

# Madenlerdeki Yaşam Koşullarının Mikrodenetleyici Tabanlı Sistem ile İzlenmesi

## Monitoring of Living Conditions in Mines with Microcontroller Based System

\*<sup>1</sup>Hakan Üçgün ve <sup>2</sup>İsmailhan Öztürk

\*<sup>1</sup>Bilgi İşlem Daire Başkanlığı – Eskişehir Teknik Üniversitesi, Türkiye  
<sup>2</sup>Bilgisayar Mühendisliği Bölümü – Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Türkiye

### Öz

Sensör tabanlı akıllı sistemler, son yıllarda pek çok farklı alanda kullanılmakta ve popülerliği giderek artmaktadır. Akıllı şehir teknolojileri, endüstri 4.0, robotik uygulamaları, 3D yazıcılar gibi pek çok sistem temelinde sensör sistemleri kullanılmaktadır. Farklı boyutlarda ve farklı amaçlar için kullanılan sensörler genel olarak, ortamlarda meydana gelen değişikliklerin algılanması veya izlenmesi amacıyla kullanılmaktadır. Bu çalışma kapsamında madenlerde çalışan insanların sağlığını korumak ve madenlerde yaşanabilecek çökme, gaz sıkışması gibi problemlerin ortadan kaldırılmasına yönelik bir izleme ve uyarı sistemi gerçekleştirilmiştir. Madende çalışan personellerin sağlık koşulları ve güvenliklerinin sensör temelli olarak izlenmesi ve belirlenen eşik seviyelerinin dışına çıkıldığında uyarı sisteminin devreye girmesi sağlanmaktadır. Gerçekleştirilen sistemde madendeki, sıcaklık, ışık şiddeti, CO<sub>2</sub> (karbondioksit) miktarı ve CH<sub>4</sub> (metan gazı) miktarı sensörler aracılığıyla ölçülmekte ve bu değerler Arduino Uno kontrolcü kartı ile işlenmektedir. Sistemde, herhangi bir problem yaşanması durumunda buzzer ve led aracılığıyla uyarılar verilmekte ve motor yardımıyla havalandırma işlemi gerçekleştirilmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Arduino, sensör teknolojileri, maden takibi ve izlenmesi, kontrol sistemleri

### Abstract

Sensor-based intelligent systems have been used in many different areas in recent years and their popularity is increasing. Sensor systems use at the base of many systems such as smart city technologies, industry 4.0, robotic applications, 3D printers. Sensors of different sizes and used for different purposes are generally used to detect or monitor changes in environments. Within the scope of this study, a monitoring and warning system was realized to protect the health of the people working in the mines and to eliminate the problems such as collapse, gas compression in the mines. It is ensured that the health conditions and safety of the personnel working at the mine are monitored with sensors and that the warning system is activated when the threshold levels are exceeded. In the system, temperature, light intensity, CO<sub>2</sub> (carbon dioxide) amount and CH<sub>4</sub> (methane gas) amount in the mine are measured by sensors and these values are processed with Arduino Uno controller card. In case of any problems in the system, warnings are given via buzzer and led and ventilation process is performed with the help of motor.

**Key words:** Arduino, Sensor Technologies, Mine Tracking and Monitoring, Control Systems

## 1. Giriş

Enerji, insanoğlunun hayatını sürdürbilmesi için gerekli en temel kaynaklardan birisidir. Günümüzde üretilen enerji, yenilenebilir enerji, nükleer santraller, termik santraller, fosil yakıtlar vb. pek çok kaynaktan sağlanmaktadır. Artan enerji ihtiyaçlarına paralel olarak enerji hammaddesi kaynaklarına olan talep de gün geçtikçe artmaktadır. Bu kaynaklardan bir tanesi olan kömür, yeraltı kömür madenlerinden yüksek verimle ve yaşam standartlarına uygun çalışma koşullarında çıkartılmaktadır [1]. Doğası gereği, ağır koşullarda ve yüksek risk içeren çalışma ortamlarında çıkartılan kömür, yeraltındaki derin maden ocaklarında doğa ile mücadele edilerek üretilmektedir [2].

Yeraltı kömür madenlerinin üretimi, üretkenliği ve güvenliği, esas olarak madenlerin çevresel durumuna bağlıdır. Madenlerdeki hava akışı, sıcaklık, nem, toz ve gazlar, yeraltı kömür madenlerinin çevresel durumunu etkileyen başlıca faktörlerdendir. Kömür madenciliği faaliyetleri, doğası gereği hidrojen sülfür ( $H_2S$ ), karbon dioksit ( $CO_2$ ), sülfür oksitler ( $SO_x$ ), azot oksitler ( $NO_x$ ), karbon monoksit ( $CO$ ), metan ( $CH_4$ ) vb. zehirli ve yanıcı gazları ile ilişkilidir. Yeraltı kömür madenciliği ile ilgili diğer büyük tehlikeler, esas olarak kömürün kendiliğinden yanması ve sırasıyla ateş amfisi (metan-hava karışımı) ve kömür tozunun tutuşması nedeniyle ortaya çıkan maden yangınları ve patlamalarıdır, Bu nedenle, güvenli kömür üretimini sağlamak için karmaşık ve tehlikeli maden ortamının sürekli izlenmesi çok önemlidir [3].

Bilgisayar teknolojilerinden yaşanan gelişmeler, geleneksel kömür madenciliği endüstrisini de etkilemiş ve akıllı maden süreçlerini başlatmıştır. Gelişmiş bilgi otomasyon teknolojisinin kullanımı ile internet, büyük veri, bulut işlem ve yapay zekâ gibi son teknolojiler, akıllı madenler inşa edebilmek ve kömür üretim yöntemlerinin güvenli ve kontrollü olarak yapılması için kullanılmaktadır. Akıllı maden, acil kurtarma, verimli maden üretimi, iş sağlığı ve güvenliği, teknik ve lojistik destek gibi imkânları sağlamak için gelişmiş bulut bilişim teknolojisi, büyük veri analizi teknolojisi, sensör teknolojisi ve yapay zekâ derin öğrenme gibi teknolojilerine dayanmaktadır [4, 5].

Madenlerdeki güvenliği ve iş sağlığını, operasyonel yönetimi ve maliyet etkinliğini sağlamak için yeni teknolojilerin entegrasyonuna dayalı otomatik yeraltı maden izleme sistemleri geliştirilmektedir. Bu çalışma kapsamında, karbondioksit, metan, sıcaklık ve nem, ışık gibi çevresel koşulların uzaktan algılanması için düşük maliyetli ve güvenilir bir sistem geliştirilmiştir. Önerilen sistemde, ortamdaki hava parametreleri ölçülüp kullanıcılara durum ile ilgili görsel ve işitsel olarak uyarılar verilerek çalışanların güvenliği sağlanmaktadır.

## 2. Literatür Çalışması

Sudha ve arkadaşları [6], kablosuz bir sensör ağı kullanarak bir maden güvenlik sistemi prototipi geliştirmişlerdir. Sistemde, sıcaklık ve nem, hava akışı, duman ve metan gazları gibi çevredeki çevresel parametreleri, bir kullanıcı grafik ara yüzü üzerinden takip edilmektedir. Herhangi bir kaza meydana gelmeden önce bir erken uyarı verilmektedir. Sistem, kablosuz sensör ağı için Zigbee teknolojisini kullanılmıştır. Rajalakshmi ve arkadaşları [7], zararlı çevre koşullarında toksik

gazların izlenmesi wi-fi tabanlı bir uygulama geliştirmişlerdir. Önerilen sistemde, sensörler kullanarak Karbon Monoksit, Metan, Hidrojen, gibi yanıcı gazlar izlenmektedir. Gaz seviyeleri, eşik sınırını aştığında, GSM kullanılarak kullanıcıya bir uyarı mesajı gönderilecektir. Zehirli gazlar kanalizasyon, drenaj yerleri ve çöp toplama yerlerinde izlenmiştir. Astana ve arkadaşları [8], zehirli kanalizasyon gazlarını ve canlı kanalizasyon seviyesi izlemek için algılama ve izleme sistemi geliştirmişlerdir. Önerilen sistemde, Karbon Monoksit ve Metan gazları izlenmektedir. Belirli eşik seviyesi aşıldığında, uzak konumdaki gözlemciye bir uyarı gönderilmektedir. Sensörlerden elde edilen örnek değerler kaydedilmiş ve ThingSpeak analiz aracında işaretlenmiştir. Khan ve arkadaşları [9], karbondioksit, karbon monoksit, metan, toz partikülleri, yağmur, sıcaklık ve nem gibi çevresel koşulların uzaktan algılanması için düşük maliyetli ve güvenilir IoT tabanlı bir sistem geliştirmişlerdir. Ortaya çıkan sistem, tüm şehir genelinde trafik kaynaklı çevresel kirleticileri günlüğe kaydetme, görselleştirme ve analiz etme yeteneği sağlamaktadır. Sistemin doğruluğunu kontrol etmek için arka arkaya dört gün boyunca değerlendirme yapılmıştır. Sung ve arkadaşları [10], ev ortamlarındaki sıcaklık, nem, parlaklık, metan gazı, CO ve partik maddeleri (PM<sub>2.5</sub>) izlemek amacıyla bir sistemi geliştirmişlerdir. Sensörlerden elde edilen değerler kablosuz modül (NRF24L01) aracılığıyla bilgisayar ortamında hazırlanmış ara yüze otomatik ve manuel olarak aktarılmaktadır. Ali ve arkadaşları [11], yeraltı maden izleme ve iletişimini otomatikleştirmek için kablosuz sensör ağlarına ve coğrafi bilgi sistemine dayalı entegre bir sistem geliştirmişlerdir. ZigBee ağı ve ArcGIS'in desteği ile gerçek zamanlı yer altı izleme (sıcaklık, nem ve gaz konsantrasyonu), havalandırma sistemi kontrolü ve acil durumlarda yüzey kullanıcısı tarafından iletişim uygulamaları gerçekleştirilmiştir. Literatür taraması sonucunda elde edilen çalışmaların karşılaştırmalı analizi, Tablo 1'de verilmiştir.

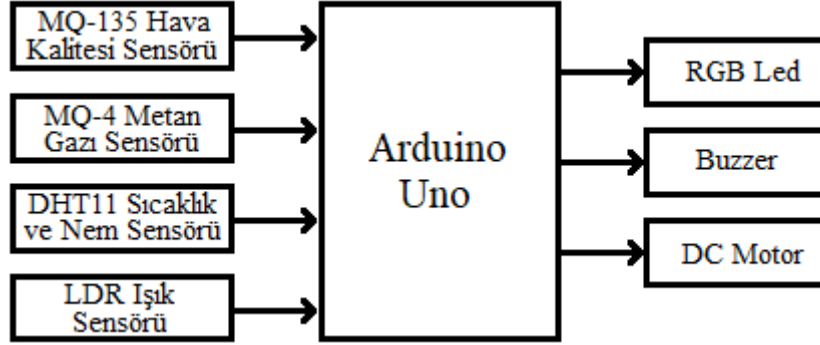
**Tablo 1.** Karşılaştırmalı Literatür Analizi

| Ref. | İşlemci              | Ortam Parametreleri   | Mimari | Bağlantı           | Düşük Maliyet | Veri Erişimi         |
|------|----------------------|---|--------|--------------------|---------------|----------------------|
| [6]  | ARM7<br>LPC2148      | CO <sub>2</sub> , Sıcaklık, Nem, Hava Akışı,<br>Duman, Metan Gazı                       | WSN    | ZigBee             | √             | PC Arayüz            |
| [7]  | Arduino<br>Uno       | Sıcaklık, CO, Hidrojen, Duman,<br>Metan Gazı  | -      | Kablolu            | X             | PC                   |
| [8]  | Arduino<br>Uno       | CO, Metan Gazı  | IoT    | GSM<br>Modülü      | X             | ThingSpeak<br>Server |
| [9]  | Arduino<br>Mega      | CO <sub>2</sub> , CO, Metan Gazı, Toz<br>Partikülleri, Yağmur, Sıcaklık, Nem            | IoT    | GSM<br>Modülü      | √             | ThingSpeak<br>Server |
| [10] | Arduino<br>Nano      | Sıcaklık, Nem, CO, PM <sub>2.5</sub> (Metan<br>Gazı), Işık                              | IoT    | Wireless<br>Modülü | X             | PC Arayüz            |
| [11] | JN5148-<br>EK010 kit | Metan Gazı, O <sub>2</sub> , CO <sub>2</sub> , CO, NO <sub>x</sub> ,<br>SO <sub>2</sub> | WSN    | ZigBee             | X             | PC Monitör           |

### 3. Donanımsal Sistemin Tasarımı

Maden içerisindeki yaşam koşullarının izlenmesine yönelik olarak geliştirilen sistemin çalışma prensibi şekil 1'de verilmiştir. Sistemde, algılama birimi (MQ135 hava kalitesi sensörü, MQ4 metan gazı sensörü, DHT11 sıcaklık ve nem sensörü, LDR sensörü), kontrolcü birimi (Arduino

Uno kartı) ve çıkış birimi (RGB led, Buzzer, DC motor) bulunmaktadır. Algılama birimi içerisinde bulunan sensörlerden elde edilen ortam verileri kontrolcü kartı aracılığıyla işlenip ortama ait parametre değerleri tespit edilmektedir. Parametre değerlerine göre herhangi bir olumsuz durum söz konusu olduğunda çıkış birimi aracılığıyla kullanıcılara uyarılar verilmektedir.



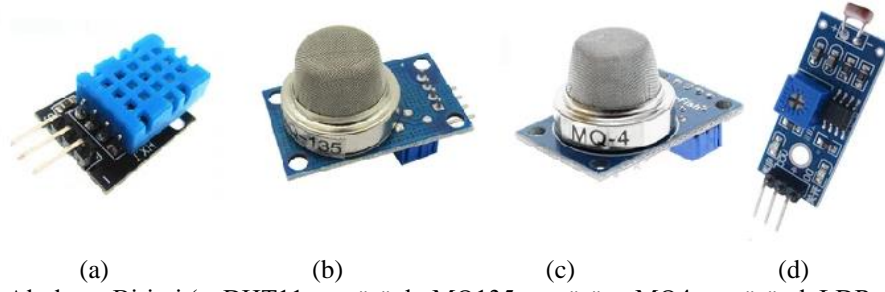
Şekil 1. Sistemin Çalışma Prensibi

### 3.1. Arduino Uno Kontrolcü Kartı

Arduino Uno kontrolcü kartı, Atmega328 mikroişlemci içeren, analog veya dijital sinyalleri okuyabilen, açık kaynaklı ve kullanıcı dostu bir kontrolcü kartıdır. Açık kaynaklı olarak geliştirilmesi, kütüphane ve yardımcı kaynaklara erişimin kolay olması sebebiyle günümüzde gömülü sistemler, robotik, eğitim ve pek çok alanda adından sıkça bahsettiren kontrolcü kartıdır. Kart içerisinde kullanıcılar için 14 dijital ve 6 analog pin bulunmaktadır. 3.3V ve 5.0V aralığında çalışabilen kart, üzerinde pek çok çevresel arayüz (ADC, PWM, I2C, SPI, OneWire, USART, vb.) bulundurmaktadır. Kartın programlanmasında Arduino IDE ortamı ve wiring dili kullanılmıştır.

### 3.2. Algılama Birimi

Algılama birimi, maden içerisindeki yaşam parametrelerini elde etmek amacıyla kullanılan dört sensörden (DHT11 sensörü, MQ135 sensörü, MQ4 sensörü, LDR sensörü) oluşmaktadır. DHT11 sensörü (Şekil 2.a), sıcaklık ve nem ölçümünde kullanılan dijital bir sensördür. 8 bitlik mikro denetleyiciye sahip olan sensör, 0-50°C aralığında sıcaklık ve 20-90% aralığında nem ölçümü yapabilmektedir. Dijital olarak çalışan sensör uzun dönemli çalışabilmekte ve kararlı sonuçlar verebilmektedir. MQ135 sensörü (Şekil 2.b), ortamda bulunan NH<sub>3</sub>, N<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, sigara dumanı, gibi pek çok zararlı gazın ölçümünde kullanılan ve yüksek hassasiyete sahip bir gaz sensörüdür. Analog ve dijital olarak çıkış verebilen sensör, 2.5V ile 5V aralığında kararlı bir şekilde çalışmaktadır. MQ4 sensörü (Şekil 2.c), havadaki metan gazını ölçmek için kullanılan ve gazın yoğunluğuna göre analog ve dijital olarak çıkış verebilen bir gaz sensörüdür. Uzun ve kararlı bir şekilde çalışabilmesinin yanı sıra hassas bir şekilde ölçüm yapabilmektedir. LDR sensörü (Şekil 2.d), foto iletkenlik ilkesi üzerinden ışık ile temasa dayalı olarak çalışan bir ışık sensörüdür. Yarı iletken malzeme üzerine düşen ışınların LDR direnci üzerinde değişiklikler meydana getirmesi ile analog veya dijital olarak çıkış değeri elde edilir. Tablo 2’de sensörlerin ölçüm aralıkları verilmiştir.



Şekil 2. Algılama Birimi (a. DHT11 sensörü, b. MQ135 sensörü, c. MQ4 sensörü, d. LDR sensörü)

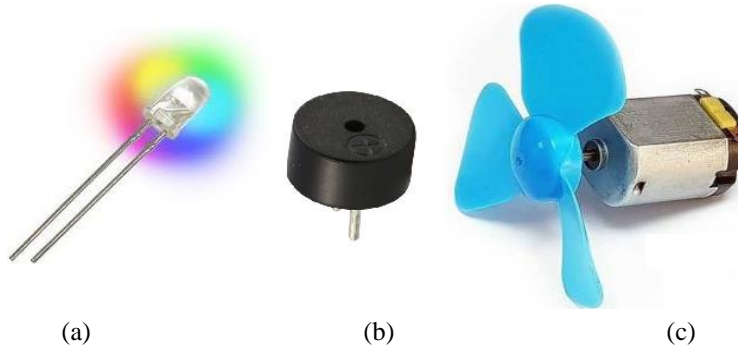
Tablo 2. Sensör Ölçüm Aralıkları [9]

| Sensör | Parametre      | Ölçüm Aralıkları |
|--------|----------------|------------------|
| MQ135  | Karbon Dioksit | 0 - 1000 ppm     |
| MQ4    | Metan          | 0 - 10000 ppm    |
| DHT11  | Sıcaklık       | 0°C - 50°C       |
| DHT11  | Nem            | 20% - 90%RH      |
| LDR    | Işık           | 10 - 1000 lux    |

### 3.3. İşlem Birimi

İşlem birimi, algılama biriminden yapılan ölçümler sonucu kullanıcıyı bilgilendirmek, uyarmak ve kontrol işlemi yapabilmek amacıyla kullanılmaktadır. Bu birim, kullanıcının çalışma ortamını izlemesini sağlayabilmekte, ortamda meydana gelebilecek olumsuz durumlara karşı kullanıcıları uyarabilmekte ve ortamı kontrol ederek hava koşullarının iyileştirilmesine destek olmaktadır. İşlem biriminde, bilgilendirme amacıyla RGB led, uyarı amacıyla RGB led ve Buzzer, kontrol amacıyla da DC motor kullanılmaktadır.

İşlem biriminin çalışma yapısı şu şekildedir; ortamdaki parametre değerleri sorunsuz düzeyde olduğunda RGB led ile “Yeşil Işık” yakılarak ortam koşullarının normal olduğu gösterilmektedir. Herhangi bir gaz yoğunluğu artışı durumunda “Kırmızı Işık” yakılmakta ve buzzer ile kullanıcılar uyarılmaktadır. Bu aşamada motor devreye girerek hava akışını sağlamak ve gaz yoğunluğunun düşürülmesini sağlamaktadır.

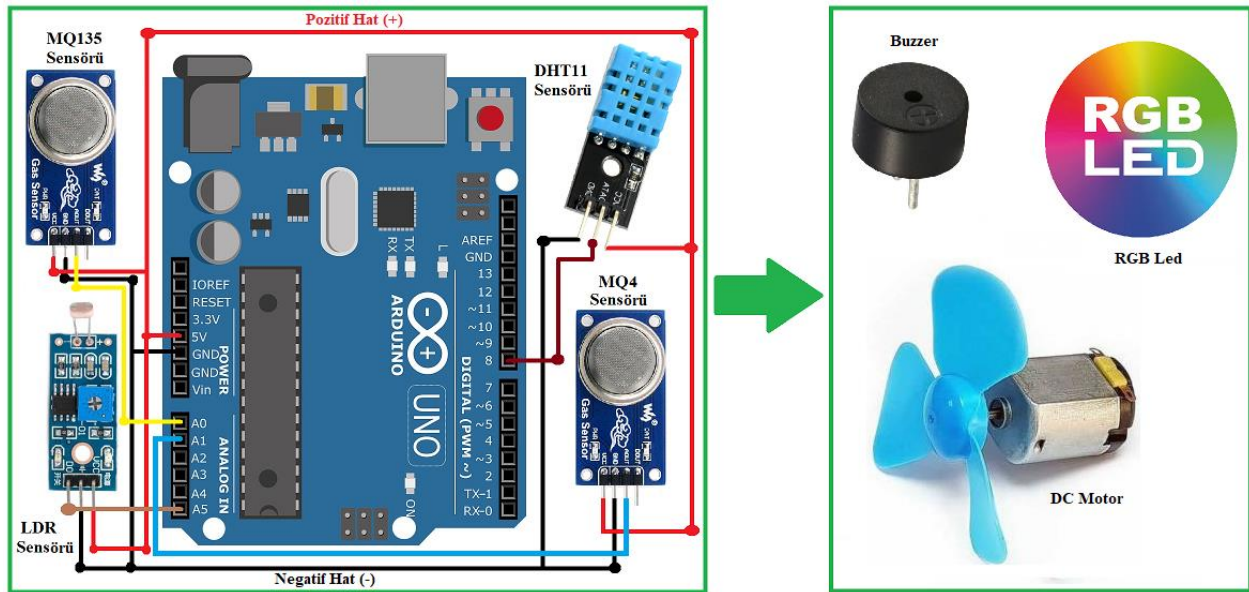


Şekil 3. İşlem Birimi (a. RGB Led, b. Buzzer, c. DC Motor)

#### 4. Sistemin Çalışma Yöntemi

Çalışma kapsamında gerçekleştirilen sisteme ait blok diyagramı Şekil 4’de verilmiştir. Maden izleme sisteminin çalışma yapısına bakıldığında, algılama birimindeki sensörlerden elde edilen analog ve dijital veriler, Arduino UNO kontrolcü kartı aracılığıyla ayrı ayrı işlenerek ortamdaki yaşam koşullarına ait parametre değerleri (Sıcaklık, Nem, CO<sub>2</sub>, Metan Gazı, Işık) elde edilmektedir. Uygun çalışma koşulları sağlayabilme amacıyla her parametre için eşik seviyeleri belirlenmiştir. Her parametre için farklı bir uyarı rengi belirlenerek kullanıcıların farklı durumlara göre uyarılması sağlanmaktadır. Sıcaklık parametresine örnek vermek gerekirse, sıcaklık için eşik seviyesi 25-30°C arası seçilmiştir. Bu aralık dışına çıktığında sistem tarafından RGB led “Sarı” yanarak kullanıcılara uyarı verilecektir.

Parametre değerleri kullanıcıların çalışma koşullarına uygun olacak şekilde optimize edilebilmektedir. Optimizasyon işlemleri sırasında parametreler ile ilgili eşik seviyeleri belirlenmekte ve bu seviyelerin dışında bir değer elde edildiğinde kullanıcılara uyarılar verilecektir. Çalışma kapsamında belirlenen eşik seviyeleri, madenlerde olması gereken hava koşullarının değerlendirilmesinden sonra belirli aralıklarda seçilmiştir.



Şekil 4. Sistemin blok diyagramı

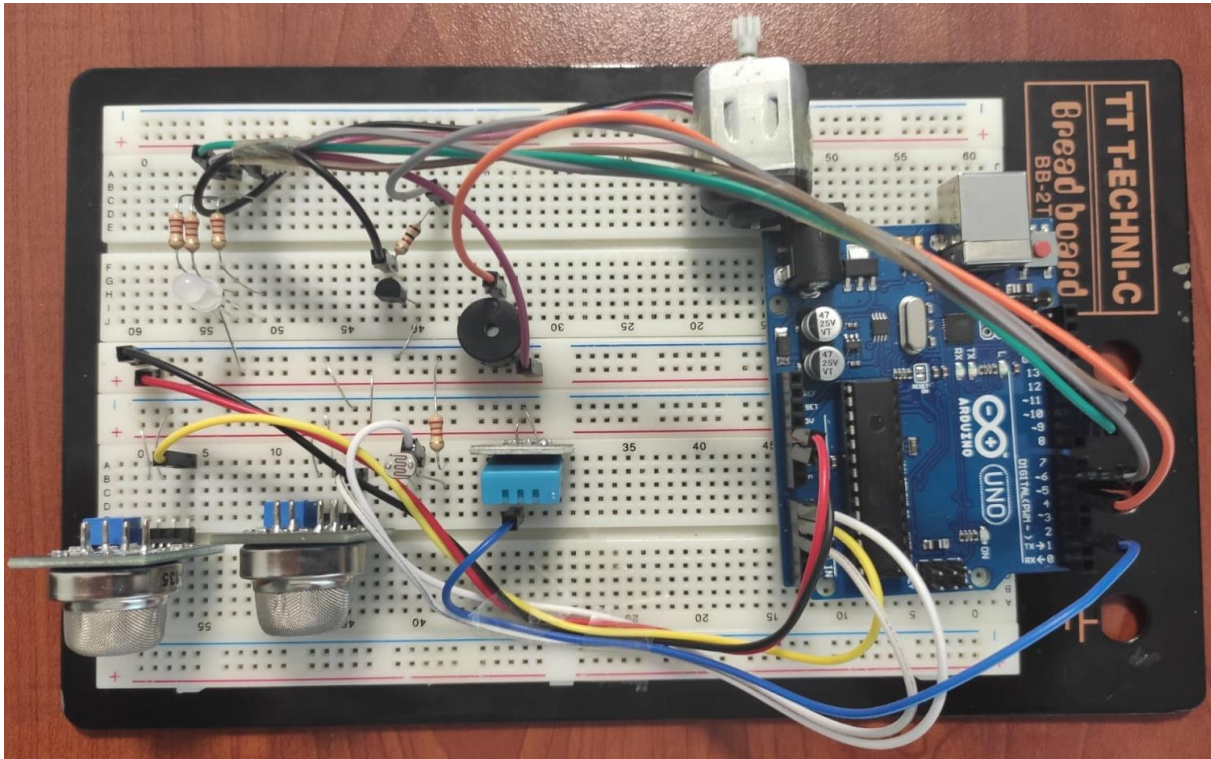
#### 5. Sistemin Uygulama Testleri

Geliştirilen izleme sisteminin donanımsal görünümü Şekil 5’de verilmiştir. Sistemde madenlerdeki yaşam parametrelerinin hassas bir şekilde ölçülmesi ve doğru değerlerin elde edilmesi sağlanmaya çalışılmıştır. Bu kapsamda algılama birimi içerisindeki sensörlerin kalibrasyonları yapılmıştır. Seri monitör üzerinden sensörlerden alınan değerler anlık olarak takip edilmiş ve değişiklikler izlenmiştir. Sensörler ile Arduino Uno kartı arasındaki pin bağlantıları Tablo 3’de verilmiştir. Tablo 3’de verilen bağlantı pinleri aracılığıyla sensörler ile Arduino Uno kontrolcü kartı arasındaki

bağlantılar yapılmıştır.

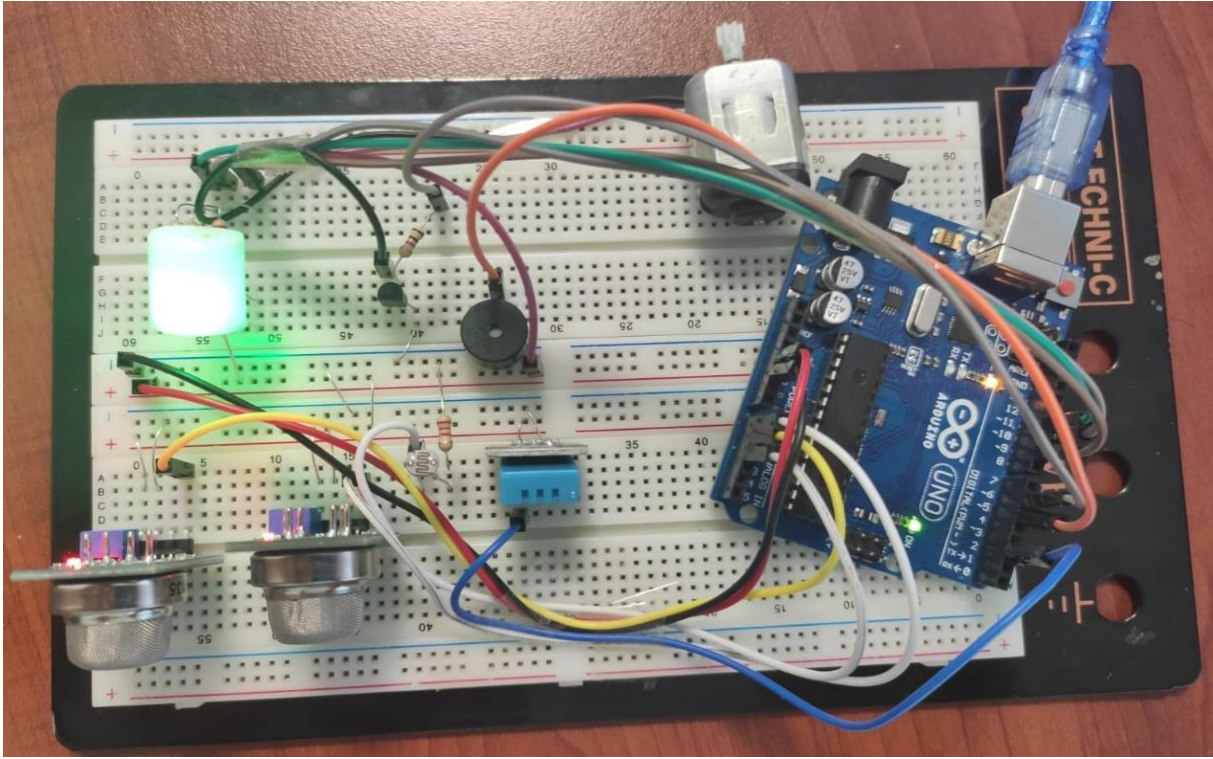
**Tablo 3.** Pin Bağlantıları

| Arduino Uno   | Sensörler |
|---------------|-----------|
| A0 (Analog)   | MQ135     |
| A1 (Analog)   | MQ4       |
| D8 (Dijital)  | DHT11     |
| A5 (Analog)   | LDR       |
| D9 (Dijital)  | RGR (R)   |
| D10 (Dijital) | RGR (G)   |
| D11 (Dijital) | RGR (B)   |
| D12 (Dijital) | Buzzer    |
| D6 (Dijital)  | DC Motor  |

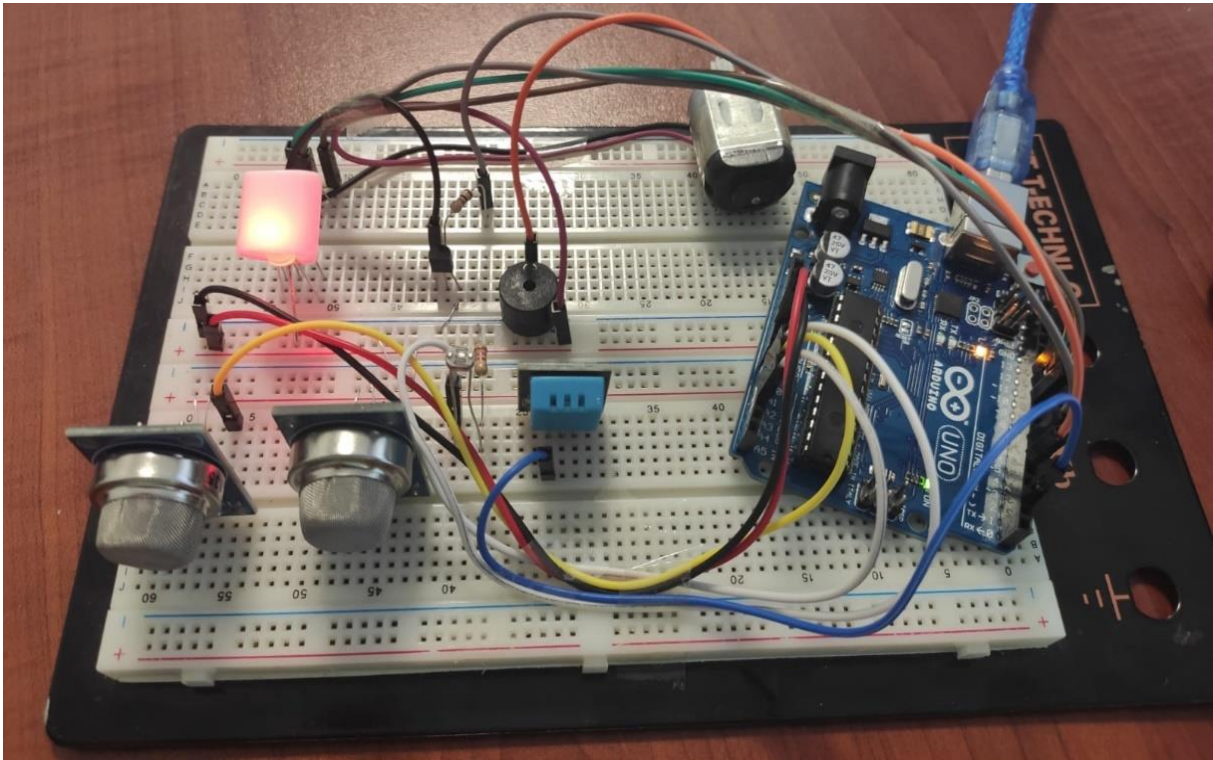


**Şekil 5.** Donanımsal sistemin yapısı

Donanımsal sistem üzerinden yapılan testler aracılığıyla sistem test edilmiştir. Test işlemleri esnasında sistemin stabil bir şekilde çalışma durumu ve sensörlerden gelen uyarılar bağlı olarak verdikleri tepkiler test edilmiştir. Şekil 6’da kullanıcıları bilgilendirmek için kullanılan RGB led “Yeşil” olarak yanmakta ve ortamın stabil durumdaki sisteme ait görsel verilmektedir. Şekil 7’de metan gazına bağlı olarak RGB led “Kırmızı” renkli yanmakta ve ortamdaki metan gazına dayalı bir problemin olduğunu kullanıcılara göstermektedir. Her parametre için bu durum kurgulanmış ve test işlemleri yapılmıştır.



Şekil 6. Ortam koşulları: stabil durum



Şekil 7. Ortam koşulları: metan gazı uyarısı



## 6. Sonuç

Bu çalışma kapsamında madenlerdeki yaşam koşullarının takip edilmesine ve kontrol edilmesine yönelik bir sistem gerçekleştirilmiştir. Geliştirilen sistem ile ortamdaki yaşam parametreleri izlenerek maden içerisinde çalışan insanların can sağlığının korunması ve uygun yaşam koşullarda çalışma imkânı sağlanması hedeflenmiştir. Bu kapsamda ortamdaki, metan gazı, CO<sub>2</sub> gazı, sıcaklık, nem ve ışık gibi parametre değerleri sensörler aracılığıyla tespit edilmiş ve bu değerleri optimum çalışma koşullarında tutulmaya çalışılmıştır.

Parametre değerleri kullanıcıların çalışma koşullarına uygun olacak şekilde optimize edilebilmektedir. Optimizasyon işlemleri sırasında parametreler ile ilgili eşik seviyeleri belirlenmekte ve bu seviyelerin dışında bir değer elde edildiğinde kullanıcılara uyarılar verilmektedir. Çalışma koşullarına ve çalışılan mekânlara göre eşik seviyeleri adapte edilebilmektedir. Buna bağlı olarak geliştirilen sistem içerisinde eşik seviye değerleri ayarlanarak çalışma ortamının güvenliği sağlanabilmektedir.

İlerleyen çalışmalarda, IoT teknolojilerinin eklenerek sistemin web üzerinden kontrol edilmesi ve kablosuz sensör ağı şeklinde birden fazla modülün aynı yerden yönetilmesi düşünülmektedir. Bu amaçla farklı sensörlerin tespit edilmesine yönelik çalışmalar devam etmektedir.

## Kaynaklar

- [1] Mallı, T., Kun, M., Köse, H., “Yeraltı Kömür İşletmelerinde Gaz İzleme ve Erken Uyarı Sistem Teknolojisinin İş Kazalarının Önlenmesindeki Önemi”, *DEÜ Mühendislik Fakültesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 2014, 16(46): 59-67.
- [2] İphar M., “İhmale gelmeyen gerçek: Grizu”, *Madencilik Türkiye*, 2010, 6, 26-32.
- [3] Muduli, L., Mishra, D.P., Jana, P.K., “Application of wireless sensor network for environmental monitoring in underground coal mines: A systematic review”, *Journal of Network and Computer Applications*, 2018, 106, 48–67.
- [4] Wang G., Wang H., Ren H., et al., "2025 scenarios and development path of intelligent coal mine", *Journal of China Coal Society*, 2018, 43(2): 295-305.
- [5] Qin, Z., Chen, S., Xu, X., Zhao, M., "Research on Key Technologies and System Construction of Smart Mine", 2020 5th Asia-Pacific Conference on Intelligent Robot Systems (ACIRS), Singapore, Singapore, 2020, pp. 116-121.
- [6] Sudha, M.S., Kumar, K., Madhukesh, N.M., Baig, N., Naveen, T., "Coal Mine Safety System Using Wireless Sensor Network", *International Journal of Research in Engineering, Science and Management*, 2020, 3(5): 737-740.
- [7] Rajalakshmi R., Vidhya, J., "Toxic Environment Monitoring Using Sensors Based On

Arduino," 2019 IEEE International Conference on System, Computation, Automation and Networking (ICSCAN), Pondicherry, 2019, India, pp. 1-6.

- [8] Asthana N., Bahl, R., "IoT Device For Sewage Gas Monitoring And Alert System," 2019 1st International Conference on Innovations in Information and Communication Technology (ICIICT), Chennai, India, 2019, pp. 1-7.
- [9] Khan, N., Khattak, K.S., Ullah, S., Khan, Z., "A Low-Cost IoT Based System for Environmental Monitoring," 2019 International Conference on Frontiers of Information Technology (FIT), Islamabad, Pakistan, 2019, pp. 173-1735.
- [10] Sung, W., Sung, C., Hsiao, C., "Environment Monitoring System Based on Architecture of IoT by Wireless Sensor Network," 2018 International Symposium on Computer, Consumer and Control (IS3C), Taichung, Taiwan, 2018, pp. 330-333.
- [11] Ali, M.M., Youhei, K., Mostafa, S., Knox, C.E., Markus, W., Hyongdoo, J., Hirokazu, O., "Development of underground mine monitoring and communication system integrated ZigBee and GIS", *International Journal of Mining Science and Technology*, 2015, 25(5): 811-818.