

T.C.
BALIKESİR ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI



**YERALTI MADEN TESİSLERİ İÇİN PLC VE SCADA TABANLI
OTOMASYON SİSTEMİ TASARIMI**

MEHMET EMİN ÜNSAL

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Jüri Üyeleri : Doç. Dr. Erdem İLTEN (Tez Danışmanı)
Prof. Dr. Metin DEMİRTAŞ
Doç. Dr. Serhat Berat EFE

BALIKESİR, MAYIS - 2024

KABUL VE ONAY SAYFASI

Mehmet Emin ÜNSAL tarafından hazırlanan “**YERALTI MADEN TESİSLERİ İÇİN PLC VE SCADA TABANLI OTOMASYON SİSTEMİ TASARIMI**” adlı tez çalışmasının savunma sınavı 24 Mayıs 2024 tarihinde yapılmış olup aşağıda verilen jüri tarafından oy birliği ile Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

İmza

Danışman

Doç. Dr. Erdem İLTEN
Balıkesir Üniversitesi

Üye

Prof. Dr. Metin DEMİRTAŞ
Balıkesir Üniversitesi

Üye

Doç. Dr. Serhat Berat EFE
Bandırma Onyediy Eylül Üniversitesi

Jüri üyeleri tarafından kabul edilmiş olan bu tez Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulunca onanmıştır.

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

Prof. Dr. Dilek TÜRKER

.....

ETİK BEYAN

Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak tarafımda hazırlanan “**Yeraltı Maden Tesisleri için PLC ve SCADA Tabanlı Otomasyon Sistemi Tasarımı**” başlıklı tezde;

- Tüm bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Kullanılan veriler ve sonuçlarda herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Tüm bilgi ve sonuçları bilimsel araştırma ve etik ilkelere uygun şekilde sunduğumu,
- Yararlandığım eserlere atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,

beyan eder, aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ederim.

Mehmet Emin ÜNSAL

Bu tez çalışması Balıkesir Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi tarafından (2022/014) nolu proje ile desteklenmiştir.

ÖZET

**YERALTI MADEN TESİSLERİ İÇİN PLC VE SCADA TABANLI OTOMASYON
SİSTEMİ TASARIMI
YÜKSEK LİSANS TEZİ
MEHMET EMİN ÜNSAL
BALIKESİR ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

(TEZ DANIŞMANI: DOÇ. DR. ERDEM İLTEN)

BALIKESİR, MAYIS - 2024

Bu tez çalışmasında, yeraltı maden tesislerinde iş güvenliğinin ve verimin artırılması, muhtemel kazaların azaltılması amaçlanarak PLC ve SCADA tabanlı zehirli gaz ölçüm sistemi ve erken uyarı mekanizması tasarlanmıştır.

Zehirli gazlar olan karbonmonoksit (CO), metan (CH₄) ve hidrojen sülfür (H₂S) ile sıcaklık, oksijen (O₂) ve toz yoğunluğu değerleri ilgili sensörler vasıtasıyla Arduino MEGA kartının analog girişleri üzerinden okunmaktadır. Sensör verileri ethernet üzerinden PLC-SCADA sistemine gerçek zamanlı olarak aktarılmaktadır. Tasarlanan SCADA ekranı üzerinde tüm sensör değerleri anlık olarak izlenebilmektedir. Ayrıca sistemin alarm durumuna geçip geçmediği ve havalandırma sisteminin çalışıp çalışmadığı da aynı ekran üzerinden kontrol edilebilmektedir.

Yeraltı kömür madeni yönetmeliğine göre maden havasında %19'dan az oksijen, %2'den fazla metan, 50 ppm (%0.005) değerinden fazla karbonmonoksit ve diğer tehlikeli gazların bulunduğu yerlerde çalışma yapılması uygun değildir. 8 saatlik çalışma için izin verilen en yüksek hidrojen sülfür oranı 20 ppm'dir (%0.002). Bu kurallar dikkate alınarak hazırlanan algoritma sayesinde erken uyarı mekanizması oluşturulmuştur.

Tüm sensörler laboratuvar ortamında ayrı ayrı test edilmiş, gerekli kalibrasyon işlemleri tamamlanmıştır. Daha sonra, tasarlanan PLC tabanlı SCADA sisteminin testleri de laboratuvar ortamında gerçekleştirilmiştir. SCADA sistemi ile ortam sıcaklığı, oksijen ve zehirli gazların maden havasındaki yoğunluğu ile ortamdaki toz miktarı gerçek zamanlı olarak başarılı bir şekilde görüntülenmektedir. Erken uyarı mekanizması için yapılan laboratuvar testlerinin de başarılı şekilde sonuçlandığı görülmüştür.

ANAHTAR KELİMELER: PLC, SCADA, Arduino, yeraltı maden ocakları, zehirli gaz ölçümü, erken uyarı sistemi

Bilim Kod / Kodları : 90512/90519/90534

Sayfa Sayısı : 73

ABSTRACT

PLC AND SCADA BASED AUTOMATION SYSTEM DESIGN FOR UNDERGROUND MINE FACILITIES

MSC THESIS

MEHMET EMIN ÜNSAL

**BALIKESİR UNIVERSITY INSTITUTE OF SCIENCE
ELECTRICAL AND ELECTRONICS ENGINEERING**

(SUPERVISOR: ASSOC. PROF. DR. ERDEM ILTEN)

BALIKESİR, MAY - 2024

In this thesis, a PLC and SCADA-based toxic gas measurement system and early warning mechanism are designed with the aim of increasing occupational safety and efficiency in underground mining facilities and reducing possible accidents.

The toxic gases carbon monoxide (CO), methane (CH₄) and hydrogen sulfide (H₂S), as well as temperature, oxygen (O₂) and dust density values are read by analog inputs of the Arduino MEGA board via the relevant sensors. Sensor data is transferred to the PLC-SCADA system in real-time via Ethernet. All sensor values can be monitored instantly on the designed SCADA screen. In addition, it can be checked on the same screen whether the system is in alarm mode or not and whether the ventilation system is working.

According to the underground coal mine regulations, it is not appropriate to work in places where the mine air contains less than 19% oxygen, more than 2% methane, more than 50 ppm (0.005%) carbon monoxide and other hazardous gases. The highest allowable hydrogen sulfide content for 8 hours of operation is 20 ppm (0.002%). Thanks to the algorithm prepared taking these rules into consideration, an early warning mechanism was created.

All sensors have been tested individually in a laboratory environment and the necessary calibration procedures have been completed. Later, the tests of the designed PLC-based SCADA system were carried out in a laboratory environment. With the SCADA system, the ambient temperature, the concentration of oxygen and toxic gases in the mine air, and the amount of dust in the environment are successfully displayed in real-time. Laboratory tests for the early warning mechanism also completed successfully.

KEYWORDS: PLC, SCADA, Arduino, underground mines, toxic gas measurement, early warning system

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET	i
ABSTRACT	ii
İÇİNDEKİLER	iii
ŞEKİL LİSTESİ	v
TABLO LİSTESİ	vi
SEMBOL LİSTESİ	vii
ÖNSÖZ	ix
1. GİRİŞ	1
1.1 Literatür Taraması.....	3
2. MATERYAL VE METOT	12
2.1 PLC Hakkında Genel Bilgi	12
2.1.1 PLC Tanımı	12
2.1.2 PLC Bağlantısı ve Donanım	15
2.1.3 PLC'nin Röle Bağlantılı Kontrol Sistemleri ile Karşılaştırılması.....	17
2.1.4 PLC Parçalarının Yapısı ve Fonksiyonları.....	19
2.1.4.1 Merkezi İşlem Birimi (CPU).....	19
2.1.4.2 Hafıza	20
2.1.4.3 Güç Kaynağı.....	20
2.1.4.4 Giriş/Çıkış Bölümü.....	21
2.1.4.5 PLC Programlama Teknikleri	21
2.2 SCADA Sistemi	22
2.2.1 WinCC ile SCADA Programının Yazılması.....	24
2.3 Arduino	24
2.3.1 Arduino Nedir?.....	24
2.3.2 Arduino UNO.....	25
2.3.3 Arduino NANO.....	26
2.3.4 Arduino MEGA.....	27
2.3.5 Arduino Ethernet Shield.....	28
2.4 Sensörler	29
2.4.1 LM35 Sıcaklık Sensörü.....	30
2.4.1.1 Güç Kaynağı Önerileri	33
2.4.2 Oksijen Sensörü	34
2.4.2.1 MIX8410 Oksijen Sensörünün Özellikleri.....	35
2.4.3 Hidrojen Sülfür Sensörü.....	36
2.4.3.1 Hidrojen Sülfür.....	36
2.4.3.2 Hidrojen Sülfür Gazının İnsan Sağlığına Etkisi.....	37
2.4.3.3 Hidrojen Sülfür Gaz Sensörü (MQ-136).....	38
2.4.3.4 Hidrojen Sülfür Gaz Sensörü Devre Yapısı	38
2.4.4 Metan Sensörü.....	39
2.4.4.1 Metan Gazı	39
2.4.4.2 Metan Gazı Tespiti için Kullanılan Detektörler	40
2.4.4.3 Metan Gaz Sensörü (MQ-4) Özellikleri.....	40
2.4.5 Karbonmonoksit.....	42

2.4.5.1 Karbonmonoksit Gaz Sensörü (MQ-7) Özellikleri	43
2.4.6 GP2Y10 Optik Toz Sensörü.....	45
2.5 Deney Düzenegi.....	47
3. BULGULAR VE TARTIŞMA.....	48
3.1 Sıcaklık Sensörü Testleri	49
3.2 Oksijen Sensörü Testleri	50
3.3 Hidrojen Sülfür Sensörü Testleri	51
3.4 Metan Sensörü Testleri	52
3.5 Karbonmonoksit Sensörü Testleri.....	53
3.6 Toz Sensörü Testleri	53
3.7 SCADA Sisteminin Testleri.....	54
3.7.1 PLC Tabanlı SCADA Sistemi.....	54
3.7.2 Simulink Tabanlı Sensör Ölçüm Sistemi	57
4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	59
5. KAYNAKLAR	61
EKLER	66
EK A: Metan yoğunluğu ölçümünde kullanılan MQ-4 sensörünün Arduino kodları	66
EK B: Sıcaklık ölçümünde kullanılan LM35 sensörünün Arduino kodları	66
EK C: Karbonmonoksit yoğunluğu ölçümünde kullanılan MQ-7 sensörünün Arduino kodları	66
EK D: Hidrojen sülfür yoğunluğu ölçümünde kullanılan MQ-136 sensörünün Arduino kodları	67
EK E: Oksijen yoğunluğu ölçümünde kullanılan MIX8410 sensörünün Arduino kodları .	68
EK F: Ortamdaki toz miktarını ölçmek için kullanılan GP2Y1010AU0F sensörünün Arduino kodları.....	69
EK G: PLC modbus ayarları.....	70
EK H: Arduino modbus kodları.....	71
ÖZGEÇMİŞ	73

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1: Siemens S7-1200 cihazının dış yapısı.	14
Şekil 2.2: PLC'nin basit yapısı.	15
Şekil 2.3: PLC ve ek modülleri.	16
Şekil 2.4: Siemens S7-1200 CPU.	16
Şekil 2.5: Siemens S7-1200 dijital ve analog ek modülü.	17
Şekil 2.6: Siemens S7-1200 haberleşme ek modülü.	17
Şekil 2.7: PLC'nin genel yapısı.	19
Şekil 2.8: Merdiven diyagramı örneği.	22
Şekil 2.9: Fonksiyon blok diyagram örneği.	22
Şekil 2.10: Arduino UNO kartı.	26
Şekil 2.11: Arduino NANO kartı.	27
Şekil 2.12: Arduino MEGA kartı.	28
Şekil 2.13: Arduino Ethernet Shield kartı.	29
Şekil 2.14: LM35 sıcaklık sensör modülü.	30
Şekil 2.15: LM35 giriş-çıkış gerilimleri.	31
Şekil 2.16: Hava hızıyla termal direnç etkisi.	33
Şekil 2.17: Frekans ile gürültü değişimi.	34
Şekil 2.18: MIX8410 oksijen sensör modülü.	35
Şekil 2.19: MIX8410 oksijen sensörü çıkış akımı grafiği.	36
Şekil 2.20: MQ-136 Hidrojen sülfür sensörü.	38
Şekil 2.21: MQ-136 gaz sensörünün temel devresi.	39
Şekil 2.22: MQ-136 gaz konsantrasyonu ile çıkış geriliminin değişimi.	39
Şekil 2.23: MQ-4 gaz sensörü hassasiyet grafiği.	41
Şekil 2.24: MQ-7 gaz sensörü.	44
Şekil 2.25: MQ-7 gaz sensörü hassasiyet grafiği.	45
Şekil 2.26: GP2Y10 optik toz sensörü.	46
Şekil 2.27: GP2Y10 toz sensörünün bağlantı şeması.	46
Şekil 2.28: Deney Düzenegi.	47
Şekil 3.1: Uyarı sistemi akış şeması.	49
Şekil 3.2: LM35 ile sıcaklık ölçümü.	50
Şekil 3.3: Oksijen ölçüm değerleri.	50
Şekil 3.4: Oksijen değerinin değişimi.	51
Şekil 3.5: Hidrojen sülfür değerinin değişimi.	51
Şekil 3.6: Metan ölçüm değerleri.	52
Şekil 3.7: Metan değerinin değişimi.	52
Şekil 3.8: Karbonmonoksit değerinin değişimi.	53
Şekil 3.9: Toz ölçüm değerleri.	54
Şekil 3.10: Toz miktarının değişimi.	54
Şekil 3.11: Tasarlanan SCADA ekranı.	56
Şekil 3.12: Modbus veri okuma bloğu.	56
Şekil 3.13: Modbus veri yazma bloğu.	57
Şekil 3.14: Arduino Mega için Simulink blok şeması.	58
Şekil 3.15: Gerçek zamanlı izleme için Simulink kullanıcı paneli.	58

TABLO LİSTESİ

Sayfa

Tablo 2.1: LM35 sensör bilgileri.....	31
Tablo 2.2: LM35 pin bağlantı tanımlamaları.....	32
Tablo 2.3: LM35 sınır değerleri.....	32
Tablo 2.4: MIX8410 oksijen sensörü teknik bilgileri.....	36
Tablo 2.5: H ₂ S gazının etkileri.	37
Tablo 2.6: MQ-4 sensörünün standart çalışma koşulları.....	41
Tablo 2.7: Karbonmonoksit miktarının insan üzerindeki etkileri.....	43
Tablo 2.8: Kandaki CO düzeyine göre klinik bulgular.....	43
Tablo 2.9: MQ-7 standart çalışma koşulları.	44
Tablo 2.10: MQ-7 çevresel koşullar.	44
Tablo 2.11: GP2Y10 parametre değerleri.....	46
Tablo 2.12: GP2Y10 led giriş terminali çalışma koşulları.	46

SEMBOL LİSTESİ

ABD	: Amerika Birleşik Devletleri
AC	: Alternating Current
ADC	: Analog Dijital Converter
Ag	: Gümüş
AR-GE	: Araştırma-Geliştirme
CH₄	: Metan
CO	: Karbonmonoksit
CO₂	: Karbondioksit
Cu	: Bakır
DC	: Direct Current
DIY	: Do It Yourself
EEPROM	: Electronically Erasable Programmable Read-Only Memory
EPROM	: Erasable Programmable Read Only Memory
FBD	: Function Block Diagrams
FPM	: Feet Per Minute
GND	: Ground
GPRS	: General Packet Radio Service
HMI	: Human Machine Interface
H₂S	: Hidrojen Sülfür
I²C	: Inter-Integrated Circuit
I / O	: Input / Output
IoT	: Internet of Things
İSG	: İş Sağlığı ve Güvenliği
KΩ	: Kiloohm
KB	: Kilobayt
LAD	: Ladder Diagrams
MEMS	: Micro-Electro-Mechanical System
O₂	: Oksijen
PPB	: Parts Per Billion
PPM	: Parts Per Million
PC	: Personal Computer
PLC	: Programmable Logic Controller
PWM	: Pulse Width Modulation
RAM	: Random Access Memory
ROM	: Read Only Memory
RTU	: Remote Terminal Unit
Rx	: Receiver
SB	: Sinyal Bordu
SCADA	: Supervisory Control and Data Acquisition
SCL	: Serial Clock
SDA	: Serial Data
SFC	: Sequential Functions Charts
SM	: Sinyal Modülü
SRAM	: Statik Random Access Memory
ST	: Structured Text
STL	: Statment List

SPI	: Serial Peripeheral Interface
SnO₂	: Kalay Dioksit
TTL	: Transistor-Transistor Logic
TTK	: Türkiye Taş Kömürü
Tx	: Transmitter
UART	: Universal Asynchronous Receiver Transmitter
UDP	: User Datagram Protocol
USB	: Universal Serial Bus
Wi-Fi	: Wireless Fidelity
WinCC	: Windows Control Center

ÖNSÖZ

Bu çalışmamın her adımında emeği geçen ve yardımlarını hiçbir zaman eksik etmeyen danışman hocam sayın Doç. Dr. Erdem İLTEN'e sonsuz teşekkürler.

Yüksek lisans programı sürecinde en başından sonuna kadar yardımlarını hiçbir zaman eksik etmeyen değerli dostum Arş. Gör. Hamza BAYHAN'a, yaptığım bütün çalışmalarında yanımda olan canım aileme, bu günlere gelmemde büyük emekleri olan canım annem Sevgi ÜNSAL ve maddi manevi her zaman destekçim olan arkamdaki dağım canım babam Erol ÜNSAL'a sonsuz teşekkür ederim.

Balıkesir, 2024

Mehmet Emin ÜNSAL

1. GİRİŞ

Ülkelerin sosyal ve ekonomik gelişmelerini doğrudan etkileyen maden rezervleri dünyada ve ülkemizde sosyal ve ekonomik olarak büyük katkılar sağlamaktadır. Çalışma koşullarının en zor olduğu alanlardan biri olan madencilik, endüstride üretim yapan sanayi kuruluşlarının en çok ihtiyaç duyduğu alanlardan biridir.

Amerika Birleşik Devletleri (ABD), Rusya, Kanada ve Avustralya dünyada maden rezervlerinin üretiminde ilk sıralarda yer alan ülkelerdendir. Ülkemizde en önemli madencilik kaynakları taş kömürü ve linyit kömür madenciliğidir. Linyit kömürü ve taş kömürü rezervleri ülkemizde farklı konumlarda bulunmaktadır. Taş kömürü üretimi sadece Zonguldak bölgesinde bulunan rezervde yapılmaktadır. Linyit kömürü üretimi ise başta Ege Bölgesi olmak üzere, Trakya bölgesi ve iç Anadolu bölgelerinde yapılmaktadır.

Madencilik ülkeler için çok önemli bir öneme sahip olmasından dolayı en çok tercih edilen iş alanlarından biridir. Ancak çok riskli çalışma alanına sahip olduğu için belli başlı olumsuz durumları da beraberinde getirmektedir. Yeraltı madenlerinde genellikle meydana gelen iş kazalarının sebepleri; yangın, göçük, nakliyat, aydınlatmalardan kaynaklanan kazalar, ani su baskınları, zehirli ve patlayıcı gazların ani çıkışı, fiziksel tehditler, hatalı veya eksik malzeme kullanımından kaynaklanan yaralanmalar madenlerde meydana gelen iş kazalarının başlıca sebeplerindendir [1].

Maden endüstrisi; rezervin üretiminden ürünün pazara çıkmasına kadar geçen süreçte gereken bütün tedbirlerin alınması gereken, bilgi ve tecrübe gerektiren en ağır iş kollarından biridir. Madencilikte en önemli husus meydana gelebilecek tehlikelerin farkında olmak ve risk oluşturan durumların tespit edilerek önceden müdahale edilmesini sağlamaktır. İşletmede çalışan personellerin, oluşabilecek tehlikeler hakkında ve tehlike anında ne yapmaları gerektiği konusunda sürekli olarak bilgilendirilmeleri gerekir. Ayrıca ortaya çıkabilecek zararları ortadan tamamen kaldırmak veya kabul edilebilir seviyeye indirilmesini sağlamak için gerekli tedbirlerin de alınması gerekmektedir.

Madenler çalışma alanları bakımından birçok risk faktörünü de beraberinde getirmesinden dolayı sektöre yönelik geliştirme çalışmalarının sürekli olarak yenilenmesi gerekmektedir. Türkiye’de iş sağlığı ve güvenliğinin (İSG) sağlanması için sürekli olarak gerekli yasal

düzenlemelerle güvenli çalışma ortamlarının oluşturulması süreci devam etmektedir. Maden sektörü diğer sektörler ile karşılaştırıldığında madencilikçi ayıran en önemli husus meydana gelebilecek kazalarda çalışan personellerin toplu bir şekilde etkilenmesidir. Bundan dolayı cevherin yeraltında üretilmesinden yerüstüne çıkarılmasına kadar geçen süreç çok iyi bir şekilde takip edilmeli ve süreç sistemli bir şekilde kontrol edilmelidir. Yeraltı kömür madenlerinde metan gazı, toz, gürültü ve yangın gibi tehlikeler de bulunmaktadır [2]. Metan gazının yeraltında birikerek aniden meydana çıkması sonucu oksijen ile birleştiği anda, ortamda yetersiz havalandırma olması durumunda bir kıvılcım veya ateş kaynağı ile temas etmesi sonucu patlama meydana gelmektedir. Bu patlama grizu patlaması olarak isimlendirilir. Patlamalar, gaz sızıntıları ve diğer tehlikeler, maden sektörünün diğer sektörlerden daha tehlikeli olmasına sebep olmaktadır. Tehlikeli bir iş kolu olan maden sektöründe İSG, insan sağlığının ve güvenliğinin sağlanması için hayati bir önem taşımaktadır [3].

Maden sahalarında teknoloji kullanımının gün geçtikçe artması, daha hızlı ve doğru bilgilerin elde edilmesi bakımından oldukça önemlidir. Birçok maden işletmesi gelişen teknolojileri bünyesinde kullanarak verimli üretimler yapmaktadır [4].

Teknolojinin gelişmesiyle birlikte kömür madenlerinde kullanımı yaygınlaşan elektrik otomasyon sistemleri, verimli ve güvenli çalışmaların sağlanması bakımından büyük öneme sahiptir. Kömür madencilikçi, rezervin çıkarılmasından taşınmasına kadar çeşitli süreçlerden geçmekte olan ve her noktasında belli başlı riskleri bünyesinde bulunduran zorlu bir iş koludur. Üretim süreçlerinde iş ve işçinin güvenliğinin sağlanması için ortamda bulunması muhtemel zehirli ve patlayıcı gazların takibi, ortamdaki hava miktarının takibi ve ortamın sıcaklığı PLC'ler ve SCADA sistemleri ile yerüstünde bulunan kontrol merkezleri tarafından takip edilmektedir. Çalışmalar esnasında meydana gelebilecek muhtemel riskler anlık olarak değerlendirilmekte ve gerekli durumlarda riskli bölgede çalışan personeller uyarılarak ortamın boşaltılması, güvenli çalışma ortamı oluşturulması için tecrübeli personellerin bilgilerine başvurulmaktadır [5].

Gelişen teknolojinin maden sahalarında etkili bir şekilde kullanılması sağlandığında meydana gelen ölümlü kazaların sayısı azalmakta, daha verimli ve etkili bir çalışma ortamı sağlanabilmektedir. Günümüz maden teknolojisinde yeraltındaki çalışma alanlarının takibi için kullanılan PLC'ler, yeraltındaki zehirleyici ve patlayıcı etkisi olan gazların tespiti için

kullanılan sensörler ile entegreli çalışarak tehlike seviyesindeki gaz tespit edildiği anda ilgili ekipmanların otomatik olarak kapanmasını ve yeraltındaki havalandırmanın arttırılmasını sağlarlar. PLC ile entegre bir şekilde çalışan SCADA sistemi sayesinde yerüstündeki kontrol merkezinden, yeraltının durumu anlık olarak ekranlardan takip edilip acil durum anında en doğru adımların atılarak çalışma ortamının güvenliği sağlanabilmektedir.

Madenlerde teknolojik gelişmeler aktif bir şekilde uygulanmasına rağmen, geçmişte yaşanan kazalar az da olsa hala günümüzde yaşanmaktadır. Yaşanan kazaların ve ölümlerin sifıra indirilmesi için gerekli olan teknolojik gelişmeler sağlandığında ve uygulanması gereken İSG kuralları doğru şekilde uygulandığında kazaların azaldığı görülmektedir. Olası kazaların önceden tespit edilerek engellenmesini sağlayan sistemlerin tasarlanması dünya madencilik sektörü için büyük önem taşımaktadır.

1.1 Literatür Taraması

Deniz Mamurekli ve arkadaşları 1996 yılında yaptıkları bir çalışmada maden sektöründe insan gücünün azaltılması amacıyla robotik kontrollü sistemler geliştirmeyi önermişlerdir. Robotik sistemlerin kullanımı ile insandan kaynaklı hataların da azalacağı sonucuna varmışlardır. Robotik kontrollü otonom sistemlerin gelişmesiyle birlikte mühendis ve teknik personellerin kendilerini bu alanlarda geliştirmeleri de bir zorunluluk haline gelmiştir [6].

Nilay Kul 2009 yılında 1500 kVA gücünde 6.3 kV çıkış gerilimine sahip generatör grubu ve yüksek gerilim kesicilerinin PLC kontrolü ile SCADA sistemi üzerinden izlenmesi ile ilgili çalışma yapmıştır. Bu çalışmada kullanılan generatör grubunun akımlarının, gerilimlerinin, güç faktörlerinin ve frekanslarının tek bir noktadan izlenebilmesi ve kontrol edilebilmesi için SCADA sistemi tasarımı yapılmıştır. Tasarlanan SCADA sistemi ile transformatörün yağ basınç seviyesi, sargıların sıcaklık değeri ve sargıların izolasyon değeri de anlık olarak izlenebilmektedir. Yapılan çalışmanın sonucunda, meydana gelebilecek arızaların önceden tahmin edilebilmesine imkân sağlanarak sistemin daha hızlı ve verimli bir şekilde çalışabildiği gösterilmiştir [7].

Fuat Kocal ve Yılmaz Özçelik 2002 yılında TTK-Zonguldak Kozlu Kömür Maden İşletmesi için sistemin uzaktan izlenebilmesi ve kontrolü üzerine çalışma yapmışlardır. Deniz seviyesinin altından taş kömürü üretimi yapan tek işletme olan Zonguldak Kozlu Kömür Maden İşletmesi'nde ortaya çıkan fazla miktardaki zehirli gazların tahliye edilme konusu

araştırılmıştır. İş ve işçi sağlığının korunması için yeraltında bulunan gaz izleme sistemlerinin uzaktan takibinin yapılmasında kullanılan analog algılayıcıların sayısının artırılması, herhangi bir kaza durumunda kurulan sistemin ne yapması gerektiğinin önceden belirlenmesi ve olası bir acil durumda uygulanması gereken yöntemin olay esnasında kişilere bırakılmaması gerektiğini belirtmişlerdir. Kurulan bu sistem ile uzaktan izleme sistemlerinin olduğu yerlerde iş ve işçi güvenliğini arttığı sonucuna varılmıştır [8].

Şinasi Eskikaya ve Cengiz Kuzu madenlerde PLC tabanlı kontrol ve izleme sistemleri üzerine bir çalışma yapmışlardır. Yapılan bu çalışmada PLC'lerin olumsuz ortam koşullarından fazla etkilenmeden çalışabilmelerinden dolayı madenlerde kurulan otomasyon sistemlerinde oldukça sık tercih edildiği sonucuna varmışlardır [5].

Okan Yaman 2019 yılında nesnelerin interneti konusunu ele alarak IoT tabanlı transformatör izleme sistemi üzerine bir çalışma yapmıştır. Yapılan bu çalışmada transformatör üzerine yerleştirilen çeşitli sensörler ile sargıların sıcaklığı, yağ seviyesi, akım ve gerilim değerlerinin anlık olarak izlenebilmesi sağlanmıştır. Transformatörlere aşırı bir yüklenme olması durumunda sargıların sıcaklığının artmasına bağlı olarak sargı izolasyon değerinin düşmesi transformatörde arıza meydana gelmesine sebep olmaktadır. Beklenmedik bir arıza ile karşılaşmamak ve servis ömrünü uzatmak için transformatörün anlık olarak izlenmesi oldukça önemlidir. Bu çalışmada tasarlanan prototip ile transformatörde gerçekleşebilecek arızaların erken tespit edilerek servis ömrünün uzatılması hedeflenmiştir [9].

Boloz tarafından 2020 yılında yapılan çalışmada Polonya'da yeraltı madenlerinde kullanılan otomasyon ve robotik kontrol sistemleri incelenmiştir. Yeraltında bulunan ve özellikle bazı ülkelerde en büyük pazar gücüne sahip olan taş kömürü için yeraltı madencilik ekipmanları büyük önem taşımaktadır. Yeraltında çalışmak, çalışanlar için zor olduğu kadar makineler için de bulunduğu ortam sebebiyle zor iş yerleridir. Jeolojik yapıdan kaynaklı tehlikeli zeminler, yüksek oranda çalışmaya engel toz, doğal hava akışının az olmasından kaynaklı oksijen düşüklüğü, nem ve yüksek sıcaklık makineleşmeyi zor hale getirmektedir. Madencilğin ilk yıllarında daha çok insan gücüne dayalı üretim yapılan taş kömürü madenciliğinde teknolojinin gelişmesiyle birlikte yeraltında kullanılan makinaların uzaktan veya otonom olarak kontrol edilmesi ile birlikte daha güvenli ve ekonomik sonuçlar edilmeye başlanmıştır. Madencilik geçmişten günümüze kadar her zaman önemli bir doğal kaynak olmasından dolayı verimli ve güvenli bir şekilde çıkarılması ülkeler için hem sosyal

hem de ekonomik açıdan büyük önem taşımaktadır. Bundan dolayı yeraltındaki çalışma şartlarının iyileştirilmesi ve verimin artırılması için AR-GE çalışmalarına önem verilerek geliştirilen sistemlerin sahada uygulanması gerekmektedir [10].

Atiye Bilim ve arkadaşları tarafından 2018 yılında yapılan çalışmada Türkiye'deki maden sektöründe meydana gelen iş kazaları ve meslek hastalıkları analiz edilmiştir. Madencilik sektörü geçmişten günümüze kadar uygarlıklara yön veren ve ekonominin şekillenmesinde büyük önem arz eden bir sektördür. Ancak madencilik sektörü çalışma alanı bakımından zorlu çalışma ortamlarına sahip olduğu için İSG açısından dünya genelindeki en riskli çalışma sektörü olarak kabul edilmektedir. Bu çalışmada, özellikle yeraltı madenciliğinde iş sağlığı ve güvenliği konusunda gereken sistemlerin kurulması, uygulanması ve süreklilik olması için uzman kişiler tarafından denetlenmesi gerektiği sonucuna varılmıştır [11].

Erdal Bekiroğlu ve Nihat Daldal tarafından 2009 yılında transformatörlerde meydana gelebilecek arızaların önceden tespiti ve kontrolü üzerine bir çalışma yapılmıştır. Bu çalışmada işletme maliyetinin azaltılması, güvenli bir çalışma ortamının sağlanması ve meydana gelebilecek arızaların analiz edilmesi amaçlanmıştır. Transformatörlerde izolasyon değerinin düşmesi, aşırı akım çekmesi, faz-faz arası kısa devre olması gibi arıza durumlarının analizi yapılmıştır. Transformatörde meydana gelebilecek bu arızaları önceden tespit etmek ve önden müdahale edebilmek için PLC tabanlı SCADA sistemi tasarlanmıştır. Bu sistem sayesinde işletme maliyetinde azalma görülmüş ve iş güvenliğinin artırılması sağlanmıştır [12].

Ali Rıza Ergun tarafından 2007 yılında yeraltı maden işletmelerinde gaz ve toz patlamalarının önlenmesi için alınacak önlemler üzerine bir çalışma yapılmıştır. Yapılan bu çalışmada ülkemizde son 25 yılda meydana gelen grizu patlamaları ele alınmış ve bu patlamaların sebepleri araştırılmıştır. Madencilik sektörü iş kolları arasında en tehlikeli sektörler arasında yer almasından dolayı meydana gelen sorunların başında grizu patlamaları gelmektedir. Grizu patlamaları konusunda, metanın çıkmasından sonra patlama meydana gelmesi için gereken bütün koşullar incelenmiştir. Gerekli önlemler alındığında metan patlama riskinin en aza indirilebileceği gözlenmiştir [13].

Halil Köse ve arkadaşları tarafından 1995 yılında madencilikte ileri teknolojinin kullanımı ile ilgili bir çalışma yapılmıştır. Yapılan bu çalışmada madencilik sektöründe ileri

teknolojinin kullanılmaya başlanmasıyla birlikte iş kazalarında azalma meydana gelirken üretim oranı olumlu yönde artış göstermiştir. Maden sektöründe ileri teknolojinin kullanılmasındaki amaç, insana dayalı üretimi ortadan kaldırarak makine gücüne dayalı üretimin sağlanmasıdır. Yeraltı madencilğinde cevherin çıkarılması için kazı aracı olarak tamburlu kesici-yükleyici makineler, tahkimat için şildler ve nakliye aracı olarak bantlı konveyörler etkin bir şekilde kullanılmaktadır. Kullanılan bu sistemler için merkezi bir kontrol sisteminin oluşturulması ile tüm işlerin tek bir noktadan kontrol edilmesinin çalışma verimini arttıracığı düşünülmüştür. Yapılan çalışmayla birlikte madencilikte robotlaşma ve otomasyon sistemlerinin kullanımının, çalışma ortamı göz önüne alındığında birçok avantajları da beraberinde getireceği sonucuna varılmıştır. Yüksek üretime sahip sistemler, düşük maliyet ve yüksek iş performansı ile birlikte yüksek derecede iş güvenliğinin sağlanması, robotlaşma ve otomasyon sistemlerinin avantajları olarak öne çıkmaktadır [14].

Akansha Dubey ve Jyoti Shrivastava tarafından yapılan bir çalışmada işletmenin maliyetinin azaltılması, güvenli bir çalışma ortamının sağlanması, transformatörlerde yapılan kademe değiştirme işlemlerinin otomatikleştirilmesi ve meydana gelebilecek arızaların tespit edilmesi amaçlanmıştır. Transformatörün anlık verilerinin kayıt altına alınarak izolasyon değerinin düşmesi, aşırı akım çekme, faz-faz arası kısa devre olması gibi durumlarda arızayı tespit etmek ve voltaj düşmesi anında düşük voltajdan dolayı kendini korumaya alması transformatörün veriminin ve kullanım ömrünün uzamasını sağlamaktadır. Transformatörlerden beslenen büyük yüklerin bir anda devreden çıkmasıyla birlikte gerilimin aniden artması sırasında frekans sabit kalacağından dolayı aşırı gerilime karşı transformatör izolasyonuna zarar gelmemesi için transformatör kendini korumaya almaktadır. Kullanılan güç transformatörünün voltaj, akım ve sıcaklık gibi parametreleri arızaların önceden tespiti ve kontrolü amacıyla tasarlanan SCADA sistemi ile izlenmektedir. Bu SCADA sistemi sayesinde müdahale gerektiren durum olduğu anda PLC üzerinden sistemin kontrolü sağlanmakta ve işletmenin çalışma güvenliği arttırılmaktadır [15].

Mert Durşen ve Burak Yasun tarafından 2012 yılında yeraltı madenlerinde bulunan zehirli gazlar ve metan drenajı hakkında çalışma yapılmıştır. Madenler çalışma alanı bakımından ortamda sürekli olarak su buharı ve gazların karışımından oluşan tozlu bir havaya sahiptir. Yeraltında oksijen miktarının azalmasıyla karbondioksit ve diğer gazların artması sonucu ortamda olumsuz hava koşulları oluşmaktadır. Bu değişim maden havasını kirleterek ortamda yanıcı, boğucu ve zehirli gazların birikmesine neden olur. Ortamda biriken yanıcı

gazlara metan (CH₄), karbonmonoksit (CO) ve hidrojen (H₂) örnek olarak verilebilirken boğucu gazlara ise karbondioksit (CO₂), nitrojen (N₂) ve metan (CH₄) örnek olarak verilebilir. Zehirli gazlar ise karbonmonoksit (CO), hidrojen sülfür (H₂S) gibi gazlardan oluşmaktadır. Maden ortamında çalışma esnasında veya acil durumlar sonrası açığa çıkan bu gazlar, çalışanlar ve işletmeler için büyük riskler doğurabilmekte ve en kötüsü de çalışanların hayatını kaybetmesine neden olabilmektedir. Bu çalışmayla birlikte yeraltı madenlerinin İSG konusunda tedbirli olmaları gerektiği, yapılacak olan eğitimler ile çalışanlara gazların tanıtılması ve olası tüm risklerin öğretilmesi gerektiği sonucuna varılmıştır [16].

Tevfik Güyagüler tarafından 2002 yılında Türkiye’de meydana gelen grizu patlamalarının irdelenmesi ve önlem önerileri isimli çalışma yapılmıştır. Grizu patlamaları geçmişten günümüze kadar modern madencilikte bile %100 önlenememekte, ancak alınacak tedbirler ile en aza indirilebilmektedir. Metan gazı renksiz ve kokusuz bir yapıya sahip olup yanma meydana geldiğinde mavi renk vermektedir. Grizu patlamasının meydana gelebilmesi için havada %5-15 arası bulunması gerekmektedir. Ortamda metan bulursa dahi patlamanın meydana gelebilmesi için üç durumun oluşması gerekmektedir. Bunlar oksijen, metan gazı ve karışımın patlamasına sebep olan kıvılcım veya ısı kaynağı. Ülkemizde karşılaşılan grizu patlamalarının ortak özelliği, patlamaların anlık olarak tüm ocağı kaplamasıdır. Yapılan çalışma sonucunda patlamalar incelendiğinde işletmede çalışan işçiler ve yönetim ekibi tehlikenin farkında olup gerekli eğitimler verildiğinde yaşanan patlama felaketlerinin en aza indirileceği sonucuna varılmıştır [17].

Melike Yağcı ve arkadaşları tarafından 2022 yılında madencilik sektöründe görülen ergonomik risk faktörleri isimli çalışma yapılmıştır. Madencilik birçok sanayi kuruluşunun temel kaynak olarak kullandığı mineral ve metallerin ortaya çıkarılması sağlayan, bünyesindeki çalışanlar ile istihdam oranını arttırmasından dolayı ülkelerin ekonomik dengesini etkileyen büyük bir sektördür. Madenler çalışma ortamı bakımından oldukça riskli alanlardır. Çalışma ortamında sürekli olarak sıcaklık, nem, gürültü gibi çevresel risk faktörleri bulunmaktadır. Bu durum, çalışanlarda zamanla fiziksel sağlık sorunlarının oluşması problemlerini de beraberinde getirmektedir. Yapılan çalışmayla birlikte öngörülen bu risk faktörlerinin bertaraf edilmesi için gereken adımlar anlatılmaktadır. ilk olarak tehdit oluşturan durumların açık bir şekilde ortaya konularak çözüm üretilmesi gerektiği vurgulanmaktadır [18].

İlknur Erol ve Abdülkadir Ürünveren tarafından 2021 yılında yeraltı kömür madenlerinde meydana gelen büyük maden kazaları isimli çalışma yapılmıştır. Madencilik sektörü iş güvenliği kapsamında ölümlü kaza riskinin diğer sektörlere göre daha fazla olduğu bir çalışma koludur. Dünyada çalışan sayısı olarak %1 paya sahip olmasına rağmen kaza oranı %8'dir. Türkiyede ve dünyada ölümlü kazaların çoğunluğu kömür ocaklarında olmaktadır. Maden ocaklarında meydana gelen kazalar incelendiğinde kömür madenlerinin genel sorunu grizu patlamaları, ani gaz püskürmesi, su baskını, yangınlar ve kömür tozu patlamaları sonucunda meydana gelen olumsuz sonuçlardır. Meydana gelen bu olumsuz durumlar sonucunda insan kaybı ve ekonomik kayıplar yaşanmaktadır. Yangınlar kontrol altına alınamadığında, metan yoğunluğu olan ocaklarda grizu patlamaları meydana gelmektedir. Maden ocaklarında en tehlike durum metan gazıdır. Metan gazı ortama normal veya ani püskürme şeklinde karışmakta ve hava ile karışımı grizu olarak adlandırılmaktadır. Madencilik uzun yıllar deneyim gerektiren bir sektördür. Farklı çalışma koşullarına karşı her an tedbirli olunması gereken bir yerdir. Yapılan çalışma sonucunda 2014 yılından günümüze kadar gelen sürede madencilik tarihinde karşılaşılmış yüksek ölümlü kazaların meydana gelmemesinin sebebinin İSG tedbirlerinin alınması, gaz izleme ve erken uyarı sistemlerinin kurulması, ocak içerisindeki hava miktarının sürekli olarak izlenmesi ve kayıt altına alınması gibi durumlardan kaynaklandığı vurgulanmaktadır [19].

Meltem Çöl ve arkadaşları tarafından 2023 yılında dünyada ve Türkiye'de maden kazaları isimli çalışma yapılmıştır. Dünyada her sene yaklaşık olarak 340 milyon iş kazası ve 160 milyon iş ile alakalı hastalıklar ortaya çıkmaktadır. Dünyada sadece %1'lik iş gücüne sahip olan maden sektörü, iş yerindeki ölümlü kazaların yaklaşık %8'inden sorumludur. Türkiye ise ölümlü kaza ve yaralanmalarda üst sıralarda bulunmaktadır. Büyük kaza oranına sahip olan madenlerde başlıca kaza sebepleri grizu patlamaları, ani gaz püskürmeleri, yangın, göçük, su baskını ve nakliye mekanizasyonu ile alakalıdır. Madenlerde yaşanan kazalar önlenabilir kazalardır. Madenler riskli çalışma koşullarına sahip olmasından dolayı sıkı güvenlik tedbirleri alınmalı, işçi eğitimi ve öğretimi olmalıdır. Teknolojik olarak gelişmelerin artmasına rağmen kazalar hala çok yaygın bir şekilde devam etmektedir. İSG farkındalığının gelişmesi iş kazalarında insandan kaynaklı hata payını en aza indirmekte, yönetsel ve teknik etkileri arttırmaktadır. Yapılan çalışmayla maden sektöründe meydana gelen kazaların önlenebilir olduğu belirtilmektedir. Kazalarda en sık görülen sebebin grizu patlamaları olduğu için sıkı güvenlik tedbirleri alınması gerektiği, çalışan işçilerin eğitimine

önem verilerek gaz izleme merkezleri ile maden havasının izlenmesi, kayıt altına alınması ve erken uyarı sisteminin olması gerektiği sonucuna varılmıştır [20].

Rahul S. Joshi ve arkadaşları tarafından 2020 yılında yayınlanan makalede doğal gaz boru hattındaki parametrelerin PLC ve SCADA sistemi ile izlenmesini ele almıştır. Doğal gaz dünyada en çok kullanılan önemli bir enerji kaynağıdır. Dünyada bu kadar öneme sahip olmasına rağmen gaz tüketim alanları ile üretim alanları birbirinden çok uzak mesafededir. Nakliyesi zordur, sürekli takip ve kontrol edilmesi gerekmektedir. İletim esnasında sıcaklık, basınç, akış ve kompresör durumu gibi parametrelerin anlık olarak kontrol edilmesi, sistemin güvenli bir şekilde çalışması için gereklidir. Yayınlanan makalede gaz hattındaki parametrelerin PLC ve SCADA sistemi ile izlenmesi ve otomatik kontrol edilmesi konusu incelenmiştir. SCADA sistemi sayesinde gaz sızıntısı olması durumunda sızıntının yerinin bulunmasında hız kazanılması, kaçak yaşanan bölgenin tamamının veya bir kısmının kapatılıp sistemin manuel olarak kontrol edilmesi sağlanabilmektedir. Basınç düşüşü görüldüğünde sistem otomatik olarak alarm çalarak arızaların tespit işlemini kolaylaştırmaktadır [21].

Geeta Yadav ve Kolin Paul tarafından 2021 yılında yayınlanan çalışmada SCADA sistemlerinin güvenliği ve mimarisi incelenmiştir. Teknolojideki ilerlemeler sayesinde SCADA sistemlerinin çelik üretiminde, telekomünikasyonda, kimyasal işleme endüstrisi gibi birçok alanda kullanılmasının önü açılmıştır. Nesnelerin interneti (IoT) ile birlikte gelişmiş SCADA sistemleri, büyük verilerin analizi, makine öğrenmesi ve yapay zekayı da bünyesinde barındırmaya başlamıştır. Bu şekilde tüm sistemlerin entegrasyonu sayesinde çalışmalar kolaylaşıp, bakım ve altyapı maliyetinin düşmesi sağlanmaktadır. SCADA sistemleri, kullanılan ekipmanların korumasının sağlanmasının yanında çalışan personelin de verimliliğini arttırmaktadır. Son yıllarda SCADA sistemlerinin web ile ilişkilendirilmesi sayesinde uzak alanlarda da izleme ve kontrolün yapılabilmesi sağlamıştır. Ancak SCADA sisteminin modernizasyonu sistemin saldırganlara karşı daha savunmasız olmasına yol açarak siber saldırıların da artmasına neden olmuştur. Yapılan saldırılar sistemin çalışmasına engel olarak mali kayıplardan insan hayatının kaybına kadar birçok olumsuz duruma yol açabilmektedir. Bu çalışmada, IoT tabanlı sistemlere geçiş yapan endüstrilerin siber saldırılara açık hale geldiği, bu sebeple yüksek güvenlik önlemlerinin alınması ve SCADA sisteminin daima güncel tutulması gerektiği vurgulanmaktadır [22].

Melike Yiğit ve arkadaşları tarafından 2014 yılında yapılan bir çalışmada akıllı şebeke sistemleri için güç hattı iletiminde PLC kullanımı araştırılmış ve PLC tabanlı sistemlerin özelliklerini tanımlamak için genel bilgiler verilmiştir. Akıllı şebekeler klasik elektrik güç şebekelerine göre farklı avantajları da beraberinde getirmektedir. Akıllı şebekeler operasyonel maliyetlerin azalmasına, geliştirilmiş ölçüm alt yapısıyla doğrudan ölçüm sağlarken herhangi bir arıza durumunda kendi kendini onarır veya sistemin kesilmesini sağlar. Akıllı şebekelerde kullanılan PLC'ler sayesinde iki yönlü iletişim sağlanarak müşterilerden gelen sayaç verilerinin otomatik fiyatlandırması yapılabilmektedir. Ayrıca akıllı sayaçlar sayesinde müşteriler kendi bilgilerini de öğrenebilmektedir. İşletme maliyetleri sebebiyle akıllı şebeke sistemlerinde ultra dar bantlı PLC teknolojisi kullanılmakta ve cihazların veri çıkışı düşük olmasından dolayı 150 km menzilli çalışmaktadır. PLC teknolojileri düşük maliyetli ve esnek haberleşme ağlarına sahip olmasından dolayı birçok uygulama için tercih edilmektedir. Yayınlanan makalede PLC'nin kullanım alanlarının çok olmasından ve esnek bir yapıya sahip olmasından bahsedilse de PLC kullanımında büyük zorlukların olduğu, daha fazla araştırma ve geliştirme yapılarak IP entegrasyonu ve akıllı şebekelerin davranışlarını kontrol etmek için gerekli olan gerçek zamanlı iletişim ağlarının sıkıntılarının araştırılıp giderilmesi gerektiği önerilmiştir [23].

Atanas N. Lovev ve Peter I. Yakimov tarafından 2015 yılında yapılan çalışmada akıllı güç sistemlerinde PLC'nin ağ geçidi olarak kullanılması ele alınarak imalat, dağıtım ve tüketim alanlarında sürekli olarak değişen yüklerin yenilenebilir enerji kaynaklarından beslenmesinin getirdiği zorluklar incelenmiştir. Bir tesisteki çok sayıda harekete geçirme, algılama ve kontrol etme için kullanılan cihazlarının yönetimi ve bakımının insana bağlı olması durumunun işleri zorlaştırmasından bahsedilmektedir. Cihaz yönetimi için kullanılan kontrol ve otomasyon sistemlerinin hem cihaz yönetimini kolaylaştırdığı hem de enerji verimliliğini arttırmak için kullanılması gerektiği öne sürülmektedir. Cihaz yönetimi için gereken temel bileşen akıllı sensörlerdir. Sensörler içerisine yerleştirilen gömülü entegrasyon sistemleri ile akıllı hale getirilir. Kullanılan akıllı sensörler ile elektrik güç sistemlerinde kullanılan transdüserler üç fazın temel büyüklükleri olan voltaj, akım ve frekans değerlerini ölçmek için kullanılmaktadır. Ölçülen değerlerin türevleri hesaplanıp aktif güç, reaktif güç, güç faktörü, aktif enerji ve reaktif enerji değerleri otomatik olarak hesaplanabilmektedir. Hesaplanan değerlerin aktarılması için kullanılan ağ geçidi, herbir ağın protokollerinin ağ tarafından kullanıcılar olarak ulaştırılması için kullanılır. Akıllı ağlarda ağ geçidi olarak PLC gibi güç dönüştürücüleri kullanılır. PLC kullanımıyla beraber iletişim

ve dönüştürücü ağını sistemde görmek için SCADA sistemleri kullanılmaktadır. Analog ve dijital sinyaller güç sistemindeki diğer cihazları da kontrol etmeye olanak sağlamasından dolayı dijital çıkışlar, röleler ve anahtarlama elemanları kullanılarak sistemi kontrol etmeye fayda sağlarken, analog girişler de farklı tipteki analog sensörlere bağlanarak transformatörlerin sıcaklık gibi değişen parametrelerinin izlenmesine olanak sağlar. PLC'nin evrenselliği ve esnekliği ile SCADA sayesinde elektrik güç sistemlerinin daha verimli kontrol edilmesini mümkün kılmaktadır. Yayımlanan makalede akıllı ağlarda ağ geçidi olarak kullanılan PLC'ye bağlı sistemlerde parametrelerin hesaplanması ve izlenmesi için güç dönüştürücüleri kullanılarak sistemin verimli bir şekilde kontrol edildiği ve sistemden ölçülen değerler sayesinde güç, frekans, gerilim ve akım değerleri gibi birçok farklı değerlerin izlenmesi ve kontrol edilmesine olanak sağladığı görülmüştür. Ağ geçidi olarak kullanılan PLC'lerin karmaşık sistemleri daha anlaşılabilir seviyeye indirdiği görülmüş ve bu sistemlerin daha fazla geliştirilmesi gerektiği sonucuna varılmıştır [24].

2. MATERYAL VE METOT

Bu çalışmada takibi yapılacak olan gazlar, ortamdaki toz miktarı ve ortam sıcaklığı ölçülebilmesi için sensörler kullanılmıştır. Metan, karbonmonoksit, hidrojen sülfür ve oksijen gazları için sırasıyla MQ-4, MQ-7, MQ-136 ve MIX8410 sensörleri kullanılmıştır. Ortamın sıcaklığı için LM35 sıcaklık sensörü, ortamda bulunan toz miktarının belirlenebilmesi için ise GP2Y1010AU0F toz sensörü kullanılarak testler yapılmıştır.

Kullanılan sensörler hem Arduino IDE programı üzerinden yazılan kodlar ile hem de Simulink üzerinden hazırlanan blok şemasının harici mod üzerinden Arduino kartına bağlanması ile test edilmiştir. Sensörlerden gelen verilerin kontrolü için Siemens S7-1200 serisi PLC kullanılmış ve SCADA sistemi içinde WinCC programı tercih edilmiştir.

Hazırlanan deney düzeneği ile birlikte ortamda ölçülmesi istenen gaz değerleri yavaş yavaş sensörlere verilerek ölçüm değerleri alınmış ve SCADA ekranlarındanda bu değerlerin doğruluk kontrolü yapılarak değer değişim grafikleri çizdirilmiştir.

Çalışmada kullanılan sensörlerin, PLC'nin, kullanılan programların ve Arduino'nun detaylı açıklamaları alt başlıklar halinde verilmektedir.

2.1 PLC Hakkında Genel Bilgi

2.1.1 PLC Tanımı

PLC, İngilizce Programmable Logic Controller (PLC) kelimelerinin baş harflerinin bir araya gelmesiyle meydana gelen programlanabilir lojik denetleyicidir. Gelişen teknolojiye yaygın olarak kullanılan, endüstriyel otomasyon sistemlerinde kumanda ve kontrol mekanizmalarının gerçekleştirilmesi için tasarlanmıştır. Giriş ve çıkışları ile iletişim arabirimlerinden oluşan kontrol yapısıyla birlikte içerisine yazılan algoritmaya bağlı olarak çalışan bir endüstriyel bilgisayardır [25].

Günümüzde geliştirilen PLC'ler aritmetik ve özel matematiksel işlemleri yapmayı sağlayan komut sistemlerini de bünyesinde barındırmaktadır. Karışık ve zorlu olan otomatik kumanda sistemlerinin kontrol edilmesinde büyük kolaylıklar sağlamaktadır. Gelişen teknoloji ile birlikte sistemlerin sağlam temele sahip olabilmesi için verimli ve ekonomik olarak çalışması gerekmektedir. PLC ile kurulan kontrol sistemlerinde kullanım esnekliği

bakımından yapılan çalışmalarda işletmeye hız, güvenlik ve personel sayısı bakımından birçok fayda sağlanmaktadır. Günümüz şartlarında avantajlı çalışmayı sağlayan en verimli sistem PLC ve PC tabanlı kontrol sistemleridir. PLC üzerinde bulunan analog veya dijital giriş/çıkış modülleri ile birçok farklı makinenin kontrolü aynı anda yapılabilir.

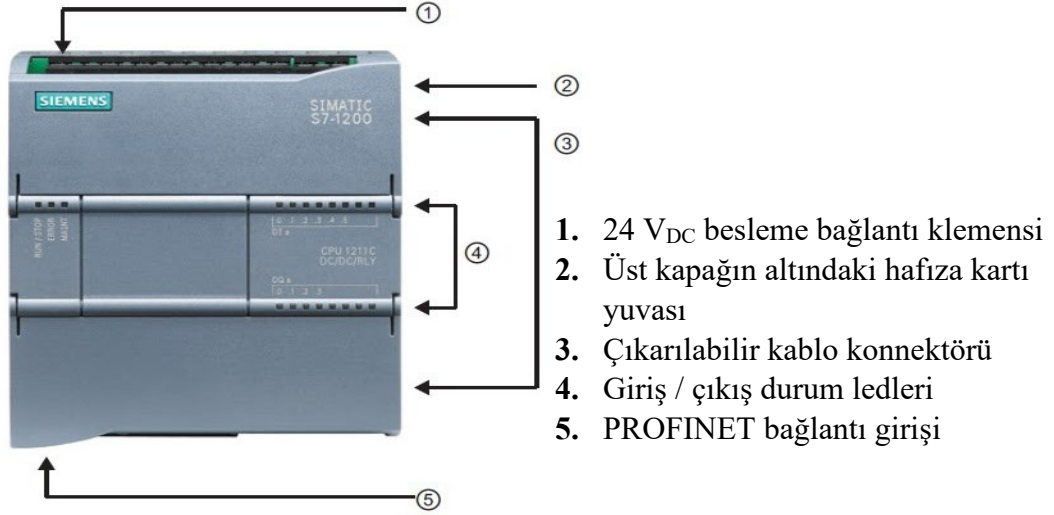
PLC'ler giriş modülünden aldığı bilgi ve komutlar ile çalışmaktadır. PLC girişine bağlanan sensör, anahtar, optik, manyetik vb. elemanlardan alınan verileri içerisine yüklenen program üzerinde işleyip ilgili çıkışlarına aktaran bir mikroişlemcidir [26].

PLC'ler 1968 yılında mühendislik alanıyla çalışmalar yapan Bedford Associates isimli bir firma tarafından üretilmiştir. Röle yardımıyla yapılan kontrol sistemlerinin maliyetli ve bakımlarının zor olması sebebiyle bu ihtiyaç ortaya çıkmıştır. Karmaşık sistemlerde röle yardımıyla yapılan kontrollerde herhangi bir arıza olması durumunda onlarca röle içerisinden arızalının bulunması hem zordu hem de zaman kaybına sebebiyet vermekteydi. İşletmeler daha az arıza yapan, kullanımı kolay ve verimli olan PLC'li kumanda devrelerini geliştirerek röleli sistemlerin yerine kullanmaya başlamışlardır.

İlk olarak ortaya çıkarılan PLC'ye 084 adı verilmiş ve geliştirilen kart üzerinde birçok değişiklikler ve AR-GE çalışmaları yapılarak 1970'lerin başlarında 184 ve 38 modelleri piyasaya çıkmıştır. Çıkarılan PLC'lerin sonrasında geliştirici firma 284 ve 1084 modellerini çıkarmıştır. PLC'ler kullanım açısından kolay ve güvenilir olmasından dolayı birçok avantajı da beraberinde getirmiştir. Başlıca özellikleri şöyledir:

- PLC programlanması kolay bir entegre devredir.
- Sistemde arıza olması durumunda bulunması ve çözülmesi daha basittir.
- Endüstrideki zorlu çalışma koşullarında çalışabilmesi için tasarlanmıştır.
- PLC'lerin montajı kolaydır.
- Eski sistemler gibi kısa ömürlü değil. Sağlam ve uzun ömürlüdür.
- PLC'ler içerisinde bulunan haberleşme protokolleri sayesinde kendi aralarında veya başka kontrol kartları ile haberleşme sağlayabilir.
- PLC üzerinde bulunan giriş / çıkış modüllerine ek olarak harici modüller de eklenebilecek şekilde tasarlanmıştır.
- PLC'ler enerji tüketimi az olmasından dolayı tasarrufludur.
- PLC içerisinde sınırsız zamanlayıcı, kontak ve sayıcı kullanma imkânı tanır.

İlk üretilen PLC'nin endüstride birçok kolaylığı getirip başarılı bir sonuç elde etmesinden sonra Siemens, General Electric ve Westinghouse gibi birçok firma piyasaya yüksek performanslı PLC'ler çıkarmıştır. Şekil 2.1'de Siemens markasının ürettiği S7-1200 serisi PLC ve PLC üzerindeki konnektörlerin ve durum ledlerinin gösterimi verilmiştir.

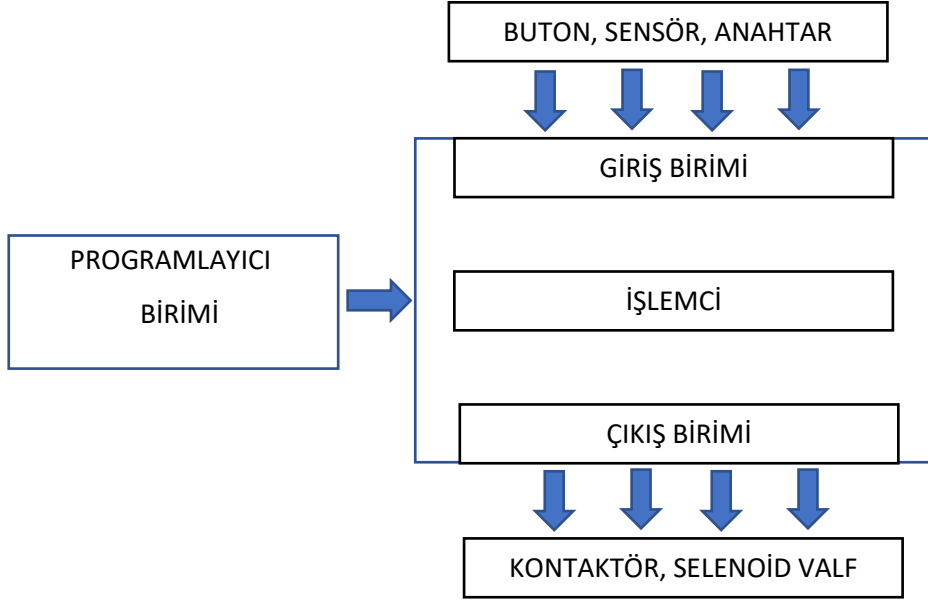


Şekil 2.1: Siemens S7-1200 cihazının dış yapısı.

Otomasyon sistemlerinde PLC kullanılması ile birlikte, mevcut sistemlerde bulunan manuel kısımların tamamen otomatik olarak kontrol edilebilen bir yapıya çevrilerek sistemin güvenliğinin ve veriminin artırılması hedeflenmektedir. PLC'lerin kullanımın en yaygın olduğu alanlar kimya lastik, otomotiv, tekstil fabrikaları, havalandırma sistemleri ve aydınlatma sistemleri gibi birçok alanı kapsamaktadır [27,28].

PLC'ler endüstriyel otomasyon sistemlerinde direkt olarak kullanım kolaylığı sağlamak için üzerinde giriş ve çıkış klemensleri ile beraber tasarlanmıştır. Giriş portlarına buton, seviye sensörü ve sıcaklık sensörü gibi lojik değerler verebilen elemanlar bağlanabilir. Çıkışta ise girişten alınan lojik değerler ile kontrol edilmek üzere kontaktör, valf ve sürücü elemanları direkt olarak bağlanabilir. Şekil 2.2'de gösterildiği gibi bir PLC temel olarak aşağıdaki birimlerden oluşur [25]:

- Giriş ve çıkış birimleri.
- Programlamayıcı birimi.
- Sayısal verileri işleme birimi.
- Besleme kaynağı birimi.



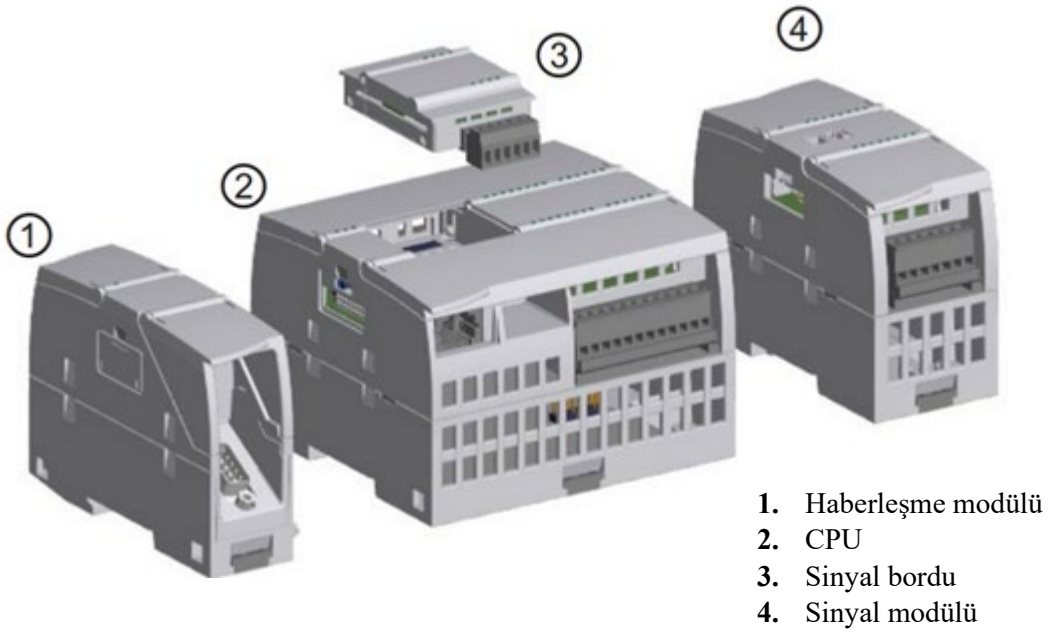
Şekil 2.2: PLC'nin basit yapısı.

2.1.2 PLC Bağlantısı ve Donanım

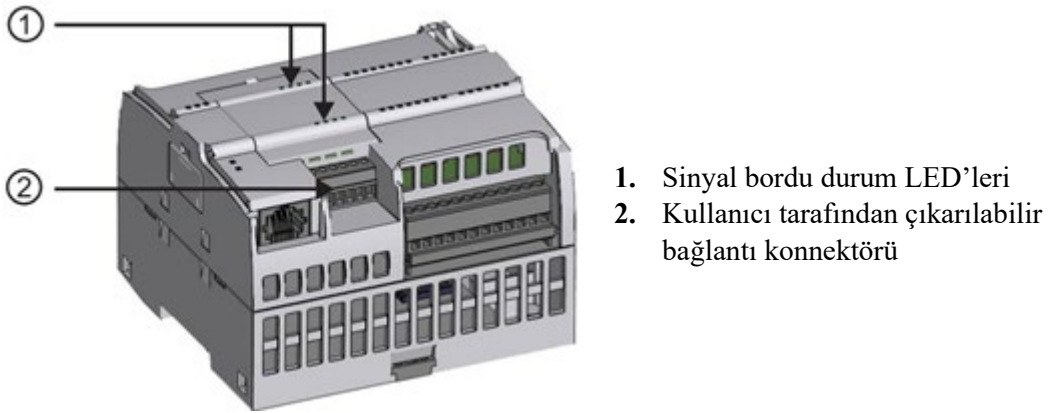
Siemens S7-1200 PLC, çok farklı cihazları kontrol etmek için kullanıcıya esneklik ve güç sağlar. Tasarımında kullanılan güçlü komut sistemleri ile birçok farklı sisteme entegre olarak çalışabilmektedir. PLC üzerinde bulunan CPU, bir mikroişlemci, güç kaynağı ve giriş/çıkış devrelerinden oluşur. PLC içerisindeki CPU, giriş birimlerine bağlanan anahtar, sensör gibi kontrol ve kumanda elemanlarından gelen lojik değerlerin işlenerek çıkışlara aktarılmasını sağlar. CPU içerisinde sayma fonksiyonları, zamanlama fonksiyonları, karmaşık matematik işlemleri için fonksiyonlar ve diğer cihazlar ile iletişim kurmak için haberleşme protokolleri bulunmaktadır.

PLC üzerinde bulunan PROFINET portu sayesinde PROFIBUS, GPRS, RS485 üzerinden haberleşme sağlanabilir veya RS232 modülleri ile iletişim kurmak için ek modüller kullanılabilir. PLC içerisinde bulundurduğu güvenlik önlemleri sayesinde hem CPU'ya hem de kontrol programına erişimi engelleyerek sistemin korunmasını da sağlar.

S7-1200 ailesi genişletilebilir modülleri sayesinde farklı birçok modülü de beraberinde kullanma imkânı sunar. PLC üzerine eklenen I/O modülleri, diğer iletişim protokolleri gibi ek modüllerin de eklenmesine olanak sağlar [29]. Şekil 2.3'te PLC ve ek modülleri sunulmaktadır.

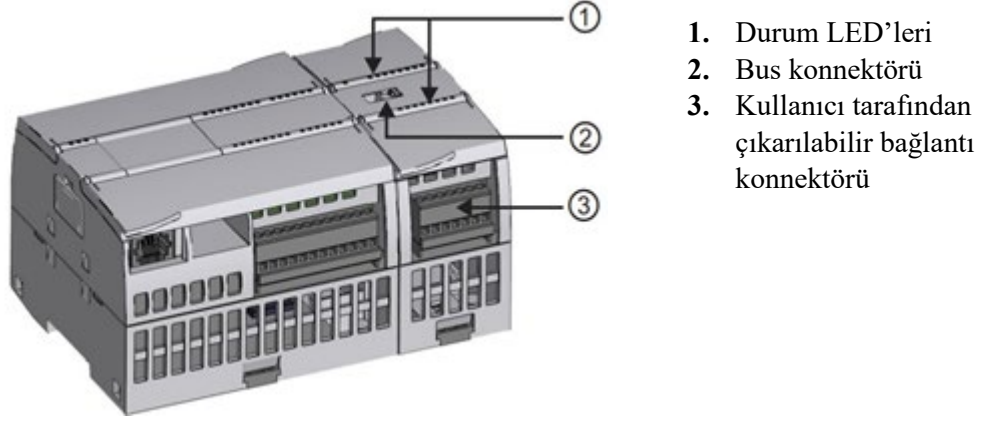


Şekil 2.3: PLC ve ek modülleri.



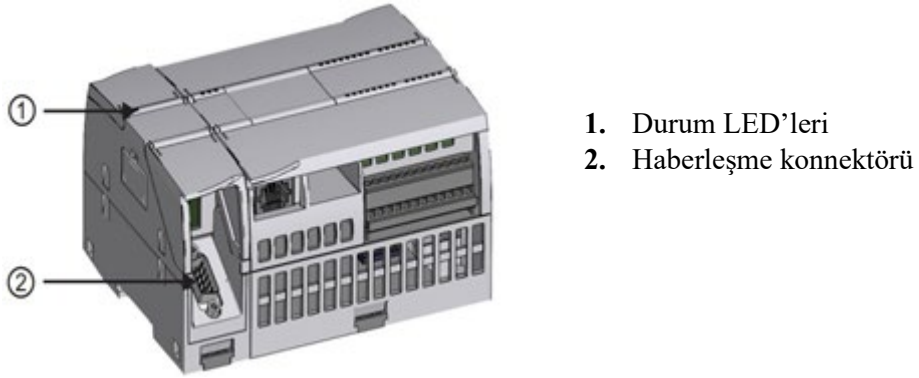
Şekil 2.4: Siemens S7-1200 CPU.

Şekil 2.4'te Siemens S7-1200 PLC'nin üzerinde bulunan merkezi işlem birimi CPU modülünün PLC üzerinde bulunduğu yer ve kullanıcı tarafından çıkarılıp takılabilen portatif bağlantı konektörü verilmektedir.



Şekil 2.5: Siemens S7-1200 dijital ve analog ek modülü.

Şekil 2.5'te Siemens S7-1200 serisi PLC'ye eklenerek giriş-çıkış pin sayısını arttırmak için kullanılan BUS konnektörünün bağlantısı gösterilmektedir.



Şekil 2.6: Siemens S7-1200 haberleşme ek modülü.

Şekil 2.6'da Siemens S7-1200 serisi PLC'nin haberleşmesi için kullanılan konnektörün bağlantı noktası ve bağlantı durumu hakkında bilgi veren LED göstergeleri verilmektedir.

2.1.3 PLC'nin Röle Bağlantılı Kontrol Sistemleri ile Karşılaştırılması

PLC, üzerinde gömülü olarak bulunan elektronik röle, sayıcı, zaman rölesi gibi gömülü modüllerden oluşan entegre bir endüstriyel bilgisayardır. Röle sisteminde, kontrolü sağlayan kumanda elemanları paralel olarak ve aynı zaman diliminde bir çalışma sağlayabilir ancak PLC'de çalışma şekli programın yazılış sırasına göredir. Röleli sistemlerde kullanılan kontak sayısı sınırlıdır. Ancak PLC'de kullanılmak istenen kontak sayısı sınırsızdır.

PLC ile bir sistemin tasarımı yapmak röleli sistemler ile yapmaktan daha kolay, hızlı ve maliyet bakımından daha az maliyetlidir. Röleli sistemlerde bir kumanda sistemi oluşturmak için birçok ekipmanı satın almamız gerekir (zaman rölesi, sayıcı vb.). PLC ile yapılan kontrol sistemlerinde sistemde kullanılacak zaman rölesi, sayıcı gibi birçok devre elemanını içerisinde bulundurmasından dolayı ayrıca eleman satın almaya gerek yoktur.

Röleli sistemler ile yapılan kumanda panolarında birçok ekipmanı harici olarak kullanmak gerektiği için pano çok fazla alan kaplayacaktır. PLC ile yapılan kumanda sistemlerinde çok fazla harici ekipman kullanımına gerek olmadığı için kapladığı alan röleli sisteme göre çok daha küçüktür. Bu da hacim yönünden avantaj sağlamaktadır.

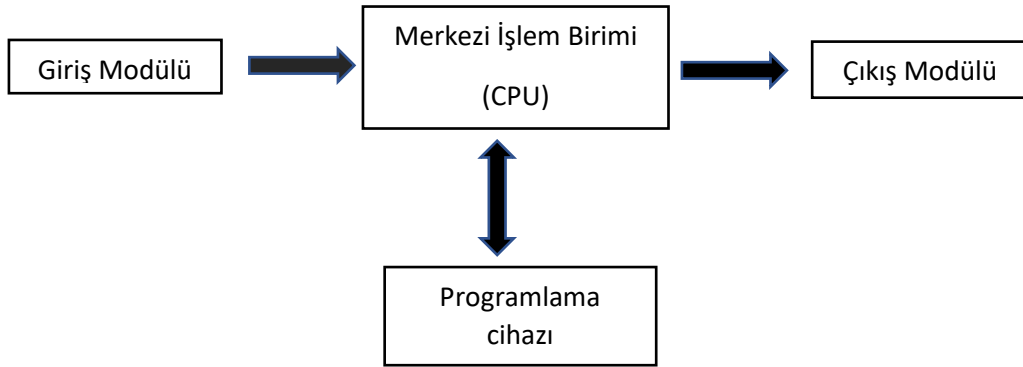
Röle sisteminde tasarlanan kumanda panosunda çok fazla ara bağlantılar bulunmaktadır. Bu karmaşık bağlantıların arasında sistemde arıza takibi ve arızanın bulunması çok uzun zaman alacaktır. PLC ile kurulan sistemlerde ara bağlantılar PLC içerisinde yapıldığı için karmaşık bir bağlantı yapısı yoktur. Bundan dolayı arıza takibi yapmak ve arızayı bulmak çok daha kolay ve hızlıdır. PLC kullanılarak tasarlanan kumanda sistemleri daha güvenli, düşük maliyetli ve daha az karmaşıktır. Bundan dolayı kumanda panolarının tasarımında röleli sistem kullanmak yerine PLC sistemi kullanmak daha avantajlıdır [30]. PLC ile röle sistemleri arasındaki farklar ve PLC sisteminin avantajları aşağıdaki gibidir:

- PLC'lerde sistemin çalışması yazılımla yapıldığından dolayı kontrol devresini tasarlamak röleli bir devre tasarımına göre daha kolaydır.
- PLC'de bütün kontroller yazılımla yapıldığından dolayı sadece yazılım ve bağlantılar değiştirilerek hızlı bir şekilde farklı uygulamalar yapılabilir.
- PLC, röleli kontrol devrelerine göre çok az yer kaplar.
- Küçük kontrol devrelerinin tasarımında PLC yerine röle kullanmak daha avantajlı ve az maliyetlidir.
- PLC'ler röleli sistemlere göre daha güvenli ve bakımı kolaydır. Sistemde herhangi bir arıza olması durumunda arıza bulmayı kolaylaştırır.
- PLC'ler tozlu ortamlarda ve olumsuz çevre koşullarında çalışmaya uygun tasarlandığı için röleli kumanda devrelerine göre daha güvenlidir [31].

2.1.4 PLC Parçalarının Yapısı ve Fonksiyonları

PLC, genel olarak Şekil 2.7’de gösterildiği gibi 4 ana bölümden oluşmaktadır:

- Central Processing Unit (CPU): Merkezi işlem birimi
- The Input/Output (I/O) Section: Giriş/çıkış bölümü
- The Programming Device: Programlama cihazı



Şekil 2.7: PLC'nin genel yapısı.

2.1.4.1 Merkezi İşlem Birimi (CPU)

Merkezi işlem birimi (CPU) PLC belleğine kaydedilmiş olan çalışmayı düzenleyen ve işleyen birimdir. Bu birim kontrol programlarının yürütülmesinden ve giriş/çıkış cihazlarının yönetilmesinden sorumlu olan temel bileşendir. CPU merdiven mantığı veya yapılandırılmış metin gibi bir programlama dilinde yazılmış olan bir dizi mantık talimatı olan kontrol programını işler ve bağlı cihazların kontrol edilmesini sağlar. CPU hem program belleğine (kontrol programının saklandığı yer) hem de veri belleğine (programın yürütülmesi sırasında değişkenlerin ve geçici verilerin saklandığı yer) sahiptir. Bellek kapasitesi PLC modeline göre değişkenlik göstermektedir.

CPU, giriş cihazları (sensörler vb.) ve çıkış cihazları (aktüatörler vb.) ile iletişiminden görevli ara birimdir. Girişten gelen sinyalleri okuyarak alınan verileri içerisinde kayıtlı olan kontrol programına göre işler ve çıkış cihazlarının yönetimini sağlar. CPU'lar genellikle diğer cihazlarla bağlanmak için içerisinde iletişim portlarına/arayüzlerine sahiptir. Bu sayede endüstriyel otomasyon sistemleri arasında veri alışverişi sağlar [31].

2.1.4.2 Hafıza

PLC'lerde bellek, endüstriyel kontrol sistemlerinin çalışması için gerekli programı, verileri ve sistem bilgilerini hafızasında tutan kritik bir bileşendir. PLC'ler genellikle her biri belirli bir amaca hizmet eden çeşitli bellek türlerine sahiptir. Bu bellek türleri kumanda edilen endüstriyel sisteme için tasarlanan programın saklandığı ve işlendiği birimlerdir. Bu birimler EEPROM, EPROM, RAM, ROM hafızası gibi hafıza türleridir [32].

PLC'nin işletim sistemini ve kontrol programını saklayan kalıcı bellek ROM'dur. PLC içerisindeki temel işlevselliği sağlayan kontrol programı, endüstriyel süreçlerin kontrolünü sağlayan talimatları içerir. PLC'nin güç kaynağı kapatıldığında dahi ROM içerisindeki veriler kaybolmaz.

Bazı PLC'lerde program belleği için EPROM kullanılır. EPROM silinebilir ve yeniden programlanabilir, böylece kontrol programında güncellemeler yapılabilir. Ancak EPROM üzerinde işlem yapmak özel ekipmanlar gerektirir ve diğer hafıza biçimleri kadar kullanışlı bir hafıza birimi değildir.

Giriş ve çıkış belleği PLC üzerinde bağlı olan cihazların durumunu saklamak için ayrılmış bir belleğe sahiptir. Bu bellek sensörlerden gelen girişleri okumak ve çıkışları diğer cihazlara iletmek için kullanılır.

Bazı PLC'ler güç kapatıldığında bile verilerini saklamak için pil destekli RAM kullanır. Bu, güç döngüleri arasında proses değerleri, sayaç değerleri ve zamanlayıcılar gibi kritik bilgilerin korunması için gereklidir.

2.1.4.3 Güç Kaynağı

PLC güç kaynağı ünitesi, PLC sisteminin çeşitli bileşenlerine gerekli elektrik gücünü sağlayan birimdir. PLC güç kaynakları endüstriyel tesisteki elektrik kaynağından gelen giriş gerilimini kabul edecek şekilde tasarlanmıştır. Yaygın giriş gerilim seviyeleri arasında 24 V_{DC} veya 220 V_{AC} bulunur. Kullanılacak uygulamaların gerilim ihtiyacına göre PLC modeli seçilmelidir. PLC çıkış gerilimi PLC'nin modeline bağlı olarak 5 V_{DC} veya 24 V_{DC} olabilmektedir.

Güç kaynağı ünitesinin kararlı bir şekilde çalışarak çıkış gerilimini düzenlemesi CPU ve giriş/çıkış modülleri dâhil olmak üzere PLC bileşenlerinin güvenli bir şekilde çalışmasını sağlamaktadır. Bazı PLC güç kaynakları, giriş ve çıkış tarafları arasında elektriksel olarak izolasyon sağlar. İzolasyon PLC sistemini gürültüden, parazitten ve harici güç kaynağında meydana gelebilecek arızalardan korunmasını sağlar.

Kritik uygulamaların yapıldığı yerlerde PLC'yi besleyen güç kaynağının arızalanması durumunda sistemin çalışmasını sürdürmek için yedek güç kaynağı bulundurulması gerekir. Yedek güç kaynağı sistemin güvenilirliğin artmasını sağlar. Güç kaynakları genellikle PLC sistemini aşırı akım veya aşırı gerilimden korumak için elektriksel koruma mekanizması içermektedir. Bu özellik sayesinde sistem bileşenlerinin zarar görmeden çalışmasını sağlar.

Tasarıma ve kaynağın kapasitesine bağlı olarak güç kaynaklarının çalışması esnasında oluşan ısıyı dağıtmak için yerleşik fanlar veya başka soğutma mekanizmaları bulunabilir. PLC bileşenlerinin istikrarlı ve güvenilir bir güç kaynağı ile beslenmesi sağlanarak endüstriyel otomasyon sisteminin genel performansına ve uzun ömürlülüğüne katkıda bulunur [29,32,33].

2.1.4.4 Giriş/Çıkış Bölümü

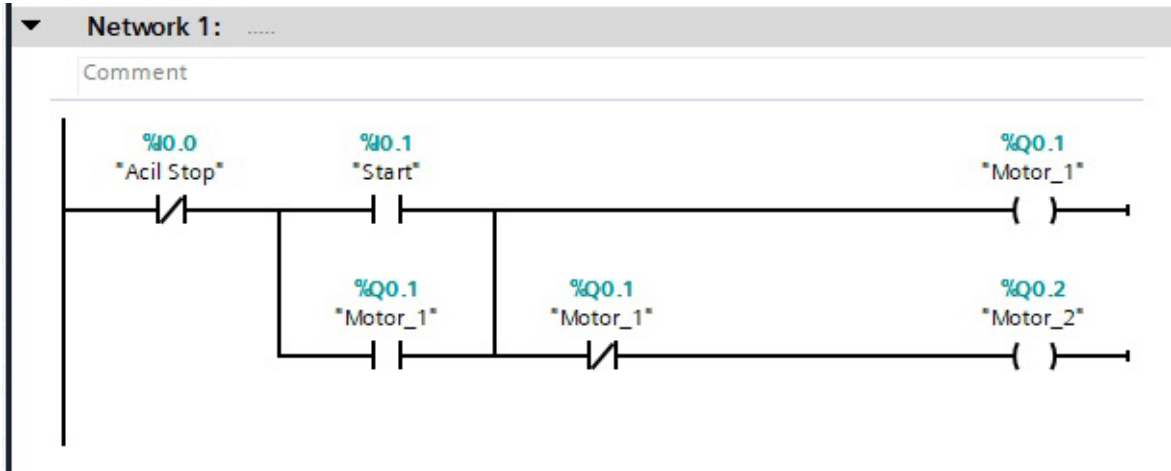
2.1.4.5 PLC Programlama Teknikleri

PLC'ler kullanılacakları yere uygun olarak tasarlanan program bloğunun cihaza yüklenip devreye alınması ile çalışır. PLC kullanıcılarının kolay bir şekilde program yazabilecekleri birçok programlama dili mevcuttur. PLC'ler için yaygın olarak kullanılan programlama dilleri şöyledir:

- Merdiven Diyagramı (LAD: Ladder Diagrams)
- Fonksiyon Blok Diyagramı (FBD: Function Block Diagrams)
- Komut (STL: Statment List, IL: Instruction List)
- Yapısal Metin Dili (ST: Structured Text)
- Ardışıl Fonksiyon Gösterimi (SFC: Sequential Functions Charts) [27].

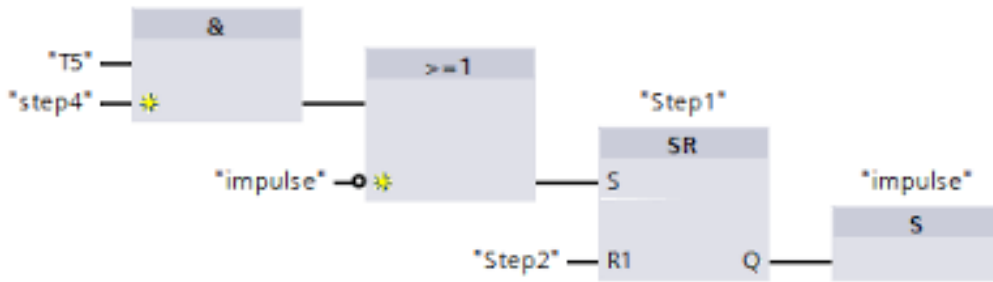
Merdiven diyagramı ile programlama dili, anahtarlama elemanlarının çokça bulunduğu sistemlerde kullanım kolaylığı açısından daha fazla tercih edilen bir dildir. Bu programlama dili ile tasarım yapılırken giriş ve çıkış birimleri, kontaklar yardımıyla sıralı bir şekilde

gösterilmektedir [34]. Şekil 2.8’de PLC tasarımı için kullanılan örnek bir merdiven diyagramı verilmektedir.



Şekil 2.8: Merdiven diyagramı örneği.

PLC programlama dillerinde kullanılan bir diğer dil ise Fonksiyon Blok Diyagram’dır (FBD). FBD mantık kapılarının kullanıldığı görsel bir programlama dilidir. FBD dilinde kutular içerisinde simgelenen mantık kapıları kullanılarak tasarım yapılmaktadır. FBD, kontrol sistemlerindeki algoritmaların kolayca birbirine bağlanması için kullanışlı bir programlama dilidir [27]. Şekil 2.9’da PLC tasarımı için kullanılan örnek bir fonksiyon blok diyagramı gösterilmiştir.



Şekil 2.9: Fonksiyon blok diyagram örneği.

2.2 SCADA Sistemi

SCADA sistemi kontrol ve otomasyon sistemlerinin temelidir. Endüstriyel tesislerde SCADA sistemi donanım, yazılım, iletişim ve kontrolörlerin I/O sinyallerinden meydana gelir. SCADA sistemi dört işlevi yerine getirerek çalışmaktadır. Sistem ilk olarak kontrolün

sağlanacağı yerdeki verileri toplar, toplanan verileri işlemek için veri kaynağı ile sistem arasında iletişim sağlar. Gelen veriler tasarlanan sistem programına göre işlendikten sonra gerekli kontroller sağlanır. Bu dört işlemin sonucunda SCADA sistemi çalışmasını tamamlamış olur. SCADA sistemindeki bu dört işlem aşağıda maddeler halinde verilmektedir:

1. Sensörler (dijital veya analog) ve kontrol röleleri sayesinde kontrol edilen sistemin doğrudan arayüz ile bağlantılı olarak çalışmasını sağlar.
2. RTU'lar uzak mesafedeki sahalarda belirli noktalara konumlandırılmış bilgisayarlı birimlerdir. RTU'lar sahadaki verilerin tek bir noktada toplanması için kullanılır. Sensörlerden gelen raporlar ve komutların rölelere iletilmesini sağlar.
3. SCADA ana üniteleri, SCADA için merkez işlemci görevi görmektedir. Sahadan gelen bütün verileri tek bir noktada toplayarak sistemi otomatik olarak düzenler, kontrol eder ve izlenmesini sağlar.
4. İletişim ağı, SCADA merkezi ile sahada belirli noktalara konumlandırılmış RTU'lar arasındaki iletişimin kurulmasını sağlar [35].

Endüstriyel sistemlerin belirlenen sıralama ile kontrol edilmesini ve anlık olarak gerçek zamanlı bir şekilde izlenebilmesini sağlayan sistem otomasyon sistemi olarak adlandırılmaktadır. Günümüzde otomasyon sistemleri, akıllı elektronik cihazların birbiriyle iletişim halinde çalışarak iş kalitesinin artırılmasında, sistemlerin kolayca izlenmesinde ve kontrolünde kullanılmaktadır.

SCADA sistemi genellikle endüstride karmaşık sistemlerin otomatik kontrolü için kullanılır. SCADA işletmede tesisin kritiğini kontrol ederek izlenmesini sağlar. SCADA, üretim yapılan tesislerdeki süreçlerin takibinde kullanılır. Sistemlerin belirlenen düzende yönetilmesini sağlar.

SCADA sistemi genel olarak telemetri ve sahadan veri toplama kombinasyonunun ortak ifadesi olarak adlandırılabilir. Gelen verilerin uygulama alanındaki belirli cihazlar vasıtasıyla ölçülmesiyle başlar ve akıllı cihazlar vasıtasıyla tek bir noktada toplanması ile devam eder. Tek bir noktada toplanan veriler belirlenen algortima ile işlenerek sistemin kontrolü sağlanmış olur [36].

2.2.1 WinCC ile SCADA Programının Yazılması

WinCC dünyadaki ilk İnsan Makine Arayüzü (Human Machine Interface (HMI)) yazılım sistemidir. Endüstride uygulanacak olan SCADA ekranları, WinCC ile kolay bir şekilde tasarlanabilmektedir. Sistem üzerinde herhangi bir sorun olması durumunda gelen uyarılar ve mesajlar izlenerek farklı proseslerin kendi aralarındaki koordinasyonu WinCC ile tek bir noktadan yapılabilmektedir [37].

Simatic WinCC Merkezi Denetim ve Veri Toplama (Supervisory Control and Data Acquisition (SCADA)) sistemi geliştirme ortamıdır. Otomatik süreç takip ve kontrol sistemlerinin tasarımı için kullanılır. WinCC kullanıcılara kolay tasarlanabilir HMI çözümleri sunan bir programdır. WinCC kullanıcı arayüzü ise oldukça gelişmiştir.

WinCC yürütülen işletme faaliyetlerini, merkez kullanıcı yönetimindeki faaliyetleri, butonların ve sensörlerin faaliyetlerini kaydedilmesi sayesinde sistemde olan değişiklikleri geçmişe yönelik izleme imkânı da sağlar.

WinCC Microsoft Windows destekli entegre raporlama sistemi sayesinde gösterge panolarının etkileşimli raporlarını oluşturur, yönetir ve bunları kullanılabilir hale getirir. Web ortamında Microsoft uygulamaları ile geçmiş verilere erişimi sağlar. WinCC/Web sayesinde tesisin internet üzerinden kontrol edilmesine olanak sağlar. Uzaktan erişim sayesinde hızlı güncelleme imkânı sağlar. Merkezileştirme sayesinde ise yazılım bakım maliyetleri minimum seviyeye indirgenmiş olur [38].

2.3 Arduino

2.3.1 Arduino Nedir?

Arduino kullanımı kolay, donanım ve yazılım olarak açık kaynak kodlu bir elektronik platformdur. İnteraktif projeler geliştirmek üzere üretilmiş elektronik donanım ve yazılım temeline dayanan bir geliştirme kartıdır. Arduino kartları üzerinde bir adet Atmel/AVR mikrodentleyici ve tasarlanan devrelerin bağlantılarında kullanılacak olan elektronik komponentler bulunmaktadır. Arduino tamamıyla açık kaynak kodlu olmasından dolayı kullanıcının istediği şekilde kullanabileceği ve kendi tasarımlarını yapabileceği bir platformdur.

Arduino kartları, her biri kendine has özellikleri olan çeşitli modellere sahiptir. Yaygın olarak tercih edilen arduino modelleri arasında Arduino UNO, Arduino NANO ve Arduino MEGA bulunmaktadır.

Arduino, wiring tabanlı programlama dili kullanmaktadır. Hazırlanan kodlar, Arduino yazılım geliştirme ortamı olan Arduino IDE üzerinden karta yüklenir. Arduino'yu programlamak için kullanılan programlama dili hemen hemen C programlama dili ile aynıdır.

Arduino'nun yazılım geliştirmek için sıklıkla tercih edilmesinin sebepleri açık kaynak kodlu olması, maliyetinin düşük olması ve erişilebilir olmasıdır. Arduino, zengin kütüphane desteği sayesinde ileri teknoloji donanımların kolaylıkla çalıştırılabilmesine olanak sağlar. Arduino içerisinde bulunan kütüphaneler, karmaşık yapıları basite indirgeyerek kullanıcılara kolaylık sağlayan fonksiyonlardan oluşmaktadır. Arduino'nun diğer cihazlar ile haberleşmesinin sağlanması için USB, Wi-Fi ve Bluetooth gibi evrensel haberleşme sistemleri de kolaylıkla kullanılabilir.

Arduino kartlarında kullanıcıların çeşitli sensörler ve elektronik bileşenlerle arayüz oluşturmasına olanak tanıyan dijital ve analog giriş/çıkış pinleri bulunmaktadır. Bu pinler sayesinde girişe bağlanan sensör veya buton gibi komponentlerden gelen veriler, içerisinde yazılan kod sistemine göre işlenerek belirlenen çıkışlarda veri üretilmesini sağlar.

Arduino erişilebilirliği ve çok yönlü kullanımı sayesinde eğitim, hobi veya profesyonel ortamlarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Farklı düzeyde kullanıcıların elektronik projelerini hayata geçirmek için sıkça kullandığı bir platformdur [39].

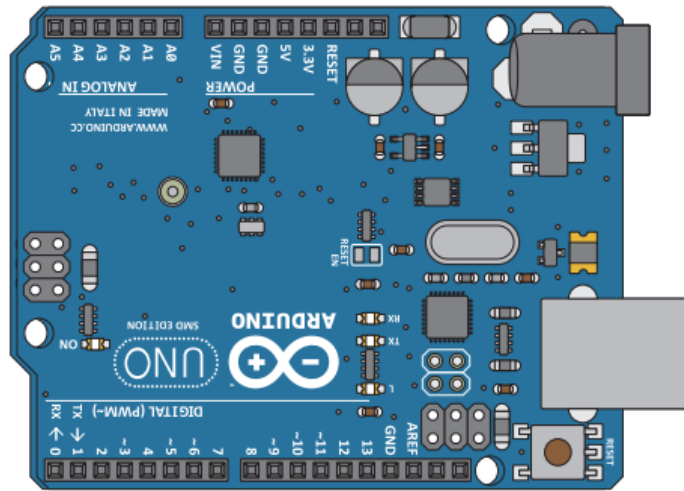
2.3.2 Arduino UNO

Arduino UNO yapılan çalışmalarda en çok kullanılan geliştirme kartıdır. Toplamda 14 dijital giriş/çıkış pinine sahiptir ve bu pinlerden 6 tanesi Darbe genişlik Modülasyonu (Pulse Width Modulation (PWM)) çıkışı olarak kullanılabilir. Arduino kartı üzerinde bir adet 16 MHz kristal osilatör, bir adet USB bağlantısı, bir adet güç girişi ve bir reset düğmesi bulunmaktadır.

Arduino UNO 9-12 V_{DC} besleme gerilimi ile veya USB portu beslemesi ile çalışmaktadır. Arduino üzerindeki USB port sayesinde Arduino IDE programı üzerinde tasarlanan yazılımın yüklenmesi yapılmaktadır. Arduino UNO 32 KB program hafızasına 1 KB EEPROM hafızasına, 2KB SRAM'e sahiptir. Arduino kartını diğer cihazlar ile haberleştirmek için UART, SPI ve I2C gibi çeşitli haberleşme protokollerinden faydalanılmaktadır. Atmega328 UART TTL (5V) seri haberleşmesini RX ve TX (pin 0 ve 1) pinleri üzerinden ile sağlar. Arduino'nun haberleşmesinin sağlandığı, kart üzerinde bulunan RX ve TX ışıklarının yanıp sönmesiyle anlaşılmaktadır.

Arduino kartının üzerindeki 10, 11, 12 ve 13 nolu pin çıkışları, SPI kütüphanesinden faydalanarak haberleşmenin sağlanması için kullanılır. I2C seri haberleşmesinde A5 pin çıkışı SCL, A4 pini de SDA haberleşme hattı olarak kullanılır.

Arduino kartı üzerindeki kısa devre koruması, yapılan bağlantıların herhangi birinde kısa devre olması durumunda ikaz led'ini yakarak uyarı vermektedir. Şekil2.10'da Arduino UNO kartının resmi gösterilmektedir [40,41].



Şekil 2.10: Arduino UNO kartı.

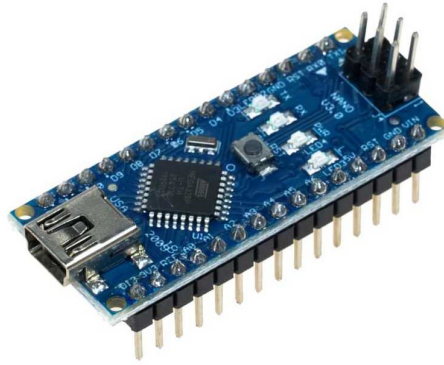
2.3.3 Arduino NANO

Arduino NANO, Arduino ailesinin yapı itibariyle en küçük kartlarından biridir. Prototipleme ve DIY elektronik projelerinde yaygın olarak kullanılan bir modeldir.

Arduino NANO, üzerinde Atmega328 veya Atmega168 mikrodenetleyici barındırmaktadır. Bu mikrodenetleyici Arduino UNO üzerinde kullanılan ile aynıdır ve benzer çalışma özelliklerine sahiptir. 16 MHz çalışma frekansına sahip bir devre kartıdır. Arduino NANO kartı üzerinde 14 adet dijital giriş/çıkış pinleri bulunmaktadır. Bu pinlerden 6 tanesi PWM çıkışı olarak kullanılabilir.

Arduino NANO kartının sensörlerden gelen analog sinyalleri okuyabilmesi için 8 adet analog giriş pini bulunmaktadır. Bu kart 32 KB flash bellek hafızasına, 2 KB SRAM hafızasına sahiptir.

Arduino NANO, diğer cihazlar ile haberleşmeyi sağlamak için içerisinde dahili olarak UART, SPI ve I2C modülleri barındırmaktadır. Arduino NANO kartında 7 – 12 V_{DC} gerilim voltaj aralığında çalışmasını sağlayan yerleşik bir voltaj regülatörü bulunmaktadır. Ayrıca doğrudan USB portu üzerinden de çalıştırılabilir. Şekil 2.11’de Arduino NANO kartı sunulmaktadır [40,41].

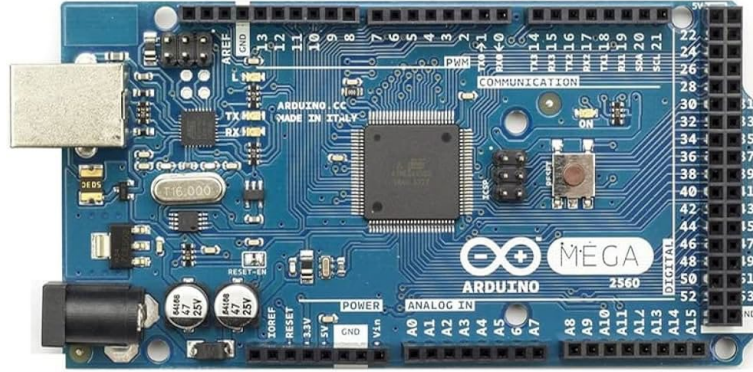


Şekil 2.11: Arduino NANO kartı.

2.3.4 Arduino MEGA

Arduino MEGA, UNO ve NANO devre kartlarına göre daha büyük bir devre kartına ve daha fazla sayıda pine sahiptir. Fazla sayıda komponentin kullanıldığı projeler için tasarlanmıştır. MEGA, program depolama için 256 KB flash belleğe ve 8 KB SRAM’e sahip olan Atmel ATmega2560 gibi güçlü bir mikrodenetleyici kullanmaktadır. Bu sayede büyük ve karmaşık projelerin geliştirilebilmesine olanak sağlar.

MEGA, NANO'ya kıyasla fazla sayıda dijital ve analog giriş/çıkış pinine sahiptir. Mega 54 adet dijital I/O pini ve çoklu iletişim bağlantılarına sahiptir. Mega üzerinde bulunan pinlerden 15 tanesi PWM çıkışı olarak kullanılabilir. 16 analog giriş ve 4 adet UART modülüne sahiptir. MEGA'nın programlama ve güç için USB arayüzü vardır ancak genellikle standart bir USB-B konektörü kullanılarak çalıştırılır. MEGA, Arduino IDE programı ile de uyumludur. Şekil 2.12'de Arduino Mega kartı gösterilmektedir [40,41].

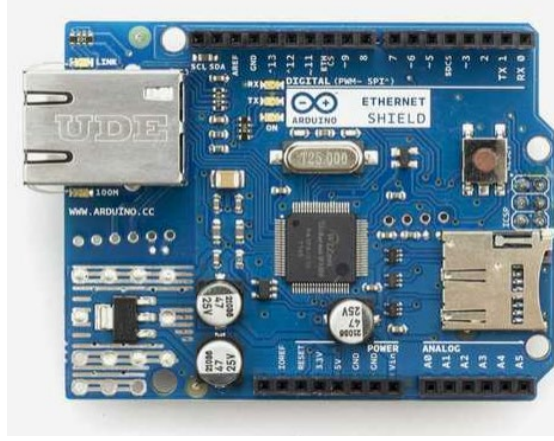


Şekil 2.12: Arduino MEGA kartı.

2.3.5 Arduino Ethernet Shield

Arduino Ethernet Shield, Arduino mikrodenetleyici kartlarının Ethernet protokolünü kullanarak yerel bir ağa veya internete bağlanmasını sağlayan bir genişletme kartıdır. Arduino projelerinin aynı ağda bulunan diğer cihazlar ile haberleşmesini, web servislerinden faydalanmasını ve sunucular ile etkileşime girmesini sağlar.

Arduino Ethernet Shield Wiznet W5100 veya W5500 gibi ethernet yongasını temel alır. Wiznet W5100 hem TCP hem de UDP kapasitesine sahip bir ağ alanı sağlar. Dört adet soket bağlantısına kadar bağlantıyı eş zamanlı olarak destekler. Kart üzerinde, yerel ağa bağlanmak için kullanılan RJ45 ethernet konektörü de bulunmaktadır. Şekil 2.13'te Ethernet Shield kartı verilmektedir.



Şekil 2.13: Arduino Ethernet Shield kartı.

2.4 Sensörler

Sensörler, ortamdaki fiziksel özellikleri veya değişiklikleri ölçen ve bu bilgiyi elektrik sinyaline veya başka bir okunabilir çıktı biçimine dönüştüren elektronik cihazlardır. Sensörler endüstriyel sistemler, otomotiv sistemleri, tüketici elektroniği, tıbbi cihazlar, çevresel izleme, endüstriyel otomasyon ve akıllı ev sistemleri gibi birçok alanda çeşitli uygulamalarda kullanılmaktadır.

Sensörlerin direnç değişimi, kapasite değişimi, piezoelektrik etkiler, elektromanyetik indüksiyon ve optik absorpsiyon dâhil olmak üzere çeşitli çalışma prensipleri bulunmaktadır. Doğru ve güvenilir ölçümler sağlamak için sensörlerin sıklıkla kalibrasyona ihtiyacı vardır. Bir sensörün doğruluğu, hassasiyet ve çözünürlük gibi faktörlere bağlıdır.

Sensörler, nesnelerin ve ortamların uzaktan izlenebilmesi ve kontrol edilmesi için verilerin toplanmasını mümkün kıldıklarından dolayı fiziksel nesnelerin birbiriyle veya daha büyük sistemlerle bağlantılı olduğu IoT sistemlerinde çok önemli bir rol oynar. Kablosuz sensör ağları, sensörlerin uzak veya ulaşılması zor konumlara yerleştirilmesine ve verilerin kablosuz olarak merkezi bir sisteme iletilmesine olanak sağlar [42].

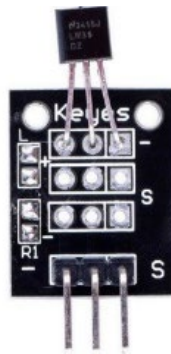
Sensör teknolojisinde devam eden gelişmeler daha çok minyatürleşme ve enerji verimliliği konusu üzerinedir. Ayrıca verileri bağımsız olarak işleyebilen ve iletebilen akıllı sensörlerin geliştirilmesi konusunda da yoğun çalışmalar sürmektedir. Birçok modern sensör, minyatür sensörlerin ve aktüatörlerin tek bir çip üzerinde entegrasyonuna olanak tanıyan mikro elektromekanik sistemler (Micro-Electro-Mechanical System (MEMS)) teknolojisine

dayanmaktadır. MEMS cihazları mikrometreden milimetreye kadar değişen boyutlara sahiptir. MEMS cihazları mekanik elemanları, sensörleri ve elektronik devreleri aynı alt tabaka üzerinde entegre ederek algılama, çalıştırma ve veri işleme dahil olmak üzere çeşitli işlevleri gerçekleştirebilir. Bu entegrasyon, boyutu küçültülmüş ve performansı geliştirilmiş çok işlevli cihazlara olanak tanır.

MEMS cihazları, fotolitografi, dağlama ve biriktirme işlemleri gibi yarı iletken imalatından türetilen teknikler kullanılarak üretilir. Bu durum, yüksek hacimli uygun maliyetli üretime de olanak tanır. İvmeölçerler ve jiroskoplar gibi eylemsizlik sensörleri en yaygın MEMS cihazları arasındadır. Navigasyon, stabilizasyon ve hareket tanıma gibi uygulamalarda da kullanılırlar. MEMS cihazları genellikle düşük güç tüketimiyle karakterize edilir ve bu da onları pille çalışan ve taşınabilir cihazlar için uygun kılar [43].

2.4.1 LM35 Sıcaklık Sensörü

Sıcaklık değerlerini ölçmek için elektronik projelerde yaygın olarak kullanılan LM35 analog yapıda bir entegre devredir. Santigrat derece ($^{\circ}\text{C}$) cinsinden sıcaklık ile doğru orantılı olarak bir çıkış gerilimi sağlayan LM35'in çıkış gerilimi $^{\circ}\text{C}$ başına 10 mV'tur. Bu durum, sıcaklıktaki her 1 $^{\circ}\text{C}$ değişim için çıkış voltajının 10mV değiştii anlamına gelir. LM35, -55 $^{\circ}\text{C}$ ile 150 $^{\circ}\text{C}$ arasındaki sıcaklık değerlerini ölçebilecek şekilde tasarlanmıştır. 1 mA yük için 0.1 Ω empedansa sahiptir. Bu sebeple düşük empedans çıkışına sahip bir sensördür. Şekil 2.14'te LM35 sıcaklık sensör modülü sunulmaktadır.



Şekil 2.14: LM35 sıcaklık sensör modülü.

LM35 sıcaklık sensörünün kendi kendine ısınma kapasitesi normal sıcaklıkta 0.08 $^{\circ}\text{C}$ 'dir. Bu da ölçtüğü sıcaklığın gerçek değerlere yakın olduğu ve sensörün kendi içindeki sıcaklıktan çok fazla etkilenmediği anlamına gelmektedir. Doğrudan $^{\circ}\text{C}$ cinsinden kalibre

Tablo 2.2: LM35 pin bağlantı tanımlamaları.

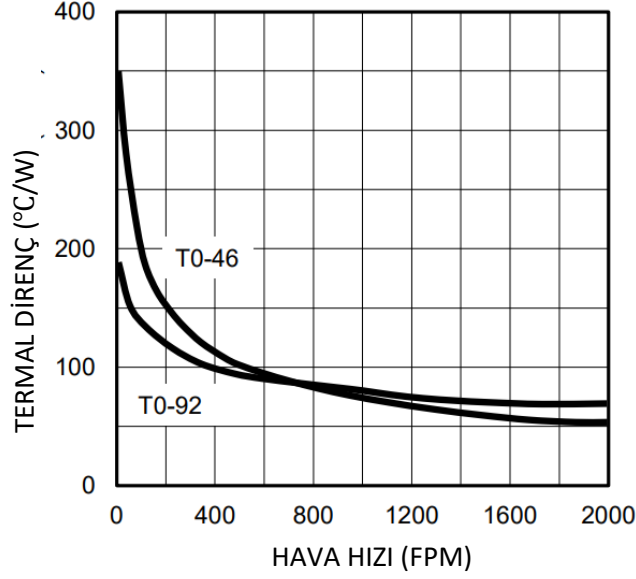
Adı	Pin				Tipi	Tanımlamalar
	TO46	TO92	TO220	SO8		
Vout	2	2	3	1	0	Sıcaklık sensörü analog çıkış
N.C.	-	-	-	2	-	
				3		
GND	3	3	2	4	GND	Negatif pin bağlantısı
N.C.	-	-	-	5		Bağlantı yok
				6		
				7		
Vs	1	1	1	8	Vcc	Pozitif pin bağlantısı

Tablo 2.2’de LM35 sıcaklık sensör paketlerinin üzerindeki pinlerin bağlantı yerleri analog değerlerin çıktığı pin bacak numaraları gösterilmiştir. Tablo 2.3’te LM35 sınır değerleri verilmektedir.

Tablo 2.3: LM35 sınır değerleri.

Parametre Adı	Alt sınır	Üst sınır	Sembol
Besleme Gerilimi	-0.2	35	V
Çıkış gerilimi	-1	6	V
Çıkış akımı		10	Ma
Max bağlantı Sıcaklığı		150	°C
Depolama sıcaklığı	-65	150	°C

LM35 sıcaklık sensörünün nominal değerlerde çalışabilmesi, zarar görmemesi ve doğru sonuçlar elde edilebilmesi için gerekli olan sınır değerler Tablo 2.3’te gösterildiği gibidir. LM35’in çalışma geriliminin altında gerilim uygulanması halinde, sensör doğru değerler göstermez fakat cihaz da zarar görmez. Ancak belirtilen değerlerin üzerinde bir gerilim uygulanırsa cihazda bozulmalar ve yanmalar meydana gelebilmektedir. Şekil 2.16’da hava hızı ile termal direnç etkisi gösterilmektedir.

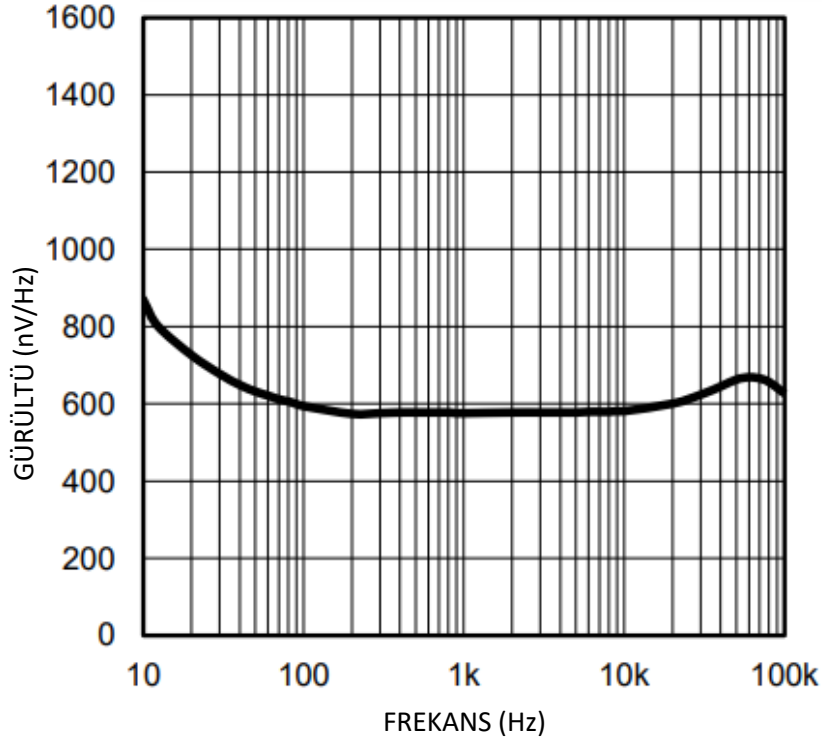


Şekil 2.16: Hava hızıyla termal direnç etkisi.

Şekil 2.16’da görüldüğü üzere sensör modellerinde (T0-46, T0-92) bulunan farklı transistor paketleri termal etkiyi değiştirmektedir. Şekilde gösterilen T0-92 ve T0-46 transistor paketlerinin hava hızının değişimine bağlı olarak gösterdikleri termal direnç değerleri de şekildeki gibidir. Her iki transistor paketinde de uygulanan havanın hızı arttıkça termal direnç değeri azalmakta ve belli bir hava hızı değerinden sonra termal direnç değeri sabit bir değere yaklaşmaktadır [44].

2.4.1.1 Güç Kaynağı Önerileri

LM35, 4 V ile 30 V arası çok geniş bir besleme gerilimi aralığına sahiptir. Bu özelliği onun birçok uygulamada tercih edilmesini sağlar. Gürültülü ortamlarda kullanılacaksa V+ GND arasına 0.1 μ F’lık kondansatör eklenmesini önerilir. Besleme gerilimine göre daha büyük kondansatörler kullanmak gerekebilir. Bunlar güç kaynağının gürültüsüne bağlı olarak değişim gösterir. Şekil 2.17’de frekans ile gürültünün değişimi verilmektedir.



Şekil 2.17: Frekans ile gürültü değişimi.

Şekil 2.17'deki grafikte gösterildiği gibi frekans değeri çok düşük olan besleme devrelerinde gürültü oranı daha yüksektir. Besleme geriliminin frekans değeri arttıkça gürültü oranı azalmakta ve belli bir frekans değerinden sonra sabit bir değere yakın gürültü meydana gelmektedir [44]. Bu tezde yapılan çalışmalarda sıcaklık değeri Denklem (2.1)'e göre hesaplanmaktadır [45]. Burada u değeri sensörün çıkış gerilimidir.

$$\text{Sıcaklık } (^{\circ}\text{C}) = 100 \cdot u \quad (2.1)$$

2.4.2 Oksijen Sensörü

Oksijen sensörü (MIX8410) ortamda bulunan oksijen konsantrasyonunun ölçülmesi için kullanılan elektrokimyasal prensibine dayalı ölçüm yapan bir devredir. Ortamda ölçülen oksijen konsantrasyonuyla orantılı olarak çıkışında belirli bir gerilim değeri üretir. Ölçülen oksijen değeri ile sensör çıkışında okunan gerilim değeri doğrusal bir karakteristiğe sahiptir.

MIX8410 Grove-Oksijen sensörü organik bir reaksiyon modülüdür. Sensöre besleme gerilimi bağlandığında belirli bir süre sensörün ısınması beklenir. Daha sonra ölçümler yapıldığında çıkış gerilimi ortamdaki oksijen miktarının değerine göre zamanla doğrusal bir şekilde değişecektir.

MIX8410 oksijen sensöründe çıkış akım değeri düşük olmasından dolayı elektrolitik tüketim daha yavaştır ve sensörün ömrü daha uzundur. Sensör üzerindeki pinlerin üst kısımda olması ve sensörün fiziksel boyutlarının küçük olması uygulamalarda montaj kolaylığı sağlamaktadır [46]. Şekil 2.18’de MIX8410 oksijen sensör modülü gösterilmektedir.



Şekil 2.18: MIX8410 oksijen sensör modülü.

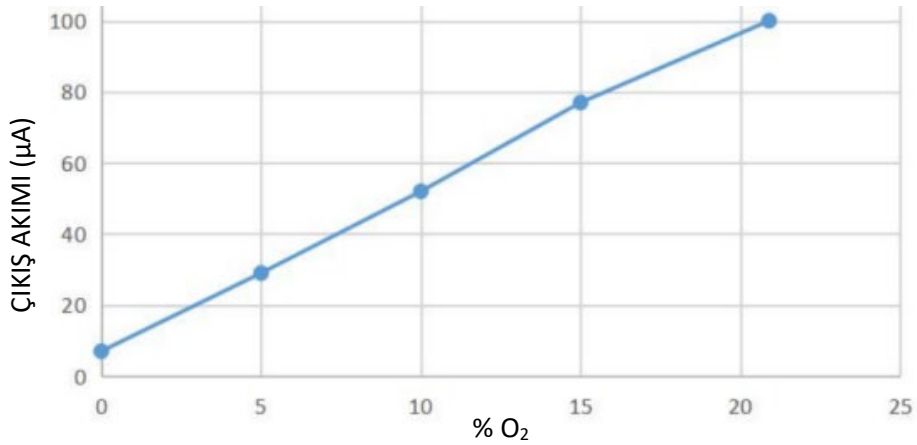
2.4.2.1 MIX8410 Oksijen Sensörünün Özellikleri

- Yüksek hassasiyet (0.1 ± 0.03 mA) ile birlikte lineer çıkış değerlerine sahiptir.
- 10 s ve altında tepki süresi ile yüksek kararlılığa sahiptir.
- Sensör, çevresel etkilerden korunacak şekilde tasarlanmıştır.
- Yüksek ölçüde azaltılmış sızıntı önleme teknolojisi bulunmaktadır.
- Uzun sensör ömrü için düşük akım çıkışına sahiptir [46].

Tablo 2.4’te MIX8410 oksijen sensörünün teknik bilgileri verilmektedir. Şekil 2.19’da ise sensörün çıkış akımı ile oksijen konsantrasyonu arasındaki ilişki gösterilmektedir.

Tablo 2.4: MIX8410 oksijen sensörü teknik bilgileri.

Parametre	Özellikler
Ölçüm aralığı	%0-25
Aşırı yük konsantrasyonu	%30
Hassasiyeti	0.05 – 0.15 mA
Tekrarlanabilirlik	±%2
Tutarlılık	<%2
Önerilen yük	100 Ω
Uzun süreli yükleme	<%5 – Yıl
Sıcaklık aralığı	-20 / 50 °C
Ön ısıtma süresi	20 Dakika
Depolama sıcaklığı	0-25 °C
Besleme voltajı	3.3 V / 5 V
Çalışma ömrü	2 Yıl



Şekil 2.19: MIX8410 oksijen sensörü çıkış akımı grafiği.

Şekil 2.19’da MIX8410 çıkış akımı ile zaman arasındaki korelasyon şöyledir: O₂ konsantrasyonu %20 değerinde iken çıkış akımı yaklaşık 96 µA’dır [46]. Bu tezde yapılan çalışmalarda % O₂ değeri Denklem (2.2)’ye göre hesaplanmaktadır [45]. Burada u değeri sensörün çıkış gerilimidir.

$$O_2 = 4 \cdot u \cdot 0.21 / 2 \cdot 100 \quad (2.2)$$

2.4.3 Hidrojen Sülfür Sensörü

2.4.3.1 Hidrojen Sülfür

Hidrojen sülfür (H₂S) gazı, deniz altı oyuklarında, bataklık yerlerde, volkanik olaylardan sonra oluşan ve genellikle durgun sularda bulunan bir gazdır. Sülfatların bakteriyolojik

indirgenmesinden dolayı ve proteinlerin bakteriyolojik olarak bozulmasından kaynaklı H₂S oluşmaktadır.

Kükürt (sülfür) doğada elementler veya bileşikler şeklinde, hayvansal organizmalarda protein maddelerinin bileşiminde bulunmaktadır. Bu maddeler bozunuma uğradığında kükürt içeren bileşikler nedeni ile kötü bir koku meydana gelmektedir.

Susuz ortamlarda H₂S orta dereceli sıcaklıklarda cıva, gümüş ve bakır gibi metaller ile tepkimeye girmez. Ancak havada nem bulunması durumunda hızlı bir şekilde tepkime meydana gelir. Hidrojen sülfürün susuz gaz ve sıvı hali asidik yapıya sahip değildir. Ancak sulu çözeltilerinde zayıf asit oluşumu meydana gelir [47].

Son derece zehirli bir gaz olan hidrojen sülfür, renksiz bir gaz yapısına sahiptir. Solunması durumunda koku duyusuna zarar verme özelliğine sahip olan bu gaz çürümüş yumurtaya benzeyen bir kokuya sahiptir. Özgül ağırlığı 1.19 g/cm³'tür ve bulunduğu ortamda %4 ile %44.5 arasında bulunması halinde patlama tehlikesi olan bir gazdır [16].

2.4.3.2 Hidrojen Sülfür Gazının İnsan Sağlığına Etkisi

Hidrojen sülfür, oldukça yüksek zehirliliğe sahip lağım gibi doğal birikim ortamlarında yoğunlukla bulunur ve iş yerlerinde ölümlere sebep olmaktadır. Hidrojen sülfür gazı, petrokimya, jeotermal enerji, lağım sistemlerinde, madencilikte ve hayvan atıklarının atılmasında çalışan insanların sağlığı için oldukça tehlikeli bir gazdır [47]. H₂S gazının etkileri Tablo 2.5'te sunulmaktadır.

Tablo 2.5: H₂S gazının etkileri.

Derişim (ppm)	Meydana gelen etkiler
1	Koku ile hissedilebilir.
10	Sekiz saatlik bir süre zararsızdır.
20	Koruyucu donanımlar gerekir.
100	3-5 dakika solunması ölüme neden olur, gözler ve boğaz yanar.
200	Hızlı koklanması durumunda ölüm gerçekleşir, gözler ve boğaz yanar.
500	2-5 dakika içinde solunum durur, anında suni solunum yapılması gerekir.
1000	Anında bilinç kaybolur, ilk yardım uygulanmadığı durumda beyin hasarı oluşur ve ölüm gerçekleşir.

2.4.3.3 Hidrojen Sülfür Gaz Sensörü (MQ-136)

MQ-136 hidrojen sülfür gaz sensörünün içinde bulunan hassas malzeme SnO₂'dir. Temiz havada düşük iletkenliğe sahip olan sensörün iletkenliği, ortamdaki H₂S gazı konsantrasyonunun artmasıyla birlikte artar.

MQ-136 gaz sensörünün H₂S gazına karşı yüksek hassasiyetinin bulunmasından dolayı ortamdaki H₂S oranını hassasiyetle ölçebilmektedir. İçerisinde bulunan basit devre aracılığıyla sensör çıkışına sinyal gönderebilmektedir. Çeşitli uygulamalarda kullanılan ve düşük maliyetli bir sensördür [48]. Şekil 2.20'de MQ-136 hidrojen sülfür sensörü gösterilmektedir.

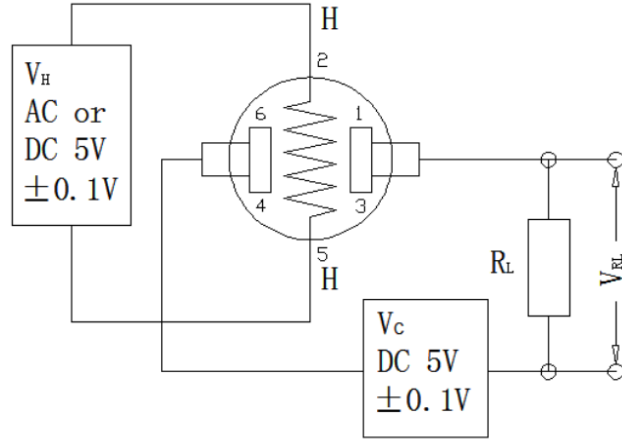


Şekil 2.20: MQ-136 Hidrojen sülfür sensörü.

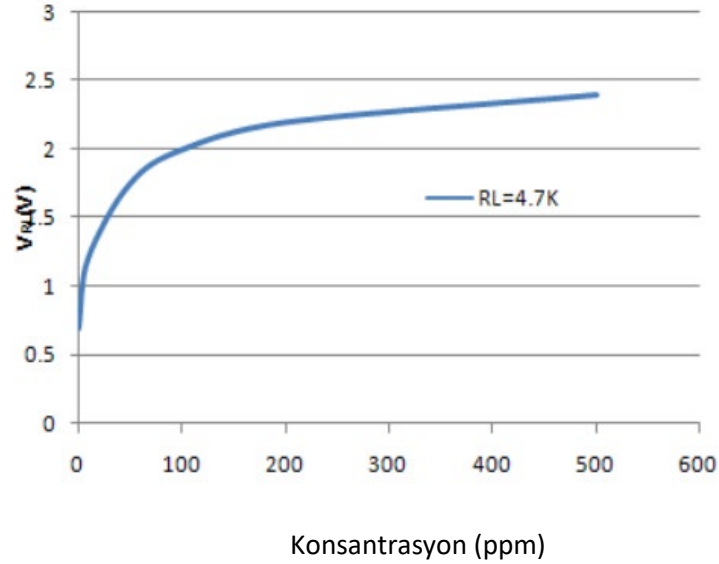
2.4.3.4 Hidrojen Sülfür Gaz Sensörü Devre Yapısı

Şekil 2.21'de MQ-136 gaz sensörünün temel test devresi verilmektedir. Sensör kullanımında iki adet gerilim girişi gerektirir. Bunlar, ısıtıcı gerilimi V_H ve devre gerilimi V_C'dir. V_H, cihazın standart çalışma sıcaklığı için uygulanan voltajdır. Sensör beslemesi 5 V_{AC} veya 5 V_{DC} olabilir. V_{RL}, yük R_L'nin üzerindeki gerilim değeridir [48]. Şekil 2.22'de MQ-136 gaz sensörüne uygulanan gaz miktarının artmasıyla birlikte R_L yükü üzerine düşen gerilim değişimi V_{RL} gösterilmektedir [48]. Bu tezde yapılan çalışmalarda H₂S değeri Denklem (2.3)'e göre hesaplanmaktadır [49]. Burada u değeri sensörün çıkış gerilimidir.

$$H_2S = 0.2297 \cdot e^{(3.158 \cdot u)} \quad (2.3)$$



Şekil 2.21: MQ-136 gaz sensörünün temel devresi.



Şekil 2.22: MQ-136 gaz konsantrasyonu ile çıkış geriliminin değişimi.

2.4.4 Metan Sensörü

2.4.4.1 Metan Gazı

Hem kokusu hem de rengi olmayan, yanıcı bir gaz olan metan, doğal gazın ana bileşenidir. Dünyada elektrik üretimi ve ısınma kaynaklarında yakıt olarak kullanılmaktadır. Metan küresel ölçekte güçlü bir sera gazıdır. Isınma potansiyeli 100 yıllık süre boyunca karbondioksitten (CO₂) 28 kat daha fazladır.

Metan konsantrasyonu 1900'lerin başlarında yaklaşık 800 ppb iken, 2016 yılında 1800 ppb'nin üzerine çıkmıştır. Bu artış öncelikle hayvansal atık, kömür madenciliği, petrokimya aramaları ve gaz dağıtım üretim tesislerine bağlı olabilir [50]. Özgül ağırlığı 0.55 g/cm³'tür.

Oksijen oranının yüksek olduğu yerlerde metan gazının zehirli bir etkisi yoktur. Oksijen oranının %12'nin altına düşmesi ve ortamın havasız olması durumunda boğucu bir özellik göstermektedir. Metan yapısı itibariyle patlayıcı bir gazdır. Oksijen oranının düşük olduğu yerlerde %4 ile %15 arasında metan bulunan ortamlarda patlama meydana gelebilir. Metan, yanma ısı kaynağına bağlı olarak 650-700 °C arasında değişmekte ve patlamadan sonra çevre ısı 1800-2500 °C'ye çıkmaktadır. Patlama meydana geldikten sonra ortamın basıncı 9 kat artış göstermektedir. Yanan 1 kg metan (CH₄) 13300 Kcal ısı açığa çıkarmaktadır ki bu oran 1 kg barutta 580 Kcal'dir [16].

2.4.4.2 Metan Gazı Tespiti için Kullanılan Detektörler

Metan gazı tespiti için kullanılan başlıca detektörler şunlardır:

- Otomatik detektörler (alarmlar)
- Ring Rose alarmı
- Metan ölçerler
- Dijital metan ölçerler
- Alevli güvenlik lambası

Yeraltında açığa çıkan metan gazını, drenaj yapılmadığı durumlarda tam olarak kontrol edebilmek mümkün değildir. Bundan dolayı yeraltında kullanılan tüm ekipmanların metan patlamasına karşı tedbirli olması gerekmektedir [16].

2.4.4.3 Metan Gaz Sensörü (MQ-4) Özellikleri

MQ-4 gaz sensörünün başlıca özellikleri şunlardır:

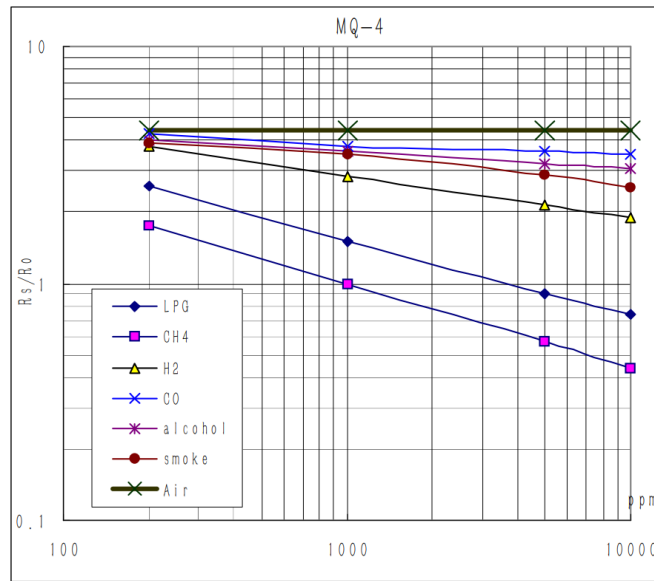
- Metan gazı (CH₄) ve doğal gaza yüksek hassasiyet
- Alkol ve sigara dumanına düşük hassasiyet
- Hızlı tepki süresi
- Kararlı ve uzun ömürlü çalışma süresi
- Basit uygulama devresi

Endüstriyel ortamlarda ve evlerdeki gaz kaçaqları için kullanılan MQ-4 gaz sensörü, metan gazı ve doğal gaza yüksek hassasiyeti olmasından dolayı bu gazların bulunduğu veya bulunma ihtimalinin olduğu yerlerde sıklıkla kullanılır [51]. MQ-4 gaz sensörünün çalışması için gerekli olan standart çalışma koşulları Tablo 2.6'da verilmektedir. Şekil

2.23'te ise sensörün çeşitli tür ve konsantrasyondaki gazlara göre farklı hassasiyetleri gösterilmektedir.

Tablo 2.6: MQ-4 sensörünün standart çalışma koşulları.

Sembol	Parametre Adı	Teknik Koşullar	Besleme Voltajı
V_c	Devre gerilimi	5 V	AC / DC
V_h	Isıtma gerilimi	5 V	AC / DC
P_l	Yük direnci	20 k Ω	
R_h	Isıtıcı yük	33 $\Omega \pm \%5$	
P_h	Isıtıcı güç tüketimi	750 mW kayıp	



Şekil 2.23: MQ-4 gaz sensörü hassasiyet grafiği.

MQ-4 gaz sensörünü kullanırken sensörün hassasiyet ayarı mutlaka yapılmalıdır. Sensöre hassasiyet ayarı yapılırken sıcaklık ve nem değerleri dikkate alınmalıdır. Açık havada 5000 ppm CH₄ konsantrasyonu için yük direncinin (R_L) değerinin yaklaşık olarak 20 k Ω (10 k Ω ile 47 k Ω arasında) olması gerekmektedir. Kullanım amacına bağlı olarak sensörün alarm noktalarının da belirlenmesi gerekir. Bu tezde yapılan çalışmalarda CH₄ değeri Denklem (2.4)'e göre hesaplanmaktadır [45]. Burada u değeri sensörün çıkış gerilimidir.

$$CH_4 = 249.3 \cdot e^{(0.3636 \cdot u)} + 2.039 \cdot e^{(2.281 \cdot u)} \quad (2.4)$$

2.4.5 Karbonmonoksit

Karbonmonoksit (CO), hidrokarbonların tam olarak yanmamasından dolayı ortaya çıkan bir moleküldür. Öldürücü bir etkisi olan CO, renksiz, kokusuz ve tatsız bir gazdır. Isınma amacıyla kullanılan odun, kömür, doğalgaz gibi yakıtların yakılması, motorlu araçlar, orman yangınları ve volkanik patlamalar sonucu CO gazı açığa çıkmaktadır [52].

Amerika Birleşik Devletleri'nde (ABD) her yıl karbon monoksit zehirlenmesinden etkilenen 45 bin kişinin 4 bini yaşamını yitirirken ülkemizde bu veriler net değildir. ABD'de CO zehirlenmesindeki en büyük etken (yaklaşık %57) egzoz gazlarının veya bulunulan ortamdan uzaklaştırılamayan endüstriyel atık gazların solunmasına bağlıdır. Ülkemizde ise ısınma ve sıcak su sağlayan sistemlerin uygun olmayan atık gaz uzaklaştırma ve baca sistemlerinden dolayı rüzgârlı havalarda meydana gelen ev kazalarında görülmektedir [53].

Oldukça zehirli bir gaz olan CO insan sağlığı açısından çok tehlikeli bir gazdır. CO, moleküler yapısı itibarıyla havadan biraz daha hafiftir, özgül ağırlığı 0.96 g/cm^3 'tür. Renksiz kokusuz ve tatsız bir gazdır. Yanıcı bir etkiye sahip olan karbonmonoksit yanması durumunda mavi alev çıkararak yanar ancak yanma reaksiyonunu başlatmaz ve sürdürmez. Yanmayı başlatmamasının sebebi ise hiçbir zaman alev çıkararak yanacak ve patlamaya sebebiyet verecek kadar yeterli konsantrasyona sahip olmamasıdır [16].

Karbon içerikli malzeme ve maddelerin tamamlanmamış yanması sonucu ortaya çıkan CO zehirli bir gaz olmasından dolayı az miktarda dahi maruz kalındığında kişi üzerinde baş ağrısı ve bulantıya sebep olmaktadır. Yüksek miktarda CO gazına maruz kalınması beyinde hasar meydana getirebilir hatta ölüme dahi sebebiyet verebilmektedir [54].

CO zehirlenmesinde kalp, böbrek, beyin, iskelet kası, periferal deri gibi neredeyse bütün organlar etkilenmektedir. CO zehirlenmesi sonucunda ortaya çıkan etkiler erken dönemde ortaya çıkabileceği gibi haftalar sonra da ortaya çıkabilmektedir [55]. Karbonmonoksit gazına maruz kalınması durumunda insan üzerinde gösterdiği etkiler Tablo 2.7'de, kana karışan karbonmonoksit değerine göre ortaya çıkabilecek klinik bulgular ise Tablo 2.8'de gösterilmektedir.

Tablo 2.7: Karbonmonoksit miktarının insan üzerindeki etkileri.

Konsantrasyon (%)	İzin verilebilir maruziyet süresi
0.01	Birkaç saat maruz kalınabilir
0.04 – 0.06	Fark edilmeden 1 saat normal nefes alınabilir
0.06 – 0.07	1 saatten sonra fark edilebilir etki gösterir
0.07 – 0.12	1 saatten sonra tehlikeli olmayan etki gösterir
0.12 – 0.20	1 saat maruziyet tehlikelidir
0.20 – 0.40	1 saatten az maruziyet tehlikelidir
≥0.40	1 saatten az sürede ölüme yol açar

Tablo 2.8: Kandaki CO düzeyine göre klinik bulgular.

CO düzeyi (%)	Klinik bulgular
%10-20	Bulantı, yorgunluk, takipne, duygusal dengesizlik, konfüzyon, sakarlık
%21-30	Baş ağrısı, efor dispnesi, angina, görme duyusunda değişiklikler, çevreye uyumda hafif yetersizlik, tehlikeye karşı tepki vermede zayıflık, hafif güç kaybı, duylarda zayıflama
%31-40	Baş dönmesi, sersemlik, bulantı, kusma, görme bozuklukları, karar almada yetersizlik
%41-50	Bayılma, bilinç değişiklikleri, unutkanlık, taşikardi, takipne
%51-60	Nöbetler, koma, belirgin asidoz, ölüme sonuçlanabilir
%60 üzeri	Ölüm

Karbonmonoksit zehirlenmesi meydana geldiğinde kişiye oksijen verilmeli ve hızlı bir şekilde mümkün olan en kısa sürede ciğerlere bol miktarda oksijen gitmesi sağlanmalıdır. Eğer kişinin bilinci kapalıysa temiz hava verilene kadar suni teneffüs yapılmalıdır [16].

2.4.5.1 Karbonmonoksit Gaz Sensörü (MQ-7) Özellikleri

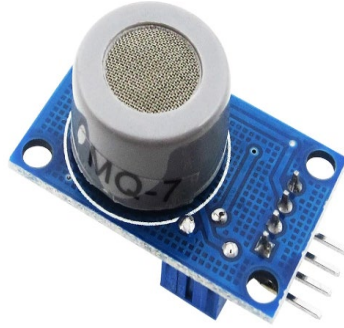
MQ-7 gaz sensörü, karbonmonoksit gazına karşı yüksek hassasiyete sahiptir. Yapısı itibariyle uzun süre istikrarlı bir şekilde çalışabilmektedir. MQ-7 gaz sensörü evlerde, arabalarda ve endüstride karbonmonoksit gazının bulunduğu veya bulunma ihtimalinin olduğu her noktada kullanılabilir. MQ-7 karbonmonoksit gaz sensörünün standart çalışma koşulları Tablo 2.9’da, çevresel etkilere bağlı olarak çalışma değerleri ise Tablo 2.10’da detaylı bir şekilde gösterilmektedir.

Tablo 2.9: MQ-7 standart çalışma koşulları.

Sembol	Parametre Adı	Teknik Şartlar	Besleme
V_C	Besleme gerilimi	5 V±0.1	AC / DC
V_H (H)	Isıtma gerilimi (Yüksek)	5 V±0.1	AC / DC
V_H (L)	Isıtma gerilimi (Düşük)	1.4 V±0.1	AC / DC
R_L	Yük direnci	Ayarlanabilir	
R_H	Isıtma direnci	33 Ω ±5%	Oda sıcaklığı
T_H (H)	Isıtma zamanı (Yüksek)	60±1(s)	
T_H (L)	Isıtma zamanı (Düşük)	90±1(s)	
P_H	Isıtma güç tüketimi	350 mW	

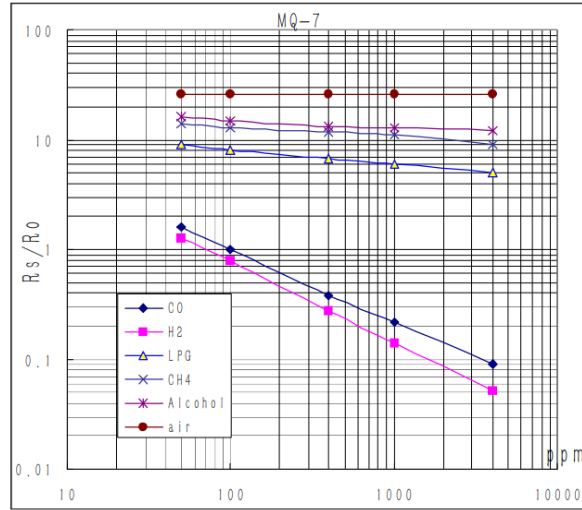
Tablo 2.10: MQ-7 çevresel koşullar.

Sembol	Parametre	Teknik Koşullar	Açıklama
T_{ao}	Sıcaklık	-20°C-50°C	
T_{as}	Depolama sıcaklığı	-20°C-50°C	
RH	Bağıl nem	%95 RH'den az bağıl nem %21(Standart durumu)	
O_2	Oksijen konsantrasyonu	Oksijen konsantrasyonu karakteristik hassasiyeti etkiler	Min değer %2'nin üzerinde



Şekil 2.24: MQ-7 gaz sensörü.

MQ-7 Gaz sensörü Şekil 2.24'te gösterilmektedir. Mikro AL203 seramik tüpten, Kalay Dioksit'e (SnO₂) duyarlı katmandan oluşan sensör, ölçüm elektrotu ve ısıtıcısı plastik ve paslanmaz çelik ağdan yapılmış bir kabuğa sabitlenmiştir. Isıtıcı, hassas bileşenlerin çalışması için gerekli koşulları sağlar.



Şekil 2.25: MQ-7 gaz sensörü hassasiyet grafiği.

Şekil 2.25'te MQ-7 gaz sensörünün ortamdaki farklı gazlara ve karbonmonoksit gazına karşı olan hassasiyeti gösterilmektedir. Sıcaklık 20 °C, Nem %65 ve oksijen konsantrasyonunun %21 olduğu ortamda sensör direnci R 10 kΩ'dur, ölçülen değer ise 100 ppm'dir. Bu tezde yapılan çalışmalarda CO değeri Denklem (2.5)'e göre hesaplanmaktadır [45]. Burada u değeri sensörün çıkış gerilimidir.

$$CO = 2.167 \cdot 10^{-9} \cdot e^{(5.584u)} + 6.9 \cdot e^{(0.803u)} \quad (2.5)$$

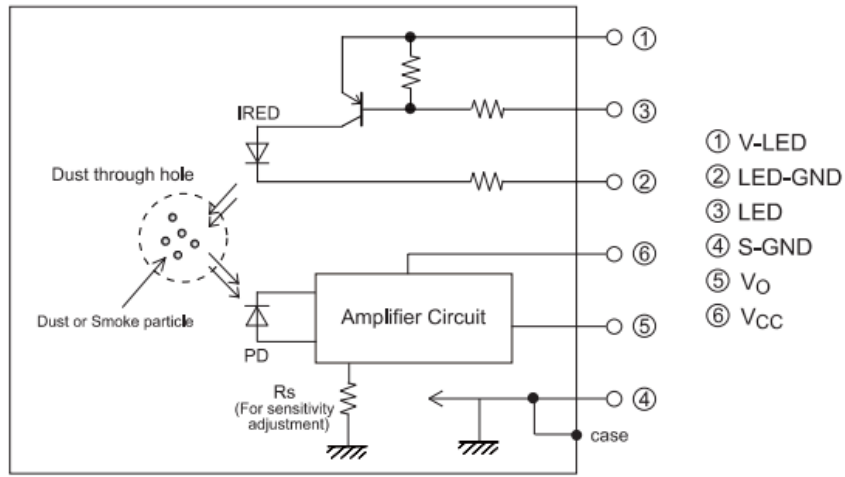
2.4.6 GP2Y10 Optik Toz Sensörü

GP2Y10 optik algılama sistemine sahip olan bir toz sensörüdür. Yapısı itibariyle içerisinde kırmızı ışık yayan bir diyot ve çapraz olarak yerleştirilmiş fototransistor bulundurulur. Sensör çalışması sırasında havada yayılmakta olan tozun yansıyan ışığını algılayarak temiz havadaki toz miktarının ölçülmesinde kullanılır.

Optik toz sensörü özellikle sigara dumanı gibi çok ince parçacıklı yapıdaki tozları ve dumanları tespit etme özelliğine sahiptir. Sensör, çıkış gerilimi değerinin darbe sıklık düzeyiyle temiz havadaki dumanı ve tozu algılayabilme özelliğine sahiptir [56]. Şekil 2.26'da GP2Y10 toz sensörü gösterilmektedir. Şekil 2.27'de ise sensörün bağlantı şeması verilmektedir.



Şekil 2.26: GP2Y10 optik toz sensörü.



Şekil 2.27: GP2Y10 toz sensörünün bağlantı şeması.

Tablo 2.11: GP2Y10 parametre değerleri.

Parametre	Sembol	Değer	Birim
Besleme gerilimi	V_{CC}	10 ± 1	V
Giriş terminal gerilimi	V_{led}	0.32 ± 0.02	V
Çalışma sıcaklığı	T_{opr}	5 ± 0.5	°C
Lehimleme sıcaklığı	T_{sol}	$-20 / +80$	°C

Tablo 2.11’de GP2Y10 toz sensörünün içerisinde geçen toz miktarının ölçülebilmesi için gerekli olan gerilim değerleri verilmektedir.

Tablo 2.12: GP2Y10 led giriş terminali çalışma koşulları.

Parametre	Sembol	Değer	Birim
Darbe tekrarı	T	10 ± 1	ms
Darbe Genişliği	Pw	0.32 ± 0.02	ms
Besleme gerilimi	Vcc	5 ± 0.5	V

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

Yeraltı kömür madenleri çalışma alanı olarak çok tehlikeli ve çok fazla dikkat gerektiren yerler olduğu için çalışma alanında alınacak güvenlik önlemleri de en üst seviyede olmalıdır. Yeraltı madenlerinde çalışan işçilerin ve yapılan işin güvenliğinin sağlanması için İSG kurallarına riayet edilerek ve belirli bir disiplin ile çalışılması gerekmektedir.

Yapılan araştırmalar sonucunda ülkemizde ve dünyada madencilik faaliyetlerinde çalışanların sayısı %1 olmasına rağmen iş kazası bakımından %8'lik dilimde yer almaktadır. Madencilikte kazaların önlenmesi için bazı temel hususlara dikkat edilmesi durumunda kazalarda azalma olduğu görülmüştür. Madencilik sektöründe çalışan işçilerin kaza yapmadan çalışabilmesi için en önemli faktör çalışan kişinin madencilik faaliyetleri bakımından bilgi ve tecrübeye sahip olması konusudur. Çalıştığı alandaki tehlikeyi önceden fark ederek gerekli tedbirleri alacak veya ani gelişen bir tehlike anında yapılması gereken en doğru müdahaleyi yapacak bilgi ve tecrübeye sahip olması gerekmektedir.

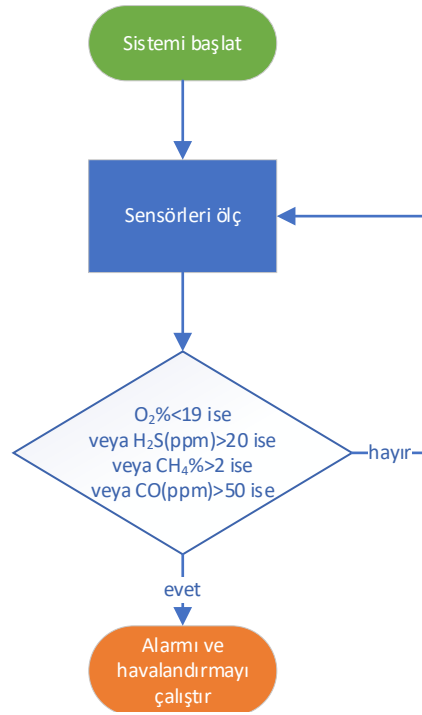
Yeraltı kömür madenlerinde çalışan işçinin ve işin güvenliğinin sağlanmasında işçinin kendi bilgi ve tecrübesinin dışında çevresel etkilerden dolayı meydana gelen ve tedbir alınmaması durumunda büyük sonuçlar ve acı kayıplar meydana getiren kazalar olabilmektedir. Yeraltı çalışma alanında sürekli olarak bulunan zehirleyici, boğucu gazlar ve yaşam için gerekli olan oksijen gaz miktarı anlık olarak kontrol altında tutulmalıdır. Zararlı gazlardan metan, karbonmonoksit, karbondioksit, hidrojen sülfür ve işçinin sağlığı için gerekli olan oksijen gaz miktarı sensörler ile takip edilerek güvenli bir çalışma alanı oluşturulmalıdır.

Yeraltı çalışma alanında bulunan ve takibi yapılan metan, karbonmonoksit, karbondioksit, hidrojen sülfür ve oksijen gazının yanında ortamda bulunan toz miktarı ve sıcaklık değerleri de kontrol altında tutularak ölçülen değerlerin herhangi birisinin yükselmesi durumunda çalışma alanı derhal boşaltılarak ortamın havalandırılması sağlanmalı ve herhangi bir kaza oluşumu engellenmelidir.

Gelişen teknolojinin madencilik sektöründe kullanılmasıyla birlikte işçiler üzerindeki iş yükü düşürülmüş, yaralanmalı ve ölümlü kazaların sayısı günden güne azalmıştır. Madenlerde güvenli çalışma alanının sağlanmasında aktif rol oynayan gaz ölçüm sensörlerinin değerleri, yerüstünde bulunan kontrol merkezindeki bilgisayarlar ile SCADA

ekranlarından anlık olarak takip edilmektedir. SCADA ekranları gaz değerlerinin belirlenen standartların üstüne çıkması veya düşmesi anında ekranlardan uyarı vererek, direkt müdahale imkânı da sağlamaktadır.

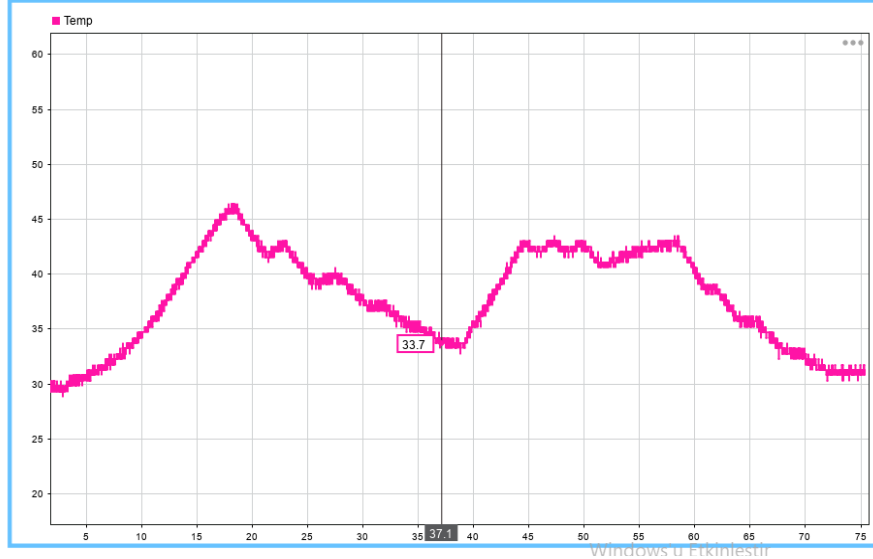
Tez çalışmasında araştırılan gaz çeşitleri, sıcaklık verileri ve oksijen değerleri üzerine sahada kullanılacak olarak sensörler prototip üzerinde kurularak laboratuvar ortamında gerekli testler yapılmıştır. Yapılan testler sonucunda tasarlanan SCADA ekranı ile sensörlerden gelen veriler anlık olarak görüntülenmiştir. Her bir sensör için maden yönetmeliğinde çalışılabilir gaz seviyeleri belirlenmiş ve sisteme gerekli uyarılar eklenmiştir. Tasarlanan uyarı sisteminin akış şeması Şekil 3.1’de sunulmaktadır [57].



Şekil 3.1: Uyarı sistemi akış şeması.

3.1 Sıcaklık Sensörü Testleri

Yeraltı madenlerinde kapalı ortamların sıcaklığının daima kontrol altında tutulması gerekmektedir. Kömürün oksijen ile temas etmesi sonucunda yanma meydana geleceği için ortamdaki sıcaklık değerleri de aniden yükselmeye başlayacaktır. Tez çalışmasında kullanılan LM35 sensörünün testleri farklı sıcaklık değerleri ile yapılmıştır. Test sonuçları Şekil 3.2’de verilmektedir. Burada ölçülen değerler °C cinsindedir.



Şekil 3.2: LM35 ile sıcaklık ölçümü.

3.2 Oksijen Sensörü Testleri

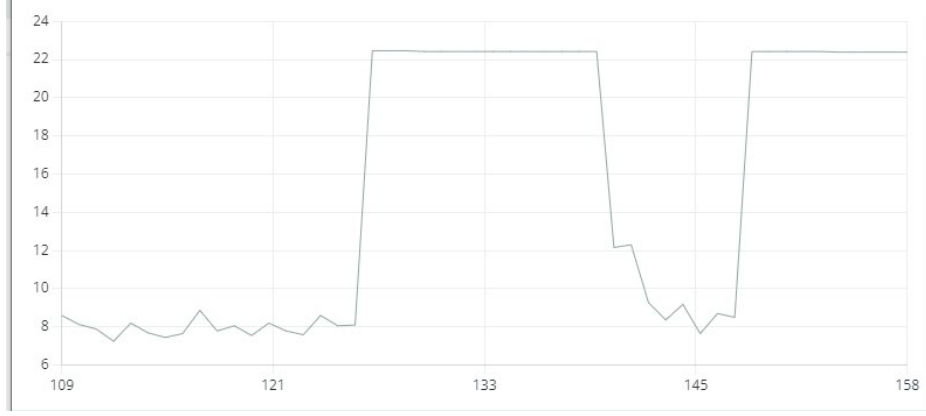
Madenler kapalı ortamlardır ve sürekli olarak zehirli gaz barındırırlar. İnsan sağlığı açısından ortamdaki oksijen miktarının normal seviyede olması gerekir. Bu seviye %19'un üzeridir. MIX8410 sensörü ile ortamda normal oksijen seviyesi ve az oksijen seviyesi bulunması durumları için testler yapılmıştır. Test sonuçları Şekil 3.3 ve 3.4'te sunulmaktadır.

```

Vout =1.02 V, Concentration of O2 is 9.28
Vout =0.85 V, Concentration of O2 is 8.37
Vout =0.82 V, Concentration of O2 is 9.18
Vout =0.85 V, Concentration of O2 is 7.65
Vout =0.78 V, Concentration of O2 is 8.70
Vout =0.75 V, Concentration of O2 is 8.50
Vout =2.14 V, Concentration of O2 is 22.42
Vout =2.14 V, Concentration of O2 is 22.42
Vout =2.14 V, Concentration of O2 is 22.42
Vout =2.14 V, Concentration of O2 is 22.42
Vout =2.13 V, Concentration of O2 is 22.39
Vout =2.13 V, Concentration of O2 is 22.39
Vout =2.13 V, Concentration of O2 is 22.39
Vout =2.13 V, Concentration of O2 is 22.39
Vout =2.13 V, Concentration of O2 is 22.39
Vout =2.13 V, Concentration of O2 is 22.39
Vout =2.13 V, Concentration of O2 is 22.42
Vout =2.14 V, Concentration of O2 is 22.42
Vout =1.29 V, Concentration of O2 is 14.06
Vout =1.19 V, Concentration of O2 is 12.50
Vout =0.91 V, Concentration of O2 is 10.23
Vout =2.14 V, Concentration of O2 is 22.49
Vout =1.19 V, Concentration of O2 is 12.53
Vout =1.19 V, Concentration of O2 is 12.53
Vout =2.14 V, Concentration of O2 is 22.49
Vout =2.15 V, Concentration of O2 is 22.52
Vout =2.14 V, Concentration of O2 is 22.49

```

Şekil 3.3: Oksijen ölçüm değerleri.

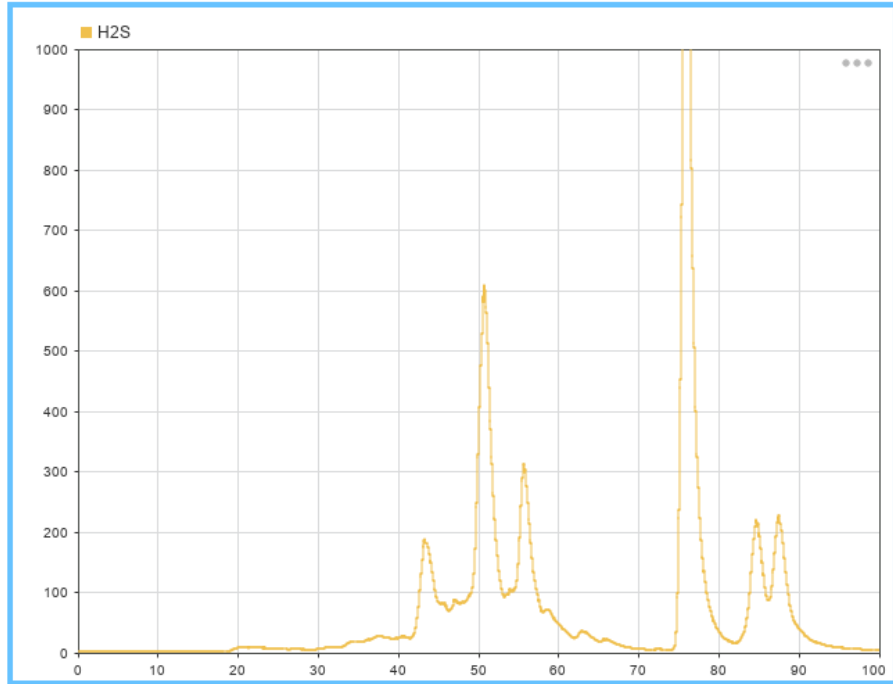


Şekil 3.4: Oksijen değerinin değişimi.

Şekil 3.3'te oksijen sensöründen gelen değerler % cinsinden gösterilmektedir. Şekil 3.4'te ölçülen değerler zamana bağlı olarak çizdirilmiştir. Bu sayede, değişimlerin daha net görünmesi sağlanmıştır.

3.3 Hidrojen Sülfür Sensörü Testleri

Tez çalışmasında, ortamdaki Hidrojen sülfür değerini ölçmek için kullanılan MQ-136 sensörünün testleri yapılmıştır. Test sonucunda ölçülen hidrojen sülfür değerleri Şekil 3.5'te zamana bağlı grafik olarak sunulmaktadır. Burada ölçülen değerler ppm cinsindedir.



Şekil 3.5: Hidrojen sülfür değerinin değişimi.

3.4 Metan Sensörü Testleri

Yeraltı madenlerinde bulunan ve büyük tehlike oluşturan metan gazı sürekli olarak kontrol altında tutulması gerektiği için hassas sensörler ile ölçümleri yapılmalı ve doğru sonuçlar elde edilmelidir. MQ-4 metan sensörünün testleri laboratuvar ortamında yapılmıştır. Sensöre belli konsantrasyon değerlerinde metan gazı verilerek test edilmiş ve ortaya çıkan sonuçlar Şekil 3.6'da gösterilmiştir. Değişen metan değerlerini daha iyi görebilmek için Şekil 3.7'de zamana bağlı grafik olarak, ppm cinsinden metan gazı verilmektedir.

```
Okunan Değer = 0.00 ppm
Okunan Değer = 0.00 ppm
Okunan Değer = 0.00 ppm
Okunan Değer = 0.00 ppm
Okunan Değer = 1.00 ppm
Okunan Değer = 1.00 ppm
Okunan Değer = 1.00 ppm
Okunan Değer = 1.00 ppm
Okunan Değer = 1.00 ppm
Okunan Değer = 1.00 ppm
Okunan Değer = 1.00 ppm
Okunan Değer = 1.00 ppm
Okunan Değer = 1.00 ppm
Okunan Değer = 1.00 ppm
Okunan Değer = 1.00 ppm
Okunan Değer = 1.00 ppm
Okunan Değer = 1.00 ppm
Okunan Değer = 1.00 ppm
Okunan Değer = 1.00 ppm
Okunan Değer = 1.00 ppm
Okunan Değer = 2.00 ppm
Okunan Değer = 2.00 ppm
Okunan Değer = 2.00 ppm
Okunan Değer = 2.00 ppm
Okunan Değer = 2.00 ppm
Okunan Değer = 2.00 ppm
Okunan Değer = 2.00 ppm
Okunan Değer = 2.00 ppm
Okunan Değer = 2.00 ppm
Okunan Değer = 2.00 ppm
Okunan Değer = 3.00 ppm
Okunan Değer = 3.00 ppm
Okunan Değer = 3.00 ppm
Okunan Değer = 3.00 ppm
```

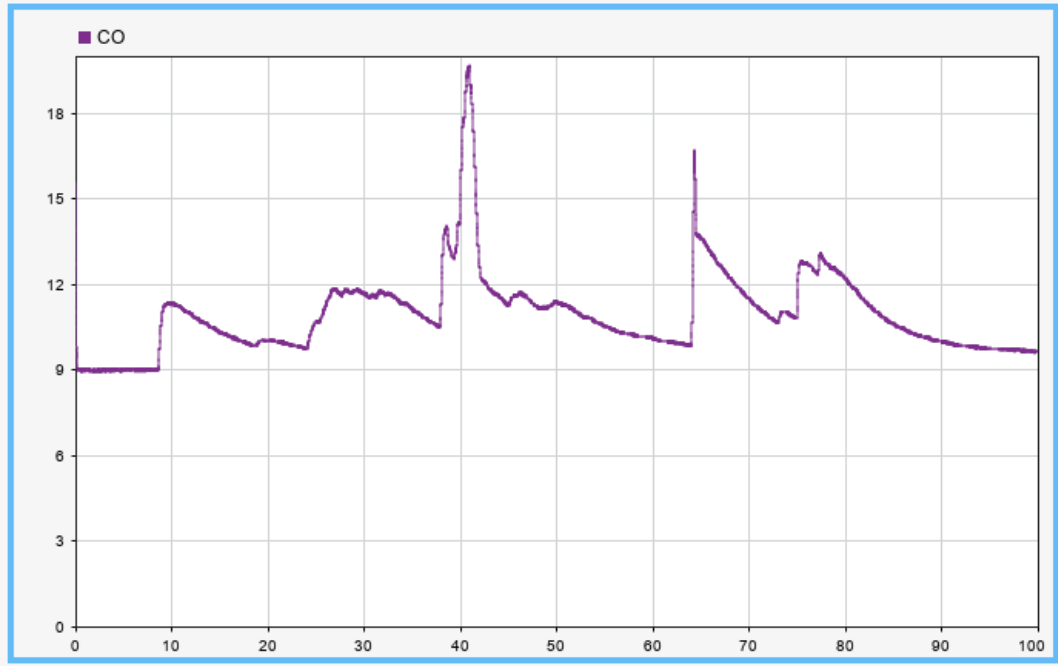
Şekil 3.6: Metan ölçüm değerleri.



Şekil 3.7: Metan değerinin değişimi.

3.5 Karbonmonoksit Sensörü Testleri

Yeraltı madenlerindeki zehirli gazlardan olan ve egzoz dumanı, kömür yanması gibi sebeplerden meydana gelen karbonmonoksit gazının ortamdaki konsantrasyon değerinin ölçülmesi için kullanılan MQ-7 karbonmonoksit sensörünün testleri yapılmıştır. Yapılan testler sonucunda ortamdaki karbonmonoksit değerinin değişiminin zamana bağlı grafiği Şekil 3.8’de verilmektedir. Burada karbonmonoksit değeri ppm cinsindedir.



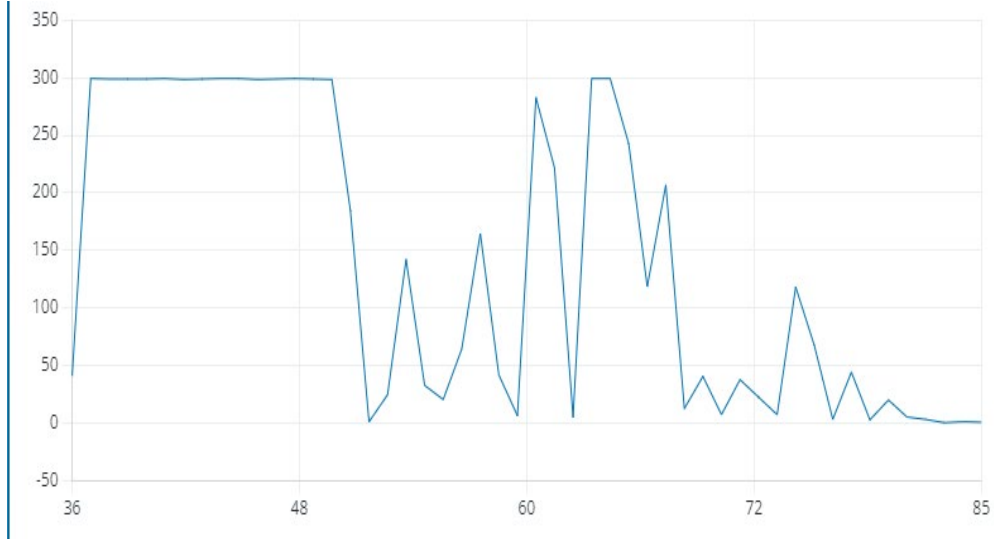
Şekil 3.8: Karbonmonoksit değerinin değişimi.

3.6 Toz Sensörü Testleri

Yeraltı maden ortamları oldukça yoğun toz barındırmaktadır. Ortamdaki toz miktarının ölçülmesi için kullanılan GP2Y10 sensörünün testleri yapılmıştır. Temiz havada ve tozlu ortamda sensörün ölçüm sonuçları Şekil 3.9’da verilmektedir. Ölçülen toz değerlerinin zamana bağlı değişimi ise Şekil 3.10’da sunulmaktadır. Buradaki değerler mg/m^3 ’tür.

37.96
41.24
299.23
298.82
298.82
298.82
299.23
298.41
298.82
299.23
299.23
298.41
298.82
299.23
298.82
298.41
184.38
1.45
24.83
142.14
33.04
20.73
64.62
164.70
42.06
6.79
282.82
221.71
5.56

Şekil 3.9: Toz ölçüm değerleri.



Şekil 3.10: Toz miktarının değişimi.

3.7 SCADA Sisteminin Testleri

3.7.1 PLC Tabanlı SCADA Sistemi

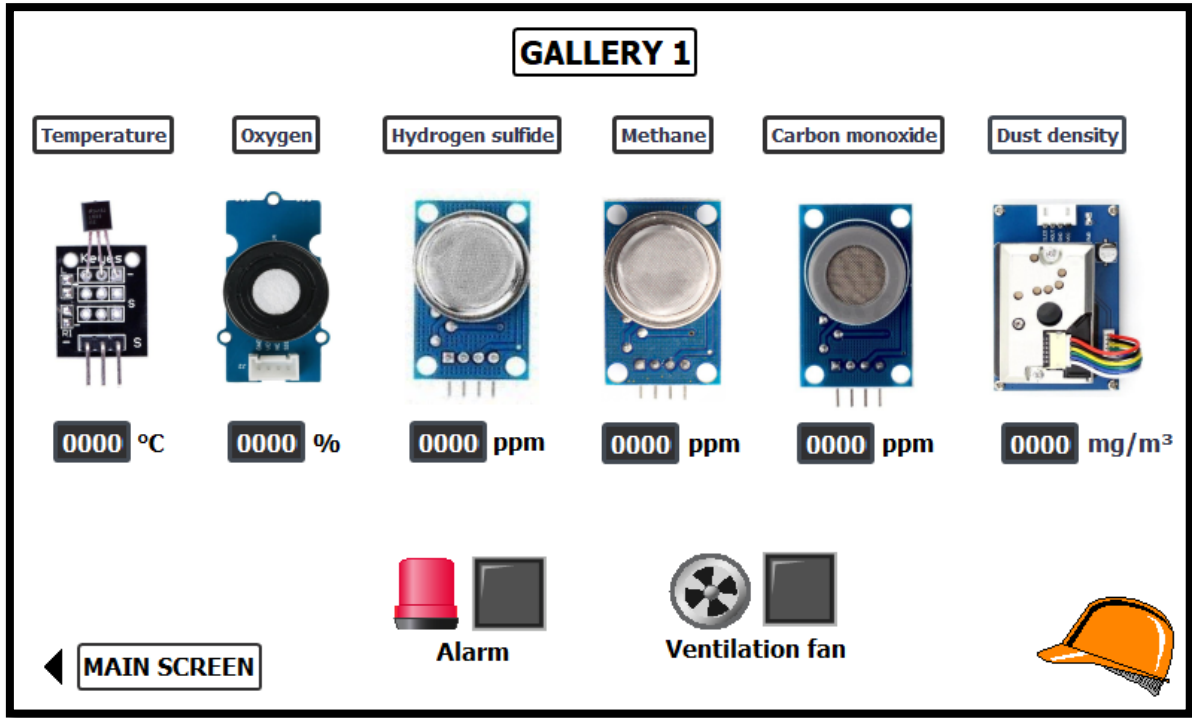
PLC günümüz işletmelerindeki belirli süreçleri (makinelerin çalışma sistemlerini, otomasyondaki üretim hatlarını vb.) insan faktörü olmadan kontrol etmek için kullanılan endüstriyel bir bilgisayardır. PLC'ler kendi içerisine yüklenen programı sıralı sistem şeklinde çalıştırarak otomasyon süreçlerini kontrol ederler. PLC üzerindeki dijital ve analog giriş çıkışlar sayesinde sahadan gelen veriler okunur. Bu değerlere göre uygulanması

gereken kontrol sistemi devreye alınır. Daha sonra dijital ve analog çıkışlara gerekli komutlar verilir. Böylece genel işleyişin kontrol edilmesi ve izlenmesi sağlanmaktadır.

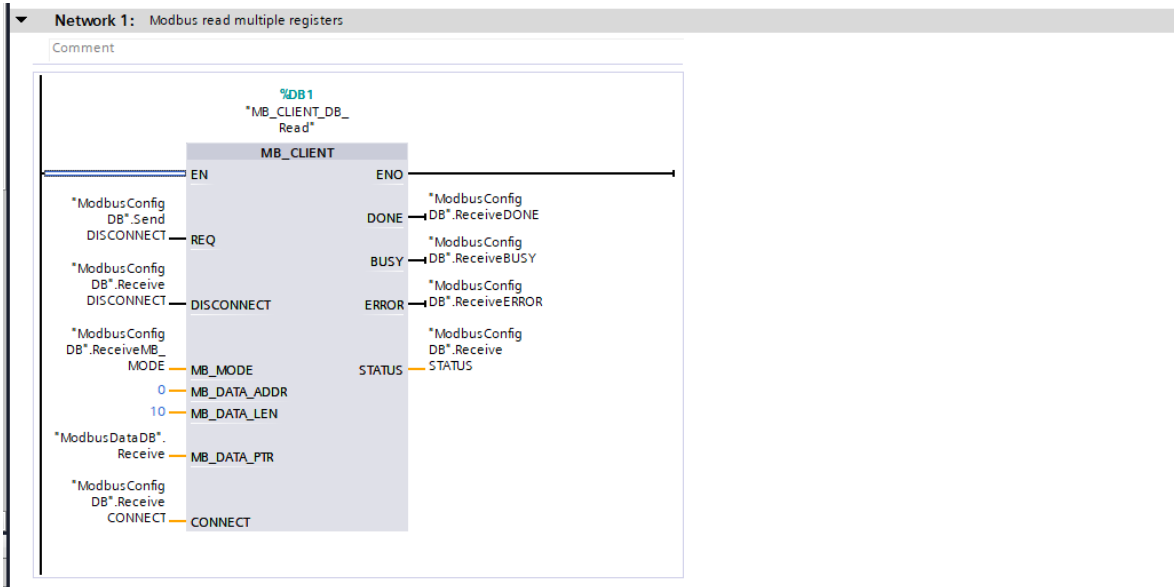
PLC'ler sistemin genel kontrolünü otomatik olarak yapar ancak sahadan gelen verilerin tek bir yerden toplanıp izlenebilmesi için SCADA sistemine ihtiyaç duymaktadır. SCADA, endüstriyel süreçlerde sahadan gelen verilerin gerçek zamanlı olarak toplanmasını ve kontrolünü kolaylaştırır. Süreç verilerinin grafik olarak gösterilmesini de sağlayarak kullanıcılar için ayrıca kolaylıklar sağlar. SCADA sistemi saha cihazlarıyla (vanalar, pompalar, sensörler gibi) PLC veya uzak terminal birimleri (RTU) aracılığıyla iletişim kurarak haberleşmeyi de sağlar. SCADA, operatörlerin sahadaki durum bilgisini en kolay şekilde almasını sağlar, verileri işler, dağıtır ve görüntüler.

SCADA sistemleri operasyonel verimliliğin artırılması, iş güvenliğinin sağlanması ve karar alma konusunun kolaylaştırılması gibi avantajları sayesinde modern endüstriyel sistemlerin temel bileşeni olmuştur. SCADA sayesinde tek bir noktadan kontrol ve izleme işlemleri yapılabilmekte, aynı zamanda sistem kontrolünün daha kolay ve anlaşılır olması da sağlanabilmektedir.

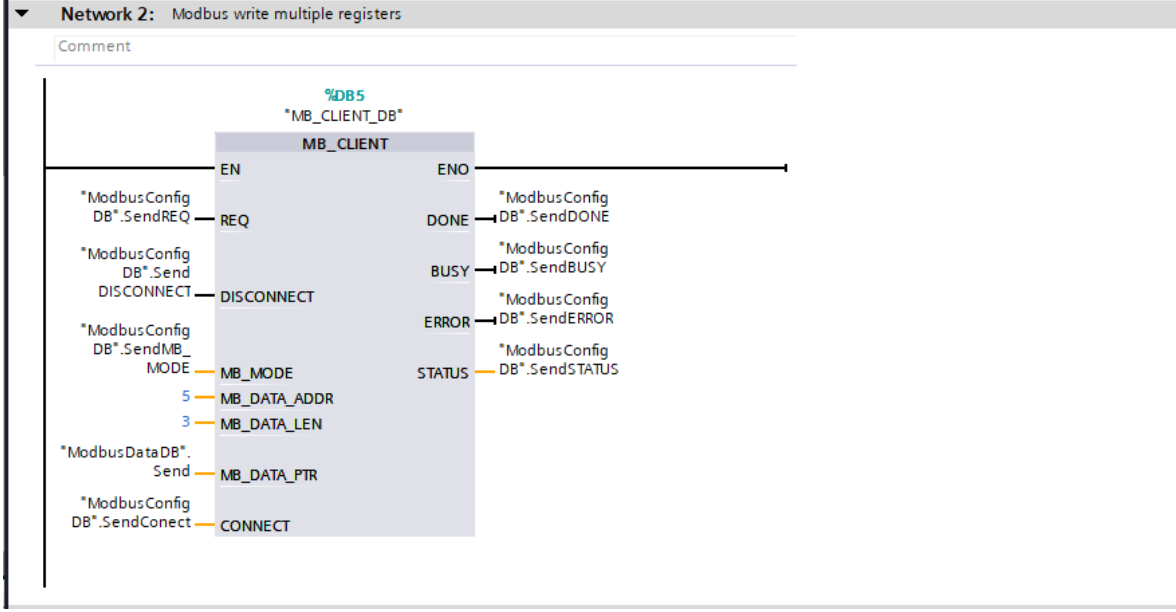
Tez çalışmasında kullanılan tüm sensörlerin tek bir noktadan izlenebilmesi için SCADA ekran tasarımı yapılmıştır. Yapılan SCADA ekran tasarımında farklı sensörlerden gelen ölçüm sonuçları, görsel tasarımı yapılan ekran üzerinde okunarak sistem takibi kolaylaştırılmış ve sonuçlara daha rahat bir şekilde ulaşım sağlanmıştır. Tasarlanan SCADA ekranı Şekil 3.11'de gösterilmektedir. Bu SCADA ekranı üzerinde ayrıca sistemin alarm durumu ve havalandırma sisteminin çalışıp çalışmadığı da izlenebilmektedir. Arduino kartı ile PLC-SCADA sisteminin haberleşmesi için kullanılan modbus veri okuma ve yazma blokları Şekil 3.12 ve 3.13'te, PLC modbus ayarları EK G'de, Arduino modbus kodları ise EK H'de verilmektedir.



Şekil 3.11: Tasarlanan SCADA ekranı.



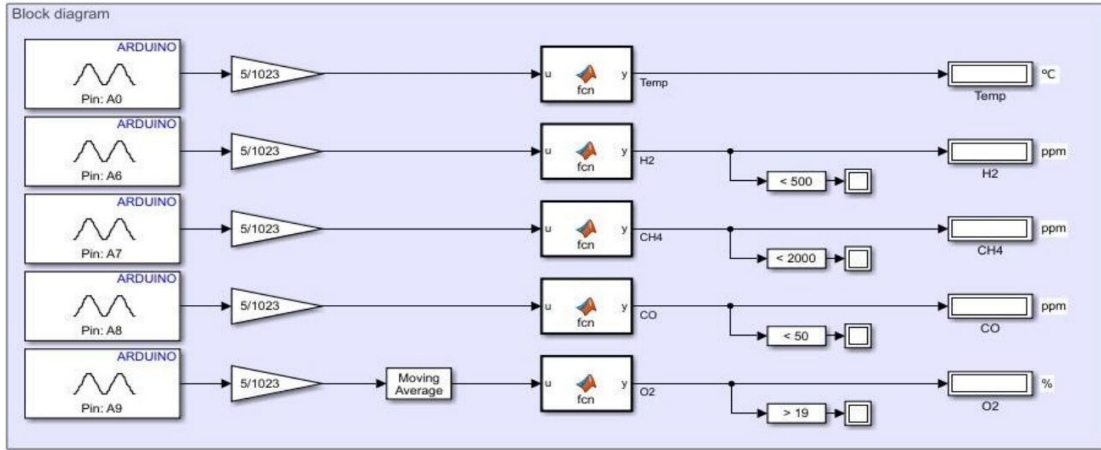
Şekil 3.12: Modbus veri okuma bloğu.



Şekil 3.13: Modbus veri yazma bloğu.

3.7.2 Simulink Tabanlı Sensör Ölçüm Sistemi

Tez çalışmasında PLC SCADA sisteminin dışında Arduino ve Simulink tabanlı bir izleme sistemi de tasarlanmıştır. Arduino Mega kartının programlanması için Matlab'ın *Simulink Support Package for Arduino Hardware* aracı kullanılmıştır [58]. Simulink ortamında hazırlanan ölçme algoritmalarının blok şemaları Şekil 3.14'te sunulmaktadır. Sensör verilerinin gerçek zamanlı izlenebilmesi için yine Simulink üzerinde bir kullanıcı paneli tasarlanmıştır. Bu panelin tasarımında Simulink *Dashboard* kütüphanesi kullanılmıştır [59]. Tasarlanan panel Şekil 3.15'te verilmektedir. Hazırlanan blok şeması *Embedded Coder* aracı ile Arduino Mega kartına yüklenmiştir. Simulink External Mode üzerinden gerçek zamanlı olarak tüm sensör verileri panelde görüntülenmektedir.



Şekil 3.14: Arduino Mega için Simulink blok şeması.



Şekil 3.15: Gerçek zamanlı izleme için Simulink kullanıcı paneli.

Şekil 3.15'teki panel sayesinde herhangi bir gaz değerinin tehlike sınırını aştığı tespit edilirse veya oksijen miktarı %19'un altına düşerse anında kullanıcıya uyarı sinyali vermektedir. Bu panel sayesinde istenirse tüm sensör verileri kayıt altına da alınabilmektedir.

4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Tez çalışmasında, yeraltı maden ocaklarında bulunan tüm sensörlerin ölçülüp, yer üstü kontrol merkezindeki ana bilgisayarlarda görüntülenmesini ve kontrol edilmesini sağlamak için SCADA sistemi tasarlanmıştır. Sensörlerden anlık olarak gelen gaz, toz ve sıcaklık değerleri SCADA ekranı üzerinden görüntülenmektedir. Sensör değerlerinin belirlenen sınırların altında veya üstünde olması durumunda anlık olarak ekranda alarm vermesi sağlanmıştır. Alarm sayesinde sorunlu bölgedeki personellere bilgi verilerek önlem alınması ve oluşabilecek olumsuz bir durumun engellenmesi sağlanmıştır.

Yeraltındaki çalışma alanlarına yerleştirilen metan, oksijen, hidrojen sülfür, toz, karbonmonoksit ve sıcaklık sensörleri sayesinde ortamdaki oksijen değeri, metan değeri, toz yoğunluğu, hidrojen sülfür değeri, karbonmonoksit değeri ve ortam sıcaklığı yer üstündeki SCADA ekranlarından izlenebilmektedir. Çalışma esnasında zehirli ve patlayıcı gazlardan olan metan, hidrojen sülfür, karbonmonoksit gazlarında ani değer yükselmesi veya oksijen miktarının %19'un altına düşmesi durumunda SCADA ekranında verilen alarmın yanında havalandırma sistemi de anında devreye alınmaktadır.

Metan gazı, yeraltı kömür madenlerinde bulunan ve 5 ppm ile 15 ppm arasında bulunması durumunda patlama riski olan boğucu bir gazdır. Ortamdaki sıcaklık değeri yükselip oksijen miktarı %16 seviyesinin altına düşmediği sürece patlama riski olmayan ancak kontrol altında tutulması gereken bir gazdır. Karbonmonoksit gazının çalışılan ortamda 50 ppm ve üzerinde 8 saat boyunca bulunması durumunda insan sağlığı üzerinde olumsuz etkileri olduğu da yapılan araştırmalarda görülmektedir. Hidrojen sülfür gazının, çalışılan ortamda 20 ppm üzerinde bulunması durumunda gerekli koruyucu ekipmanların kullanılması gerektiği, 100 ppm ve üzerinde olması durumunda ise acil olarak ortamın boşaltılması ve alanının hızlı bir şekilde havalandırılması gerektiği yönetmeliklerde vurgulanmaktadır.

Bu çalışmada yapılan araştırmalar ve deneyler sonucunda, yeraltındaki çalışma alanlarının anlık olarak kontrol edilmesi ve ortamdaki gaz, toz ve sıcaklık değerlerinin kontrol altında tutulması ile olası kazaların önlenabilir olduğu görülmüştür. İşçilerin sağlıklı bir şekilde çalışabilecekleri güvenli bir ortam oluşturulduğunda kazaların en az seviyeye indirildiği de görülmüştür.

Gelişen teknolojiyle beraber yeraltı çalışma alanlarının kontrol merkezindeki SCADA ekranlarından izlenmesiyle sayesinde güvenli bir ortam oluşturulsa da az da olsa kazaların devam ettiği görülmektedir. Madenlerdeki kaza sayısını yok denecek kadar az seviyeye indirmek, hatta ortadan kaldırmak için ilk olarak çalışan işçilerin oluşabilecek olumsuz durumlar hakkında bilgi sahibi olması önemlidir. Ayrıca herhangi bir kaza durumunda uyulması gereken kurallar hakkında işçilere daha çok eğitim verilmesi de gerekmektedir. Kurulu olan sensör ve haberleşme alt yapısından gelen uyarı ve alarmların sürekli olarak dikkate alındığı çalışma ortamlarında doğal yollardan oluşabilecek kazaların yok denilecek kadar az seviyeye indirilebileceği görülmektedir.

5. KAYNAKLAR

- [1] M. Gülser and Ö. Erdoğan, “Yer Altı Maden İşçilerinin Afet Anında Hayatta Kalma ve İlk Yardım Bilgi Düzeyleri,” *Resilience*, vol. 6, no. 1, pp. 1–13, 2022.
- [2] M. Ö. Keskin, O. Doğan, and S. Ersoy, “Metalik Bir Yeraltı Maden İşletmesi, Cevher Çıkarma, Üretim ve Nakliyat Aşamalarında Risk Değerlendirmesi,” *Gaziosmanpaşa Bilim. Araştırma Derg.*, vol. 9, no. 2, pp. 84–98, 2020.
- [3] G. Külekçi, “Dünya Da ve Türkiye’deki Maden Kazalarının İş Sağlığı ve Güvenliği Açısından İncelenmesi,” *Ejons International J.*, vol. 7, no. 4, pp. 623–633, 2023.
- [4] M. Özdemir, “Farklı Cihazlarla Üç Boyutta Elde Edilen Verilerin Madencilik Çalışmalarında Kullanımı,” *J. Sci. Reports-C*, no. 004, pp. 14–32, 2023.
- [5] Ş. Eskikaya and C. Kuzu, “Madenlerde PLC lerin Kullanımı ile Gerçekleştirilen İzleme-Kontrol ve Otomasyon,” in *Türkiye 9. Kömür Kongresi*, Zonguldak, 1994, pp. 15–26.
- [6] D. Mamurekli, C. Aydın, H. Deveci, and A. T. Sönmez, “Madencilikte Robotik Kontrol,” *Bilim. Madencilik Derg.*, vol. 35, no. 2, pp. 3–18, 1996.
- [7] N. Kul, “1500 Kva Gücünde 6.3 Kv. Çıkış Gerilimli Generatör Grubu ve Yüksek Gerilim Kesicilerinin Plc-Scada İle Uzaktan İzlenmesi,” Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, 2009.
- [8] F. Kocal and Y. Özçelik, “Kömür Madenciliğinde Uzaktan İzleme ve Kontrol Sistemleri ve Kozlu (Ttk-Zonguldak) Müessesesindeki Uygulamalar,” in *Proceedings of the 13th Turkish Coal Congress*, Zonguldak, 2002, pp. 357–370.
- [9] O. Yaman, “Nesnelerin İnterneti (IoT) Tabanlı Transformatör İzleme Sistemi,” Yüksek Lisans Tezi, Düzce Üniversitesi, 2019.
- [10] Ł. Bołoz and W. Biały, “Automation and Robotization of Underground Mining in Poland,” *Appl. Sci.*, vol. 10, no. 20, p. 7221, 2020.
- [11] S. Dündar, N. Bilim, and A. Bilim, “Ülkemizdeki Maden Sektöründe Meydana Gelen İş Kazası ve Meslek Hastalıklarının Analizi,” *Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilim. Derg.*, vol. 7, no. 2, pp. 423–432, 2018.
- [12] E. Bekiroğlu, “Transformatör Merkezlerinin Güvenlik Amaçlı Uzaktan İzlenmesi Ve Otomasyonu,” *Eng. Sci.*, vol. 4, no. 4, pp. 459–470, 2009.
- [13] A. R. Ergun, “Yeraltı Maden İşletmelerinde Gaz ve Toz Patlamaları ve Önlemler,” Çalışma Ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı İş Sağlığı Ve Güvenliği Genel Müdürlüğü,

2007.

- [14] M. Sıddık Kızıl, G. Kızıl, Ç. Tatar, and H. Köse, “The Use of Advanced Technology in Mining,” *Sci. Min. J.*, vol. 34, no. 2, pp. 39–50, 1995.
- [15] A. Dubey and J. Shrivastava, “Real-Time Monitoring, Control & Protection Of Transformer Using Plc And Scada,” *Int. Res. J. Eng. Technol.*, vol. 04, no. 05, p. 3, 2017, [Online]. Available: www.irjet.net
- [16] M. Durşen and B. Yasun, “Yeraltı Madenlerinde Bulunan Zararlı Gazlar ve Metan Drenajı,” *İsgüm, Ankara*, 2012.
- [17] T. Güyagüler, “Türkiye’de Meydana Gelen Grizu Patlamalarının İrdelenmesi ve Önlem Önerileri,” in *Proceedings of the 13th Turkish Coal Congress*, 2002, pp. 29–32.
- [18] M. Yağcı, O. Yıldızlar, and M. Yıldırım, “Madencilik sektöründe görülen ergonomik risk faktörleri,” *Ergonomi*, vol. 5, no. 1, pp. 55–71, 2022.
- [19] İ. Erol and A. Ürünveren, “Yeraltı Kömür Madenlerinde Meydana Gelen Büyük Maden Kazaları,” *Karaelmas İş Sağlığı ve Güvenliği Derg.*, vol. 5, no. 3, pp. 193–207, Dec. 2021, doi: 10.33720/kisgd.1020397.
- [20] C. Özdemir, B. Tunca, and M. Ç. Ö. L, “Dünyada ve Türkiye’de Maden Kazaları,” *Karaelmas J. Occup. Heal. Saf.*, vol. 7, no. 2, pp. 109–118, 2023.
- [21] R. S. Joshi, P. P. Patil, R. N. Dalavi, A. C. Patil, and S. K. Joshi, “A Review on Monitoring and Control Parameters of Gas Pipeline by Using PLC and Scada System,” *Int. J. Eng. Appl. Sci. Technol.*, vol. 4, no. 12, pp. 628–631, 2020.
- [22] G. Yadav and K. Paul, “Architecture and security of SCADA systems: A review,” *Int. J. Crit. Infrastruct. Prot.*, vol. 34, p. 100433, 2021.
- [23] M. Yigit, V. C. Gungor, G. Tuna, M. Rangoussi, and E. Fadel, “Power Line Communication Technologies For Smart Grid Applications: A review of Advances and Challenges,” *Comput. Networks*, vol. 70, pp. 366–383, 2014.
- [24] A. N. Lovev and P. I. Yakimov, “Application of PLC as a Gateway in a Network of Smart Power Transducers,” *IFAC-PapersOnLine*, vol. 48, no. 24, pp. 95–98, 2015.
- [25] İ. Çolak, R. Bayındır, and S. Kuruşçu, “PLC Kontrollü Asansör Eğitim Seti Tasarımı ve Uygulaması,” *Erciyes Üniversitesi Fen Bilim. Enstitüsü Fen Bilim. Derg.*, vol. 23, no. 1, pp. 86–94, 2007.
- [26] MEGEP, *Temel PLC Sistemleri*. Ankara: Milli Eğitim Bakanlığı, 2007.
- [27] M. A. Öner and S. Solak, “PLC Tabanlı Uygulamalar: Mill Makinelerinde Oluşacak İş Kazalarının PLC Kullanılarak Önlenmesi,” *Avrupa Bilim ve Teknol. Derg.*, no. 20,

- pp. 101–110, 2020.
- [28] B. Arseven, “Operatör Panelli PLC Eğitim Setinin Hazırlanması,” Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi, 2007.
- [29] Siemens, “S7- 1200 Programmable controller S7-1200 Programmable controller,” 2012.
- [30] MEGEP, *Elektrik Elektronik Teknolojisi*. Ankara, 2007.
- [31] MEGEP, *Elektrik Elektronik Teknolojisi Temel PLC Sistemleri Ankara 2007*. Ankara, 2007.
- [32] MEGEP, *PLC ve Montajı*. Ankara, 2011.
- [33] Recep Çetin, *S7-200 PLC’lerle Temel Seviye Otomasyon*. Ankara, 2008.
- [34] V. Tongur, “Atmega128 tabanlı PLC tasarımı,” Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, 2008.
- [35] R. K. Chauhan, M. L. Dewal, and K. Chauhan, “Intelligent SCADA system,” *Int. J. power Syst. Optim. Control*, vol. 2, no. 1, pp. 143–149, 2010.
- [36] A. Üstündağ and Ç. Gencer, “PLC ve SCADA Kullanılarak Bir Orcik Üretim Sisteminin Otomasyonu,” *Int. J. Pure Appl. Sci.*, vol. 7, no. 1, pp. 173–184, 2021.
- [37] M. Kılıç and Ş. Özdemir, “SCADA Sistemi ile Bir İşletmenin Dış Saha Otomasyonu,” *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilim. Derg.*, vol. 10, no. 2, pp. 59–67, 2010.
- [38] Siemens, “SCADA System SIMATIC WinCC,” Nuremberg, Germany, 2016.
- [39] “Arduino Nedir?” Accessed: Feb. 22, 2024. [Online]. Available: <http://www.arduinooproje.com/arduino.aspx#arduionedir>
- [40] Ü. Gürman, “Arduino ile Müzik Eğitiminde Materyal Tasarımı,” Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, 2019.
- [41] E. Arslan and H. Çolakoğlu, *Arduino Başlangıç Projeleri*. AkademikPort, 2019.
- [42] S. N. Bıçakçı, “Nesnelerin İnterneti,” *Tak. vekayi*, vol. 7, no. 1, pp. 24–36, 2019.
- [43] F. Khoshnoud and C. W. de Silva, “Recent advances in MEMS sensor technology–biomedical applications,” *IEEE Instrum. Meas. Mag.*, vol. 15, no. 1, pp. 8–14, 2012.
- [44] Texas_Instruments, “LM35 Precision Centigrade Temperature Sensor,” 2017. [Online]. Available: www.national.com
- [45] E. Ilten and M. E. Unsal, “Real-Time Gas Measurement System Desing and Implementation on Simulink External Mode with Arduino,” in *1. Bilsel International Sur Scientific Researches Congress*, Diyarbakir, 2024, pp. 252–259.
- [46] Mixsen, “MIX8410 Electrochemical Oxygen Gas Sensor,” 2020.

- [47] Ö. E. Gerçel, “Hidrojen Sülfür Gazının Elektrokimyasal Yöntemle Giderilmesi,” Doktora Tezi, Anadolu University, 2015.
- [48] Winsen, “MQ-136 Hydrogen Sulfide Gas Sensor,” 2015. [Online]. Available: www.winsen-sensor.com
- [49] E. Ilten, “Toxic Gas-Meter Application for Android Device with Arduino Nano 33 IoT,” in *4th International Conference on Innovative Academic Studies*, Konya, 2024, pp. 125–130.
- [50] T. Aldhafeeri, M.-K. Tran, R. Vrolyk, M. Pope, and M. Fowler, “A Review of Methane Gas Detection Sensors: Recent Developments and Future Perspectives,” *Inventions*, vol. 5, no. 3, p. 28, 2020.
- [51] Winsen, “MQ-4 Flammable Gas Sensor,” 2018. [Online]. Available: <https://cdn.electronilab.co/wp-content/uploads/2013/12/MQ-4.pdf>
- [52] K. Egemen and S. Ergözen, “Karbonmonoksit Zehirlenmesi,” *Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi Tıp Derg.*, vol. 6, no. 1, pp. 52–55, 2019.
- [53] S. Tursun, A. Alpcan, C. Şanlı, and M. Kabalcı, “Karbonmonoksit Zehirlenmesi,” *Ortadoğu Tıp Derg.*, vol. 9, no. 4, pp. 203–206, 2017.
- [54] G. Hoşten and N. Dalbay, “Kapalı Ortam Hava Kalitesinin Ofis Ortamlarında İş Sağlığı ve Güvenliği Açısından Değerlendirilmesi,” *Aydın Sağlık Derg.*, vol. 4, no. 2, pp. 1–12, 2018.
- [55] A. Koçyiğit and C. Benay, “Karbonmonoksit Zehirlenmelerinde Postmortem Değişiklikler,” *J. Fac. Pharm. Ankara Univ.*, vol. 45, no. 3, pp. 722–735, 2021.
- [56] Sharp, “GP2Y1010AU0F Optical Dust Sensor,” 2006.
- [57] E. Ilten and M. E. Unsal, “PLC Based SCADA System Design for Instant Monitoring and Early Warning Mechanism of Toxic Gases in Underground Mines,” *Mühendislik Bilim. ve Tasarım Derg.*, vol. 12, no. 1, pp. 64–74, 2024, doi: 10.21923/jesd.1407043.
- [58] E. Ilten, “Three-Phase Voltage and Current Meter and Data Scope Application for Android Device with Arduino,” in *New Trends in Electrical, Electronic and Communication Engineering*, All Sciences Academy, 2024, pp. 31–44.
- [59] E. Ilten, “Permanent Magnet Synchronous Motor Flux Observer Implementation with TI F28335 DSP for Electric Vehicle System,” in *Int. Conf. Mod. Adv. Res*, Konya, 2023, pp. 89–92.

EKLER

EKLER

EK A: Metan yoğunluğu ölçümünde kullanılan MQ-4 sensörünün Arduino kodları

```
const float analogInPin = A0;
float veri = 0;
void setup() {
  Serial.begin(9600); }
void loop() {
  veri = analogRead(analogInPin)/100;
  Serial.print("Okunan Değer = " );
  Serial.print(veri);
  Serial.println(" ppm");
  delay(500); }
```

EK B: Sıcaklık ölçümünde kullanılan LM35 sensörünün Arduino kodları

```
int x=0;
float voltaj, santigrat;
void setup() {
  Serial.begin(115200);
  Serial.println("LM35_Sıcaklık");}
void loop() {
  x=analogRead(A0);
  voltaj=x*(5.0/1023.0);
  santigrat=voltaj/0.01;
  Serial.print("Sıcaklık: ");
  Serial.print(santigrat);
  Serial.print("\xC2\xB0");
  Serial.println("C ");
  delay(1000);}
```

EK C: Karbonmonoksit yoğunluğu ölçümünde kullanılan MQ-7 sensörünün Arduino kodları

```
const int ana_galeri_AOUTpin=A0;
const int ana_galeri_DOOUTpin=7;
```

```

int ledPin_1=8;
int ana_galeri_esik_degeri;
int ana_galeri_ppm;
void setup() {
Serial.begin(9600);
pinMode(ana_galeri_DOUTpin,INPUT);
pinMode(ledPin_1,OUTPUT); }
void loop() {
ana_galeri_ppm=analogRead(ana_galeri_AOUTpin);
ana_galeri_esik_degeri=digitalRead(ana_galeri_DOUTpin);
Serial.print(" CO Miktarı: ");
Serial.print(ana_galeri_ppm);
Serial.println("ppm.");
delay(5000);
if (ana_galeri_esik_degeri==1)
{
digitalWrite(ledPin_1,LOW);
}
else
{
digitalWrite(ledPin_1,HIGH);
delay(50);
digitalWrite(ledPin_1,LOW);
delay(50); } }

```

EK D: Hidrojen sülfür yoğunluğu ölçümünde kullanılan MQ-136 sensörünün Arduino kodları

```

#define MQ-2pin (A0)
float sensorValue;
void setup() {
Serial.begin(9600);
Serial.println("Gaz Sensör Dikkat");
delay(2000); }
void loop() {

```



```

sensorValue = analogRead(MQ-2pin);
Serial.println("Sensor Value");
Serial.println(sensorValue);
if(sensorValue > 300) {
  Serial.println(" Hidrojen Sülfür "); }
  Serial.println("");
  delay(2000); }

```

EK E: Oksijen yoğunluğu ölçümünde kullanılan MIX8410 sensörünün Arduino kodları

```

const float VRefer = 3.3;
const int pinAdc = A0;
void setup() {
  Serial.begin(9600);
  Serial.println("Grove - Oxygen Sensor(MIX8410)"); }
void loop() {
  float Vout =0;
  Serial.print("Vout =");
  Vout = readO2Vout();
  Serial.print(Vout);
  Serial.print(" V, Concentration of O2 is ");
  Serial.println(readConcentration());
  delay(500); }
float readO2Vout() {
  long sum = 0;
  for(int i=0; i<32; i++) {
    sum += analogRead(pinAdc); }
  sum >>= 5;
  float MeasuredVout = sum * (VRefer / 1023.0);
  return MeasuredVout; }
float readConcentration() {
  float MeasuredVout = readO2Vout();
  float Concentration = MeasuredVout * 0.21 / 2.0;
  float Concentration_Percentage=Concentration*100;
  return Concentration_Percentage; }

```

EK F: Ortamdaki toz miktarını ölçmek için kullanılan GP2Y1010AU0F sensörünün

Arduino kodları

```
int veriPini = A0; // Siyah kablonun (sensörün soldan 2. pini) bağlı olduğu pin
```

```
float toz=0; //Gelen veriyi sakladığımız değişken
```

```
int led=2; // Beyaz kablonun (sensörün soldan 3. pini) bağlı olduğu pin
```

```
void setup(){
```

```
Serial.begin(9600); //Verileri okuyabilmek için seri portu başlatıyoruz.
```

```
pinMode(led,OUTPUT);
```

```
pinMode(veriPini, INPUT);
```

```
}
```

```
void loop(){
```

```
digitalWrite(led,LOW);
```

```
delayMicroseconds(280);
```

```
toz=analogRead(veriPini);
```

```
delayMicroseconds(40);
```

```
digitalWrite(led,HIGH);
```

```
delayMicroseconds(9860);
```

```
delay(1000);
```

```
if (toz>36.455) {
```

```
Serial.println(((float(toz/1024)-0.0356)*120000*0.035)/10);
```

```
}}}
```

EK G: PLC modbus ayarları

ModbusConfigDB									
Name	Data type	Start value	Retain	Accessible f...	Writa...	Visible in ...	Setpoint	Comment	
1	Static								
2	ReceiveREQ	Bool	false						
3	ReceiveDISCONNECT	Bool	false						
4	ReceiveMB_MODE	USInt	103						
5	ReceiveCONNECT	TCON_IP_V4							
6	InterfaceId	HW_ANY	64						HWIdentifier of IE-interface submodule
7	ID	CONN_OUC	222						connection reference / identifier
8	ConnectionType	Byte	11						type of connection: 11=TCP/IP, 19=UDP (17=TCP)
9	ActiveEstablished	Bool	TRUE						active/passive connection establishment
10	RemoteAddress	IP_V4							remote IP address (IPv4)
11	ADDR	Array[1..4] of Byte							IPv4 address
12	ADDR[1]	Byte	192						IPv4 address
13	ADDR[2]	Byte	168						IPv4 address
14	ADDR[3]	Byte	142						IPv4 address
15	ADDR[4]	Byte	130						IPv4 address
16	RemotePort	UInt	502						remote UDPTCP port number
17	LocalPort	UInt	502						local UDPTCP port number
18	ReceiveDONE	Bool	false						
19	ReceiveBUSY	Bool	false						
20	ReceiveERROR	Bool	false						
21	ReceiveSTATUS	Word	16#0						
22	SendREQ	Bool	false						
23	SendDISCONNECT	Bool	false						
24	SendMB_MODE	USInt	116						
25	SendDONE	Bool	false						
26	SendBUSY	Bool	false						
27	SendERROR	Bool	false						
28	SendSTATUS	Word	16#0						
29	SendConnect	TCON_IP_V4							
30	InterfaceId	HW_ANY	64						HWIdentifier of IE-interface submodule
31	ID	CONN_OUC	91						connection reference / identifier
32	ConnectionType	Byte	11						type of connection: 11=TCP/IP, 19=UDP (17=TCP)
33	ActiveEstablished	Bool	true						active/passive connection establishment
34	RemoteAddress	IP_V4							remote IP address (IPv4)
35	ADDR	Array[1..4] of Byte							IPv4 address
36	ADDR[1]	Byte	192						IPv4 address
37	ADDR[2]	Byte	168						IPv4 address
38	ADDR[3]	Byte	142						IPv4 address
39	ADDR[4]	Byte	130						IPv4 address
40	RemotePort	UInt	502						remote UDPTCP port number

ModbusDataDB									
Name	Data type	Start value	Retain	Accessible f...	Writa...	Visible in ...	Setpoint	Comment	
1	Static								
2	Receive	Array[0..10] of Int							
3	Receive[0]	Int	0						
4	Receive[1]	Int	0						
5	Receive[2]	Int	0						
6	Receive[3]	Int	0						
7	Receive[4]	Int	0						
8	Receive[5]	Int	0						
9	Receive[6]	Int	0						
10	Receive[7]	Int	0						
11	Receive[8]	Int	0						
12	Receive[9]	Int	0						
13	Receive[10]	Int	0						
14	Send	Array[0..10] of Int							
15	Send[0]	Int	0						
16	Send[1]	Int	0						
17	Send[2]	Int	0						
18	Send[3]	Int	0						
19	Send[4]	Int	0						
20	Send[5]	Int	0						
21	Send[6]	Int	0						
22	Send[7]	Int	0						
23	Send[8]	Int	0						
24	Send[9]	Int	0						
25	Send[10]	Int	0						

EK H: Arduino modbus kodlari

```
#include <EtherCard.h>
#include <Modbus.h>
#include <ModbusIP_ENC28J60.h>
//MODBUS REGISTER KODLARI
const int reg1_HREG = 0;
const int reg2_HREG = 1;
const int reg3_HREG = 2;
const int reg5_HREG = 5;
const int reg6_HREG = 6;
const int reg7_HREG = 7;
//KULLANILAN PINLER
const int switchPin = 3;
//ModbusIP object
ModbusIP mb;
void setup() {
  Serial.begin(9600);
  // ETHERNET SHIELD
  byte mac[] = { 0xDE, 0xAD, 0xBE, 0xEF, 0xFE, 0xED };
  // ETHERNET SHIELD IP ADRESI
  byte ip[] = { 192, 168, 142, 130 };
  //Config Modbus IP
  mb.config(mac, ip);
  pinMode(switchPin, INPUT);
  // SENSORLERIN REGISTER KODLARI
  mb.addHreg(reg1_HREG, 1111);
  mb.addHreg(reg2_HREG, 2222);
  mb.addHreg(reg3_HREG, 3333);
  mb.addHreg(reg5_HREG, 1);
  mb.addHreg(reg6_HREG, 1);
  mb.addHreg(reg7_HREG, 1);
}
```

```
}  
void loop() {  
  //Call once inside loop() - all magic here  
  mb.task();  
  mb.Hreg(reg1_HREG);  
  mb.Hreg(reg1_HREG);  
  mb.Hreg(reg1_HREG);  
  Serial.print("Holding register 5: ");  
  Serial.print(mb.Hreg(reg5_HREG));  
  Serial.print(" , Holding register 6: ");  
  Serial.print(mb.Hreg(reg6_HREG));  
  Serial.print(" , Holding register 7: ");  
  Serial.println(mb.Hreg(reg7_HREG));  
}
```

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Adı Soyadı : Mehmet Emin ÜNSAL

Doğum tarihi ve yeri : 14.06.1997 / Soma

E-posta : mhmteminunsal@gmail.com

Öğrenim Bilgileri

Derece	Okul/Program	Yıl
Lisans	Balıkesir Üniversitesi / Elektrik-Elektronik Mühendisliği	2019
Lise	Soma Mesleki ve Teknik Anadolu Lisesi	2015

Yayın Listesi

İlten, E., and Unsal, M. E., (2024). Real-Time Gas Measurement System Desing and Implementation on Simulink External Mode with Arduino. *1. Bilsel International Sur Scientific Researches Congress*, Diyarbakır, 252–259. **[Tezden türetilmiştir]**

İlten, E., Unsal, M. E., (2024). PLC Based SCADA System Design for Instant Monitoring and Early Warning Mechanism of Toxic Gases in Underground Mines, *Journal of Engineering Sciences and Design*, 12(1), 64-74. **[Tezden türetilmiştir]**