programında 3 boyutlu tasarımı 23
Şekil 3. 6	Algılayıcı kartın elde hazırlanan örneği 24
Şekil 3. 7	Tasarlanan devrenin kutulanması..... 24
Şekil 3. 8	Regülatör devresi 25
Şekil 3. 9	Kızılötesi algılayıcı blok diyagramı..... 28
Şekil 3. 10	Kızılötesi algılayıcının çalışma diyagramı 30
Şekil 3. 11	Algılayıcının tüm görüş alanına ait piksel pozisyonları 38
Şekil 3. 12	Mikrodenetleyici ile kızılötesi algılayıcı bağlantısı 39
Şekil 3. 13	YA=0x60, komut adresi=0x02, başlangıç adresi=0x90 40
Şekil 3. 14	YA=0x60, komut adresi=0x02, başlangıç adresi=0x00, adres adımı=0x01, okuma sayısı=0x40 40
Şekil 3. 15	YA=0x60, komut adresi=0x02, başlangıç adresi=0x00...0x3C, adres adımı=0x01, okuma sayısı=0x04 41
Şekil 3. 16	YA=0x60, komut adresi=0x02, başlangıç adresi=0x00...0x3F, adres adımı=0x00, okuma sayısı=0x01 41
Şekil 3. 17	YA=0x60, komut adresi=0x02, başlangıç adresi=0x00...0x3F, adres adımı=0x00, okuma sayısı=0x01 41
Şekil 3. 18	Merkezde yer alan dört pikselin mutlak sıcaklığının doğruluğu 42
Şekil 3. 19	Kızılötesi algılayıcının görüş alanı ve hassasiyet ilişkisi 42
Şekil 3. 20	Standart CAN mesajı 44
Şekil 3. 21	Genişletilmiş CAN mesajı 44

Şekil 3. 22	Kızılötesi algılayıcı kartlarının CAN-BUS bağlantısı.....	46
Şekil 3. 23	Terminal yazılımının kullanıcı arayüzü	47
Şekil 3. 24	Yazılımın komut çubuğu ve bilgi ekranları	48
Şekil 3. 25	Kullanıcı giriş formu	49
Şekil 3. 26	Kullanıcı arayüzünde uyarı mesajı.....	50
Şekil 3. 27	Ölçüm sonuçlarının kayıt dosyasının içeriği	51
Şekil 4. 1	Test sistemi düzeneği.....	52
Şekil 4. 2	Deneyde kullanılan cisimleri ısıtmada kullanılan fırın	53
Şekil 4. 3	Sıcak kutu algılayıcısı ile levhanın sıcaklık ölçümü	54
Şekil 4. 4	Sıcak kutu algılayıcısından okunan verilerin ekranda gösterimi	56
Şekil 4. 5	Isıtılan levhanın termometre ile sıcaklığının belirlenmesi	57
Şekil 4. 6	Levhanın termometrede ölçülen değeri	57
Şekil 4. 7	Daha yüksek sıcaklıkta ısıtılmış demir bloğun ölçüm değerleri	58
Şekil 4. 8	Paslı demir bloğun sıcaklık ölçümü	59
Şekil 4. 9	Paslı bloğun ölçüm sonuçları	60
Şekil 5. 1	Yüksek sıcaklığa maruz kalarak aşınan demiryolu taşıt tekeri	62
Şekil 5. 2	Yüksek sıcaklıktan dolayı hasarlanan bir rulman	62
Şekil 5. 3	Sıcak kutu algılayıcılarının demiryoluna yerleşimi	63

ÇİZELGE LİSTESİ

	Sayfa
Çizelge 2. 1 Çeşitli malzemelerin ısı yayım katsayıları.....	7
Çizelge 3. 1 T_a değerinin hesaplanması için EEPROM sabitleri	31
Çizelge 3. 2 Algılayıcının mutlak sıcaklığının ayarlanan değerleri	32
Çizelge 3. 3 T_o hesaplamaları için EEPROM parametreleri	34
Çizelge 3. 4 T_o hesaplamaları için EEPROM'dan alınan parametreler.....	35
Çizelge 3. 5 Sıcaklık okuma seçenekleri	40
Çizelge 3. 6 Komut çerçevesi.....	45

DEMİRYOLU TAŞIMACILIĞINA YÖNELİK ALGILAYICI TASARIMI

Gamze GARİP

Kontrol ve Otomasyon Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Tez Danışmanı: Yrd. Doç. Dr. İlker ÜSTOĞLU

Ulaştırma alt sistemlerinden biri olan demiryolu, diğer ulaştırma alt sistemleriyle yoğun bir rekabet halinde bulunmaktadır. Ülkemizde demiryolu ulaşımına olan talep, yolcu ve yük taşımacılığında karayolunun oldukça gerisinde kalmıştır. Demiryolunun pazar payını arttırması ve rekabetini devam ettirebilmesi için hizmet kalitesinin ve demiryollarının güvenilirliğinin arttırılması gerekmektedir. Dakiklik ve güvenilirlik bir ulaştırma alt sisteminin kalitesini belirleyen ölçütlerin başında gelmektedir. Bu ölçütlerin istenilen seviyede tutulabilmesi demiryollarında sıcak kutu algılayıcılarının kullanılması ile sağlanabilir.

Sıcak kutu terimi bir trende aşırı ısınmış aks yatağını vurgulamak için kullanılır. Elverişsiz yağlama ve kusurlu yataklar sebebiyle ciddi bir sıcaklık yükselmesi görülür. Bu başlı başına bir sorun olmanın yanında birçok problemi de beraberinde getirir. Bu durum önceden tespit edilmezse oldukça yıkıcı hatalara yol açabilir. Sıcak kutu algılayıcıları, bu sorunları daha en başındayken, herhangi bir arızalanma oluşmadan önce aks yataklarının aşırı ısınmasını tespit etmek için kullanılır. Sıcak kutu algılayıcılarının amacı arızayı çözmek değil daha arızalanma meydana gelmeden uyarı vermek, taşıtın her bir bileşeninin çalışma sırasındaki durumları hakkında bilgi sunmak, malzeme ömür testleri yapmak, olası kazaların önüne geçmektir.

Bu projede güvenli demiryolu ulaşımını sürdürmek için kızılötesi teknolojisi kullanılarak akıllı sıcak kutu algılayıcı sistemi tasarlamak amaçlanmaktadır. Bir kızılötesi algılayıcı dizisi kusurlu yataklardan yayılan ısıyı ölçmek için kullanılmıştır. Bu ölçüm sisteminin avantajı, trafiği durdurmaya gerek kalmadan hatayı tespit edebilmesidir. Sistem, ölçüm cihazı, kullanıcılara sunulan arayüz programı ve veri tabanının bir araya gelmesiyle

oluşmaktadır. Bu sistem tren yollarındaki tehlikeli durumların önüne geçmek için hayati bir role sahiptir.

Anahtar Kelimeler: Çoklu kızılötesi algılayıcı, demiryolu sıcaklık kontrolü, sıcak kutu detektörü, temassız sıcaklık ölçümü

SENSOR DESIGN FOR RAILWAY TRANSPORTATION

Gamze GARİP

Department of Controls and Automations Engineering

MSc. Thesis

Adviser: Assist. Prof. Dr. İlker ÜSTOĞLU

Rail transportation is one of the subsystems and the other transport subsystems are in intense competition. In our country, the demand to the railway transportation has stayed behind of road passenger and freight transport. To increase market share and competitiveness of the railway the service quality and reliability of the railways should be increased. Punctuality and reliability are among the criteria for determining the quality of the transport sub-system. Keeping the desired level of these criteria can be achieved by the use of railways hot box detectors.

The hot box term is used to express an overheated axle bearing on a train. A dramatic rise of temperature is seen due to inadequate lubrication and defective bearings. It is not only a problem in itself but also it brings many problems with it. This situation can lead to very catastrophic failure if not detected early enough. Hot box detectors are used to detect the overheating of axle bearings while these problems are at their first stage before a failure occurs. The aim of hot box detectors is not troubleshooting or repairment, the goal here is to give an alert before getting a failure, to provide information regarding the situation of each components of rail vehicle during its operation time, to make life tests of materials and to prevent possible accidents.

In this study, it is aimed to design a smart hot box detector system using infrared technology to maintain reliable operation of railway transmission. An infrared sensor is used to detect the heat emitted from defective bearings. The advantage of this measurement system is that the failure of the system can be detected without

interrupting the railway traffic. The system consists of a measurement device, PC software for users and a database. This system has a vital role to prevent hazardous conditions in railways.

Keywords: Multiple infrared sensor, railway temperature control, hot box detector, non-contact temperature measurement

1.1 Literatür Özeti

Sıcak kutu (Hot Box), yirminci yüzyılın ortalarından beri kullanılan bir terimdir. 1950'lerde demiryolu taşıtları düşük hızlarda çalışır ve hafif yükler taşırdı. Bu şartlarda sıcak akslar çok büyük bir problem değildi. Fakat günümüzde yüksek hıza sahip ve ağır yük taşıyabilen demiryolu taşıtlarının yaygınlaşmasıyla birlikte aks sıcaklıklarında önemli artışlar görülmektedir. Aks rulmanları, demiryolu taşıtlarının ağır yüklere maruz kalan bileşenleri arasındadır. Hatalı rulman yatakları veya yetersiz yağlama, mekanik bileşenlerde sıcaklık artışına sebep olur. Bu sorun vagonların raydan çıkmasına ve taşıtın devrilmesine yol açar, neticesinde can ve mal kaybı yaşanır. Aks kutusundaki herhangi bir mekanik arıza, parçalar arasındaki sürtünmeyi artırır. Sürtünmenin artmasıyla aks kutusunun sıcaklığı da artar. Bu mekanik arızayı önceden tespit etmek olası kazaları engelleyerek can ve mal kaybının önüne geçtiği gibi, demiryolu taşıtlarının ömür ve bakım bilgilerini de güncel bir şekilde elde etmemizi sağlar [1]. Sıcak kutu algılayıcıları 1960 yılından bu yana demiryollarında meydana gelebilecek kazaları engellemek için kullanılmaya başlanmıştır. Herhangi bir problem olması durumunda demiryolu taşıtlarını oluşturan bileşenlerin sıcaklıklarında ciddi bir artış olur [2]. Demiryolu hattına yerleştirilen sıcak kutu algılayıcıları demiryolları taşıtlarının bileşenlerinden yayılan bu sıcaklığı algılar ve olağan dışı yükselme durumunu yetkililere bildirir [3], [4]. Bu sayede arızanın nerede ve nasıl olduğu kısa bir sürede tespit edilir.

İlk tasarlanan sıcak kutu algılayıcıları analog bir sistem kullanılarak oluşturulmuştur. Bu analog sistem, özellikle yüksek ısıya maruz kalan fren kutusu, vites kutusu, aks gibi

demiryolu taşıt parçalarından yayılarak kızılötesi dalga boyunda iletilen enerjiyi ölçerek sıcaklıkları belirleyebiliyordu. Bunun yanında bazı analog sistemler termorezistörler yardımıyla sıcaklıkları ölçebiliyordu [5]. Teknolojik olarak yetersiz kalan bu analog sistemler geliştirilerek sayısal işaret üreten algılayıcılar tasarlanmış ve daha güvenilir ölçümler sağlanmıştır [6]. Bu sayısal sistemlerde okuma ve cevaplama süresini kısaltmak için birçok yöntem denenmiştir. Yüksek hızlı foton tarayıcısına dayalı bir sistem geliştirilerek hızlı cevaplama süresi sağlanmaya çalışılmıştır. Sıcaklığa duyarlı algılayıcıdan 2000 kat daha hızlı cevaplama süresi elde edinimi, demiryolu araçlarının hareket halindeyken sıcaklık ölçümü yapılması için atılan ilk adımdır. Bunun anlamı bu sistem sayesinde 360 km/saat üzerindeki hızlarda rahatlıkla ölçüm yapılabilecek olmasıdır. Bu gelişmenin ardından sıcak kutu algılayıcılarına inanç artmış ve yapılan çalışmalar hızlanmıştır. Lokomotifin mil yataklarında yapılan çalışmalarda başlangıç sıcaklığı sağlam yataklara göre hasarlı yataklarda daha yüksek seviyelere çıkmaktadır. Bu hasarlı yataklar ani ısınmalara neden olmaktadır [7], [8], [9]. Demiryolu taşıtlarının yola çıktıktan kısa bir süre sonra sıcaklık değerleri kontrol edilerek olası kazaların önüne geçilmesi mümkündür. Yataklarda çalışma esnasında gözlenen sıcaklık artışı herhangi bir demiryolu bileşeninin arızalanmasından kaynaklanabilmektedir. Ama Barke ve Bartle yatakların sıcaklığına yönelerek, elde ettikleri verileri karşılaştırarak ısınmanın hangi parçadan kaynaklandığı tespit edebildiler. Yani taşıttaki hasarın, uzun uğraşlar sonucu parçaları sökülmeden sadece analiz yöntemi ile hangi demiryolu bileşenine ait olduğunu belirlemiş oldular. Böylece sıcak kutu algılayıcıları doğmuştur.

Son yıllarda kızılötesi algılayıcı teknolojisi konusunda yoğun çalışmalar yapılmış ve bunun neticesinde yüksek doğruluk ve hassasiyetle ölçüm yapabilen algılayıcılar tasarlanmıştır [10], [11]. Ayrıca bu algılayıcılar milisaniyeden daha kısa sürede ölçüm yapabilme yeteneğine sahiptirler. Bu nedenle bu teknoloji yüksek doğruluk ve hız gerektiren sıcak kutu algılayıcı uygulamalarında yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır.

1.2 Tezin Amacı

Mekanik problemlerin ortaya çıkması, demiryolu taşıtlarında sıcaklık problemlerini de beraberinde getirir. Sıcak kutu algılayıcıları ise bu problemleri hasar oluşmadan önce,

en kısa sürede ve en az maliyetle tespit etmek için kullanılır. Sıcak kutu algılayıcılarının amacı arızayı çözmek değil, arızalanma meydana gelmeden önce uyarı vermek, taşıtın her bir bileşeninin çalışma sırasındaki durumları hakkında bilgi sunmak, malzeme ömür testleri yapmak, bu sayede de olası kazaların önüne geçmektir. Bu tez kapsamında, demiryolu taşıtlarında bu problemleri ortadan kaldırmak için, günümüzde birçok ülke tarafından da kullanılan, sıcak kutu algılayıcı sistem tasarımının gerçekleştirilmesi amaçlanmıştır. Bu sistem, önceki çalışmalardan farklı olarak düşük maliyetli ve çoklu sayısal kızılötesi algılayıcı dizisi ile tasarlanmıştır.

Bu tez ile birlikte ülkemizde sıcak kutu algılayıcı sistemin tasarımı ile ilgili ilk defa detaylı bir çalışma yapılmıştır. Ülkemizde bu sistemin tasarımı konusunda teorik ve pratikte çok büyük bir boşluk bulunduğu görülmüştür. Tasarım neticesinde ortaya konulan ürün ile bu konuya olan ilginin artırılması ve bu konu ile ilgilenen araştırmacılara ışık tutacak özgün bir çalışma olması amaçlanmıştır.

Bu sistemin uygulanması ile birlikte demiryolu taşıtlarında aniden meydana gelen arızalar önceden tespit edilip, yetkililere haber verilerek, olası kazaların önüne geçilebilir. Bu teknolojik dönüşümle literatüre katkı sağlamak ve bu sistemi ülkemiz genelinde tanıtıp, yaygınlaştırmak, ayrıca tren yollarında daha güvenli, daha hızlı, daha etkin ve daha teknolojik ulaşım sağlamak hedeflenmiştir.

1.3 Hipotez

Bu tezde tren raylarına monte edilerek aşırı ısınan rulman yataklarını ve tren bileşenlerini temassız, sürekli ölçüm yapan ve bu bilgileri doğrudan kullanıcıya ileten bir sıcak kutu algılayıcı sistemi tasarlanmıştır. Birçok ülkede kullanılan bu sistemler ne yazık ki ülkemizde pek yaygın değildir. İthal edilen bu sistemlere muadil, düşük maliyetli ve ölçeklenebilir bir sistem geliştirilerek hem ülke ekonomisine, hem de literatüre katkı sağlanmıştır.

Sistem temas olmadan belirli bir mesafeden ölçüm yapabilmektedir. Belli noktalarda raya monte edilen sistem o hattı kullanan tüm demiryolu taşıtları için ayrı ayrı ölçüm yapabilir ve istenildiğinde ölçüm doğrultusu ve zamanlaması değiştirilerek taşıtın istenilen her bir parçasının sıcaklığını ölçebilir. Bu ölçüm sistemi trafiği durdurmaksızın çalışacağı için önemlidir. Sistem 20°C ile 150°C arasındaki cisimlerin sıcaklıklarını ölçebilmektedir. Ölçüm aralığı kullanılacak kızılötesi algılayıcıya bağlı olarak daha geniş olabilmektedir.

Sistem ölçüm değerlerini gerçek zamanlı olarak kullanıcıya aktarabilmektedir. Bunun için bir kullanıcı arayüzü tasarlanmıştır. Bu arayüz üzerinden kullanıcı sıcak değerlerini kolaylıkla takip edebilmektedir. Arızalı bir bileşen tespit edilmesi durumunda sistem kullanıcıyı uyarır. Ölçüm değerleri bir veri tabanında saklanarak istenildiğinde geçmişe ait ölçüm değerlerine ulaşılabilir.

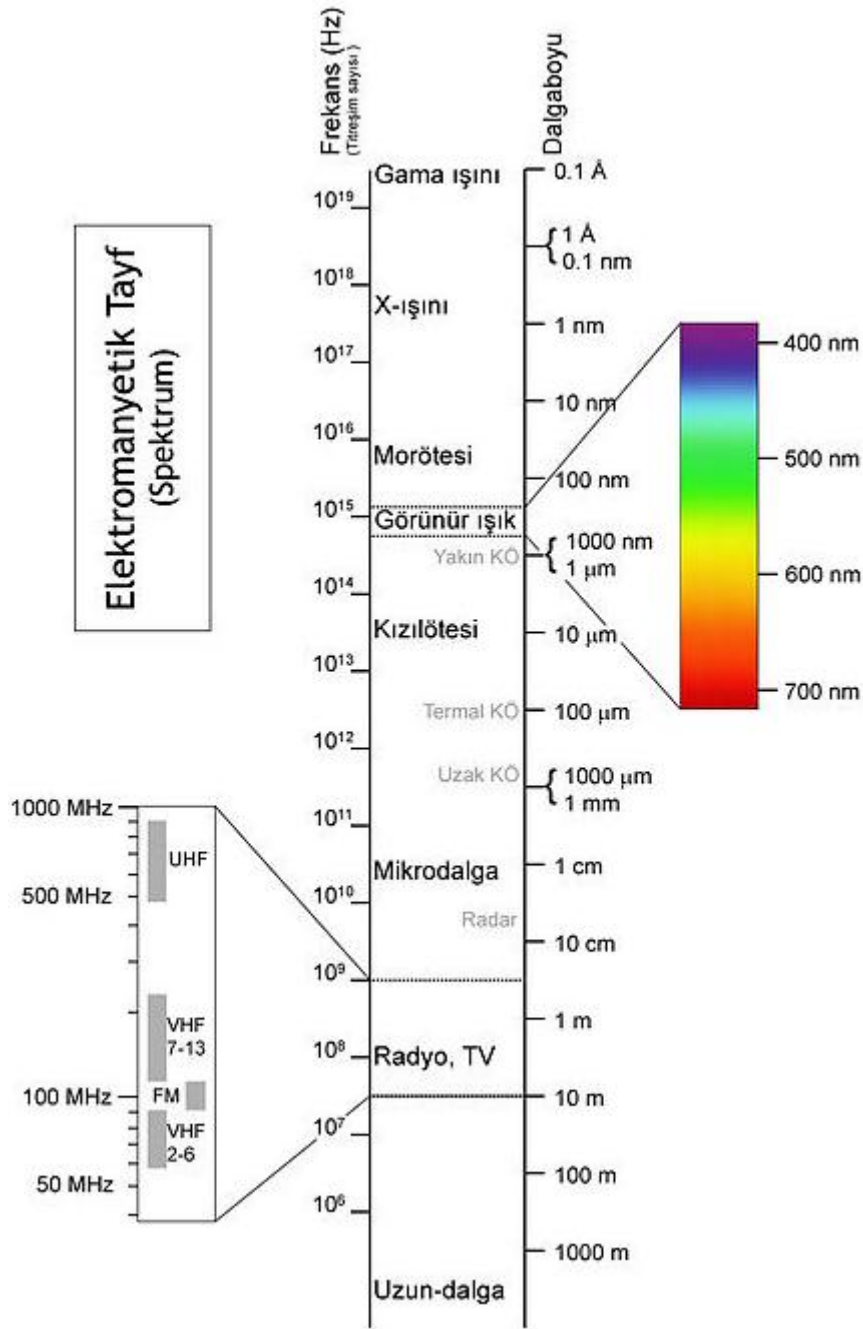
KIZILÖTESİ ÖLÇÜM

2.1 Kızılötesi Işınım

Kızılötesi (Infrared veya IR) ışınım görünür ışık ile mikrodalga arasında yer alan elektromanyetik ışınımdır. Kızılötesi bölgesinde dalga boyu görünür ışıktan daha uzundur. Kızılötesi ışınımın dalga boyu 750 nanometre ile 1000 mikrometre arasındadır. Bu dalga boylarında elektromanyetik dalgaların frekansları 300 GHz ile 430 THz arasında değişir. Bundan dolayı bu ışınımları çıplak gözle göremeyiz. Normal sıcaklıktaki bir insan vücudu 10 mikrometre civarında ışımaya yapar [12]. Şekil 2.1’de örnek olarak insan vücudunun kızılötesi ışıkta çekilmiş fotoğrafı gösterilmiştir. Elektromanyetik dalgalar evrende çok geniş bir frekans aralığına sahiptirler. Bu durum Şekil 2.2’deki elektromanyetik tayfında görülmektedir.



Şekil 2. 1 Orta dalga kızılötesinde çekilmiş fotoğraf [12]



Şekil 2. 2 Elektromanyetik tayf [13]

Bütün cisimlerin oda sıcaklığında ışınsal bir enerjileri vardır. Hatta donmuş cisimlerin bile kızılötesi bölgede düşük de olsa bir ışınsal enerjileri vardır. Yani sıcaklığı mutlak sıfırın ($-273,15^{\circ}\text{C}$) üzerindeki tüm cisimler kızılötesi enerji yayarlar. Bu enerjiye termal ışımaya denir [19]. Bir cisim tarafında yayılan bu enerji sıcaklığın artması ile artar. Kızılötesi algılayıcılar bu farkı görmemizi sağlar.

Cisimler sıcaklıklarına ve fiziksel özelliklerine göre ışımaya yaparlar. Bu ışımaya oranına ısı yayım katsayısı (emissivity) denir. Her cisim farklı ısı yayım katsayısına sahiptir. Çoğu

cismin ısı yayım katsayısı 0,8'den daha büyüktür [14], [15]. Çizelge 2.1'de bazı cisimlerin ısı yayım katsayıları verilmiştir. Bu katsayılar 0,0 ile 1,0 arasında değerlendirilmektedir. Siyah bir cismin ısı yayım katsayısı 1,0'dır. Bu cisim ideal yayıcıdır. Diğer bütün cisimler için ise ısı yayım katsayısı 1,0'ın altındadır [16], [33], [37].

Çizelge 2. 1 Çeşitli malzemelerin ısı yayım katsayıları [16]

MALZEME	ISI YAYIM KATSAYISI
Alüminyum (parlatılmış)	0,05
Tuğla, harç sıva	0,93
Beton	0,54
Cam	0,92
Su	0,98
Bakır (biraz kararmış)	0,04

2.1.1 Kızılötesi Enerjinin Alt Bantları

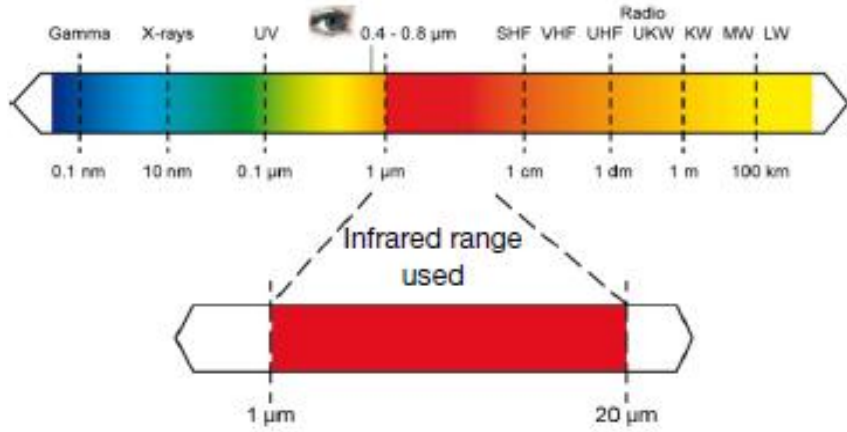
Görünür ışık en iyi bilinen elektromanyetik enerji biçimidir. Cisimlere bakıldığında kırmızıdan mora değişen renk tayfı görülür. Bu renkler arasındaki temel fark dalga boyudur. Doğada bulunan tüm varlıklar sahip oldukları sıcaklığa bağlı olarak farklı dalga boylarında yoğunluk değişimi gösteren termal ışıma olarak da adlandırılan elektromanyetik enerji yayarlar. Kırmızı rengin hemen üzerinde başlayan kızılötesi bant içinde ölçüm için elverişli dört dalga boyu aralığı mevcuttur [19]. Kızılötesi bölgede sıkça kullanılan enerji bantları şöyledir:

- Yakın Kızılötesi (NIR): 0,75-1,4 μm
- Kısa Dalga Kızılötesi(SWIR): 1,4-3 μm
- Orta Dalga Kızılötesi (MWIR): 3-8 μm
- Uzun Dalga Kızılötesi (LWIR): 8-15 μm

- Uzak Kızılötesi (FIR): 15-1000 μm

2.1.2 Kızılötesi Karakteristik Işıma

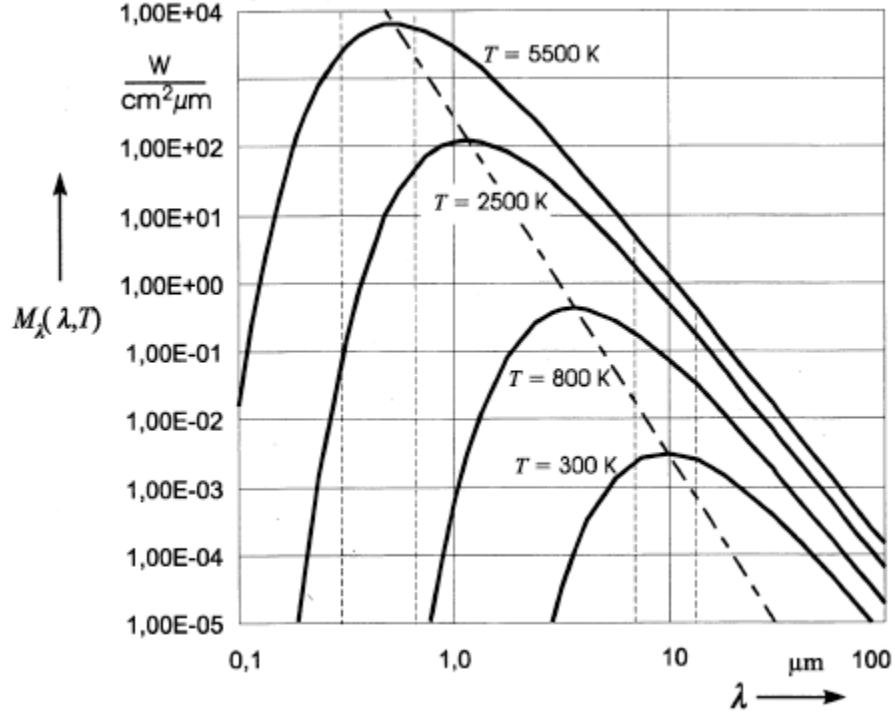
Mutlak sıfırın üzerindeki cisimlerin sıcaklıklarına göre yaydıkları kızılötesi ışımaya karakteristik ışımaya denir. Bu durum moleküllerin içsel mekanik hareketlerinden kaynaklanmaktadır. Bu hareketin yoğunluğu cismin sıcaklığına bağlıdır. Moleküllerin yer değişimi aynı zamanda yük değişimine neden olduğundan foton parçaları yayılır. Bu fotonlar ışık hızında hareket ederler ve optik ilkelerine göre davranırlar. Fotonlar sapabilirler veya yansıtıcı yüzeylerden geri yansıtılabilirler. Işımanın tayfı 0,7 ile 1000 μm dalga boyu arasındadır. Bu nedenle çıplak göz ile görülmez. Bu aralık görünür ışığın kızıl bölgesinde yer alır ve bundan dolayı kızılötesi ışın bölgesi olarak adlandırılır.



Şekil 2. 3 Kızılötesi ölçüm için elverişli dalga boyları [17]

Şekil 2.3'de görüldüğü gibi cisimler yüksek sıcaklıklara ulaştıklarında az miktarda görünür ışımaya yayarlar. Bundan dolayı yüksek sıcaklıklardaki (600°C) cisimlerin ışınımı tayfında kırmızıdan beyaza doğru kayar. Deneyimli çelik işçileri sadece renkleri gözlemleyerek sıcaklıkları doğru bir şekilde tahmin edebilirler.

Tayfın bu görünmeyen fakat yüksek enerjili kısmı günümüzdeki kızılötesi ölçüm teknolojisinin gelişmesini sağlamıştır. Şekil 2.4'de verilen grafiğe göre sıcaklık artarken azami ışımaya daha kısa dalgalara doğru hareket eder. Böylece cismin yaydığı enerji dalga eğrileri farklı sıcaklıklardaki enerji dalga eğrileri ile kesişmez. Bu ilişki 1879 yılında Stefan ve Boltzman tarafından ortaya konulmuştur. Stefan ve Boltzman net sıcaklığın ışımaya sinyallerinden ölçülebileceğini kanıtlamıştır [20], [21].

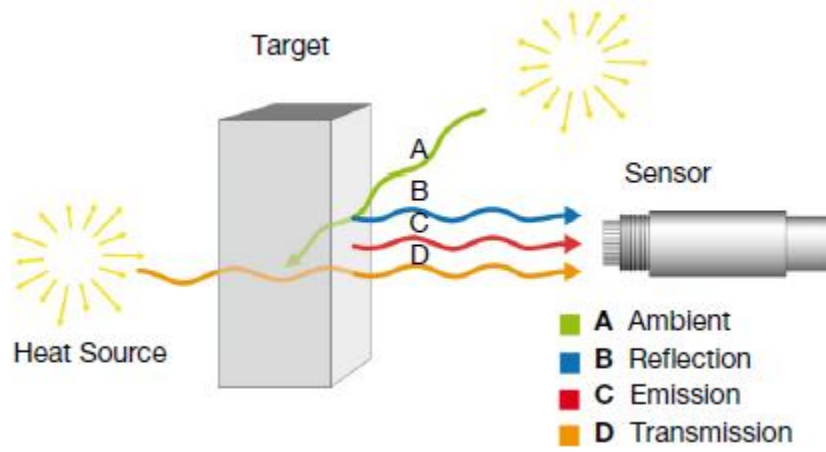


Şekil 2. 4 Cismin sıcaklığı ile ilgili ışıma karakteristiği [17]

Cisimden daha fazla enerji ya da sinyal kazanmak için mümkün olan en geniş aralığa sahip kızılötesi algılayıcı kullanılmalıdır. Fakat bu durum her zaman avantajlı bir durum olmayabilir. Örneğin Şekil 2.4'deki gibi sıcaklık farkı arttığında $2 \mu\text{m}$ 'deki ışıma yoğunluğu $10 \mu\text{m}$ 'dekinden daha fazla olur. Sıcaklıktaki belli bir değişim için ışımadaki daha büyük değişim miktarı kızılötesi termometrenin daha doğru ölçüm yapabilmesini sağlar. Buna paralel olarak dalga boyu aralığı, ölçüm aralığı ile doğrudan ilgilidir diyebiliriz. Düşük sıcaklıklarda $2 \mu\text{m}$ 'de çalışan bir kızılötesi termometre 600°C altında çok zayıf ışımadan dolayı çalışmayacaktır. Farklı dalga boylarında çalışan cihazların kullanılmasının diğer bir nedeni de plastik, cam ve metal gibi bazı malzemelerin yayma desenlerinin farklı olmasıdır. Şekil 2.4'te siyah cisim olarak adlandırılmış ideal değerlere sahip cisim gösterilmektedir. Fakat aynı sıcaklıklarda birçok malzeme daha düşük ışıma yapmaktadır. Isı yayım katsayısı bir cismin yüzeyindeki enerjiyi ışıma yoluyla yayma kabiliyetini göreceli olarak belirtir. Isı yayım katsayısı 1'den küçük cisimler gri cisimler olarak bilinir. Eğer ısı yayım katsayısı ilaveten sıcaklık ve dalga boyuna da bağlı ise bu tür cisimler gri olmayan cisimler olarak ifade edilir.

Şekil 2.5’de hedef cisme çevreden (ζ) gelen ışınlar hedef cisimden ışıma, emme, yansıma olarak tekrar atmosfere yayılır. Emme (E), yansıma (Y) ve taşıma (T)’nin toplamı 1’e eşittir.

$$E + Y + T = 1 \quad (2.1)$$



Şekil 2. 5 Cisimden yayılan ışıma ve algılayıcının ışımayı algılaması [17]

Katı cisimler kızılötesi ışıma bölgesinde yayılmaları sırasında taşıma yapmazlar. Bu durumda $T = 0$ olur. Kirchhoff kurallarına göre bütün ışıma cisim tarafından emilir. Bu durum sıcaklığın artmasına sebep olur. Böylelikle formülü tekrar düzenlersek (2.2)’de gösterildiği gibi elde edilir.

$$\zeta \leftrightarrow E = 1 - Y \quad (2.2)$$

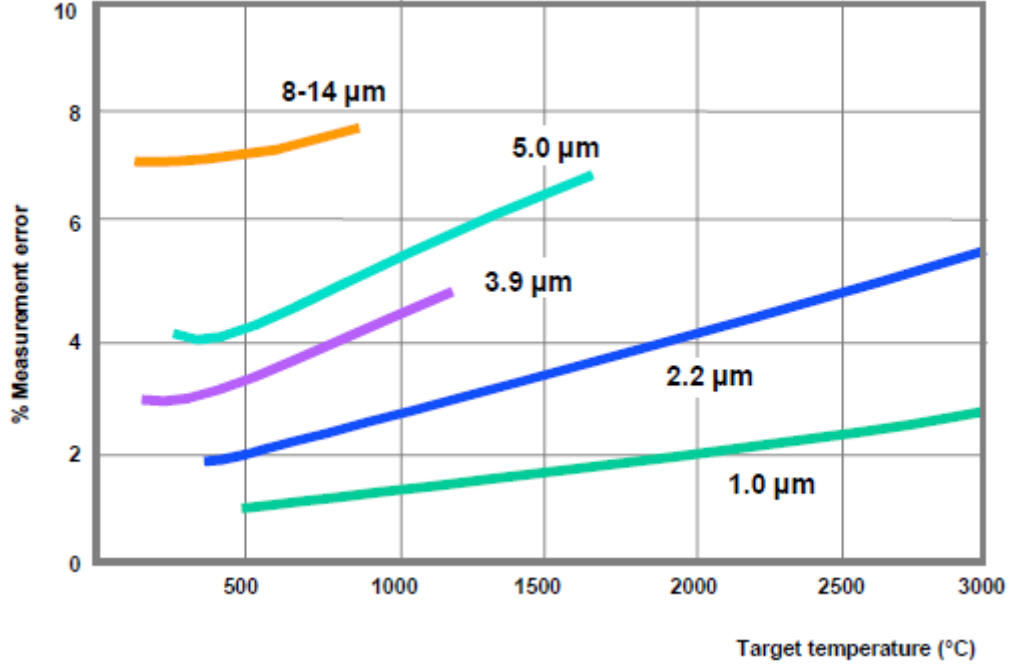
İdeal siyah bir cismin yansıması da yoktur. Bu durumda $E = 1$ olur.

Tahta, plastik, naylon, kaya birçok metal olmayan cisim çok az yansıma yaparlar. Bu yüzden ısı yayım katsayıları 0,8 ve 0,95 arasındadır. Özellikle cilalı ve parlak yüzeylerin ışıma yoğunlukları düşüktür. Bu cisimlerin ısı yayım katsayıları 0,1 civarındadır.

2.1.3 Metal Cisimlerin Ölçümü

Bir metalin ışıma yoğunluğu dalga boyuna ve sıcaklığına bağlıdır. Metal yüzeyinde yansıma fazla olduğu için güvenilir olmayan sonuçlar görülebilir. Bu gibi durumlarda belirli bir dalga boyunda ve belirli bir sıcaklık aralığında yüksek ışıma yoğunluğuna sahip bir metalin ölçümünü doğru yapabilmek için uygun dalga boyunda ölçüm yapan aygıtı seçmek önemlidir [34-36]. Ölçüm hatasının dalga boyuyla büyüdüğü Şekil 2.6’da

görülmektedir. Yani doğru bir ölçüm için mümkün oldukça kısa dalga boyu tercih edilmelidir.



Şekil 2. 6 Hata durumunun dalga boyuna ve sıcaklığa bağlı olan durumu [17]

2.1.4 Işınımı Belirleme

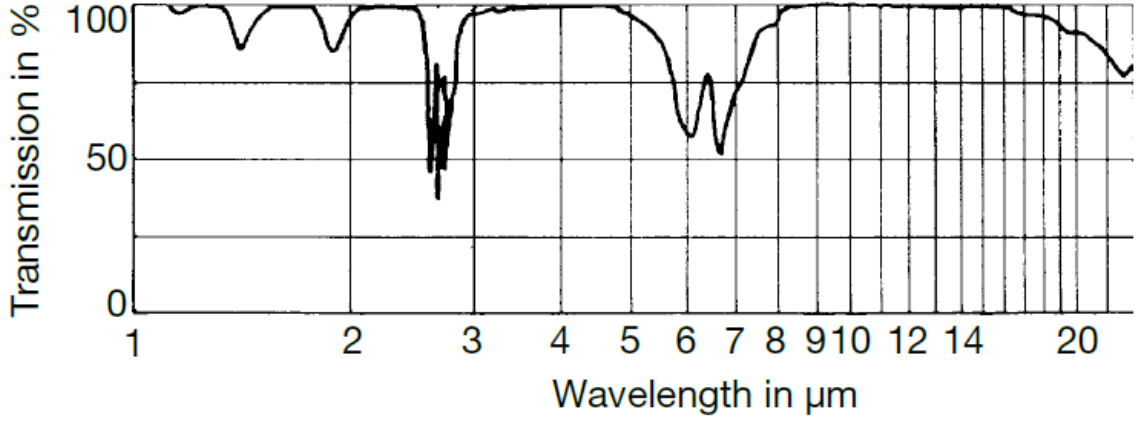
Bir cismin ısı yayım katsayısını belirlemek için çeşitli yöntemler mevcuttur. Sık kullanılan metallerin ısı yayım katsayısı tablolardan bulunabilir. Isı yayım katsayı tabloları, sıcaklık ölçümü yapılacak olan cismin doğru ölçüm aralığını bulmamız için bize yardımcı olur. Özellikle metallerde yüzey durumlarına göre (örneğin cilalanmış, pullanmış, paslanmış) ısı yayım katsayısında önemli değişimler görülmektedir. Isı yayım katsayısındaki bu değişimi belirlemek mümkündür. Bunun için ısı yayım katsayısı ayarlanabilir kızılötesi termometre kullanılabilir. Aşağıdaki maddelere dikkat ederek bir cismin ısı yayım katsayısını doğru bir şekilde belirleyebiliriz.

- 1) Bir termometre kullanarak cisimlerin sıcaklıklarını kesin olarak belirleriz. Daha sonra temas olmadan kızılötesi ölçüm yapan termometre ile ölçümler tekrarlanır. Okunan değerler, temaslı termometredekine denk düşene kadar termometrenin ısı yayım katsayısı değiştirilir. Bu cisim üzerindeki ısı yayım katsayısı ileride hedeflenen tüm ölçümler için kaydedilir.

- 2) Nispeten düşük bir sıcaklıkta (260°C), cisme ısı yayım katsayısı bilinen özel bir plastik etiket yapıştırılır. Kızılötesi ölçüm yapan bir algılayıcı ile etiketin sıcaklığı belirlenir. Daha sonra etiketsiz olarak cismin yüzeyinin sıcaklığı ölçülür, doğru sıcaklık değeri elde edilinceye kadar termometrenin ısı yayım katsayısı değiştirilerek ölçümler tekrarlanır. Cismin bu şekilde belirlenen ısı yayım katsayısı sonraki ölçümler için kullanılır.
- 3) Ölçüm yapmak için siyah bir cisim alınır. Cismin içine doğru bir delik açılır. Deliğin derinliği çapından en az beş kat daha büyük olmalıdır. Çapı da ölçüm cihazı ile ölçülecek nokta büyüklüğüne uygun olmalıdır. İç duvarların ısı yayım katsayısı 0,5 'den daha büyük ise, cismin oyuğunun ışıma yoğunluğu yaklaşık olarak 1'dir ve deliğin ölçülen sıcaklığı hedefin doğru sıcaklığıdır. Cismin yüzeyine doğrudan algılayıcı uygulanırsa, sıcaklık değeri siyah cisimden daha önceden elde edilen değerlerle uyuşana kadar termometrenin ısı yayım katsayısı değiştirilir. Bu yöntem ile elde edilen ısı yayım katsayısı aynı malzeme üzerinden alınan tüm parçalar için kullanılabilir.
- 4) Cisim boyanacaksa, siyah boya kullanılmalıdır. Siyah cismin ısı yayım katsayısı bilindiğinden sıcaklığı kolayca ölçülür. Daha sonra önceden değinilen yöntemlerde olduğu gibi ısı yayım katsayısı belirlenir.

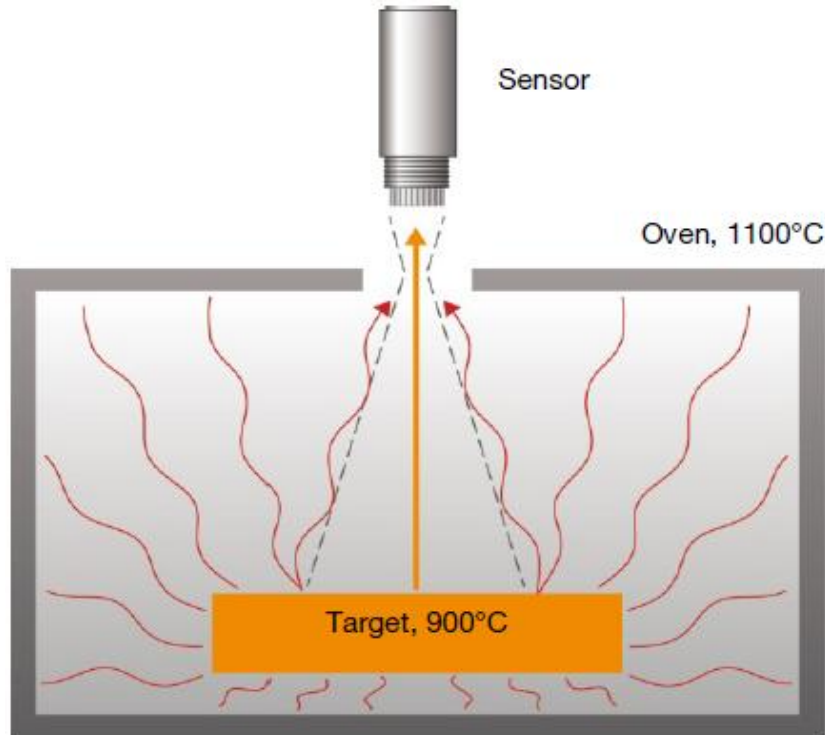
2.1.5 Çevre Sıcaklığı

Kızılötesi algılayıcıların belirli bir tayf aralığında ayarlanmasının nedeni atmosferdeki iletim yolundan kaynaklanmaktadır. Atmosferdeki buhar ve karbondioksit gibi bazı gazlar, belirli dalga boyundaki kızılötesi ışınımı emer. Bunun sonucunda da iletim kaybı meydana gelir. Eğer emme olayı dikkate alınmazsa, hedeflenen sıcaklığının altında bir sıcaklık değeri okunur. Tayf içerisinde bu kayıpların görülmediği ölçüm aralıkları bulunur. Şekil 2.7'de 1 m uzunluğundaki havanın iletim eğrisi gösterilmiştir. Tipik ölçüm aralıkları 1,1-1,7 μm , 2-2,25 μm , 3-5 μm ve 8-14 μm arasında değişmektedir. Üreticilerin atmosferik düzeltme filtreli kızılötesi ölçüm cihazlarını üretmeleri, bu tür problemleri ortadan kaldırmaktadır [22], [23].



Şekil 2. 7 1m uzunluğundaki havanın (32°C ve %75 nemde) iletimi [17]

Kızılötesi algılayıcı ile bir cismin sıcaklığı ölçülürken ortam sıcaklığı ile orantılı çevresel kızılötesi ışınım, ölçüm sonucu etkiler. Örneğin Şekil 2.8'deki endüstriyel bir fırında sıcaklığı ölçülmek istenen bir metal parçanın sıcaklık değeri fırın duvarlarının yüksek sıcaklığından etkilenebilir. Çevre sıcaklığının bu etkisi birçok kızılötesi ölçüm cihazı tarafından dikkate alınır ve dengelenir. Eğer ölçüm cihazı tarafından dengelenemiyorsa ekranda sıcaklığın ölçülemeyecek kadar yüksek olduğu gösterilebilir. Isı yayım katsayısı düzgün ayarlanmış bir sıcaklık algılayıcısı ile otomatik çevre sıcaklığı dengelenmesi sayesinde daha doğru sonuçlar elde edilebilir.



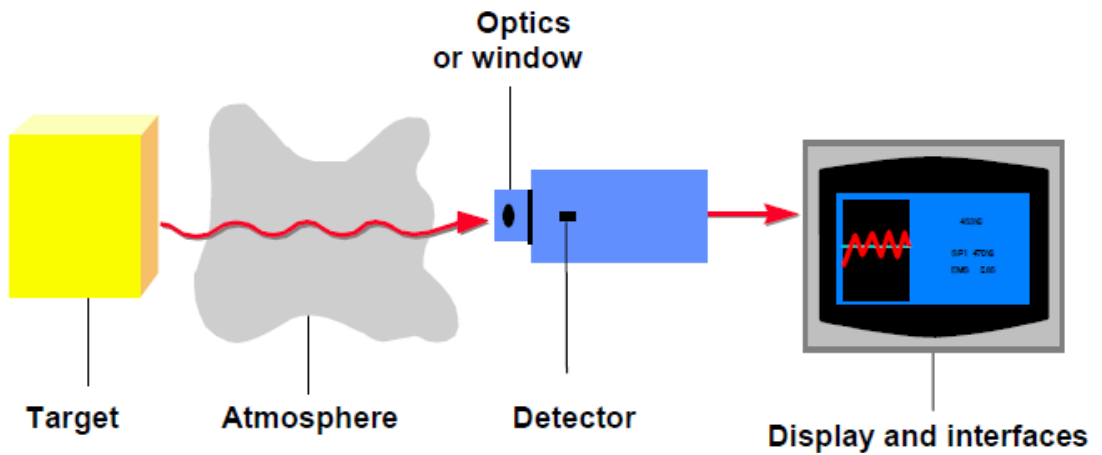
Şekil 2. 8 Çevre sıcaklığının dengelenmesi [17]

Atmosferde toz ve duman gibi maddelerin bulunması ölçüm cihazının kirlenmesine yol açar ve bu da yanlış ölçüm yapılmasına neden olur. Cihazları, bu tür durumlardan korumak için hava üfleme parçaları kullanılabilir. Eğer ölçüm sırasında çok fazla miktarda toz ve duman birikirse ve sonuçları etkilerse, çift dalga boylu algılayıcılar kullanılabilir. Böylelikle farklı dalga boylundaki ölçüm sonuçları arasında ilişki kurularak ölçüm hataları en aza indirilebilir.

Kızılötesi algılayıcılar elektronik cihazlar oldukları için sadece belirli sıcaklık aralıklarında kullanılabilirler. Bazı algılayıcılar en fazla 85°C'ye kadar ölçüm yapabilir. İzin verilen çalışma sıcaklığının üzerinde ise hava veya su soğutma parçaları ile yüksek sıcaklık uygulamaları için özel bağlantı kabloları kullanılmalıdır.

2.2 Kızılötesi Ölçüm Sistemi

Kızılötesi bir ölçüm sistemini daha iyi anlayabilmek için insan gözü ile kıyaslayabiliriz. Cisimlerden gözümüze gelen ışıklar ilk olarak gözün en dış kısmındaki saydam tabaka ve gözün iç kısmındaki mercek tarafından kırılarak, gözün arka kısmında bulunan retina tabakası üzerinde odaklanır. Burada oluşan cismin görüntüsü optik sinir vasıtasıyla beyindeki görme merkezine taşınır ve burada bir işaret oluşur. Kızılötesi ölçüm sistemini de aynı mantıkla açıklayabiliriz. Kızılötesi ölçüm sistem Şekil 2.9'da görülen bileşenlerden oluşmaktadır. Bu bileşenler sırasıyla cisim, iletim ortamı, mercekler, kızılötesi algılayıcı ve ekrandır.



Şekil 2. 9 Kızılötesi ölçüm sistemi [17]

Ölçüm sisteminin kaynağı kızılötesi ışımaya yapan cisimdir. Kızılötesi lazerler, lambalar belirli bir dalga boyunda ışımaya yapmak için kullanılabilirler. Ölçülecek cismin ışımaya yanında ortamdaki da bir ışımaya söz konusudur.

Kızılötesi ışımaya bir iletim ortamı vasıtasıyla algılayıcıya ulaşır. Atmosfer, boşluk, fiber kızılötesi iletim ortamlarından birkaçıdır. Kızılötesi ışımaya iletim esnasında ortam tarafından emilirse kayıplar oluşabilmektedir.

Algılayıcıda bir mercekle tarafından odaklama ya da süzme yapılabilir. Mercekler yardımıyla ölçülecek yüzeyin tamamının kızılötesi algılayıcının görüş alanı içerisinde kalması sağlanabilir. Böylelikle sadece ölçülmek istenen cismin sıcaklığı ölçülerek hatalı ölçüm yapılmasının önüne geçilir. Merceklerin diğer kullanım nedeni de belirli dalga boylarını süzmektir. Mercekler kuvars, silikon ve germanyum gibi malzemelerden yapılır.

Kızılötesi algılayıcılar aldıkları kızılötesi ışımaya elektriksel işaretlere dönüştürürler. Daha sonra bu işaretler işlenerek cismin sıcaklık bilgisi elde edilir. Bu bilgiler çeşitli arayüzler vasıtasıyla dışarıya aktarılır.

Ekranlar sıcaklık bilgisini algılayıcılardan okuyarak ölçüm sonuçlarını kullanıcıya sunarlar. Ölçüm sonucunda ekran yenilenerek güncel değerler görüntülenir. Ölçüm sonuçları bilgisayarlarda saklanabilir.

2.3 Kızılötesi Algılayıcılar

Bütün cisimler kızılötesi enerji yayarlar. Kızılötesi ışımaya farklı sıcaklıktaki cisimlerin birbirleri arasındaki ısı transferidir. Bu iletişim sırasında oluşan ısı enerjisi, kızılötesi dalga boyunda iletilir. Kızılötesi algılayıcılar kızılötesi dalga boyunda iletilen enerjiyi ışık tayfı olarak görüntülerler [18]. Her sıcaklık değerinde farklı kızılötesi ışımaya olduğu ve her ışımaya farklı dalga boyuna sahip olmasından dolayı algılayıcılarla cisimler arasındaki bu enerji farkı tespit edilebilir.

Isıl ışınım tayfı ve miktarı cismin yüzey sıcaklığına ciddi şekilde bağlıdır. Sıcaklık arttıkça kızılötesi ışımaya yoğunluğu da artar. Kızılötesi algılayıcılar farklı hassasiyet ve ölçüm kapasitesine sahiptirler. Belirli dalga boylarında çalışırlar.

Kızılötesi algılayıcılar elektrik, elektromekanik ve mekanikle ilgili uygulamalarda, ulaşım, sağlık, savunma gibi çeşitli sektörlerde oldukça yaygın kullanım alanına sahiptir. Günümüzde düşük sıcaklıklardan yüksek sıcaklıklara kadar geniş bir aralıkta ölçüm yapabilen algılayıcılar mevcuttur. Daha hızlı ve hassas algılayıcı tasarımı konusunda da yoğun çalışmalar sürmektedir.

2.3.1 Kızılötesi Algılayıcı Kullanımının Avantajları

Sıcaklık ölçümü çok sık kullanılan fiziksel bir büyüklüktür. Sıcaklık makine parçalarının ya da mamullerin durumlarını bildirmede önemli rol oynar. Hassas sıcaklık takipleri iş verimliliğini artırır. Arıza süresini azaltır. Çünkü tamir sürecinin kesintisiz ve en ideal şartlar altında ilerlemesini sağlar.

Kızılötesi teknoloji yeni bir oluşum değildir. Yıllardır endüstride başarılı bir şekilde kullanımları görülmektedir. Fakat yeni oluşumlar maliyetlerin azalmasını, güvenilirliğin artmasını sağlamış ve temassız ölçüm olmasından dolayı çok düşük ve çok yüksek sıcaklıkları ölçmek olanaklı hale gelmiştir. Ölçümler çok hızlı (mikrosaniye mertebelerinde) yapılabilmektedir. Bu hızlı ölçüm yeteneği hareket halindeki cisimlerin durdurulmadan ölçülebilmelerini sağlar. Bütün bu faktörler kızılötesi teknolojiyi kısa sürede yaygınlaştırmış ve temaslı ölçümlere göre daha avantajlı duruma getirmiştir [19].

2.3.2 Kızılötesi Algılayıcı Türleri

Kızılötesi algılayıcılar termal tip algılayıcılar ve foton tipi algılayıcılar olmak üzere iki ana gruba ayrılırlar. Termal tip algılayıcılar etki eden kızılötesi ışımaya yoğunluğuna göre sıcaklıklarını değiştirirler. Bu değişim neticesinde elektriksel sinyal oluşur. Bu tür algılayıcıların hassasiyeti dalga boyundan bağımsızdır. Bu nedenle tüm dalga boylarına tepki verirler. Ayrıca algılayıcının soğutulması gerekli değildir. Fakat ışıma bağlı sıcaklık değişimlerinin oluşması zaman alacağından foton tipi algılayıcılara göre tepki süreleri daha yavaştır ve algılama kapasiteleri daha düşüktür. Termal algılayıcılar birkaç milisaniye mertebesinde ölçüm yapabilirler. Yaygın kullanılan termal tip kızılötesi algılayıcılar, termopiller, bolometre ve piroelektrik algılayıcılardır.

Termopiller farklı kutuplardaki termoelektrik yüklü iki malzemenin oluşturduğu termokuplların seri bağlanmasıyla oluşur. Termokuplların oluşturduğu gerilim potansiyeli sıcaklığa bağlı olarak değişir. Termokuplların yerleştirilmesiyle sıcak bağlantılar ve soğuk bağlantılar olarak adlandırılan yapılar oluşur. Bu iki bölge termal olarak birbirinden yalıtılmıştır. Sıcak bölgede kızılötesi ışımayı emecek siyah cisim yer alır. Soğuk bölge ise genellikle silikon yüzey üzerine yerleştirilerek ortam sıcaklığında tutulur. Algılayıcıya gelen kızılötesi ışınım sıcak bölge tarafından emilir ve bu bölgede soğuk bölgeye göre bir sıcaklık artışına neden olur. Bu algılayıcının gelen ışınımın yoğunluğuna göre bir çıkış gerilimi üretmesini sağlar. Termopiller uyarım akımına ya da gerilimine ihtiyaç duymazlar.

Bolometre basit bir sıcaklık algılayıcısıdır. Bir bolometre kızılötesi ışınım ile etkileşime geçtiğinde direncini değiştirir. Bolometreler iki ana parçadan oluşur. Bunlar ışımayı emici bir parça ile sabit sıcaklıktaki soğutucudur. Emici parça ile soğutucu arasında zayıf bir termal bağlantı vardır. Gelen ışınım üst taraftaki emici parça tarafından yutulur. Bundan dolayı bu parçada sıcaklık artışı gözlemlenir. Bu parça ile soğutucu kısım arasındaki sıcaklık farkına bakılarak ölçüm gerçekleştirilir.

Piroelektrik algılayıcılar lityum tantalat (LiTaO_3) gibi kristallerin piroelektrik etkisinden yararlanırlar. Bu malzemeler, sıcaklığa bağlı olarak elektrik polarizasyonlarını değiştirirler. Gelen ışınım sonucu sıcaklığın artması ile beraber polarizasyon da artar. Bu durum sıcaklıkla orantılı bir akımın oluşmasını sağlar. Bu algılayıcılar, geniş bir dalga boyunda iyi hassasiyet ve tepki gösterirler [24].

Foton algılayıcılar doğrudan fotonlarla etkileşime girerek elektron çiftleri oluştururlar. Bu nedenle tepki süreleri oldukça iyidir. Bu algılayıcılar ölçümlerini birkaç mikrosaniye içerisinde tamamlarlar. Fakat bu algılayıcıların verimli çalışabilmesi dalga boyuna bağlıdır. Genellikle ölçüm sonuçlarının doğru olması için algılayıcı soğutulmalıdır.

Foton algılayıcılar içsel ve dışsal tip olmak üzere ikiye ayrılırlar. İçsel tip algılayıcılar fotoiletken algılayıcılar ve fotovoltajik algılayıcılar olmak üzere iki grupta toplanırlar. Dışsal tip algılayıcılar ise germanyum-bakır (Ge-Cu), germanyum-çinko (Ge-Zn) gibi çeşitli malzemelerin karışımı ile üretilir. Karışım miktarı istenen dalga boyu aralığına göre belirlenir.

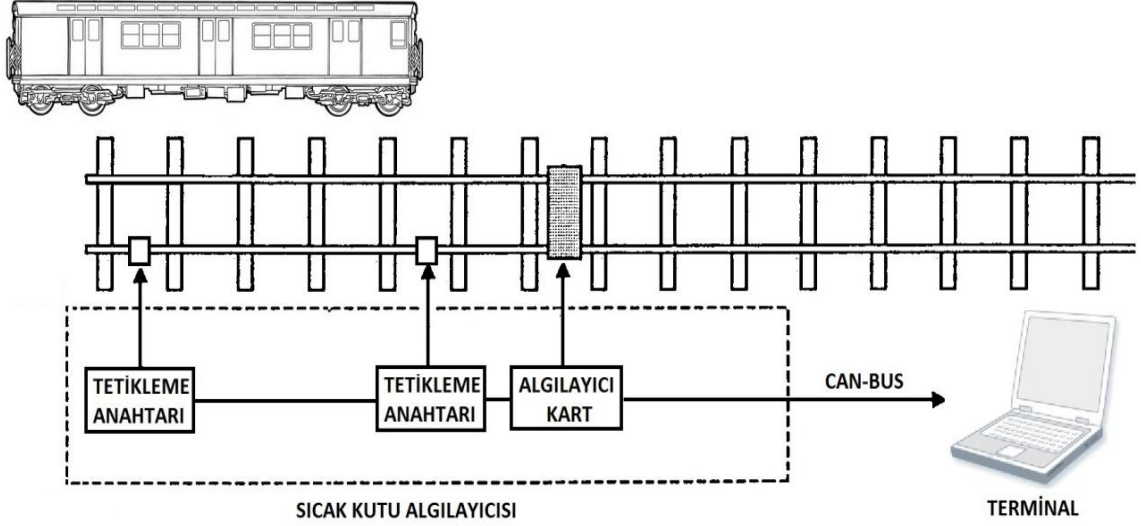
Fotoiletken algılayıcılar genellikle kurşun, civa ve selenür gibi malzemeleri içeren yarıiletkenlerden üretilirler. Yaygın kullanılan türleri kurşun sülfür (PbS), kurşun selenid (PbSe) ve civa kadmiyum tellürüt (HgCdTe) algılayıcılarıdır. Gelen kızılötesi ışın algılayıcısının direncinin azalmasına neden olur. Bu değişim bir akım oluşturur. Bu algılayıcılar aynı dalga boylarında diğer algılayıcılara göre daha iyi algılama kapasitesine ve hız bakımından üstün özelliklere sahiptirler. Fakat hassasiyetleri ve tepki şekilleri ortam sıcaklığına bağlıdır.

Fotovoltaik algılayıcılar p-n yarıiletkeni içerirler. Alınan ışımaya fotoelektrik akımın oluşmasını sağlar. İndiyum arsenid (InAs) ve İndiyum antimonid (InSb) gibi malzemelerden yapılırlar [25].

ALGILAYICI SİSTEM TASARIMI

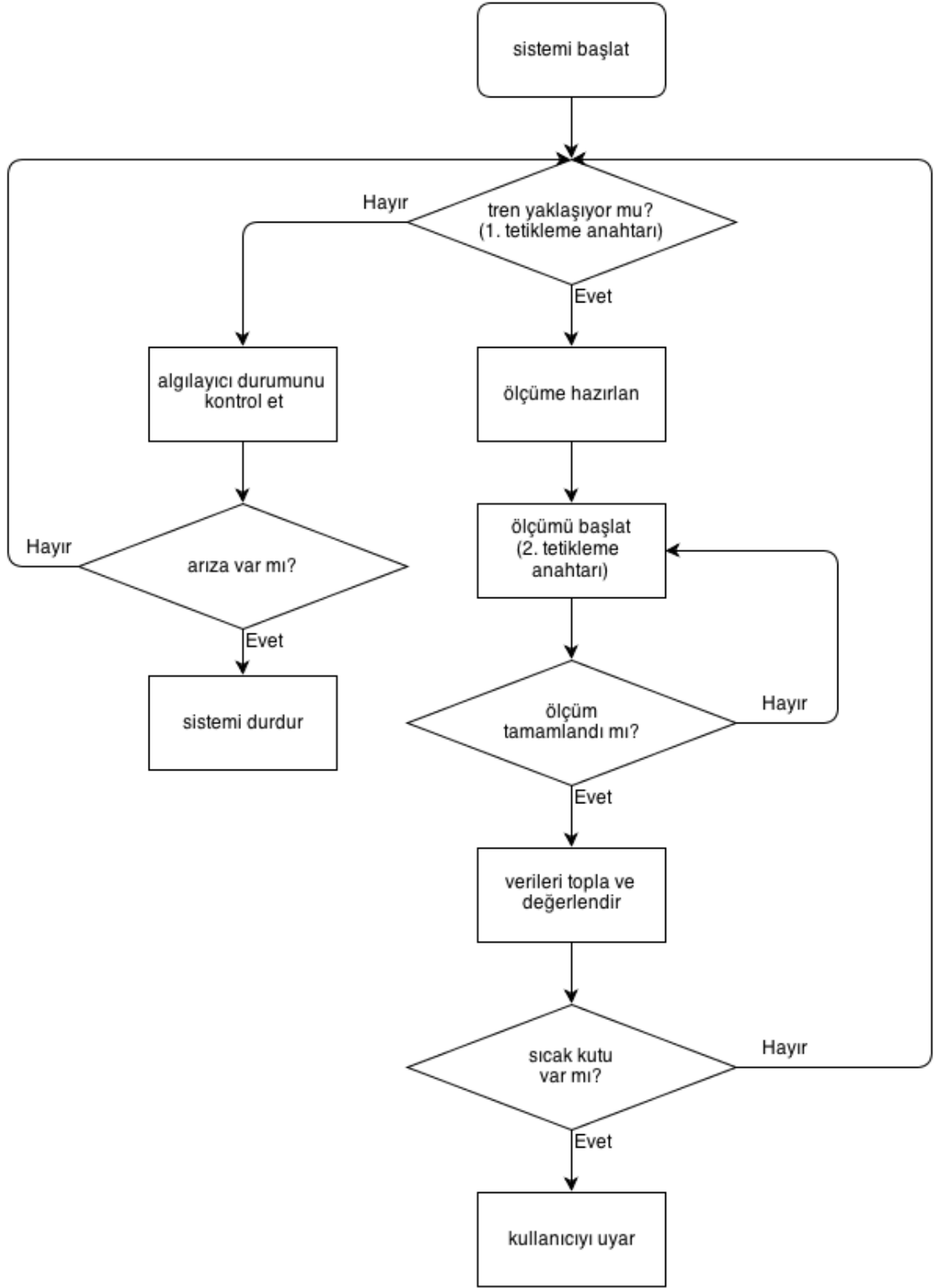
Bu bölümde sıcak kutu algılayıcısının tasarımı üzerinde durulmuştur. Sistemin genel yapısı hakkında bilgi verilerek sistemin bileşenleri açıklanmıştır. Öncelikle devre tasarımı aşamalarından bahsedilmiştir. Devre tasarımı yapılırken haberleşme sistemi olarak kullanılan CAN-BUS protokolüne değinilmiştir. Ardından kızılötesi algılayıcının çalışma prensibi anlatılmış ve sistem gereksinimlerinden bahsedilmiştir. Son olarak da kullanıcı arayüzünün özellikleri ele alınmıştır.

Şekil 3.1’de görülen sistem sıcak kutu algılayıcısı, CAN-BUS haberleşme hattı ve bilgisayar terminalinden oluşmaktadır. Sıcak kutu algılayıcısı demiryolunun her iki tarafına yerleştirilmiş kızılötesi algılayıcı kartları ile biri kartların yakınına diğeri de uzak bir noktaya konan iki adet tetikleme anahtarı içermektedir. Gerek kartlar arası haberleşme gerekse de bilgisayar terminali ile haberleşme CAN-BUS hattı üzerinden gerçekleşmektedir. Ölçüm sonuçları bilgisayar terminalinde özel olarak hazırlanmış bir yazılım vasıtasıyla kullanıcıya sunulmaktadır. Ayrıca bu sonuçlar veri tabanında saklanır.



Şekil 3. 1 Algılayıcı sistem tasarım blok diyagramı

Şekil 3.2’de sistemin çalışma prensibi görülmektedir. İlk olarak sistem bileşenleri başlatılır ve kızılötesi algılayıcılar hazır hale getirilir. Ardından demiryolu taşıtının yaklaşmakta olduğu bilgisi beklenir. Uzak noktaya yerleştirilmiş tetikleme anahtarından işaret gelmesiyle taşıtın yaklaşmakta olduğu bilgisi tüm kızılötesi algılayıcı kartlarına bildirilir. Bu işareti alan kartlar kendilerini ölçüm için hazırlarlar. Kartların yakınındaki tetik anahtarından işaret alınmasıyla birlikte ölçüm başlatılır. Bu işlem taşıtın ölçülecek her bir bileşeni için tekrarlanır. Ölçümün tamamlanması bir zamanlayıcı ile anlaşılır. Bu zamanlayıcı ölçümün başlamasıyla sıfırlanır. Son ölçümden itibaren daha önceden belirlenmiş bir zaman aşımı süresine kadar zamanlayıcının sayacı artar. Ardından ölçümün tamamlandığı bilgisi terminal yazılımına iletilir. Daha sonra sistemdeki tüm kızılötesi algılayıcı kartlardan sıcaklık bilgileri toplanır. Ölçüm sonuçları önceden belirlenmiş eşik değerleri ile karşılaştırılır. Herhangi bir sıcak kutu tespit edilmesi durumunda kullanıcı uyarılır. Böylelikle yetkili kişiler haberdar edilerek olası kazaların önüne geçilir.

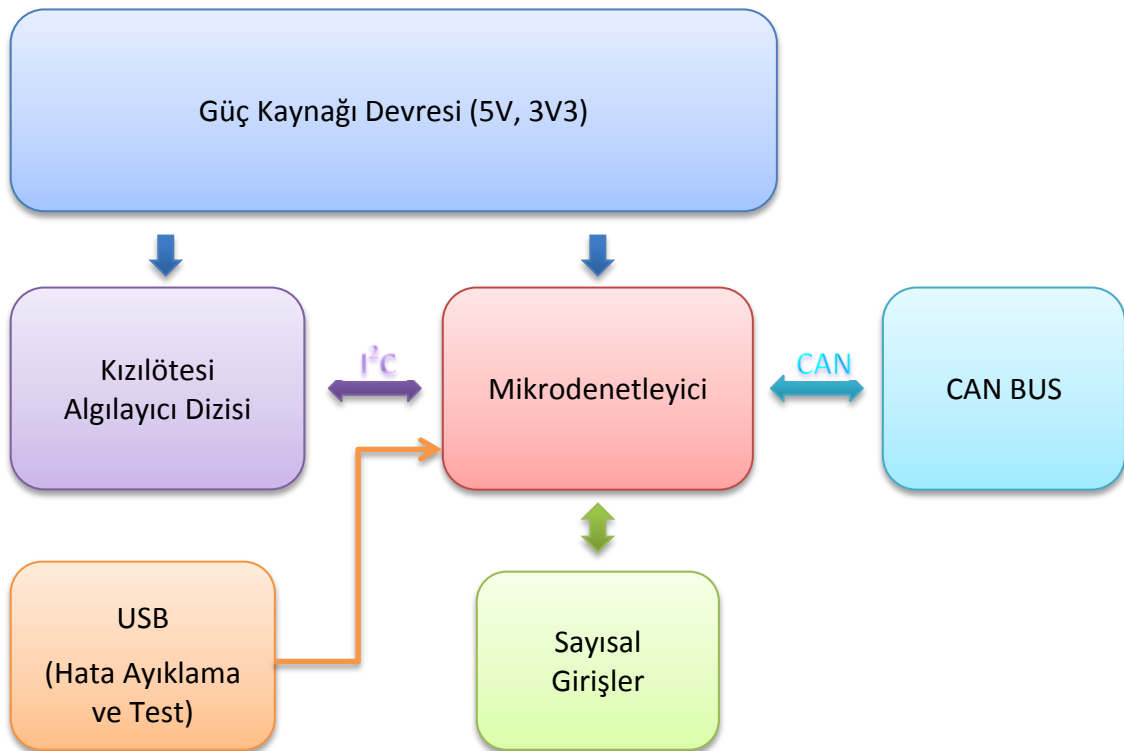


Şekil 3. 2 Algılayıcı yazılımının akış diyagramı

3.1 Devre Tasarımı

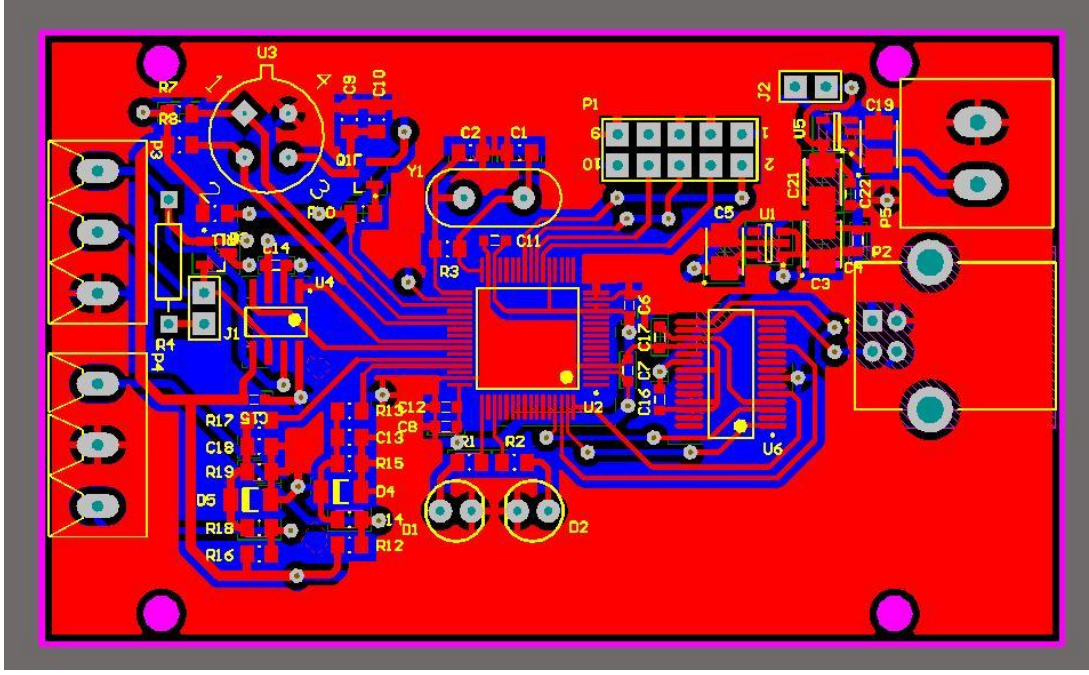
Kızılötesi algılayıcısını oluşturan birimler ve aralarındaki haberleşme sistemi Şekil 3.3'deki blok diyagramda gösterilmiştir. Güç kaynağı devresi sayesinde besleme

gerilimi mikroişlemcinin ve diğer birimlerin ihtiyacına göre ayarlanır. Trenin yaklaştığını mikrodenetleyiciye bildirmek amacıyla sisteme sayısal girişler konulmuştur. Tetikleme işareti olarak adlandırılan bu girişler vasıtasıyla tren gelmeden önce kızılötesi algılayıcılar ölçüme hazırlanır. Kızılötesi algılayıcılar I²C haberleşme modülü aracılığıyla okudukları sıcaklık değerlerini mikrodenetleyiciye iletir. Tüm algılayıcılardan alınan veriler CAN-BUS üzerinden bilgisayar terminaline iletilerek terminal arayüzünde kullanıcıya sunulur.

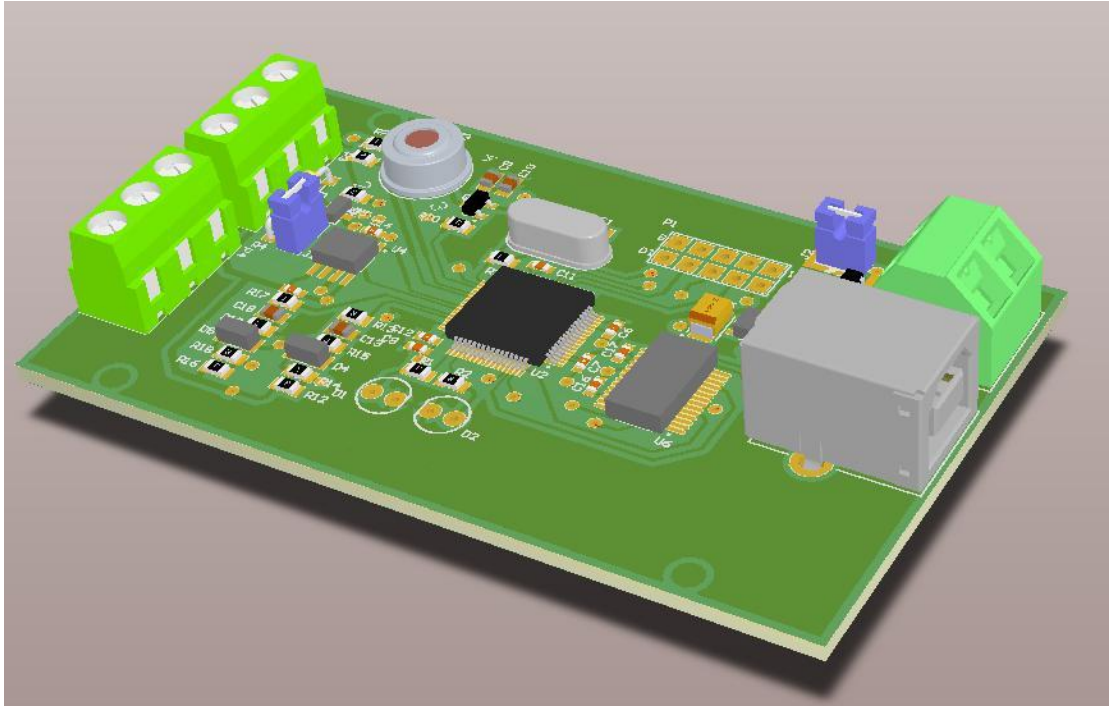


Şekil 3.3 Algılayıcı kartının blok diyagramı

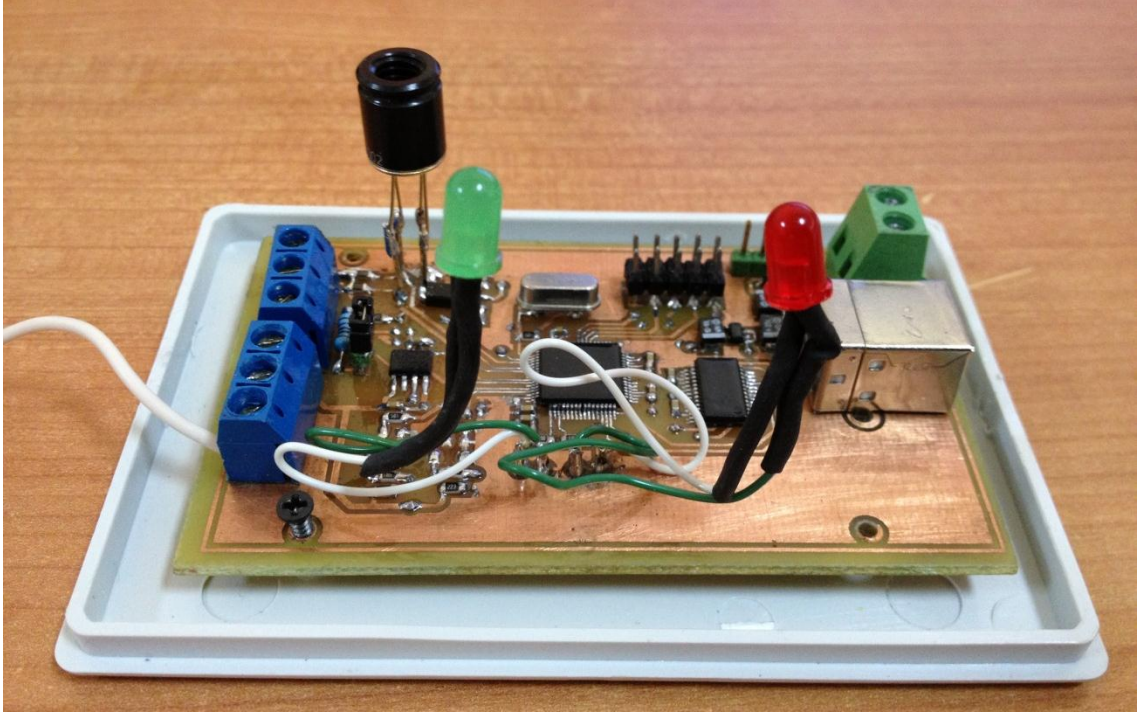
Şekil 3.4'de kızılötesi algılayıcı kartının baskı devre çizimi görülmektedir. Devre çift katman çizilmiş ve yüzey montaj malzemeler tercih edilmiştir. Bu sayede kart boyutu önemli ölçüde küçültülerek kart maliyeti azaltılmıştır. Şekil 3.5'de kartın üç boyutlu modeli görülmektedir. Bu model kutu tasarımı yapılırken herhangi bir mekanik sorunun oluşmasını engeller. Şekil 3.6'da kartın elde hazırlanmış örneği görülmektedir. Şekil 3.7'de ise kartın kutu içerisine monte edilmiş hali görülmektedir. Böylelikle dış etkilerden korunması sağlanmıştır.



Şekil 3. 4 Algılayıcı kartının baskı devre çizim programında tasarımı



Şekil 3. 5 Algılayıcı kartının baskı devre çizim programında 3 boyutlu tasarımı



Şekil 3. 6 Algılayıcı kartın elde hazırlanan örneği



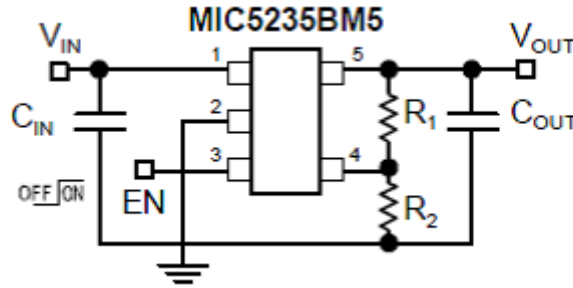
Şekil 3. 7 Tasarlanan devrenin kutulanması

3.1.1 Güç Kaynağı Devresi

Kızılötesi algılayıcı kartının regülatör devresi Şekil 3.8'de gösterilen elemanlardan oluşur. Regülatörde kullanılan MIC5235, 150 mA akım çıkış kapasiteli, içerisinde çeşitli korumalar bulunan ve yüksek gerilimlerde bile oldukça düşük kayıpları olan bir elemandır. Bu özelliği sayesinde taşınabilir elektronik uygulamalarında, USB'lerde ve otomotivde kolaylıkla kullanılabilir.

Regülatör devresi geniş besleme gerilimi aralığında çalışabilir. Giriş gerilimi 8V ile 24V arasında değişebilir. Çalışma sıcaklığı -40°C 'den $+125^{\circ}\text{C}$ 'ye kadardır. Çıkış gerilimi bu sıcaklık aralığında sadece azami %2 değişim gösterir. Bu sayede sistemin ihtiyaç duyduğu enerjiyi yüksek sıcaklıklarda bile kararlılıkla sağlayabilir.

Güç kaynağı devresi olası bir hata durumunda veya çeşitli dış etkiler nedeniyle sistemin zarar görmesini engellemek için çeşitli korumalar içermektedir. Akım sınırlaması, arızalı bir eleman olması durumunda sistemi yüksek akımdan koruyarak kartın ve güç kaynağının tamamıyla zarar görmesini engeller. Ters gerilim koruması, giriş beslemesinin ters bağlanması durumunda kartı korur. Ayrıca ortam sıcaklığının aşırı yükselmesi durumunda güç kaynağı devresi kendini kapatarak sistemi güvenli hale getirir [26].



Şekil 3. 8 Regülatör devresi [26]

3.1.2 Mikrodenetleyici

Çeşitli üreticiler tarafından tasarlanmış birçok farklı özellikte mikrodenetleyici bulunmaktadır. Bir uygulamada verimli bir şekilde çalışan bir işlemci başka bir uygulamada yetersiz kalabilir. Bu nedenle yapılan tasarıma en uygun mikrodenetleyici seçmek zor bir iştir ve kapsamlı bir araştırma gerektirir. Bu çalışmada mikrodenetleyici seçimi yapılırken sistem tasarımına, kullanılacak yazılıma ve fiziksel özelliklere göre en

uygun mikrodnetleyici seçilmeye çalışılmıştır. Bu seçimi yaparken aşağıdaki hususlara dikkat edilmiştir.

- Mikrodnetleyicinin komut işlem hızı
- Mikrodnetleyicinin bellek kapasitesi
- Mikrodnetleyici ile beraber kullanılacak çevre birimleri
- Mikrodnetleyici ile beraber sunulan yazılımlar ve geliştirme araçları
- Mikrodnetleyici giriş-çıkış olanakları
- Mikrodnetleyicinin kesme kapasitesi

Kızılötesi algılayıcıdan alınan ham bilgiler kullanılarak karmaşık işlemler neticesinde cisim sıcaklığı hesaplanır. Bu nedenle yüksek işlem gücüne sahip bir mikrodnetleyiciye ihtiyaç duyulmuştur. Bu işlemler esnasında yoğun hafıza kullanımı gerekmektedir. Bu gereksinimin karşılanabilmesi için işlemci hafızası yüksek olmalıdır. Devre kartları arasındaki haberleşme için CAN-BUS protokolü kullanıldığından işlemcide CAN-BUS modülü bulunmalıdır. Kızılötesi algılayıcı ile haberleşme I²C üzerinden gerçekleştirilmektedir. Algılayıcı kartı beklemede iken düşük güç harcamalıdır. Tasarlanan algılayıcı doğrudan insan hayatı ile ilgilidir. Bundan dolayı yazılımda oluşabilecek hata durumunda mikrodnetleyiciyi yeniden başlatacak koruyucu birimler (watchdog) olmalıdır. Devre tasarımında bu kıstaslar göz önünde bulundurularak mikrodnetleyici seçimi yapılmıştır. Seçilen mikrodnetleyicinin önemli özellikleri şu şekilde sıralanabilir [27]:

- 32 bit yüksek performanslı ARM Cortex M4 çekirdek
- 64 pin giriş/çıkış
- 128 Kbyte program hafızası
- 16 Kbyte veri hafızası
- Çalışma gerilim aralığı: 1.71 V- 3.6 V
- Çalışma sıcaklığı aralığı: -40°C ile 105°C
- 2 adet 16 bit ADC

- 2 adet I²C haberleşme modülü
- CAN modülü
- Yazımsal watchdog
- Harici watchdog izleyicisi
- Düşük güç tüketen uyku modu
- 3 adet RS232 haberleşme modülü

3.1.3 Kızılötesi Algılayıcı

3.1.3.1 Kızılötesi Algılayıcının Özellikleri ve avantajları

Bu çalışmada fabrika ayarlı kızılötesi sıcaklık ölçümü, EEPROM'da saklanabilen ölçekleme parametreleri, gürültü dengeleyici, I²C uyumlu sayısal arayüz, programlanabilir çalışma frekansı aralığı (0,5 Hz...512 Hz), 2,6 V kaynak gerilimi, 9 mA'den daha az akım tüketimi, geniş sıcaklık ölçüm aralığı gibi birçok avantaja sahip, gelişmiş yapıda bir kızılötesi algılayıcı kullanılmıştır. Algılayıcı düşük gürültülü yükselteç içeren 64 kızılötesi piksele sahiptir.

Algılayıcı ölçüm yaparken yonganın çevre sıcaklığını da hesaplamaya katar. Hem kızılötesi ölçüm yapan hem de çevresel sıcaklığı ölçen algılayıcıdan elde edilen bilgiler I²C ile erişilebilir ve RAM'de saklanır. RAM'de saklanan kızılötesi algılayıcı ölçümlerini aşağıdaki gibi sıralayabiliriz.

- Cisim sıcaklığını ölçen her bir kızılötesi pikselin ham ölçüm sonucu
- Çevresel sıcaklığın ham değeri

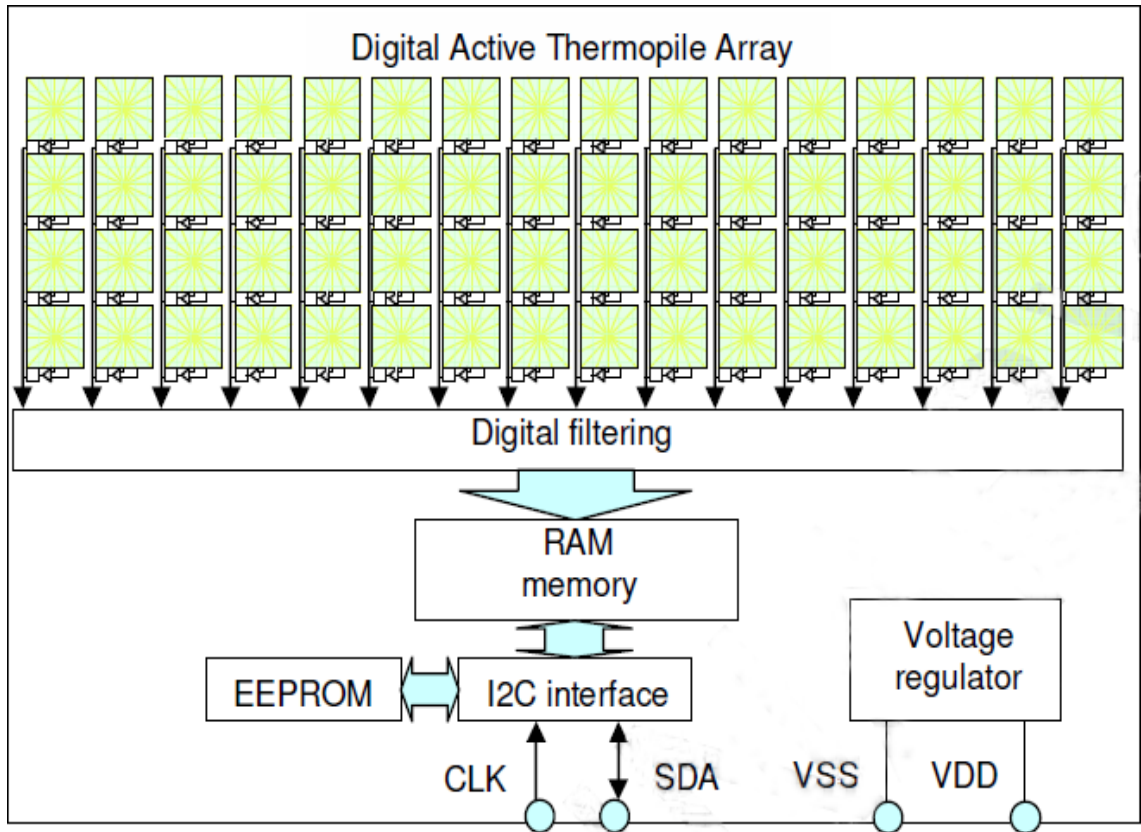
Bu uygulama için iyi anlaşılması gereken en önemli noktalardan biri ölçüm doğruluğunun izotermal koşullara karşı çok hassas olmasıdır. (Algılayıcı kendi üzerinde bir sıcaklık farkı yaratmaz.) Devre üzerinde bulunan diğer elemanlar ölçüm doğruluğunu etkileyebilir. Bundan dolayı algılayıcının çevresinde ısınan elektronik eleman kullanılmamıştır [28].

3.1.3.2 Kızılötesi Algılayıcının Kullanım Alanları

Kızılötesi algılayıcılar, yüksek hassasiyet isteyen temassız sıcaklık ölçümlerinde, mikrodalgalarda, endüstriyel yapıların havalandırma ve sıcaklık kontrol uygulamalarında, ulaşım güvenliği için termal tarayıcılarda, hareket algılayıcılarında, hareketli parçaların sıcaklık kontrollerinde ve benzeri birçok uygulamada sıklıkla kullanılmaktadır [28].

3.1.3.3 Kızılötesi Algılayıcı Blok Diyagramı

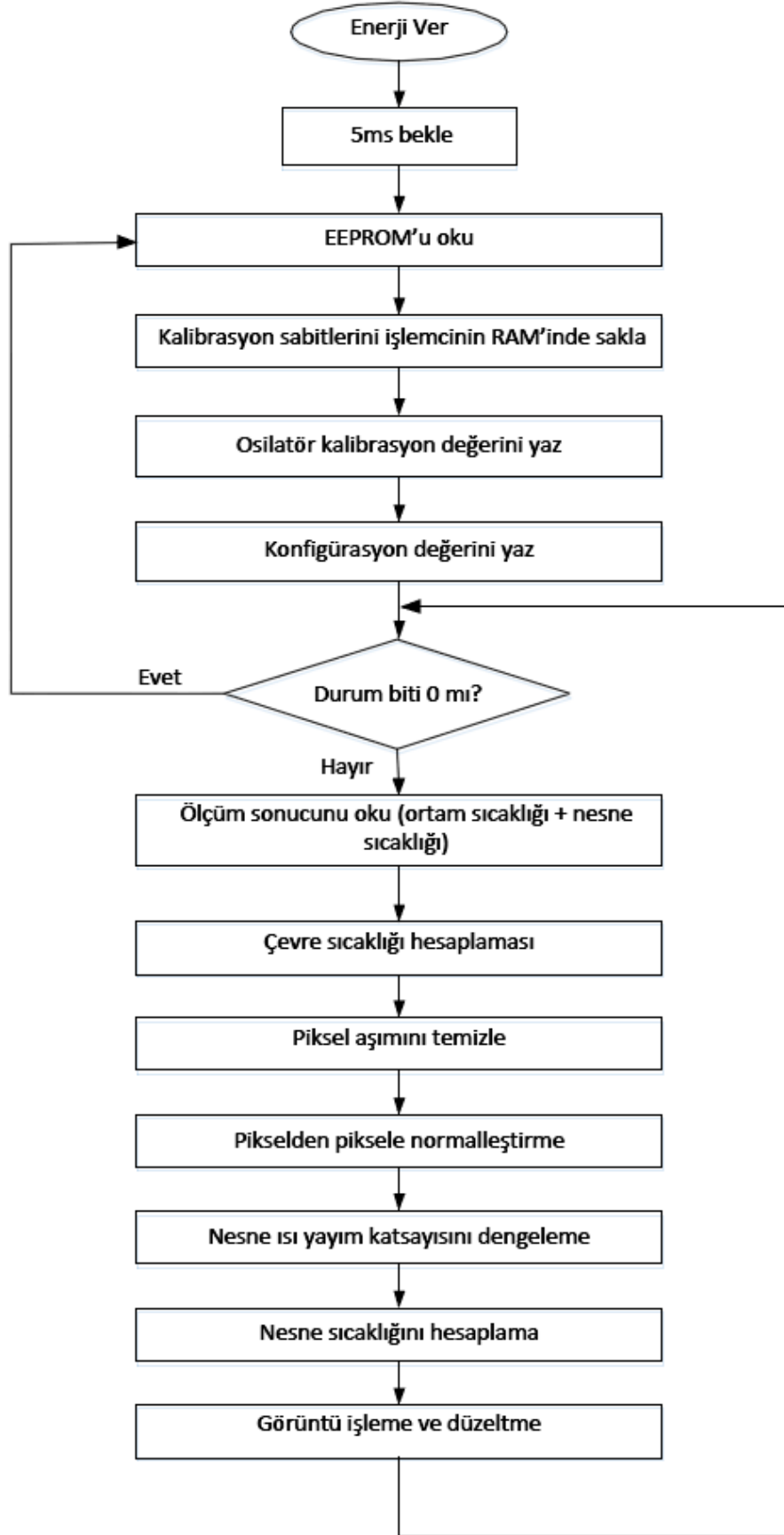
Algılayıcı yongası tek bir kılıf içerisinde kızılötesi algılayıcı ve EEPROM paketi olmak üzere iki kısımdan oluşur. Bu paketler arasında I²C haberleşme protokolü ile haberleşme sağlanır. Şekil 3.9'da 64 adet pikselin RAM'e kaydedilmesi ve I²C ile haberleşmesi görülmektedir.



Şekil 3. 9 Kızılötesi algılayıcı blok diyagramı [28]

3.1.3.4 Kızılötesi Algılayıcının Çalışma Prensibi

Tüm kızılötesi piksellerin sonuçları ve ortam sıcaklığı sonucu daha önceden ayarlanmış ve hafızada saklanan yenileme oranına göre güncellenir. EEPROM'a yazılan ölçekleme sabitleri ile birlikte piksellerin ham çıkış verileri kullanılarak yonganın sıcaklığı ve cismin sıcaklığı her bir piksel için hesaplanır. EEPROM'daki sabitlere ve ham ölçüm sonuçlarına kullanıcı işlemci ile I²C üzerinden erişilebilir. Okunan bu veriler bir dizi işlemden geçirilerek ortam ve cisim sıcaklığı hesaplanır. Bunun için Şekil 3.10'daki blok diyagramda görülen hesaplamalar sırasıyla yapılır.



Şekil 3. 10 Kızılötesi algılayıcının çalışma diyagramı

3.1.3.5 Ortam Sıcaklığını Hesaplama

Kızılötesi algılayıcının çıkışı yonganın mutlak sıcaklığı ile orantılıdır. Bu nedenle her bir piksel tarafından algılanan cisim sıcaklığını hesaplamak için çekirdeğin sıcaklığını bilmek gerekir.

Ortam sıcaklığı (T_a) değeri için (3.1), algılayıcının mutlak sıcaklığının (V_{TH0}) değeri için (3.2), algılayıcının mutlak sıcaklığının (K_{T1}) değeri için (3.3) ve algılayıcının mutlak sıcaklığının (K_{T2}) değeri için de (3.4) kullanılarak hesaplama yapılır. $V_{TH}(25)$ ve K_{T2} EEPROM'da 2'nin tümleyeni olarak saklanır. Çizelge 3.1'de EEPROM'a kaydedilen terimler ile ilgili bilgiler verilmiştir.

$$T_a = \frac{-K_{T1} + \sqrt{K_{T1}^2 - 4K_{T2}[V_{TH}(25) - PTAT_{data}]}}{2K_{T2}} + 25, [^{\circ}C] \quad (3.1)$$

Çizelge 3. 1 T_a değerinin hesaplanması için EEPROM sabitleri [28]

EEPROM adresi	Hücre ismi	Depolama	Açıklama
0xDA	V_{TH_L}	2'nin tümleyeni	Mutlak sıfır sıcaklığındaki eşik değer voltajı
0xDB	V_{TH_H}		
0xDC	K_{T1_L}	2'nin tümleyeni	Eşik değer voltajının K_{T1} sıcaklık katsayısı
0xDD	K_{T1_H}		
0xDE	K_{T2_L}	2'nin tümleyeni	Eşik değer voltajının K_{T2} sıcaklık katsayısı
0xDF	K_{T2_H}		

$$V_{TH}(25) = 256V_{TH_H} + V_{TH_L} \quad (3.2)$$

$$K_{T1} = \frac{256K_{T1_H} + K_{T1_L}}{2^{10}} \quad (3.3)$$

$$K_{T2} = \frac{256K_{T2_H} + K_{T2_L}}{2^{20}} \quad (3.4)$$

Yonganın ortam sıcaklığı (3.5) ile (3.12) arasındaki eşitlikler yardımı ile hesaplanabilir. EEPROM'dan Çizelge 3.2'de verilen değerlerin okunduğunu varsayalım ve bu

çizelgedeki değerlere göre algılayıcın bulunduğu çevrenin sıcaklığını hesaplamak için bir örnek yapalım.

Çizelge 3. 2 Algılayıcının mutlak sıcaklığının ayarlanan değerleri [28]

EEPROM adresi	Hücre İsmi	Hücre Değerleri (hex)
0xDA	V_{TH_L}	0x78
0xDB	V_{TH_H}	0x1A
0xDC	K_{T1_L}	0x33
0xDD	K_{T1_H}	0x5B
0xDE	K_{T2_L}	0xCC
0xDF	K_{T2_H}	0xED

$$V_{TH}(25) = 256 \times V_{TH_H} + V_{TH_L} = 256 \times 26 + 120 = 6776, \text{ desimal değer} \quad (3.5)$$

Bu değer 2'nin tümleyeni şeklinde saklandığından sayının pozitif ya da negatif olduğunu anlamak için en değerlikli biti kontrol edilir. Eğer bu bit 1 ise sayı negatiftir. Bu durumda 16 bitlik bir işaretli pozitif sayı azami 32767 değerini alır.

$$6776 < 32767 \rightarrow V_{TH}(25) = 6776 \quad (3.6)$$

$$K_{T1} = \frac{256K_{T1_H} + K_{T1_L}}{2^{10}} = \frac{256 \times 91 + 51}{1024} = \frac{23347}{1024} \quad (3.7)$$

İşaret kontrol edildiğinde sayının pozitif olduğu anlaşılır.

$$23347 < 32767 \rightarrow K_{T1} = \frac{23347}{1024} \cong 22,7998 \quad (3.8)$$

$$K_{T2} = \frac{256K_{T2_H} + K_{T2_L}}{2^{20}} = \frac{256 \times 237 + 204}{1048576} = \frac{60876}{1048576} \quad (3.9)$$

İşaret kontrol edilirse bu sayının negatif olduğu görülür.

$$60876 > 32767 \rightarrow K_{T2} = \frac{60876 - 65536}{1048576} \cong -0,0044441 \quad (3.10)$$

Gelen bilginin $PTAT_{data} = 0 \times 1AC0 = 6848$ desimal olduğunu varsayılırsa çevre sıcaklığı:

$$T_a = \frac{-K_{T1} + \sqrt{K_{T1}^2 - 4K_{T2}[V_{TH}(25) - PTAT_{data}]}}{2K_{T2}} + 25 \quad (3.11)$$

$$T_a = \frac{-22,7998 + \sqrt{519,8309 - 4(-0,0044441[6776 - 6848])}}{-0,0088882} + 25 \cong 28,16^\circ C \quad (3.12)$$

3.1.3.6 Cismin sıcaklığının Hesaplanması

Matriste belirli piksel tarafından okunan sıcaklığı hesaplama formülü (3.13)'deki gibidir. Burada $V_{IR(i,j)_dengelenen}$ bir pikselin dengelenmiş parazitiz değerini, $\alpha_{(i,j)}$ EEPROM'da saklanan özgün piksel hassasiyet katsayısını göstermektedir.

$$T_{o(i,j)} = \sqrt[4]{\frac{V_{IR(i,j)_dengelenen}}{\alpha_{(i,j)}} + (T_a + 273,15)^4} - 273,15, [^\circ C] \quad (3.13)$$

Çizelge 3. 3 T₀ hesaplamaları için EEPROM parametreleri [28]

EEPROM adresi	Hücre ismi	Saklama Biçimi	Açıklama
0x00...0x3F	$A_{i(i,j)}$	2'nin tümleyeni	Bir kızılötesi piksele ait aşım katsayısı
0x40...0x7F	$B_{i(i,j)}$	2'nin tümleyeni	Bir kızılötesi piksel aşımının Ta bağımlılığı
0x80...0xBF	$\Delta\alpha_{(i,j)}$	işaretsiz	Özgün hassaslık katsayısı
0xD4	A_{CP}	2'nin tümleyeni	Dengeleme pikselinin özgün aşım katsayısı
0xD5	B_{CP}	2'nin tümleyeni	Dengeleme pikseli aşımının özgün Ta bağımlılığı
0xD6	α_{CP_L}	işaretsiz	Dengeleme pikselinin hassaslık katsayısı
0xD7	α_{CP_H}		
0xD8	TGC	2'nin tümleyeni	Termal eğim katsayısı
0xD9	B_{i_SCALE}	işaretsiz	Kızılötesi piksel aşım eğiminin ölçekleme katsayısı
0xE0	α_{O_L}	işaretsiz	Kızılötesi piksel ortak hassasiyet katsayısı
0xE1	α_{O_H}		
0xE2	α_{O_SCALE}	işaretsiz	Ortak hassasiyet ölçekleme katsayısı
0xE3	$\Delta\alpha_{SCALE}$	işaretsiz	Özgün hassasiyet ölçekleme katsayısı
0xE4	ε_L	işaretsiz	Isı yayım katsayısı
0xE5	ε_H		

Cismin sıcaklığını hesaplamak için EEPROM’da bulunan bütün parametreler Çizelge 3.3’de verilmiştir. Cismin sıcaklığı (3.14) ile (3.39) arasındaki eşitlikler yardımı ile hesaplanabilir. Piksel $i=2, j=8$ için EEPROM’dan alınan verilerin Çizelge 3.4’teki gibi olduğunu varsayalım ve bu çizelgedeki değerlere göre cismin sıcaklığını hesaplamak için bir örnek yapalım.

Çizelge 3. 4 T_o hesaplamaları için EEPROM’dan alınan parametreler [28]

EEPROM adresi	Hücre ismi	Depolama	Hücre Değerleri (hex)
0x22	$A_{i(i,j)}$	2’nin tümleyeni	0xD6
0x62	$B_{i(i,j)}$	2’nin tümleyeni	0xC1
0xA2	$\Delta\alpha_{(i,j)}$	işaretsiz	0x8F
0xD4	A_{CP}	2’nin tümleyeni	0xD0
0xD5	A_{CP}	2’nin tümleyeni	0xCA
0xD6	α_{CP_L}	işaretsiz	0x00
0xD7	α_{CP_H}	işaretsiz	0x00
0xD8	TGC	2’nin tümleyeni	0x23
0xD9	B_{i_SCALE}	işaretsiz	0x08
0xE0	α_{0_L}	işaretsiz	0xE4
0xE1	α_{0_H}	işaretsiz	0xD5
0xE2	α_{0_SCALE}	işaretsiz	0x2A
0xE3	$\Delta\alpha_{SCALE}$	işaretsiz	0x21
0xE4	ϵ_L	işaretsiz	0x99
0xE5	ϵ_H	işaretsiz	0x79

$$V_{CP} = 0 \times FFD8 = 65496, \text{ desimal değer} \quad (3.14)$$

işaret kontrol edilirse;

$$65496 < 32767 \rightarrow V_{CP} = 65496 - 65536 = -40 \quad (3.15)$$

$$V_{IR(2,8)} = 0 \times 0090 = 144, \text{ desimal değer} \quad (3.16)$$

İşaret kontrol edilirse;

$$144 < 32767 \rightarrow V_{IR(2,8)} = 144 \quad (3.17)$$

Önceden hesaplanan çevresel sıcaklık değeri (T_a) 28,16°C olarak bulunmuştu. T_o 'ın hesaplanması için gereken referans değerler:

$$A_{CP} = 0 \times D0 = 208, \text{ desimal değer} \quad (3.18)$$

İşaret kontrol edilirse;

$$208 > 127 \rightarrow A_{CP} = 208 - 256 = -48 \quad (3.19)$$

$$B_{CP} = 0 \times CA = 202, \text{ desimal değer} \quad (3.20)$$

İşaret kontrol edilirse;

$$202 > 127 \rightarrow A_{CP} = 202 - 256 = -54 \quad (3.21)$$

$$V_{CP_OFF_COMP} = V_{CP} - \left(A_{CP} + \frac{B_{CP}}{2^{b_{i-\text{ökek}}}} (T_a - T_{a_o}) \right), [^\circ\text{C}] \quad (3.22)$$

$$V_{CP_OFF_COMP} = -40 - \left(-48 + \frac{-54}{2^8} (28,16 - 25) \right) \cong 8,67 \quad (3.23)$$

$$A_{i(2,8)} = 0 \times D6 = 214, \text{ desimal değer} \quad (3.24)$$

İşaret kontrol edilirse;

$$214 > 127 \rightarrow A_{i(2,8)} = 214 - 256 = -42 \quad (3.25)$$

$$B_{i(2,8)} = 0 \times C1 = 193, \text{ desimal değer} \quad (3.26)$$

İşaret kontrol edilirse;

$$193 > 127 \rightarrow A_{i(2,8)} = 193 - 256 = -63 \quad (3.27)$$

$$V_{IR_OFF_COMP} = V_{IR(2,8)} - \left(A_{i(2,8)} + \frac{B_{i(2,8)}}{2^{b_{i-\text{ökek}}}} (T_a - T_{a_o}) \right), [^\circ\text{C}] \quad (3.28)$$

$$V_{IR_OFF_COMP} = -144 - \left(-42 + \frac{-63}{2^8} (28,16 - 25) \right) \cong 186,78 \quad (3.29)$$

$$TGC = 0 \times 23 = 35, \text{ desimal değer} \quad (3.30)$$

işaret kontrol edilirse;

$$35 > 127 \rightarrow TGC = 35 \quad (3.31)$$

$$V_{IR(i,j)_TGC_COMP} = V_{IR(i,j)_OFF_COMP} - \frac{TGC}{32} V_{IR_CP_OFF_COMP} \quad (3.32)$$

$$V_{IR(i,j)_TGC_COMP} = 186,178 - \frac{35}{32} 8,67 \cong 177,3 \quad (3.33)$$

$$\varepsilon = \frac{256 \times \varepsilon_H + \varepsilon_L}{32768} = \frac{256 \times 121 + 153}{32768} = \frac{31129}{32768} \cong 0,949981 \quad (3.34)$$

$$V_{IR(i,j)_COMPENSATED} = \frac{V_{IR(i,j)_TGC_COMP}}{\varepsilon} = \frac{177,3}{0,949981} \cong 186,63 \quad (3.35)$$

$$\alpha_{(2,8)} = \frac{\left(256 \times \alpha_{0_H} + \alpha_{0_L} - \frac{TGC}{32} (256 \times \alpha_{CP_H} + \alpha_{CP_L}) \right)}{2^{\alpha_{0_ölkük}}} + \frac{\Delta \alpha_{(2,8)}}{2^{\Delta \alpha_{ölkük}}} \quad (3.36)$$

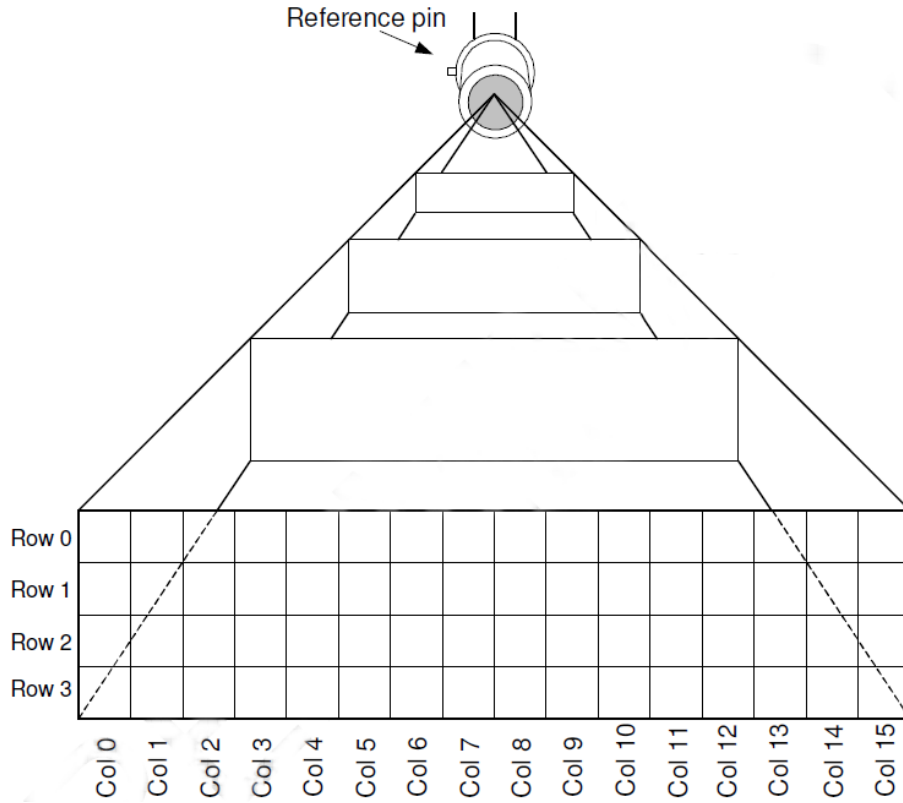
$$\alpha_{(2,8)} = \frac{\left(256 \times 213 + 228 - \frac{35}{32} (256 \times 0 + 0) \right)}{2^{42}} + \frac{143}{2^{33}} \cong 2,9097 \cdot 10^{-8} \quad (3.37)$$

$$T_{o(2,8)} = \sqrt[4]{\frac{V_{IR(2,8)_COMPENSATED}}{\alpha_{(2,8)}} + (T_a + 273,15)^4} - 273,15 \quad (3.38)$$

$$T_{o(2,8)} = \sqrt[4]{\frac{186,63}{2,9097 \cdot 10^{-8}} + (28,16 + 273,15)^4} - 273,15 \cong 74,79^\circ C \quad (3.39)$$

3.1.3.7 Piksel Pozisyonları

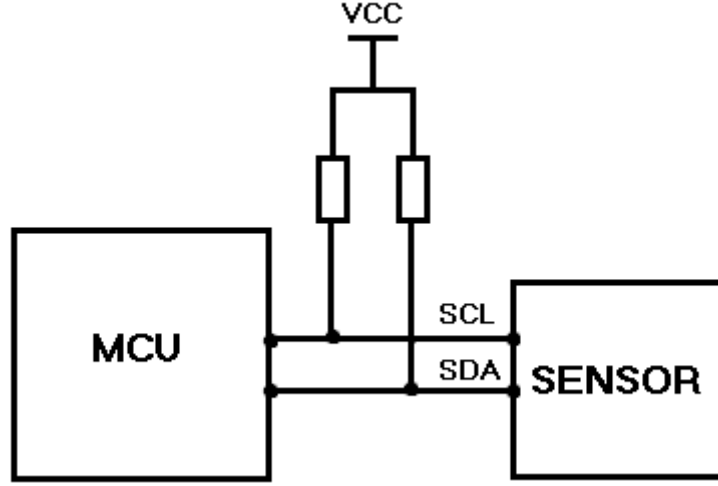
Cismin ölçülecek yüzeyi 64 tane kızılötesi pikselden meydana gelir. Her bir piksel $Pix_{(i,j)}$ gibi kendi "i" satır ve "j" sütunu ile tanımlanır. Şekil 3.11'de gösterildiği gibi görüntünün piksel satırları 0'dan 3'e kadar, sütunları ise 0'dan 15'e kadar numaralandırılır.



Şekil 3. 11 Algılayıcının tüm görüş alanına ait piksel pozisyonları [28]

3.1.3.8 Haberleşme Protokolü

Algılayıcı, yardımcı modda olmak üzere hızlı mod I²C'yi (1 Mbps'e kadar) destekler. Haberleşme veri yolunda Şekil 3.12'de görüldüğü gibi SCL ve SDA olmak üzere iki adet haberleşme pini vardır. Komut veren cihaz haberleşme için saat sinyalini (SCL) oluşturur. Veri hattı (SDA) ise çift yönlüdür. Bu sinyal ana cihazın veya yardımcı cihazın kontrolünde iletilecek komuta bağlı yürütülür. SDA hattının veri aktarımı esnasında hangi cihaz tarafından kullanılacağı I²C standartlarına göre belirlenmiştir. SDA pini baskın (open-drain) olduğunda 0 bilgisi, hattı lojik 0 seviyesine çekerek oluşturulur. 1 bilgisi ise hattı serbest bırakarak harici dirençler aracılığıyla oluşturulur. Veri aktarımı boyunca veri hattı sadece SCL lojik 0 iken değiştirilebilir. Aksi halde bu değişiklik başlangıç/bitiş durumu olarak yorumlanır.



Şekil 3. 12 Mikrodenetleyici ile kızılötesi algılayıcı bağlantısı

3.1.3.9 Kızılötesi Algılayıcı ile Haberleşme

İşlem kodu 0x02 yongadan veri okumak için kullanılır. Bu komut vasıtasıyla yonganın ölçüm sonuçları ve yapılandırma bilgisi mikroişlemci tarafından okunur.

Okuma komutu aşağıdaki parametrelere sahiptir:

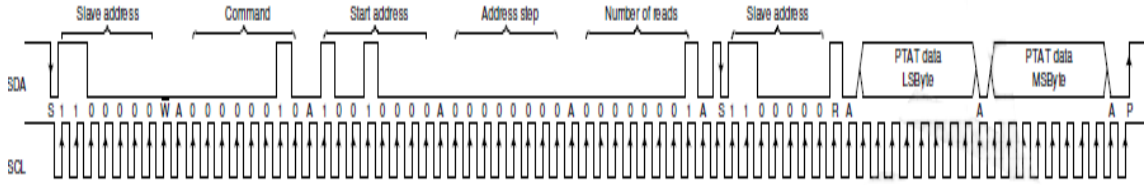
- Başlangıç adresi: 8 bittir. Yonga adres aralığı 0'dan 255'e kadardır. Bu adres okunmaya başlanacak ilk sözcüğün yerini gösterir.
- Adres adımı: 8 bittir. Her okuma işlemi esnasında önceki adresten ne kadar öteleme yapılacağını gösterir.
- Okunanların sayısı: 8 bittir. Kaç adet sözcük okunacağını belirtir.

Bir satırın, bir sütunun, kızılötesi belirli bir pikselin ya da tüm sıcaklık verisinin okunması amacıyla farklı kombinasyonlar oluşturmak mümkündür. Bu durum Çizelge 3.5'de özetlenmiştir.

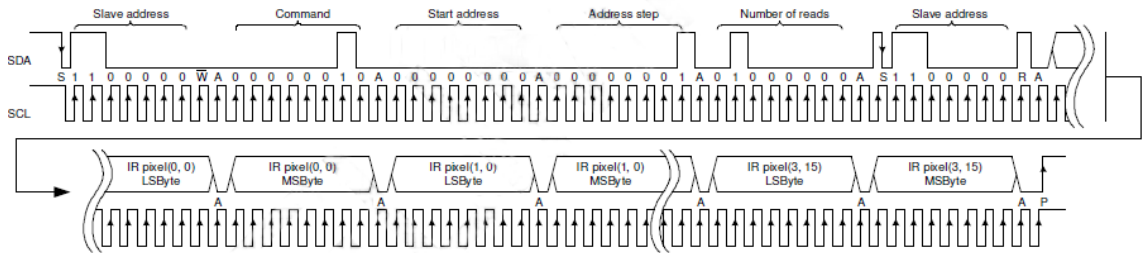
Çizelge 3. 5 Sıcaklık okuma seçenekleri [28]

Okunan kızılötesi algılayıcı	Başlangıç adresi	Adres adımı	Okunanların sayısı
Tüm IR	0x00	0x01	0x40
Bir satır IR(i)	i	0x04	0x10
Bir sütun IR(j)	$j*0x04$	0x01	0x04
Bir piksel IR(i,j)	$i+j*0x04$	0x00	0x01

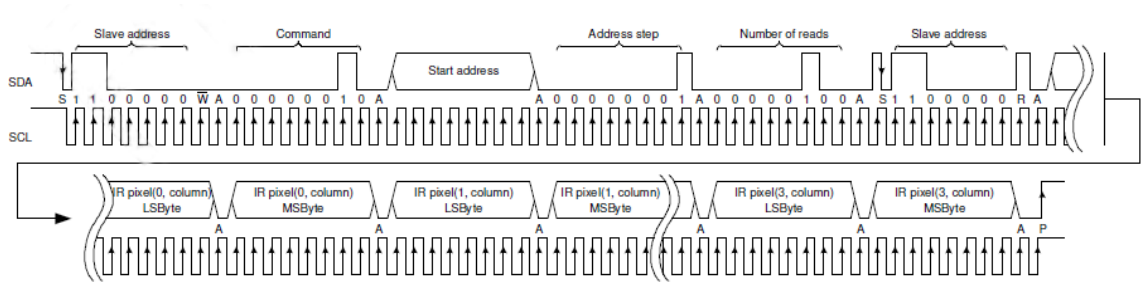
Şekil 3.13’de yardımcı adres (YA), komut adresi ve başlangıç adresi görülmektedir. Algılayıcının çevresel mutlak sıcaklık bilgisi Şekil 3.13’deki gibi okunur. Kızılötesi algılayıcının piksellerinin okunması için Şekil 3.14’de verilen dört farklı adresten biri kullanılabilir. Şekil 3.15’de tek bir sütunun hesaplanmasında kullanılan adresler gösterilmiştir. Şekil 3.16’da ise tek bir satırın hesaplanmasında kullanılan adresler gösterilmiştir. Sadece bir pikselin hesaplanmasında kullanılan adresler Şekil 3.17’de gösterilmiştir.



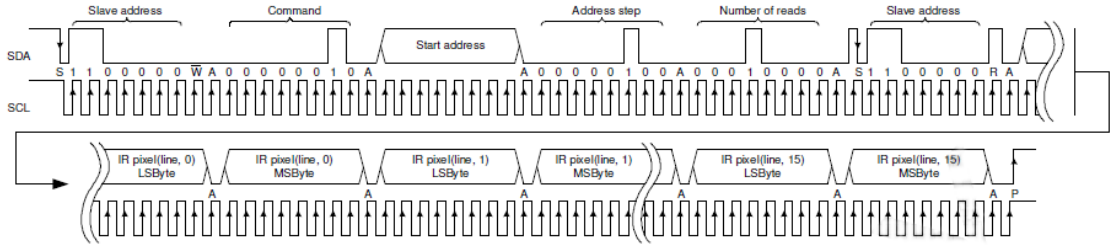
Şekil 3. 13 YA=0x60, komut adresi=0x02, başlangıç adresi=0x90 [28]



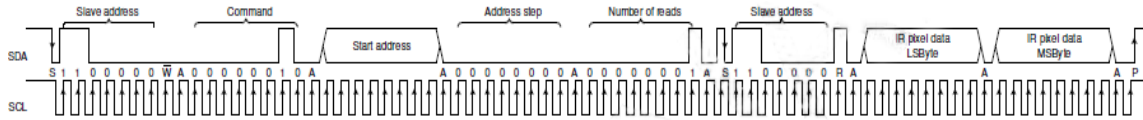
Şekil 3. 14 YA=0x60, komut adresi=0x02, başlangıç adresi=0x00, adres adımı=0x01, okuma sayısı=0x40 [28]



Şekil 3. 15 YA=0x60, komut adresi=0x02, başlangıç adresi=0x00...0x3C, adres adımı=0x01, okuma sayısı=0x04 [28]



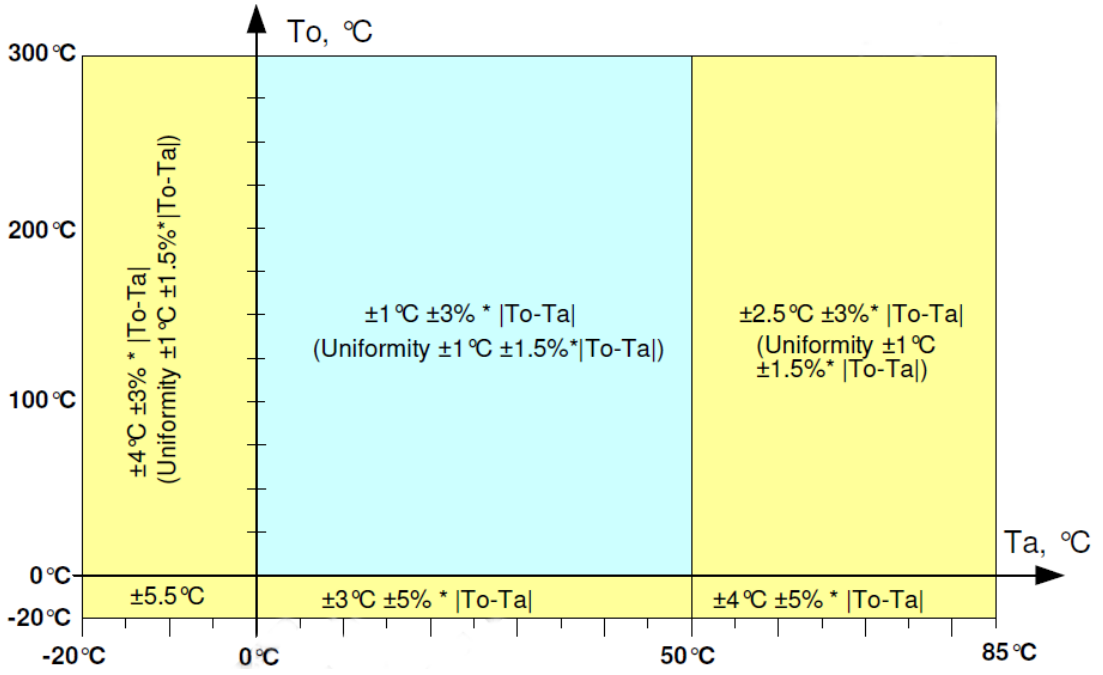
Şekil 3. 16 YA=0x60, komut adresi=0x02, başlangıç adresi=0x00...0x3F, adres adımı=0x00, okuma sayısı=0x01 [28]



Şekil 3. 17 YA=0x60, komut adresi=0x02, başlangıç adresi=0x00...0x3F, adres adımı=0x00, okuma sayısı=0x01 [28]

3.1.3.10 Algılayıcının Sıcaklık Ölçüm Doğruluğu

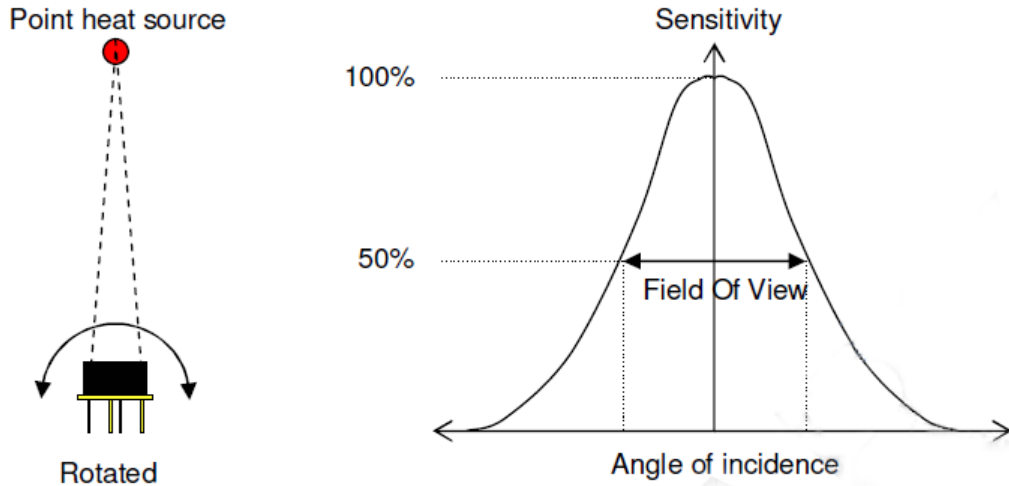
Tüm doğruluk tanımlamaları sabit izotermal koşullar altında yapılmıştır. Ayrıca bu doğruluk yüzdeleri, sıcaklığı ölçülen cisim tamamen algılayıcının görüş alanı içerisinde olması durumunda geçerlidir. Bu çalışmada doğruluk dört merkezi piksel için tanımlanmıştır.



Şekil 3. 18 Merkezde yer alan dört pikselin mutlak sıcaklığının doğruluğu [28]

T_a ve T_o 'yu hesaplarken oda sıcaklığında nesnelerin sıcaklığı $\pm 3^\circ\text{C}$ sapma gösterebilir. Bu sapma Şekil 3.18'de görüldüğü gibi 200°C civarındaki sıcaklıklar için $\pm 1^\circ\text{C}$ 'e düşer.

3.1.3.11 Algılayıcının Görüş Alanı



Şekil 3. 19 Kızılötesi algılayıcının görüş alanı ve hassasiyet ilişkisi [28]

Algılayıcının belirtilen görüş alanı, geniş yön için hesaplanmıştır. Açısal hizalama, belirtilen görüş alanının %5'i olmalıdır. Bu durum her iki yön için de geçerlidir. Algılayıcı ile ölçüm alınırken algılayıcının görüş alanına dikkat edilmelidir. Algılayıcının yerleşimi Şekil 3.19'daki hassasiyet ilişkisi göz önüne alınarak yapılmalıdır.

3.1.4 Tetikleme Anahtarı

Mikrodenetleyicinin ölçüme önceden hazır olabilmesi için tetikleyici anahtardan işlemciye trenin yaklaştığı bilgisi iletilmelidir Tetikleme anahtarı olarak yaklaşım anahtarları ya da endüktif anahtarlar kullanılabilir.

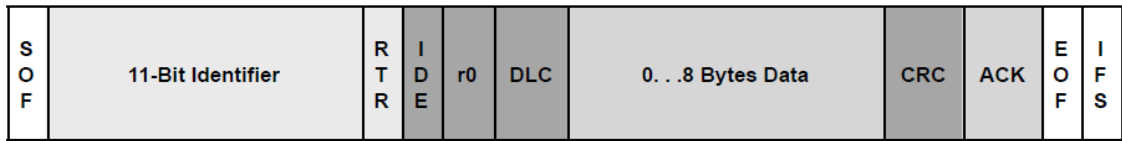
3.2 CAN-BUS Protokolü

Controller Area Network (CAN) protokolü 1983 yılında otomotiv sektörü için Robert Bosch GmbH tarafından geliştirilmiştir. 1986 yılında ilk defa kullanılmaya başlanmıştır. CAN protokolünün geliştirilmesinin temel sebebi araçlarda kullanılan kablo ağlarını azaltmaktır. Bu protokol, araçlarda kullanılan algılayıcılar, motorlar, frenler, klima vb. aygıtlar için onlarca kablo yerine sadece iki kablo kullanmayı olanaklı hale getirmiştir. CAN protokolü başta otomotiv sektörü için geliştirilmiş olsa da veri iletim hızı, güvenilirliği, maliyeti azaltma ve uygulama kolaylığı gibi sebeplerden dolayı birçok endüstriyel kontrol uygulamalarında yaygın bir şekilde kullanılmaya başlanmıştır. İletişim hızı 40m'de 1 Mbit/s iken 1km uzaklıklarda 40 Kbit/s ye düşmektedir. Sorunsuz çalışan bir CAN sisteminin istatistiksel olasılık hesaplarına göre tespit edilemeyen hata yapma olasılığı bir asırda bir hata olarak belirtilmiştir [29].

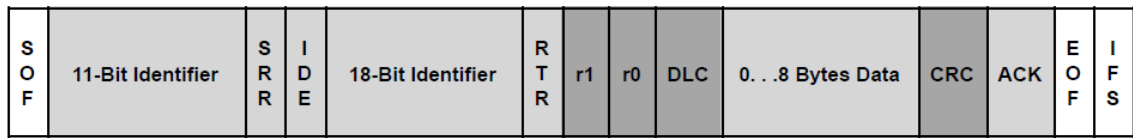
CAN protokolünü diğer protokollerden ayıran temel fark adres temelli değil de mesaj temelli olarak çalışmasıdır. Her mesaj kendine özgü bir kimlik numarasına sahiptir. Mesajlar, çerçeveler ile iletilirler. Mesajlar, veri mesajları ve istek mesajları olmak üzere ikiye ayrılırlar. İstek mesajlarında veri bulunmamakla beraber, veri mesajlarında ise en fazla 8 byte'lık veri aktarılır [29].

CAN için 11 bit tanımlayıcıya sahip olan CAN2.0A (Standart CAN) ve 29 bit tanımlayıcıya sahip olan CAN2.0B (Genişletilmiş CAN) olmak üzere 2 tane standart tanımlanmıştır. Bunlar arasındaki temel fark mesaj uzunluklarından kaynaklanmaktadır. Şekil 3.20'de görülen standart CAN mesajı çerçevesi ile $2^{11} = 2048$ mesaj tanımlanırken, Şekil 3.21'deki genişletilmiş CAN mesajı çerçevesi ile $2^{29} = 536.870.912$ mesaj tanımlanabilir. Tanımlayıcı kimlik (ID) alanındaki sayılar dikkate alınarak mesaj önceliği belirlenir. Mesaj ID'si, RTR (the single remote transmission) bitini de kapsar. Gönderilecek veri eğer 1 ise istek çerçevesi (Remote Frame), 0 ise veri çerçevesi (Data

Frame) oluşur. Bir ünite kendisinde bulunan veriyi iletmek için veri çerçevesi oluşturur. Bazen üniteler başka ünitelerden gelecek bilgiye ihtiyaç duyarlar. Karşı taraftan bilgi istemek için de istek çerçevesi kullanırlar. İstek çerçevesi yollayan bir ünitenin veri alanı (Data Field) yoktur. Çünkü veri istediği için veri alanı oluşmaz sadece istenen veriye ilişkin bilgi mesaj ID'sı oluşur. Kontrol alanı 6 bitten oluşur. İlk biti sayesinde hangi CAN standardı kullanıldığı belirlenir. Ayrıca veri alanının kaç byte'tan oluştuğunu belirten bitlere de sahiptir. CAN-BUS'ta bir defada 8 byte'lık veri yollanabilir. Veri alanı uzunluğu 8 byte'dan daha az olabilir. Kontrol alanında veri alanı uzunluğu belirtilir [30].



Şekil 3. 20 Standart CAN mesajı [30]



Şekil 3. 21 Genişletilmiş CAN mesajı [30]

3.2.1 CAN-BUS Sisteminin Özellikleri

- Mesaj önceliği
- Kayıp zaman güvenliği
- Yapılandırma esnekliği
- Eş zamanlı çoklu kabul (Aynı veri birçok ünite tarafından alınabilir.)
- Sistemdeki veri yoğunluğunu kaldırabilme
- Çok başlı çalışabilme
- Hata tespiti ve hataya ilişkin sinyalleri üretebilme
- Mesaj iletiminde hata oluşması durumunda iletim hattının tekrar müsait olduğu anda mesajı otomatik tekrar yollama
- Ünitelerde oluşan geçici ve kalıcı hataları ayırt edebilme ve özerk olarak kalıcı hatalı üniteleri kapatabilme

3.2.2 CAN-BUS Protokolünün Avantajları

Kablolama kolaylığı ve bu sayede daha düşük maliyetle kurulum, hata tespiti nin güvenilirliği, sisteme yeni ünitelerin kolayca eklenmesi ve yüksek hızda veri gönderiminin mümkün olması CAN-BUS'ın önemli avantajları arasındadır.

3.2.3 CAN-BUS Protokolü Kullanım Alanları

CAN protokolünün kullanım alanları yüksek hızlı ağlardan düşük maliyetli çoklu kablolamalı sistemlerine kadar çok geniş bir yelpazeye sahiptir. CAN-BUS, azami 1 Mbit/s'lik bir hızda veri iletişimi sağlamasından dolayı otomobil elektroniği, akıllı motor kontrolü, robot kontrolü, akıllı algılayıcılar, asansörler, makine kontrol birimleri, kaymayı engelleyici sistemler, trafik sinyalizasyon sistemleri, akıllı binalar ve laboratuvar otomasyonu gibi uygulama alanlarında sıklıkla tercih edilir.

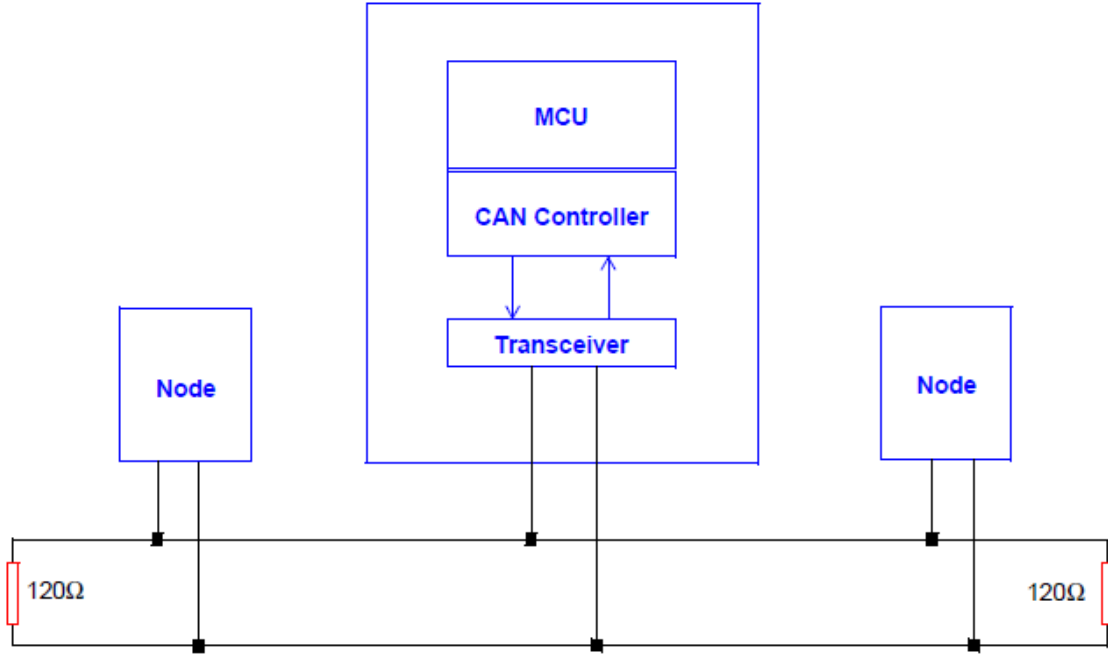
3.2.4 CAN-BUS ile Devreler Arası İletişim

Önceki bölümlerde CAN-BUS protokolü tanıtılmış ve avantajlarına değinilmiştir. Bu tezde algılayıcı kartları arası iletişim için CAN-BUS tercih edilmiştir. Sistem üzerindeki her bir algılayıcı kart kendine özgü bir düğüm adresine sahiptir. Adres atama işlemi kullanıcı arayüzü vasıtasıyla gerçekleştirilir. Kullanıcı arayüzünde CAN-BUS protokolü üzerinden her bir algılayıcı kartına ait parametreler ayrı ayrı değiştirilebilmektedir. Sistemde kartlar arası CAN-BUS haberleşme hızı 250 Kbit/s olarak ayarlanmıştır. CAN mesajları 29 bitlik ID içermektedir.

Demiryolu taşıtına ait bileşenleri ölçmek için çeşitli noktalara yerleştirilmiş algılayıcılar ölçüm değerlerini CAN-BUS üzerinden bilgisayar terminaline aktarırlar. Çizelge 3.6'da bu amaçla kullanılan komut çerçevesi gösterilmiştir. Kızılötesi algılayıcı kartının CAN-BUS bağlantısı ise Şekil 3.22'de gösterilmiştir.

Çizelge 3. 6 Komut çerçevesi

Çerçeve başlangıç işareti	Düğüm numarası	Komut	Veri	Çerçeve bitiş işareti
---------------------------	----------------	-------	------	-----------------------

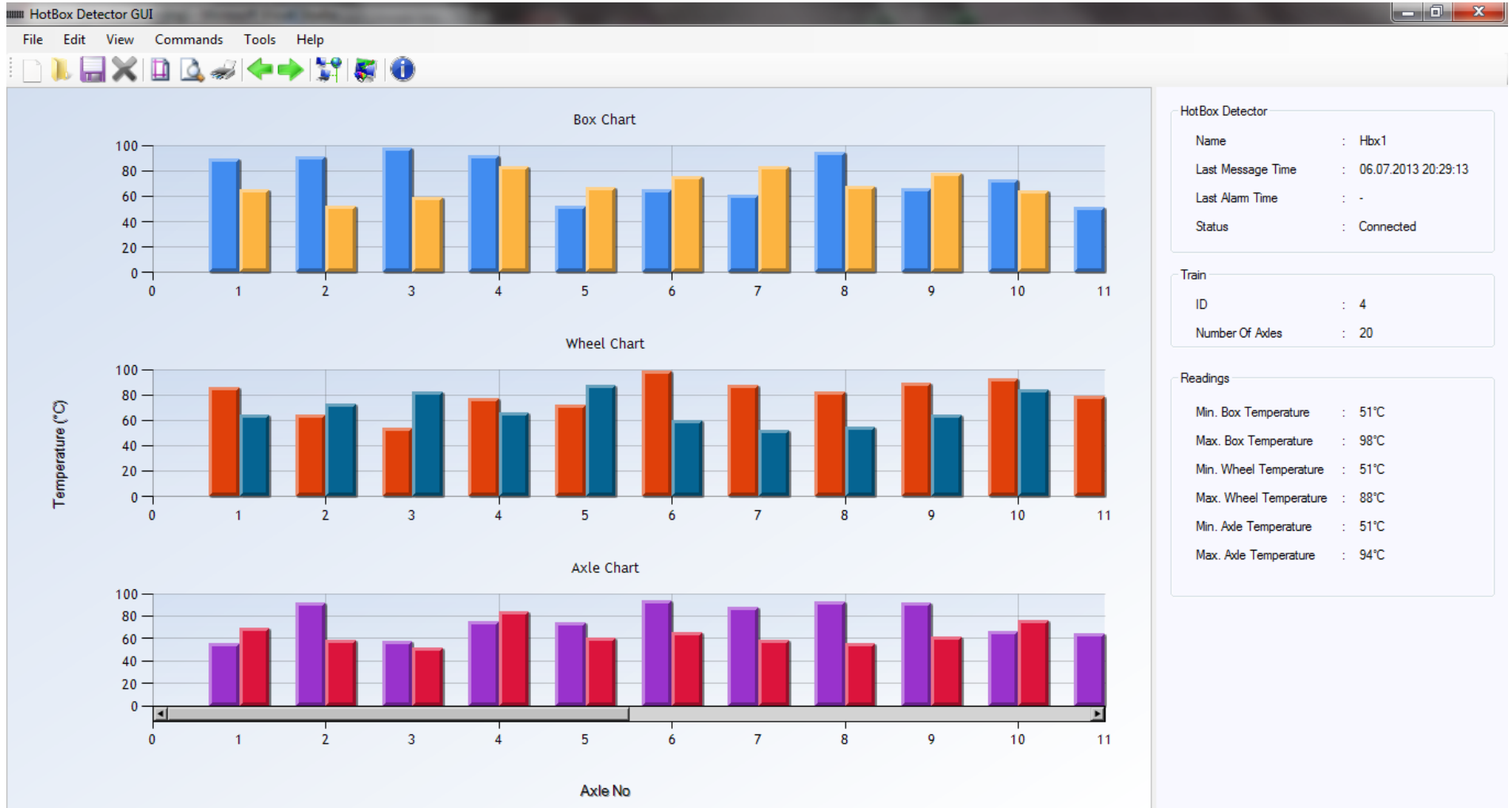


Şekil 3. 22 Kızılötesi algılayıcı kartlarının CAN-BUS bağlantısı [31]

3.3 Terminal Programı

Algılayıcıdan elde edilen verileri kullanıcıya sunmak, olası bir problem durumunda kullanıcıyı uyarmak ve bu verileri sistemli bir şekilde saklamak için bir kullanıcı arayüzüne ihtiyaç duyulur. Bu işlevleri yerine getirecek bir terminal yazılımı tasarlanmıştır. Şekil 3.23’de bu yazılımın ana ekranı görülmektedir. Kullanıcı bu arayüz üzerinden algılayıcının parametrelerini değiştirebilir ve kurulumunu yapar. Sıcak kutu algılayıcısından gelen bilgiler neticesinde her ölçümden sonra ekran yenilenmektedir.

Terminal yazılımı Microsoft Visual Studio ortamında C# programlama dili ile gerçekleştirilmiştir. C# dili, C\C++ dillerinden türemiştir ve .NET platformu çatısı altında yer alan modern ve tamamıyla nesne yönelimli bir dildir. Bu sayede ileride program üzerinde yapılacak değişiklikler kolaylıkla gerçekleştirilebilir.



Şekil 3. 23 Terminal yazılımının kullanıcı arayüzü

3.3.1 Yazılımın Komut Çubuğu ve Bilgi Ekranları

Yazılımın bilgi ekranları, Şekil 3.24’de görüldüğü gibi sıcak kutu algılayıcı bilgisi, demiryolu taşıtı bilgisi ve sıcaklık ölçüm bilgisinden oluşur. Arayüzü tek tek açıklayacak olursak menü çubuğu aç, kaydet, sil, büyüteç, ileri-geri, bağlantıyı aç-kapa ve bilgi gibi komutlar listesini içerir. Sıcak kutu algılayıcısı bilgisi alanında bağlantı kurulan sıcak kutu algılayıcısının kimlik bilgisine, en son mesaj gönderme zamanına ve en son alarm zamanına erişilir. Demiryolu taşıtı bilgisi alanında en son ölçüm yapılan demiryolu taşıtının numarası ve taşıtın aks sayısı yer alır. Sıcaklık ölçüm bilgi alanında ise ölçüme ait istatistiksel bilgiler gösterilir. Bu bilgiler ölçümün gerçekleştirildiği çeşitli noktalara ait azami ve asgari sıcaklık değerlerini içerir. Bilgi alanları her yeni demiryolu taşıtının geçişinin ardından otomatik olarak yenilenir. Bu sayede algılayıcı durumu, taşıt durumu ve ölçüm sonuçları sürekli takip edilebilir.

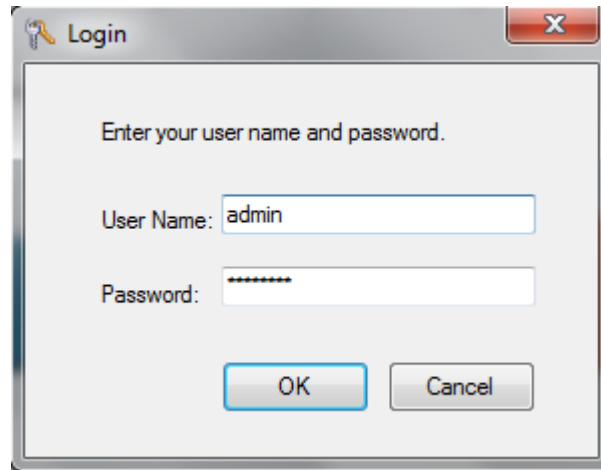


Şekil 3. 24 Yazılımın komut çubuğu ve bilgi ekranları

3.3.2 Yazılımın Özellikleri

3.3.2.1 Kullanıcı Yetkileri

Sıcak kutu algılayıcıları insan hayatını ilgilendirdiği için kullanım yetkisi önemli bir kavramdır. Arayüzün kullanıcı seviyesi özelliği sayesinde sistem kullanımına sınırlamalar getirilmiştir. Şekil 3.25'deki gibi sisteme giriş yapanın kimliğine göre yetki seviyeleri değişmektedir. Buradaki amaç sistemin yetkisiz kişilerce kullanılmasını, verilerin silinmesini ya da yanlış ayarlar yapılmasını önlemektir. Ayrıca kimlik bilgisiyle giriş sayesinde en son kimin giriş yaptığı, tehlike anında alarm bilgisine kimin ulaştığı ve sistem sorumluluğunun kime ait olduğu belirlenebilir.

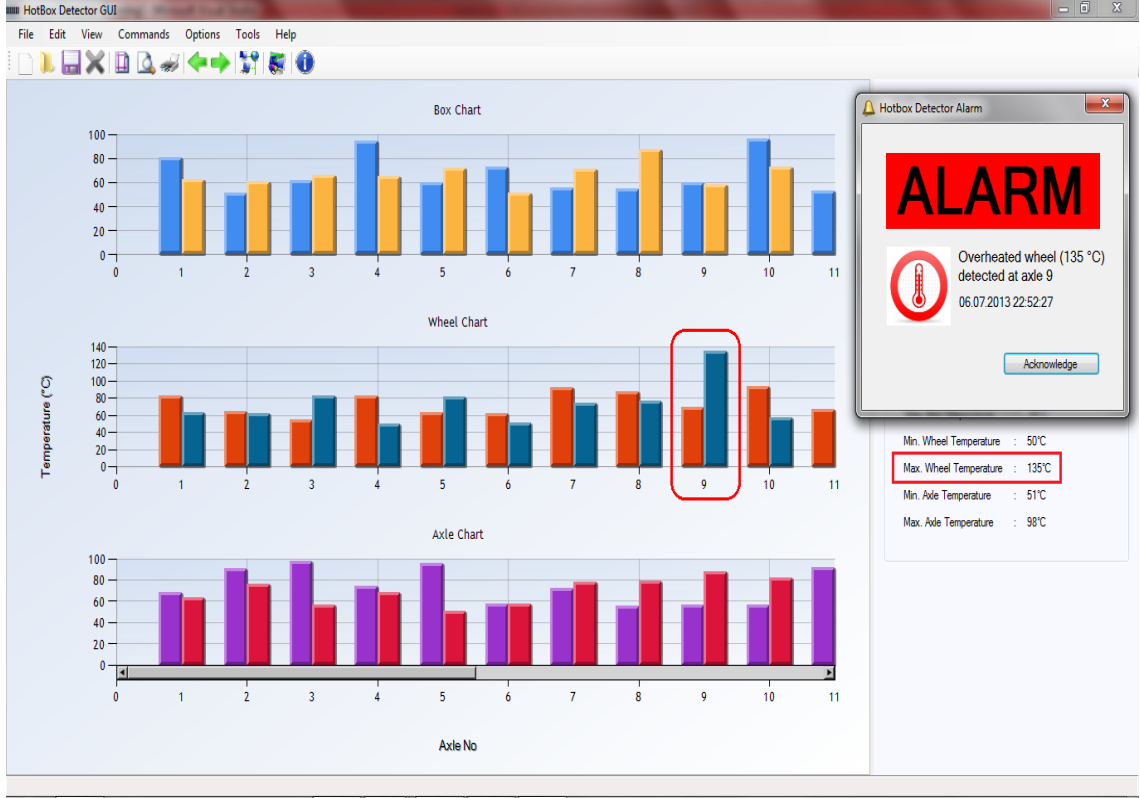


Şekil 3. 25 Kullanıcı giriş formu

3.3.2.2 Alarm Modülü

Demiryoluna yerleştirilen sıcak kutu algılayıcısından gelen veriye göre sistem tarafından tolerans dışı sıcaklık tespit edilmesi durumunda sesli ve görsel alarm verilerek kullanıcıyı uyarılır. Bilgiyi alan kullanıcı yetkili birimleri haberdar eder. Böylece olası bir kazanın önüne geçilmiş olunur.

Şekil 3.26'da görülen uyarı mesajından en son ne zaman ölçüm alındığı, ölçülen sıcaklığın ne kadar yüksek olduğu ve bu ölçümün demiryolu taşıtının hangi bileşenine ait olduğu anlaşılır. Bu bilgilere göre yetkililer kısa bir sürede arızanın nerede oluştuğunu anlayıp ona göre gerekli tedbirleri alabilirler.



Şekil 3. 26 Kullanıcı arayüzünde uyarı mesajı

3.3.2.3 Veri Tabanı

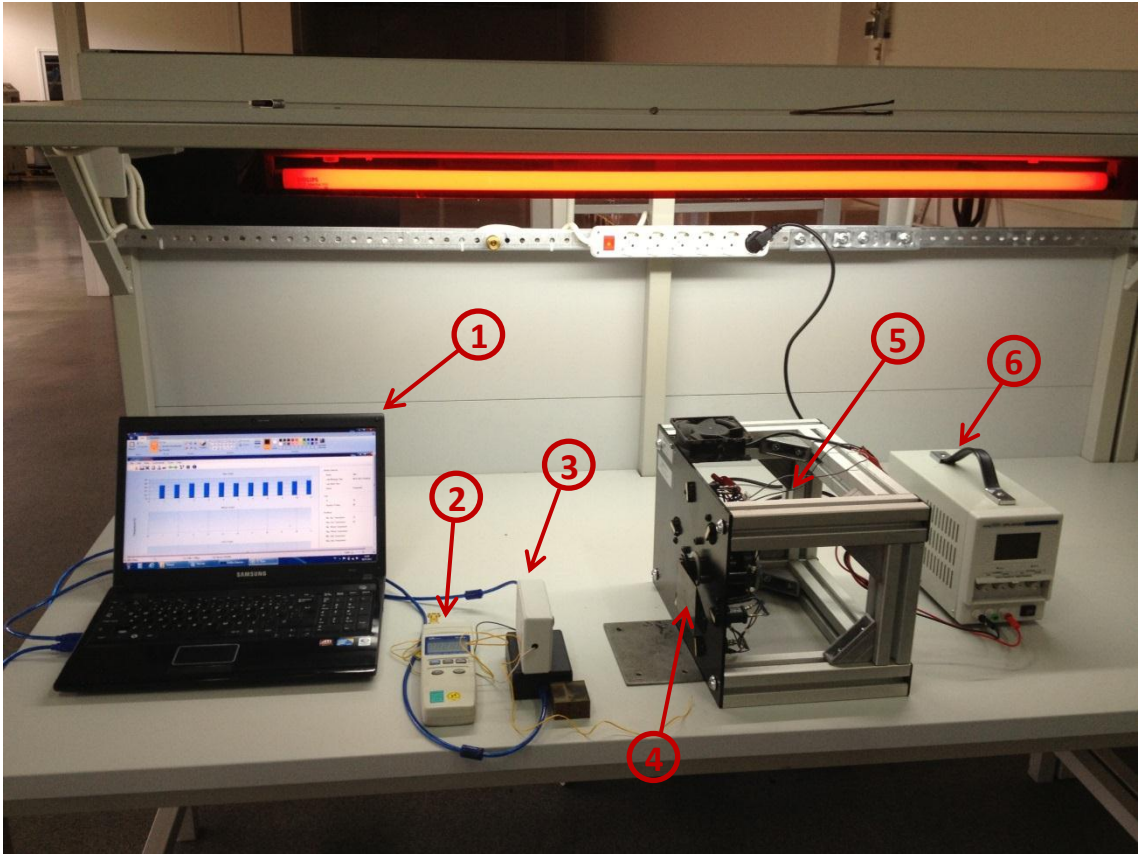
Veri tabanı sıcak kutu algılayıcılarında yaygın kullanılan bir özelliktir. Şekil 3.27'de ölçümlerin saklandığı dosyanın içeriği görülmektedir. Veri tabanında ölçülen sıcaklık değerleri, demiryolu taşıtının kimlik bilgisi ve ölçümün ne zaman alındığı bilgisiyle beraber saklanır. Bu bilgilere göre demiryolu bileşenlerinin yüksek sıcaklıklara maruz kalıp kalmadığı görülebilir. Böylece taşıtların bakım süreleri belirlenebilir. Ayrıca demiryolu taşıtının belirli bir parçasına ait sıcaklık değerleri zaman çizelgesinde izlenerek o parçaya ait muhtemel bir sorunun önüne geçilebilir. Bu sayede sorun büyümeden tamir olanağı sağlanabilir ya da ömürlerini tamamlayan parçalar değiştirilebilir.

```
<?xml version="1.0"?>
<!-->
<logmgr>
  <logdata axId="0" mTime="07.07.2013 18:50:14">
    <sensorValue xmlns="92" />
    <sensorValue xmlns="76" />
    <sensorValue xmlns="60" />
    <sensorValue xmlns="79" />
    <sensorValue xmlns="60" />
    <sensorValue xmlns="78" />
  </logdata>
  <logdata axId="1" mTime="07.07.2013 18:50:14">
    <sensorValue xmlns="78" />
    <sensorValue xmlns="87" />
    <sensorValue xmlns="93" />
    <sensorValue xmlns="54" />
    <sensorValue xmlns="57" />
    <sensorValue xmlns="51" />
  </logdata>
  <logdata axId="2" mTime="07.07.2013 18:50:14">
    <sensorValue xmlns="69" />
    <sensorValue xmlns="56" />
    <sensorValue xmlns="87" />
    <sensorValue xmlns="75" />
    <sensorValue xmlns="90" />
    <sensorValue xmlns="70" />
  </logdata>
</logmgr>
```

Şekil 3. 27 Ölçüm sonuçlarının kayıt dosyasının içeriği

DENEYSEL SONUÇLAR VE DOĞRULAMA

Tasarlanan sıcak kutu algılayıcısının doğruluğu, ölçüm alıp almadığını belirleme açısından önemli bir husustur. Yapılan çalışmanın doğruluğunu belirlemek için birtakım testler gerçekleştirilmiştir. Testler sabit izotermal şartlar altında Şekil 4.1’de kurulan test düzeneğinde yapılmıştır.

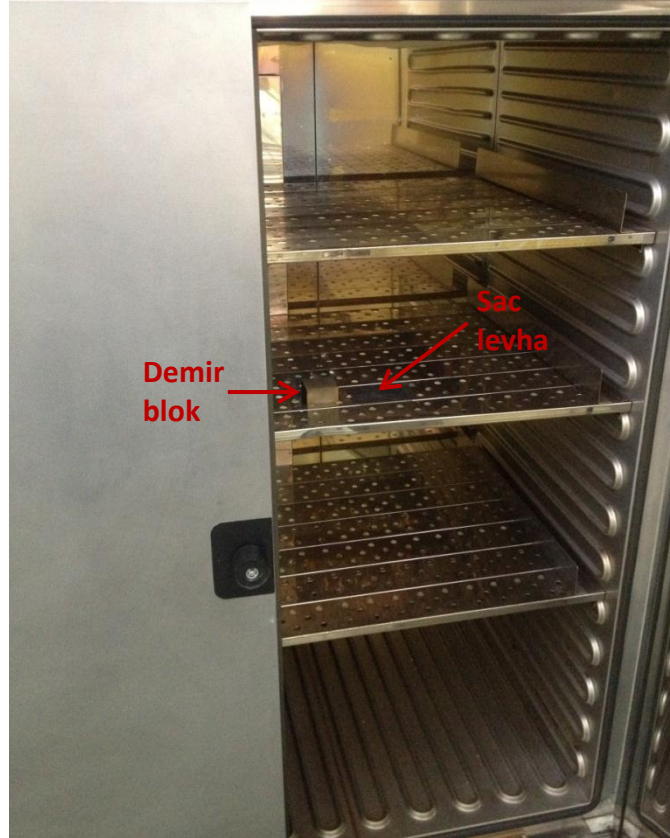


Şekil 4. 1 Test sistemi düzeneği

Test düzeneğindeki dönen kısım sayesinde sistemin hareket halinde ölçümü yapılabilmektedir. Test düzeneğinde yer alan araçlar aşağıda sırayla verilmiştir.

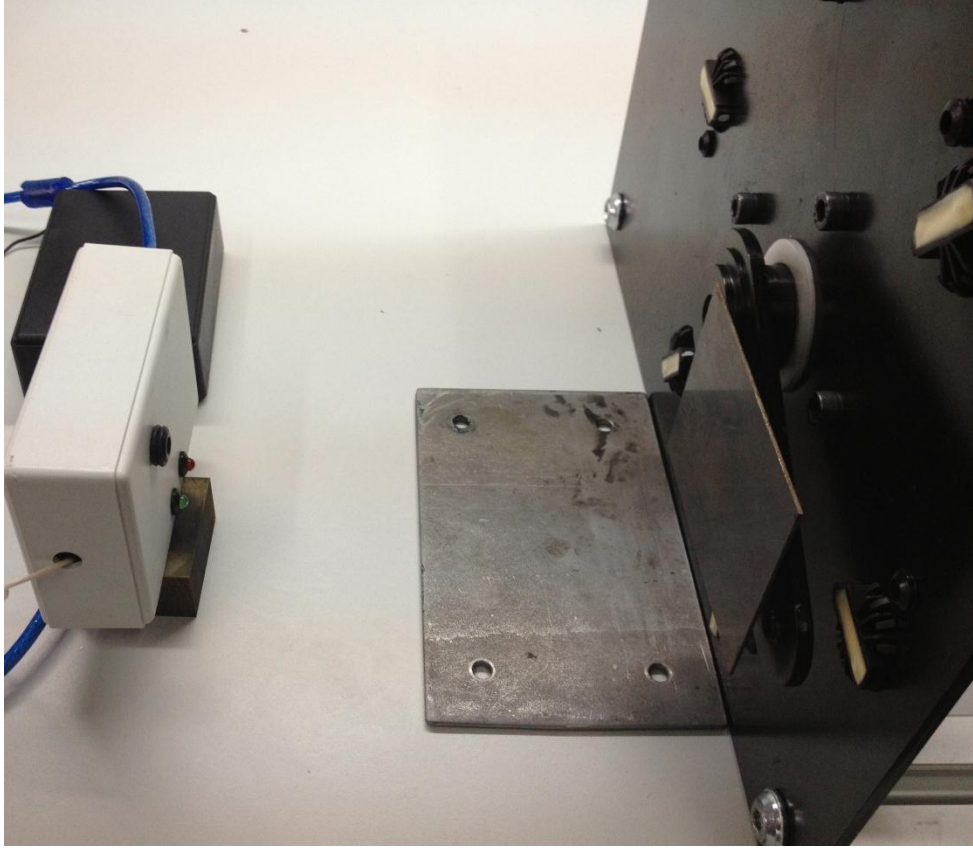
1. Alınan ölçümlerin görülebileceği, terminal yazılımının bulunduğu bilgisayar
2. Sıcaklık ölçümlerini karşılaştırma olanağı sağlayan ölçülülenmiş termometre
3. Sıcak kutu algılayıcısı
4. Fırında ısıtılarak sıcaklığı ölçülen cisim
5. Isıtılan cismi döndüren test aparatı
6. Sisteme enerji veren güç kaynağı

Sıcak kutu algılayıcılarının demiryolu hattına yerleşimi, ölçümü alınacak demiryolu bileşenine göre ayarlanmaktadır. Demiryollarında en fazla ısınma problemi ile karşılaşılan elemanlar, demiryolu taşıtının balataları, dişli kutuları, aks kutuları, ve fren kutularıdır. Bu elemanların ölçüm alınacak yüzeylerinin sıcak kutu algılayıcısından uzaklığı 200 mm ile 400 mm arasında değişmektedir. Kurulan test düzeneğinde bu mesafe referans alınarak sıcak kutu algılayıcısı düzeneğe yerleştirilmiştir. Sıcaklık ölçümü yapılacak olan sac levha Şekil 4.2'de gösterilen fırında istenilen sıcaklığa kadar bekletilmiştir.



Şekil 4. 2 Denede kullanılan cisimleri ısıtmada kullanılan fırın

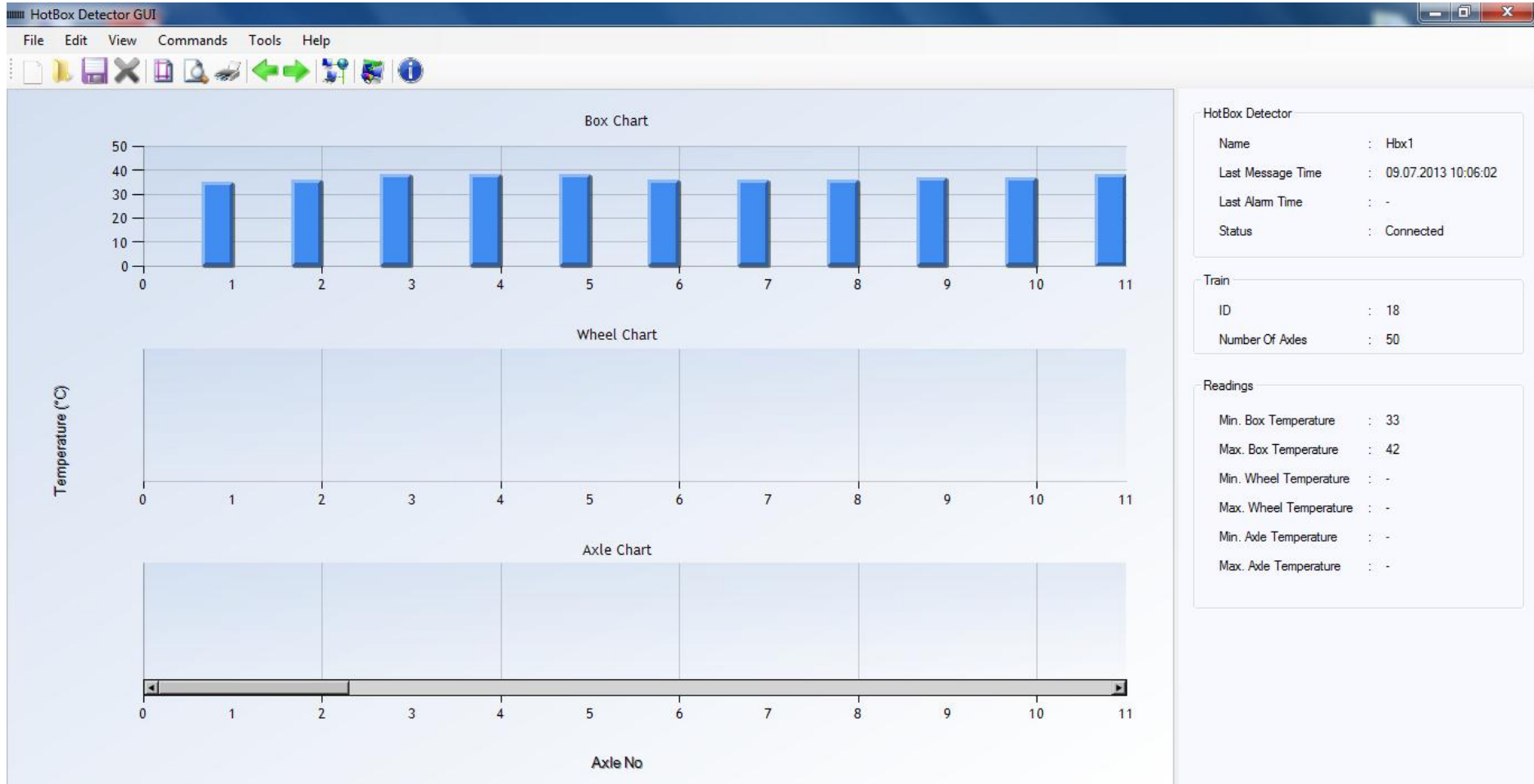
Bu işlemden sonra ısıtılan levha mıknatıslar yardımıyla sıcak kutu algılayıcısının hemen karşısında yer alan test aparatının dönen bileşenine Şekil 4.3'teki gibi tutturulmuştur. Test aparatının dönen bileşeni levhanın hareket halindeki sıcaklığının ölçülmesini olanaklı hale getirmiştir.



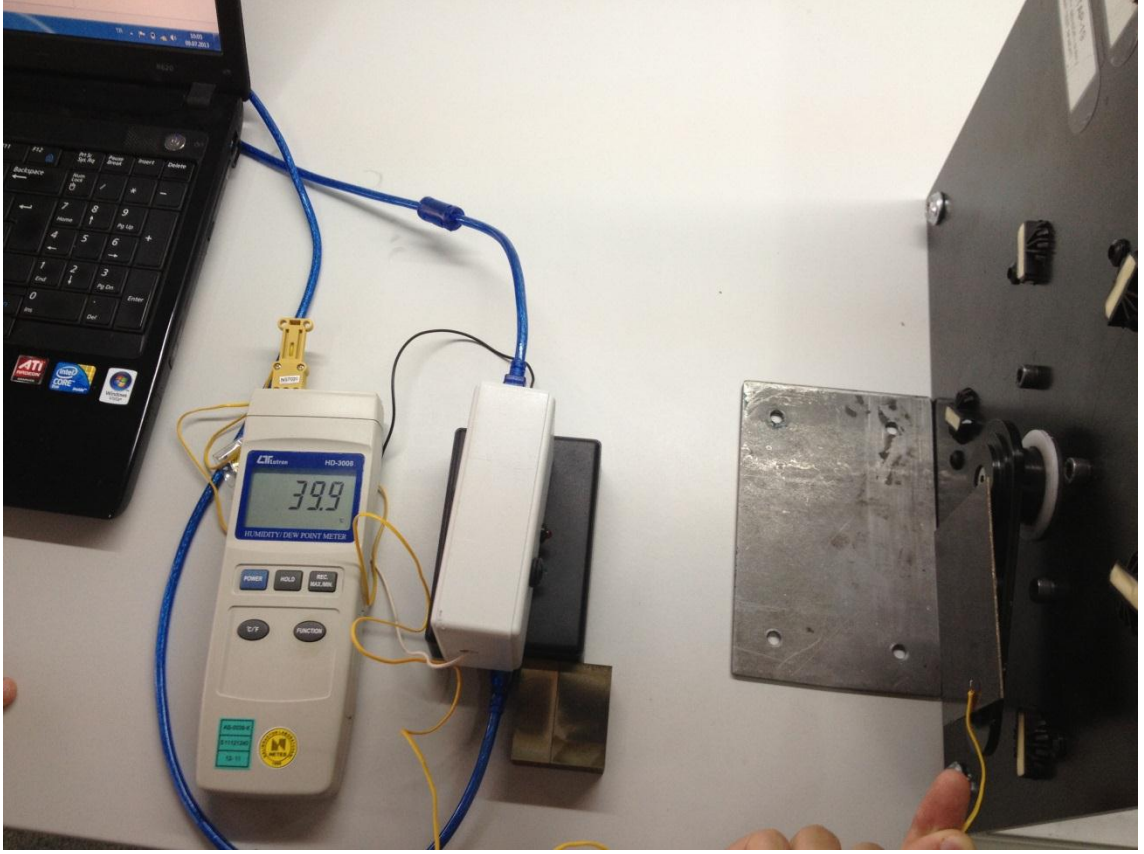
Şekil 4. 3 Sıcak kutu algılayıcısı ile levhanın sıcaklık ölçümü

Ölçüm sonuçlarının doğru olabilmesi için sıcak kutu algılayıcısının yalnızca ölçülecek cismin yüzeyinden gelen termal ışımayı algılaması gerekir. Bunun için cisim, algılayıcının tam karşısından geçerken ölçüm başlatılmalıdır. Ölçümün başlatılması tetikleme anahtarı vasıtasıyla gerçekleştirilir. Algılayıcı sistem için tetikleme sinyali test aparatından gelmektedir. Sıcak kutu algılayıcısının anahtarlanması test aparatında yer alan reed anahtarlama elmanı (mıknatıs ile anahtarlama yapan sistem) sayesinde gerçekleştirilmektedir. Üzerinde mıknatıs bulunan dönen çubuk, reed anahtarının üzerinden geçerek cisim algılayıcının tam karşısında iken tetikleme sinyalini üretir. Sıcak kutu algılayıcısından okunan ölçüm sonuçları Şekil 4.4'de gösterilen terminal arayüzünde kullanıcılara sunulmuştur. Ölçüm sonuçlarını doğrulamak için Şekil 4.5'de görüldüğü gibi aynı levhanın termometre ile sıcaklığı belirlenmiş ve sıcak kutu

algılayıcısının ölçüm sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Tüm ölçümler oda sıcaklığında yapılmıştır. Ölçüm sonuçlarından da açıkça anlaşılacağı üzere ölçümler tetikleme sinyali sayesinde tam zamanında yapılmıştır. Okunan sıcaklık değerleri yalnızca cisme ait sıcaklığı göstermektedir. Bu da algılayıcının hem doğru ölçtüğünü hem de yeterince hızlı olduğunu göstermektedir. Art arda alınan ölçümler arasındaki birkaç derecelik sıcaklık farkı ortamdaki termal ışımadan ve kızılötesi algılayıcının yüksek hızda çalıştırılarak, ortamdaki gürültüyü etkin şekilde bastıramamasından kaynaklanmaktadır.



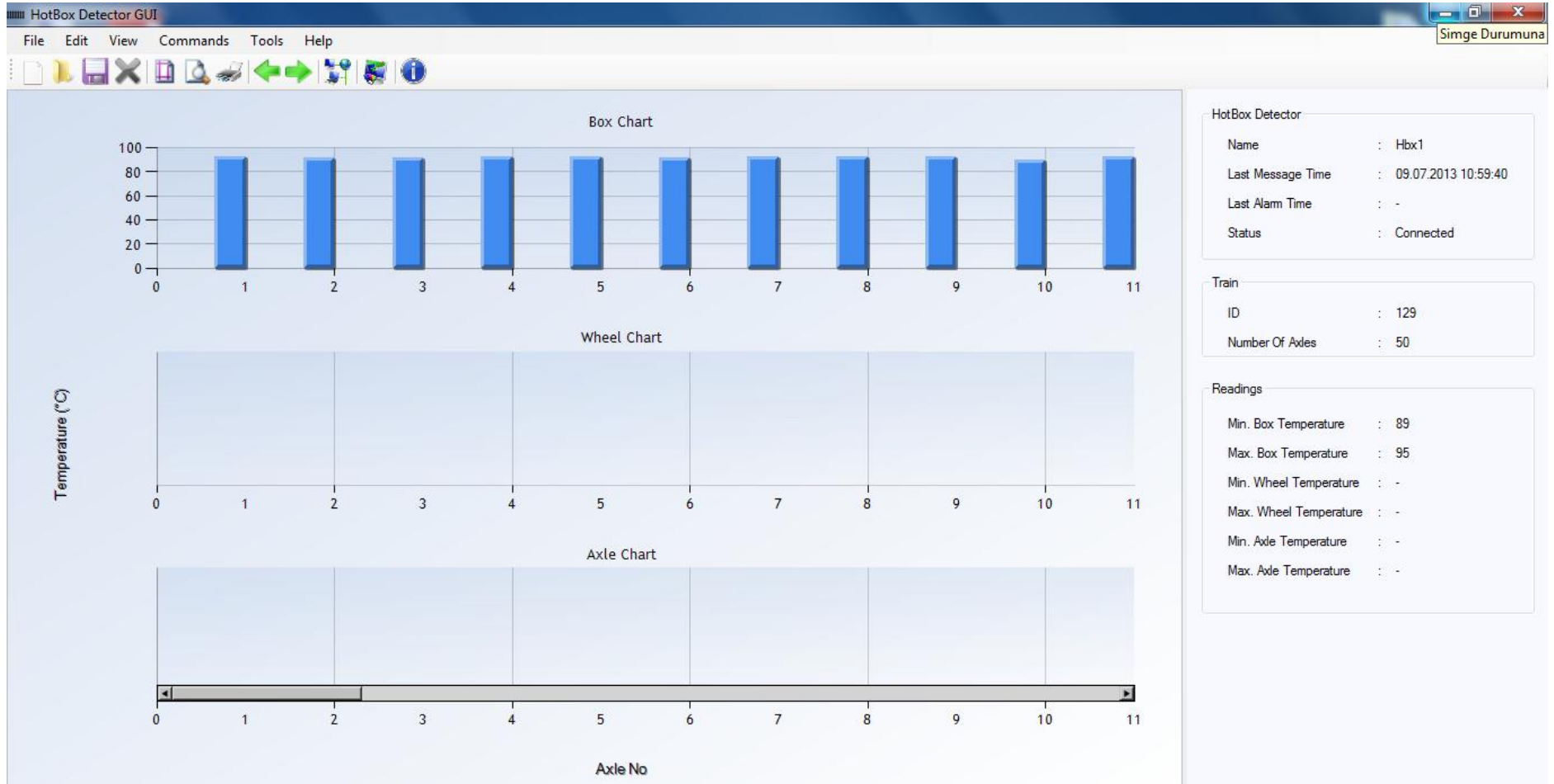
Şekil 4. 4 Sıcak kutu algılayıcısından okunan verilerin ekranda gösterimi



Şekil 4. 5 Isıtılan levhanın termometre ile sıcaklığının belirlenmesi



Şekil 4. 6 Levhanın termometrede ölçülen değeri

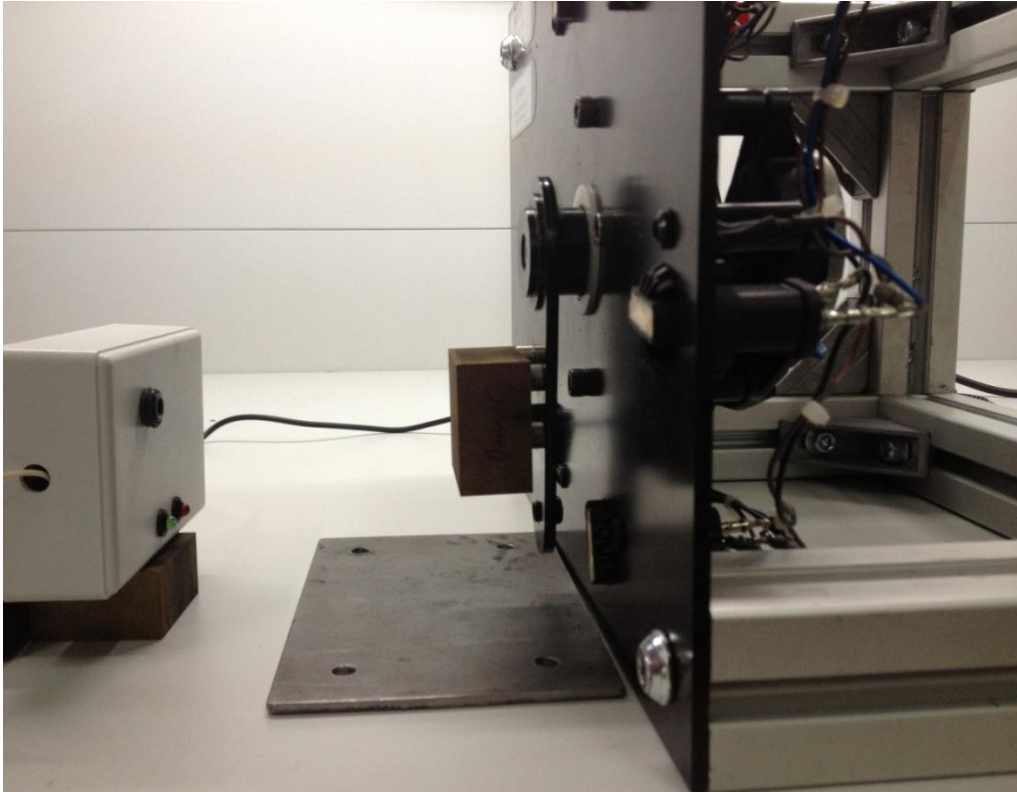


Şekil 4. 7 Daha yüksek sıcaklıkta ısıtılmış demir bloğun ölçüm değerleri

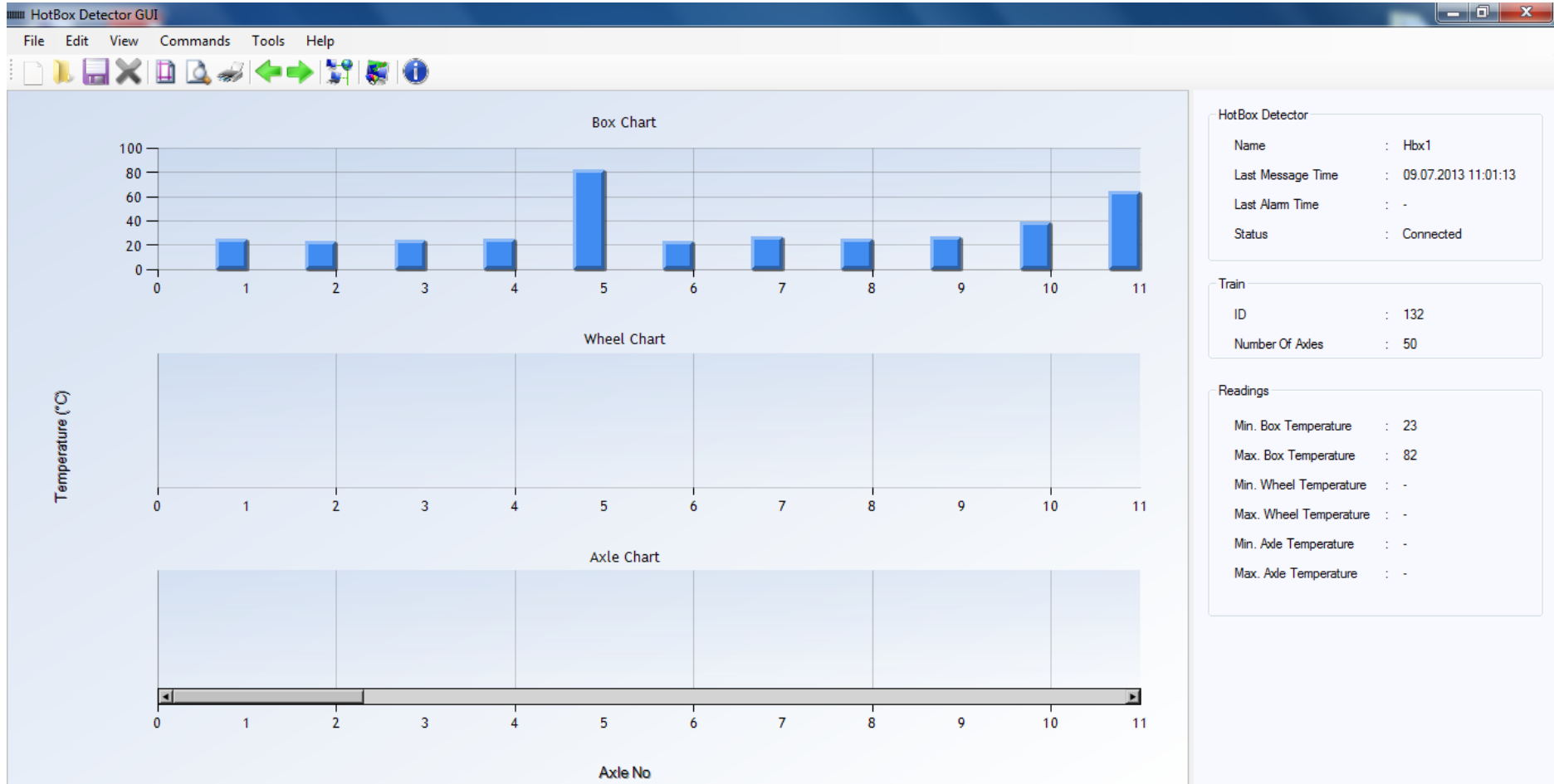
Farklı bir cisim yüksek sıcaklıklarda ısıtılarak yapılan testler tekrarlanmıştır. Demir bir bloğun sıcaklığı termometre ile Şekil 4.6'da görüldüğü gibi 92.5°C olarak ölçülmüştür. Sıcak kutu algılayıcısı ile okunan değerler ise Şekil 4.7'de görülmektedir. Bu değerlere göre sıcaklık arttıkça en düşük ve en yüksek sıcaklık arasındaki fark azalmıştır. Bunun sebebi kızılötesi algılayıcının yüksek sıcaklıklara daha iyi tepki vermesidir.

Şekil 4.8'de görülen farklı bir ölçüm sistemi oluşturulmuş ve paslı blok kullanılarak test tekrardan yapılmıştır. Bu sefer tetikleme işareti için test aparatı üzerindeki reed anahtarı yerine sistemden bağımsız 100 ms periyotla kare dalga üreten bir kaynak kullanılmıştır.

Ölçüm sonuçları Şekil 4.9'da verilmiştir. Beklendiği gibi ölçüm değerlerinin büyük bölümü yalnızca oda sıcaklığını göstermektedir. Ölçüm yapılan cismin sıcaklığı ortada görülen değere eşittir. Bu değer için cisim algılayıcının tam karşındayken ölçümün başlatıldığı söylenebilir. En sağda görülen, nispeten yüksek değerler, cismin bir kısmının ölçüm esnasında algılayıcının görüş alanı içerisinde olduğunu ortaya koymaktadır. Cismin sıcaklığı termometre ile 82.5°C olarak ölçülerek sistemin doğru ölçüm yaptığı görülmüştür.



Şekil 4. 8 Paslı demir bloğun sıcaklık ölçümü



Şekil 4. 9 Paslı bloğun ölçüm sonuçları

SONUÇ VE ÖNERİLER

Atların yerini buharlı lokomotiflerin almasından yalnızca iki ay geçer geçmez Kasım 1833 tarihinde New Jersey Hightstown'da bir tren kazası gerçekleşir. Tren hızının saatte otuz beş mil olduğu bu kazada yirmi dört kişi yaralanmış iki kişi ise hayatını kaybetmiştir. Kaza, yatakların yağlanması işlemi için durulmasına ve bakımların yapılmış olmasına rağmen gerçekleşmiştir. Aks yataklarından biri aşırı ısınmış ve giderek yükselen sıcaklık yangın çıkmasına, ardından aksın kırılıp trenin raydan çıkmasına neden olmuştur. Tarihte bilinen ilk tren kazası olan bu kazanın temel nedeni olan sıcak kutu (hot box) olayı demiryollarında birçok defa daha gerek mal gerekse can kayıplarına sebep olmuştur. İlerleyen teknoloji ile beraber sıcak kutu algılayıcıları bu tür kazaların önlenmesinde önemli bir yere sahip olmuş ve her geçen gün önemi daha da artmaktadır. Bundan dolayı bu çalışmada yükselen sıcaklığı önceden tespit etmek, olası kazaların önüne geçmek, taşıt bakım periyotlarını belirlemek ve bunları yaparken de trafik akışının kesintiye uğramadan devam etmesini sağlamak için sıcak kutu algılayıcısı tasarlanmıştır. Bu sistem sayesinde zamandan ve maliyetten kazanç sağlanmıştır.

Sıcak kutu algılayıcısını tasarlamadan önce demir yollarındaki kazalar araştırılmış ve kazaya sebep olan unsurlar saptanmıştır. Şekil 5.1 ve Şekil 5.2'de aşırı ısınmadan dolayı hasarlanan demiryolu bileşenleri görülmektedir. Bu ve bunun gibi durumlar için çözümler üretilmiştir. Belirlenen bu çözümler temel alınarak sistem tasarımına geçilmiştir.



Şekil 5. 1 Yüksek sıcaklığa maruz kalarak aşınan demiryolu taşıt tekeri [32]



Şekil 5. 2 Yüksek sıcaklıktan dolayı hasarlanan bir rulman [32]

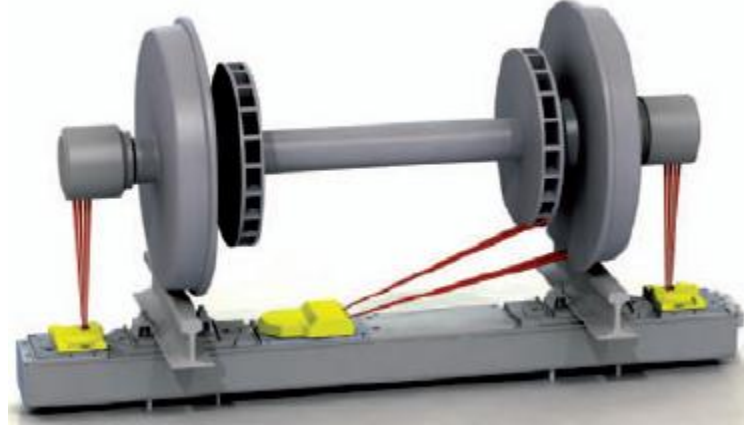
Sıcaklığı algılayacak yöntemi belirleme sistem tasarımının başında geldiği için öncelikle sistemde kullanılacak algılayıcı araştırılmıştır. Demiryolu taşıtının bileşenleri taşıt hareket halindeyken ölçüleceği için seçilecek algılayıcının hızı önemlidir. Tasarlanan sistem 20 km/sa hıza kadar doğru ölçüm yapabilmektedir. Daha yüksek hızlarda doğru ölçüm yapabilmek için yüksek maliyetli algılayıcılar kullanılmalıdır.

Tasarlanan algılayıcı kartına birden fazla algılayıcı bağlanabilir. Tek kartta birden fazla algılayıcı olması ölçeklenebilirliği sağlamaktadır. Ölçeklenebilirlik sistem maliyetinin ihtiyaca göre ayarlanmasını sağlar. Aynı zamanda ölçüm değerlerinin doğruluğunu artırmaktadır. Böylece sisteme duyulan güvenilirlik de artmış olur.

Sıcak kutu algılayıcısının ölçüm hızını etkileyen bir diğer önemli parametre algılayıcı devreleri arasındaki haberleşme hızıdır. Kızılötesi algılayıcı kartları arasındaki haberleşme için CAN-BUS protokolü kullanılmıştır. Sıcak kutu algılayıcısı tasarımları için CAN-BUS protokolü ilk defa bu çalışmada yer almaktadır.

Kısacası bu çalışmada demiryolu taşıtlarında ısınan bileşenleri kızılötesi ölçüm yaparak tespit edebilen sıcak kutu algılayıcısının tasarım süreçlerine yer verilmiştir. Bu sistem için altyapının oluşturulması, uygun algılama yönteminin seçilmesi, kullanılacak elektronik elemanların belirlenmesi, haberleşme sistemi, kullanıcı arayüzü ve ölçüm sonuçlarının doğrulanması gibi sistem tasarımını etkileyen tüm özellikler detaylı bir şekilde anlatılmıştır.

Bu çalışmanın devamında mikrosaniye mertebesinde ölçüm yapabilen kızılötesi algılayıcılar kullanılarak sistemin daha hızlı ölçüm alabilmesi sağlanabilir. Bir demiryolu hattına Şekil 5.3'deki gibi farklı noktalardan ölçüm alan birden fazla sıcak kutu algılayıcısı yerleştirilebilir. Böylelikle ölçüm doğruluğu artırılmış olur ve birçok farklı bileşenin aynı anda sıcaklık ölçümü tek bir arayüzde okunabilir.



Şekil 5. 3 Sıcak kutu algılayıcılarının demiryoluna yerleşimi [38]

KAYNAKLAR

- [1] Barke, D. ve Chiu, W.K., (2005). "Structural Health Monitoring in the Railway Industry: A Review", Structural Health Monitoring Journal, 4(1): 81-93.
- [2] Beebe, R., (1995). Machine Condition Monitoring: How to predict Maintenance Requirements for Rotating and Stationary Plant, Second Edition, MCM Consultants Ltd., Victoria.
- [3] Ytuarte, C., (2002). "Better Fault Detection is on the Way", Railway Age Journal, 203: 21.
- [4] Irani, F., Anderson, G. ve Morgan, R., (2003). "Development and Implementation of Wayside Detection Systems for Vehicle Health Monitoring", 6th World Congress on Railway Research (WCRR), 28 September-1 October 2003, Edinburgh.
- [5] Fec, M.C., ve Moyar, G.J., (1987). "Railroad Journal Bearing Failure and Detection Past, Present and Future", American Society of Mechanical Engineers (ASME) Journal, 1: 3-19.
- [6] Smith, D.L., (1998). "Wayside Inspection Station [Railways]", IEEE/ASME Joint Railroad Conference, 15-16 April 1998, Philadelphia.
- [7] Monash University, (2003). Locomotive Bearing Condition Update Report, Report No: Monash/RT/2003/098, Melbourne.
- [8] Monash University, (2002). Bearing Condition – Progress Report, Report No: Monash/RT/2002/084, Melbourne.
- [9] Monash University, (2003). Locomotive Bearing Condition Update 2, Report No: Monash/RT/2003/100, Melbourne.
- [10] Gupte, S., Masoud, O., Martin, R. ve Papanikolopoulos, N., (2002). "Detection and Classification of Vehicles", IEEE Trans. on Intelligent Transportation Systems, 3: 37-47.
- [11] Bose, A. ve Ioannou, P., (2003). "Analysis of Traffic Flow with Mixed Manual and Semiautomated Vehicles", IEEE Trans. on Intelligent Transportation Systems, 4: 173-188.
- [12] Vikipedi, Kızılötesi, <http://tr.wikipedia.org/wiki/K%C4%B1z%C4%B1l%C3%B6tesi>, 5 Mayıs 2013.

- [13] Vikipedi, Elektromanyetik Tayf, http://tr.wikipedia.org/wiki/Elektromanyetik_tayf, 12 Mayıs 2013.
- [14] Rousseau, E., (1983). "Infrared Sensing in Hot Box Detectors", Proceeding of Society for Photo-Optical Instrumentation Engineers (SPIE), 30 November 1983, Geneva.
- [15] Webster, J.G., (1999). The Measurement, Instrumentation and Sensors Handbook, First Edition, CRC Press, Madison.
- [16] Çalışan, M. ve Türkoğlu, İ., (2011). "Termal Kameralar ve Uygulamaları", Elektrik-Elektronik ve Bilgisayar Sempozyumu, 5-7 Ekim 2011, Elazığ.
- [17] Gruner, K. D., Principles of Non-Contact Temperature Measurement, http://support.fluke.com/raytek-sales/Download/Asset/IR_THEORY_55514_ENG_REVB_LR.PDF, 25 Mayıs 2013.
- [18] Liew, S. C., Electromagnetic Waves: Centre for Remote Imaging, Sensing and Processing, <http://www.crisp.nus.edu.sg/~research/tutorial/rsmain.htm>, 27 October 2006.
- [19] Kempen, L., Katarzin, A., Pizurion, Y., Corneli, C. ve Sahli, H., (1999). "Digital Signal/Image Processing for Mine Detection, Part 2: Ground based Approach", Proceedings of MINE'99 Euro Conference on Sensor Systems and Signal Processing Techniques, 1-3 October 1999, Firenze.
- [20] De Witt, D. P. ve Nutter, G. D., (1988). Theory and Practice of Radiation Thermometry, First Edition, John Wiley&Son, New York.
- [21] Wolfe, W. L. ve Zissis, G. J. (1985). The Infrared Handbook, Revised Edition, General Dynamics, Washington.
- [22] Chrzanowski, K., (2000). "Non-Contact Thermometry, Measurement Errors", The International Journal of SPIE, 7: 1-140.
- [23] Griffiths, P. R., Hart, B. K., Yang, H. ve Berry, R. J., (2000). "Open-Path FT-IR Spectrometry: Is Completely Unattended Operation Feasible", The International Journal of Pure and Analytical Chemistry (TALANTA), 53(1): 223-231.
- [24] Hamamatsu, Characteristics and Use of Infrared Detectors, https://www.hamamatsu.com/resources/pdf/ssd/infrared_techinfo_e.pdf, 28 Mayıs 2013.
- [25] Beşergil, B., Işın Dedektörleri, http://www.bayar.edu.tr/besergil/1_isin_dedektorleri.pdf, 3 Haziran 2013.
- [26] Micrel, MIC5235, <http://www.micrel.com/PDF/mic5235.pdf>, 15 Mayıs 2013.
- [27] Freescale Semiconductor, K10P64M72SF1, http://cache.freescale.com/files/32bit/doc/data_sheet/K10P64M72SF1.pdf, 15 Mayıs 2013.

- [28] Melexis, MLX90620, <http://www.melexis.com/Infrared-Thermometer-Sensors/Infrared-Thermometer-Sensors/MLX90620-776.aspx>, 4 Nisan 2013.
- [29] Samancı, B., Can Protokolü, <http://www.barissamanci.net/Makale/15/can-bus-nedir-can-protokolu-incelemesi/>, 17 Mayıs 2013.
- [30] Corrigan, S., Introduction to the Controller Area Network (CAN), <http://www.ti.com/lit/an/sloa101a/sloa101a.pdf>, 17 Mayıs 2013.
- [31] Richards, P., A Can Physical Layer Discussion, <http://ww1.microchip.com/downloads/en/appnotes/00228a.pdf>, 17 Mayıs 2013.
- [32] Wolf, G.P., (1998). "Derailment Prevention: Early Detection is the Key", Railway Age Journal, 199: 49-51.
- [33] Kalafi, M., Tajalli, H., Akhoundi, M.S. ve Kaziev, F., (2000). "Realization of An Uncooled Photoconductor Based on $Hg_{1-x}Cd_xTe$ Operating in the 2–6 μm Spectral Range", Journal of Infrared Physic & Technology, 41: 293-297.
- [34] Pidgeon, C.R., Ciesla, C.M. ve Murdin, B.N., (1997). "Suppression of Non-Radiative Processes in Semiconductor Mid-Infrared Emitters and Detectors", Journal of Progress in Quantum Electronics, 21: 361-419.
- [35] Pellerin, C., Snively, C. M., Chase, D. B. ve Rabolt, J. F., (2004). "Performance and Application of a New Planar Array Infrared Spectrograph Operating in the Mid-Infrared ($2000-975\text{ cm}^{-1}$) Fingerprint Region", Applied Spectroscopy Journal, 58(6): 639-646.
- [36] Howe, I., Williams, D. ve Bowen, R., (1985). Mass Spectrometry—Principles and Applications, Second Edition, McGraw-Hill Book Co., New York.
- [37] Riedl, M. J., (2001). Optical Design Fundamentals for Infrared Systems, Second Edition, SPIE Press, Washington.
- [38] Eisenbrand, E., Hot Box Detection in European Railway Networks, http://www.sst.ag/fileadmin/redaktion/Dokumente/Publikationen/RTR_Special_2011_EEisenbrand.pdf, 02 Haziran 2013.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Gamze GARİP
Doğum Tarihi ve Yeri : 01.05.1988 Kahramanmaraş
Yabancı Dili : İngilizce
E-posta : gamze.grp@gmail.com

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Alan	Okul/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Lisans	Mekatronik Mühendisliği	Kocaeli Üniversitesi	2011
Lise	Fen Bilimleri	Gebze Anadolu Lisesi	2006

İŞ TECRÜBESİ

Yıl	Firma/Kurum	Görevi
2012-...	Makersan Otomotiv	Ar-Ge Mühendisi