

**T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**NESNELERİN İNTERNETİ TABANLI HAVA KALİTESİ ÖLÇÜM
SİSTEMİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Berrin CENGİZ

Mekatronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Mekatronik Mühendisliği Bilim Dalı

TEMMUZ 2023

**T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**NESNELERİN İNTERNETİ TABANLI HAVA KALİTESİ ÖLÇÜM
SİSTEMİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Berrin CENGİZ

Mekatronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Mekatronik Mühendisliği Bilim Dalı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Cüneyt BAYILMIŞ

TEMMUZ 2023

Berrin CENGİZ tarafından hazırlanan “Nesnelerin İnterneti Tabanlı Hava Kalitesi Ölçüm Sistemi” adlı tez çalışması 28.07.2023 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Mekatronik Mühendisliği Anabilim Dalı Mekatronik Mühendisliği Bilim Dalı’nda **Yüksek Lisans tezi** olarak kabul edilmiştir.

Tez Jürisi

Jüri Başkanı :

Jüri Üyesi :

Jüri Üyesi :



ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ

Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Lisansüstü Eğitim-Öğretim Yönetmeliğine ve Yükseköğretim Kurumları Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiği Yönergesine uygun olarak hazırlamış olduğum “**Nesnelerin İnterneti Tabanlı Hava Kalitesi Ölçüm Sistemi**” başlıklı tezin bana ait, özgün bir çalışma olduğunu; çalışmamın tüm aşamalarında yukarıda belirtilen yönetmelik ve yönergeye uygun davrandığımı, tezin içerdiği yenilik ve sonuçları başka bir yerden almadığımı, tezde kullandığım eserleri usulüne göre kaynak olarak gösterdiğimi, bu tezi başka bir bilim kuruluna akademik amaç ve unvan almak amacıyla vermediğimi ve 20.04.2016 tarihli Resmi Gazete’de yayımlanan Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliğinin 9/2 ve 22/2 maddeleri gereğince Sakarya Üniversitesi’nin abonesi olduğu intihal yazılım programı kullanılarak Enstitü tarafından belirlenmiş ölçütlere uygun rapor alındığımı, çalışmamla ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun ortaya çıkması halinde doğabilecek her türlü hukuki sorumluluğu kabul ettiğimi beyan ederim.

(...../...../20.....).

(imza)

Berrin CENGİZ



TEŞEKKÜR

Yüksek lisans tez yazım sürecinde bana destek olan ve değerli görüşlerini benimle paylaşan danışmanım Sayın Prof. Dr. Cüneyt BAYILMIŞ'a gönülden teşekkürü bir borç bilirim.

Her zaman yanımda olan ve beni destekleyen sevgili eşim Ali CENGİZ'e ve hakkını asla ödeyemeyeceğim annem Zehra BATMAZ'a çok teşekkür ederim.

Berrin CENGİZ



İÇİNDEKİLER

Sayfa

ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ	v
TEŞEKKÜR	vii
KISALTMALAR	xi
SİMGELER	xiii
TABLO LİSTESİ	xv
ŞEKİL LİSTESİ	xvii
ÖZET.....	xix
SUMMARY	xxi
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Literatür Araştırması	2
1.2. Tezin Amacı ve Katkıları	3
1.3. Tezin Organizasyonu.....	3
2. KULLANILAN TEKNOLOJİ VE YÖNTEMLER	5
2.1. Nesnelerin İnterneti	5
2.2. Nesnelerin İnterneti'nin Tarihi Gelişimi	5
2.3. Nesnelerin İnterneti Mimarisi	6
2.3.1. Algılama katmanı	7
2.3.2. Ağ katmanı	7
2.3.3. Ara katman	7
2.3.4. Uygulama katmanı	7
2.3.5. İş katmanı	7
2.4. Makine Öğrenmesi	7
2.4.1. RapidMiner	8
3. ÖNERİLEN SİSTEM	9
3.1. Hava Kirliliği.....	9
3.2. Dünya'daki En Kirli Ülkeler	10
3.3. Dünyadaki En Kirli Şehirler.....	10
3.4. Hava Kalitesi İndeksi	12
3.4.1. CO	13
3.4.2. NO2.....	13
3.4.3. SO2.....	14
3.4.4. O3.....	14
3.4.5. PM.....	15
3.5. AQI Değeri Nasıl Hesaplanır	20
3.6. IoT Nesnesi (Hava Kalitesi Ölçüm Sistemi)	22
3.6.1. Donanım mimarisi.....	23
3.6.1.1. MQ-131	23
3.6.1.2. MQ-135.....	25
3.6.1.3. MQ-7	27

3.6.1.4. NodeMCU-ESP8266 geliştirme kartı.....	29
3.7. Veri Analiz Tekniği	31
3.7.1. LDA.....	32
3.7.2. Karar Ağacı	32
4. UYGULAMA ORTAMI	35
4.1. Çalışma Ortamının Hazırlanması	36
4.1.1. Arduino IDE'nin ayarlanması	36
4.1.2. Firebase'in ayarlanması.....	37
4.1.3. MIT App Inventor'ün Ayarlanması	38
4.2. Kod Geliştirme Ortamı	41
5. ÖNERİLEN YAKLAŞIMDA VERİ ANALİZİ.....	43
5.1. Karar Ağacı ile Gerçek Zamanlı Veri Tahmini	43
5.1.1. Eğitim.....	43
5.1.2. Tahmin	45
5.2. LDA ile Gerçek Zamanlı Veri Tahmini	46
5.2.1. Eğitim.....	47
5.2.2. Tahmin	47
6. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	49
KAYNAKLAR.....	51
ÖZGEÇMİŞ	55

KISALTMALAR

AB	: Avrupa Birliği
AQI	: Air quality index
COPD	: Kronik obstrüktif akciğer hastalığı
CSV	: Virgülle ayrılan değerler
EPA	: Environmental Protection Agency (Çevre Koruma Ajansı)
GPIO	: Genel amaçlı giriş/çıkış pini
HKİ	: Hava kalitesi indeksi
IOT	: Internet of Things (Nesnelerin İnterneti)
KOAH	: Kronik obstrüktif akciğer hastalığı
LDA	: Lineer Diskriminant Analizi
NB	: Naive Bayes
PM	: Partikül madde
ROC	: İşlem karakteristiği eğrisi (Receiver Operating Characteristic Curve)
SVM	: Destek vektör makinesi algoritması
WHO	: World Health Organization (Dünya Sağlık Örgütü)



SİMGELER

CO : Karbon monooksit

NO₂ : Azot dioksit

O₃ : Ozon

ppb : Parts per billion

ppm : Parts per million

SO₂ : Kükürt dioksit

SnO₂ : Kalay oksit

µg/m³ : 1 metreküpte bulunan mikrogram partikül miktarı

µm : Mikrometre



TABLO LİSTESİ

Sayfa

Tablo 3.1. Türkiye'deki ilk 20 kirli şehir.....	10
Tablo 3.2. Hava kalitesi indeks değerleri ve anlamları.	12
Tablo 3.3. Temel kirleticiler ve hassas gruplar.	15
Tablo 3.4. AQI için kirletici maddelere özgü alt indeksler ve uyarı beyanları.	17
Tablo 3.5. AQI değeri hesaplama.....	20
Tablo 3.6. MQ-131 teknik parametreleri.....	23
Tablo 3.7. MQ-135 teknik parametreleri.....	26
Tablo 3.8. MQ-7 teknik parametreleri.....	27



ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1. IoT mimarisi katmanları.....	6
Şekil 3.1. Hava kalitesi ölçüm işlemi.	22
Şekil 3.2. MQ-131 sensör direnç oranı ve gaz konsantrasyonu grafiği.....	24
Şekil 3.3. MQ-131 sensörü bağlantısı.....	25
Şekil 3.4. MQ-135 sensör direnç oranı ve gaz konsantrasyonu grafiği.....	27
Şekil 3.5. MQ-7 sensörü bağlantısı.....	29
Şekil 3.6. ESP-8266 wifi modülü pin giriş çıkışları.	30
Şekil 3.7. ESP8266-12E NodeMCU kiti pin giriş çıkışları	31
Şekil 3.8. ROC analizi	31
Şekil 3.9. ROC analizi sonuç grafiği	32
Şekil 3.10. RapidMiner ile Karar Ağacı algoritması sonucu	33
Şekil 4.1. Gerçekleştirilen sistemin akış diyagramı.....	35
Şekil 4.2. Arduino IDE ek kart yöneticisi.....	36
Şekil 4.3. Firebase kurallar penceresi	37
Şekil 4.4. Firebase veri tabanına değer ekleme.....	37
Şekil 4.5. App Inventor arayüzü	38
Şekil 4.6. App Inventor arayüz tasarımı	39
Şekil 4.7. App Inventor uyarı ekranı.....	40
Şekil 4.8. App Inventor kodları	40
Şekil 4.9. Visual studio code eklentiler	41
Şekil 4.10. Komut sistemi penceresinden kütüphane kurulumu.....	42
Şekil 5.1. Karar Ağacı algoritması için akış diyagramı	43
Şekil 5.2. Kullanılan veri setinin ilk 5 değeri	44
Şekil 5.3. Normalize edilmiş veri	44
Şekil 5.4. Karar Ağacı hata matrisi.....	44
Şekil 5.5. Verilerin sınıflara dağılım grafiği.....	45
Şekil 5.6. Firebase veri tabanı karar ağacı tahmin sonucu.....	46
Şekil 5.7. LDA algoritması için akış diyagramı	46
Şekil 5.8. LDA hata matrisi	47
Şekil 5.9. Firebase veri tabanı LDA tahmin sonucu	48



NESNELERİN İNTERNETİ TABANLI HAVA KALİTESİ ÖLÇÜM SİSTEMİ

ÖZET

Günümüzde internet teknolojisinin gelişmesi ile birlikte Nesnelerin İnterneti tabanlı uygulamalar çok fazla kullanılır olmuştur. Hava kalitesi de artan sanayileşme sonucunda günlük problemimiz haline gelmiştir. Bireyler artık sadece günlük hava durumunu değil hava kalitesi indeksini de takip etmeye başlamıştır. Bunun sonucunda da hava kalitesinden etkilenme ihtimali olan solunum yolu vb. rahatsızlıklara sahip bireyler tedbir almaya başlamışlardır.

Bu tez çalışması kapsamında hava kalitesini etkileyen gazların ölçümü için elektronik devre oluşturulmuştur. Devrede sensörler ve geliştirici kartı kullanılmıştır. Hava kalitesi indeksi için önemli olan O₃ ve CO gibi gazların ölçümlerini yapabilecek MQ-7, MQ-131, MQ-135 sensörleri kullanılmıştır. Bu sensörleri yönetmek, veri toplamak ve toplanan veriyi Wi-Fi ile bilgisayar ortamına göndermek için NodeMCU geliştirme kartı kullanılmıştır.

MQ-131 sensöründen toplanan O₃ verisi ile EPA denklemi kullanılarak hava kalitesi indeksi hesaplanmıştır. Ayrıca diğer sensörlerden toplanan CO verisi ile de hava kalitesi indeksi hesaplanmıştır. EPA tabloları kullanılarak son hava kalitesi indeksine karar veren program yazılmıştır.

Ölçümler Zonguldak merkezde ve Çatalağzı ilçesinde yapılmıştır. Çatalağzı ilçesinin seçilmesinin nedeni Eren Enerji Çatalağzı Termik Santrali'nin burada bulunmasıdır. Türkiye'de sera gazı salınımının %2 gibi büyük bir bölümü sadece bu termik santralden yayıldığı tahmin edildiğine göre bu bölgenin deney çalışması için uygun olduğuna karar verilmiştir.

Ölçüm sonuçları Wi-Fi ile bilgisayara aktarılmış ve Firebase gerçek zamanlı veri tabanına kaydedilmiştir. Android cihazlar için de App Inventor uygulaması ile ölçüm sonuçlarının takip edildiği mobil arayüz tasarlanmıştır.

Veri tabanına kayıt edilen veriler ile veri analizi yapılmıştır. Veri analizi yapılırken RapidMiner ile Lojistik Regresyon, Doğrusal Ayırma Analizi (LDA), Karar Ağaçları algoritması, Naive Bayes (NB) ve Destek Vektör Makineleri (SVM) algoritmasının ROC analizi yapılmıştır. ROC analizinde daha başarılı sonuç üreten LDA ve Karar Ağaçları algoritması tezin eğitim ve tahmin aşamalarında kullanılmıştır.

Tasarlanan bu hava kalitesi ölçüm sistemi sayesinde bireyler ortamdaki anlık kirletici madde değişimi takip edilebilir ve günlük olarak hava kalitesi indeksini takip edilebilirler. Özellikle Zonguldak ilinde yaygın olan Koah hastalığı için hava kalitesinin takip edilmesi önemlidir. Koah gibi rahatsızlığı olan bireyler hava kalitesinin düşük olduğu zamanlarda gerekli tedbirleri alabilirler.



IOT BASED AIR QUALITY MEASUREMENT SYSTEM

SUMMARY

The Internet first came into our lives in 1969. After this date, it has reached the present day by going through different processes. This process, which first started as wired internet, continues today as wireless and mobile internet.

With the development of Internet technology, Internet of Things-based applications have been used a lot. When it comes to the Internet of Things, it comes to mind that all kinds of electronic devices can be connected to the internet. When electronic devices are connected to the internet, the data collected from these devices started to be kept on the Internet.

Today, both the number of devices connected to the Internet is very high and the amount of data collected from these devices is very high. This huge amount of data is called Big data. Machine learning is used to analyze Big data.

Air pollution has been a big problem for people from past to present. When people first started to use fire, air pollution was also in question. However, thanks to the nature's ability to tolerate it, there was no great pollution. With the start of the Industrial Revolution, pollution that nature cannot tolerate has begun to occur. With the Industrial Revolution, machines were invented, factories were established, automobiles were invented, and power plants were established. In addition to these, fossil fuels were burned to meet the heating needs. Forest fires, which have increased recently, also contribute to the increase in air pollution.

From the Industrial Revolution to the present, the number of machines, factories, automobiles, and power plants have increased. Large cities have also developed around industrial zones. Especially considering that the majority of the population in the country lives in city centers, air pollution affects a large number of people. In this case, air pollution has become our daily problem.

To measure air pollution, it is necessary to measure the amount of ozone, carbon monoxide, sulfur dioxide, nitrogen dioxide and particulate matter in the air. These 5 substances are called pollutants. After measuring the amount of pollutant in the air, the air quality index is calculated. Air quality index is divided into 6 classes as good, moderate, unhealthy for sensitive groups, unhealthy, very unhealthy and dangerous for people to understand more easily. And each class is expressed in 6 different colors as green, yellow, orange, red, purple and brown.

Considering the harmful effects of air pollution, the air quality index should be kept between certain values. Critical changes in air quality need to be reported to vulnerable groups. Or, when there is a dangerous situation affecting the society in general, warning systems should be developed. The big stations of the Ministry share the data on their websites, but when individuals do not follow it, they cannot be

aware of the air quality. Individuals who are especially sensitive to some pollutants should be aware of the air quality instantly.

An internet connection is also required to use sensors to measure the amount of pollutants in the air and to keep the data collected from these sensors in a remote database. In this thesis study, ozone and carbon monoxide gas, which are pollutants, will be measured.

Although ozone gas is normally found in the upper levels of the atmosphere, its excess near the earth's surface causes harmful effects. When individuals breathe ozone gas, their lungs can be damaged. The decrease in ozone gas in the atmosphere also causes the harmful rays of the sun to reach the earth without being filtered.

Since carbon monoxide gas is colorless and odorless, it is very difficult to be noticed by humans. Carbon monoxide usually affects individuals in indoor environments. As a result of the inhalation of carbon monoxide by individuals, the amount of oxygen in the blood decreases. This leads to various inconveniences.

Within the scope of this thesis, the measurement of ozone and carbon monoxide gases affecting air quality was carried out. An electronic circuit has been set up to make the measurement. Sensors and developer board are used in the circuit. MQ-7, MQ-131, MQ-135 sensors were used to measure gases such as O₃ and CO, which are important for the air quality index. NodeMCU development board was used to manage these sensors, collect data and send the collected data to the computer environment via Wi-Fi.

The air quality index was calculated using the O₃ data collected from the MQ-131 sensor and the EPA equation. In addition, the air quality index was calculated with the CO data collected from other sensors. If a single pollutant is measured while calculating the air quality index, the amount of this pollutant in the air is used in the EPA equation. However, if measurements were made with more than one pollutant; The air quality index is calculated with each item measured. The highest value is accepted as the air quality index. In this study, since there are more than one pollutant as ozone and carbon monoxide, the air quality index was taken as the highest value obtained as a result of the calculation. In order for the sensors to send data via NodeMCU, the microcontroller code has been written in the Arduino IDE program.

The measurement results were transferred to the computer with the ESP8266 Wi-Fi module on the NodeMCU development board and recorded in the Firebase real-time database. Firebase is a platform developed by Google. In this thesis, the real-time database feature of Firebase was used.

A mobile interface where measurement results can be followed with the App Inventor application has also been designed for Android devices. App Inventor is an application developed by MIT where we can do block-based coding. Thanks to its block-based nature, Android applications can be developed easily. Again, in this thesis, a real-time database connection was established with the mobile application and Firebase. The data recorded from the sensors to the database were followed and the mobile application user was informed about the air quality index.

The data collected in the Firebase database was also used for machine learning. Firebase database connection was established with Python programming language in

Visual Studio Code environment. Machine learning was carried out with the sample data set. Then, the air quality index was made classifiable for the data coming from the database. LDA and Decision Tree , which are classification algorithms, were used for machine learning.

PM2.5, PM10, SO2 values, which are important for the air quality index, were taken from the website of the Ministry of Environment, Urbanization and Climate Change. The air quality index calculated with the data physically read from the sensors and the air quality index on the website of the Ministry were compared.

Measurements were made in Zonguldak center and Çatalağzı district. The reason why Çatalağzı district was chosen is that Eren Energy Çatalağzı Thermal Power Plant is located here. Since 2% of the greenhouse gas emissions in Turkey are estimated to be emitted only from this thermal power plant, it has been decided that this region is suitable for the test study.

Thanks to this designed air quality measurement system, the instantaneous pollutant change in the environment can be followed, and the air quality index can be monitored daily. Individuals can take the necessary measures according to the air quality index. Especially common in Zonguldak region. It is important to monitor air quality for COPD. Individuals with diseases such as COPD can take the necessary precautions when the air quality is low. It is important for individuals who may be affected by low air quality to monitor the air quality index instantly from the mobile application and to send notifications for instantaneous developing situations. Thanks to machine learning, the big data collected from the sensors could be analyzed and the air quality index could be classified. Thanks to machine learning, the feature of predicting the air quality index has been added to the program.



1. GİRİŞ

İnternet, hayatımıza girdiği 1969 yılından itibaren günümüze kadar gelişmiştir. Kablolulu başlayan internet kullanımı kablosuza, 3G teknolojisi ile de mobil internete evrilmiştir. Bu nedenle de günden güne internet kullanıcı sayısı artmaktadır. Her türlü elektronik nesnenin internete bağlanabilir duruma gelmesinden dolayı internetteki veri miktarı artmaktadır. İnternetin çok fazla kullanıcısının olmasından dolayı bireylerin anlık bilgilendirme yapılması ihtiyacı duyulan durumlarda internet kullanımı tercih edilebilir. Hava kalitesi indeksi bilgilendirmesi için de internet yaygın olarak kullanılmaktadır.

Geçmişten günümüze hava kirliliği artarak devam eden bir sorun olmuştur. Sanayi Devrimi'nin gerçekleşmesiyle birlikte makine kullanımı ve fabrika sayıları artmıştır. Otomobillerin günlük hayatta yoğun bir şekilde kullanılması, ısınma ihtiyacını karşılamak için fosil yakıtların yakılması, enerji ihtiyacının karşılanması için de termik santrallerin sayısının giderek artması hava kirliliğinin artmasına sebep olmaktadır.

Hava kirliliğini önlemek için bireyleri bilgilendirici örgütler kurulmuş, hükümetler hava kirliliği konusunda önlem almaya başlamıştır. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı da bu soruna çözüm bulmak için 81 ilde hava kalitesi izleme istasyonları kurmuştur. Bireylerin bu konuyu daha iyi anlayabilmeleri için hava kalitesi indeksi renklerle kategorize edilmiş ve beş sınıfa bölünmüştür.

Hava kirliliği her türlü canlı için bir tehdit oluşturmaktadır. İnsanlarda solunum yolu rahatsızlıkları gibi hastalıklara yol açmakta, asit yağmurları ve aşırı partikül madde birikimi ile de bitkilere zarar vermektedir. Artan sera gazı atmosferimizdeki ozon tabakasına da zarar vermektedir. Ozon tabakasının incilmesi de bireylerde cilt rahatsızlıklarına yol açmaktadır.

Tüm bunlar düşünüldüğünde hava kalitesi indeksinin belirli bir değerler arasında tutulması gerekmektedir. Hava kalitesindeki kritik değişimlerin hassas gruplara bildirilmesi gerekmektedir. Ya da toplumun genelini etkileyen tehlikeli bir durum

olduğu zaman uyarı sistemleri geliştirilmesi gerekmektedir. Bakanlığın büyük istasyonları verileri internet sitelerinde paylaşmaktadır ancak bireyler burayı takip etmedikleri zaman hava kalitesinden haberdar olamamaktadır. Özellikle bazı kirletici maddelere karşı hassas olan bireylerin hava kalitesinden anlık olarak haberdar olması gerekmektedir.

1.1. Literatür Araştırması

Son yıllarda Nesnelerin İnterneti'nin gelişimi hem bireysel kullanımda hobi çalışması yapılmasını hem de bilimsel çalışmalarda uygulama yapılmasını kolaylaştırmıştır. Literatür incelendiğinde Nesnelerin İnterneti'nin çok geniş alanlarda uygulandığı görölmektedir. Bunlara akıllı ev sistemleri [1], akıllı şehirler [2], akıllı park sistemleri [3], mağaza içi satın alma davranışları uygulaması [4], askeri alanlar [5], yiyecek içecek sektöründe Nesnelerin İnterneti'nin kullanımı [6] örnek olarak verilebilir.

Literatür hava kalitesi yönünden incelendiğinde de çeşitli çalışmalar görölmektedir. Alptekin (2007) toz partiküllerinin iç mekan hava kalitesi üzerine etkilerini incelemiştir [7]. Demirarslan (2012) Kocaeli'nin Körfez ilçesinde hava kalitesi seviyesinin belirlenmesi çalışması [8], Gündüz (2018) Aksaray ili hava kalitesi haritasının oluşturulması çalışması [9], Tel (2019) Niğde il merkezinde evsel ısınma kaynaklı emisyonların AERMOD View hava kalitesi modeli kullanılarak incelenmesi [10] çalışması, Karaman (2022) ameliyathane hava kalitesi izleme sistemi [11] çalışması, Wonohardjo ve ark. (2019) MQ-7 sensörünü kullanarak CO değerini Google haritalarda ısı haritalarına eşleyebilen cihaz oluşturma [12] çalışması, Liu (2023) hava kalitesi indeksini kullanarak gelecekteki hava kalitesini tahmin etmek için Genetik Algoritma tabanlı makine öğrenmesi çalışması [13], Katushabe ve ark. (2023) hava kirliliğinin akciğer sağlığı üzerindeki etkilerini izlemek ve görselleştirmek için Nesnelerin İnterneti teknolojisini HEPA filtreleri hava temizleyicisi ile birleştiren bir çalışma [14] yapmışlardır.

Bu tez çalışmasında ise hem iç hem dış mekanda ölçüm yapabilen, gerçek zamanlı sensörlerden veri okunan ve makine öğrenmesi gerçekleştirebilen sistem geliştirilmiştir.

1.2. Tezin Amacı ve Katkıları

Bu tez çalışmasında, Nesnelerin İnterneti’ni kullanarak hava kalitesini ölçen elektronik bir devre geliştirilmesi ve kirletici madde değerlerinin makine öğrenmesi ile hava kalitesi indeksine sınıflandırılması amaçlanmaktadır. Bu amaç doğrultusunda tez çalışmasının katkıları şu şekildedir:

- Literatürde iç ortam hava kalitesi ölçümleri yapılmışken, bu tez çalışmasında hem iç hem dış ortamda hava kalitesi ölçümü yapabilen sistem gerçekleştirilmiştir.
- Hava kalitesi indeksi için önemli bir kirletici madde olan ozon gazının ölçümü gerçekleştirilmiştir.
- Sistemin Wi-Fi bağlantısı üzerinden veri aktarımı yapabilmesi sabit bir istasyondan ölçüm yapılmasını değil Wi-Fi bağlantısı bulunan her yerde kullanılabilmesini sağlamıştır.
- Android cihazlarda uygulamayı kullanan bireyler için de kritik durumların anlık fark edilip bilgilendirilmesi sağlanmıştır.
- Çalışmaya özgü toplanan gerçek zamanlı sensör verileri ile literatüre katkı sağlanmıştır.
- Gerçek zamanlı veriler ile makine öğrenmesi gerçekleştirilmiş ve hava kalitesi indeksinin tahmini sağlanmıştır.

Bu tez çalışmasında tasarlanan devre ile anlık olarak kirletici madde ölçümü yapılması amaçlanmaktadır. Mobil uygulama üzerinden bireylerin anlık olarak hava kalitesi indeksini kolayca takip edebilmeleri ve tehlikeli indeks değerlerinde uyarılmaları amaçlanmaktadır. Sensörlerden toplanan veriler çeşitli teknolojiler kullanılarak işlenmekte ve makine öğrenmesi ile hava kalitesi indeksinin “iyi”, “orta”, “hassas gruplar için sağlıksız”, “sağlıksız” ve “tehlikeli” olarak sınıflandırılmasına katkı sunması amaçlanmaktadır.

1.3. Tezin Organizasyonu

Bu tez çalışması beş bölümden oluşmaktadır. Giriş bölümünde Nesnelerin İnterneti’nin kullanımından ve hava kirliliğinden bahsedilmiştir. Ardından Nesnelerin İnterneti ve hava kalitesi ölçüm sistemleri ile ilgili literatürde geçmişten

bu yana yapılmış olan çeşitli çalışmalara değinilmiştir. İkinci bölümde Nesnelerin İnterneti teknolojisi tanıtılmış, Nesnelerin İnterneti'nin mimari yapısı anlatılmış ve makine öğrenmesi açıklanmıştır. Üçüncü bölümde hava kirliliğine sebep olan maddeler açıklanmış ve hava kalitesi indeksinin hesaplanma adımları verilmiştir. Geliştirilen IoT nesnesi açıklanmıştır. Geliştirilen sistemin donanım mimarisi ve veri analizi tekniği açıklanmıştır. Dördüncü bölümde uygulama geliştirmek için çalışma ortamı ve kod geliştirme ortamının ayarlanması anlatılmıştır. Beşinci bölümde veri analizi için eğitim veri seti oluşturma, tahmin veri seti oluşturma ve hava kalitesi indeksini sınıflandırmak için kullanılan algoritmaların başarı oranı verilmiştir. Son bölümde ise çalışma sonucunda elde edilen bulgular yorumlanmış ve gelecek çalışmalar için öneriler sunulmuştur.



2. KULLANILAN TEKNOLOJİ VE YÖNTEMLER

2.1. Nesnelerin İnterneti

Nesnelerin İnterneti'nin tanımı elektronik her türlü cihazın internet bağlantısı üzerinden kontrol edilmesi olarak geçmektedir [15]. İlk olarak 1999 yılında kullanımına başlanmıştır. Nesnelerin İnterneti teknolojisinin temelinde sadece bilgisayarlar değil her türlü elektronik eşyanın internete bağlanabilmesi ilkesi vardır. Bu açıdan tanıma tekrar bakıldığında “Çeşitli nesnelerin internet ağına bağlanması ve bu ağ üzerinden birbiriyle etkileşime geçmesi” olarak da ifade edilebilir [16].

Nesnelerin İnterneti için olmazsa olmaz internet, ilk ortaya çıktığı zamanlarda kablolu bağlantı şeklindeydi. Daha sonraki süreçlerde kablosuz bağlantılar da çıktı ve hatta 3G teknolojisinin gelişmesi ile birlikte kablo olmadan veya bir kablosuz erişim noktası olmadan cep telefonu erişimi olan her yerden erişilebilir duruma gelmiştir. Günümüzde gelişim aşamasında olan Starlink uydu interneti sayesinde de telefonla iletişimin sınırlı olduğu yerlerde uydu aracılığı ile internet erişimi mümkün olacaktır. İnternet erişiminin bu kadar yaygın olması da Nesnelerin İnterneti'nin gelişebileceği bir alan ortaya çıkarmıştır [17].

2.2. Nesnelerin İnterneti'nin Tarihi Gelişimi

Nesnelerin İnterneti'nin ilk fikri kahve makinesinin boş olup olmadığını kontrol etmek için kurulan kameralı sistemle ortaya çıkmıştır. Bunun sonrasında da büyük bir gelişme göstermiş ve internete bağlanabilen çeşitli nesneler(akıllı bileklikler, akıllı saatler, akıllı gözlükler, akıllı kıyafetler, akıllı spor aletleri, ev otomasyon sistemleri, akıllı arabalar gibi.) geliştirilmiştir. 5G teknolojisi sayesinde internete bağlı cihaz sayısının 2023 yılında 30 milyara ulaşması beklenmektedir. 2030'a gelindiğinde ise yüzlerce milyara ulaşması beklenmektedir. Bu kadar çok cihazın internete bağlı olması sayesinde Nesnelerin İnterneti bir piyasa haline gelmiştir [17].

Nesnelerin İnterneti'nin ilk örneği 1980'lerin başında ortaya çıkmıştır. Carnegie Mellon Üniversitesi'nde okuyan David Nichols adında bir öğrenci ve arkadaşları

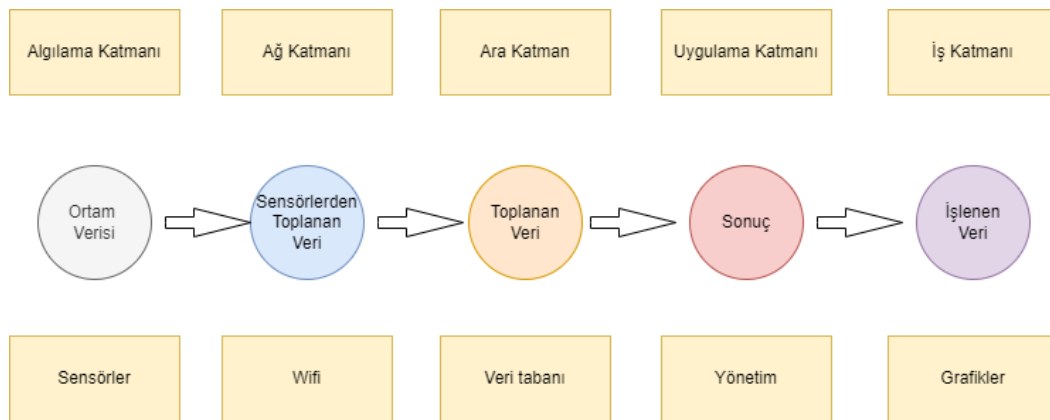
içecek otomatında ürün olup olmasını ve ürün varsa sıcak olup olmadığını kontrol edebilmek için uzaktan bağlantılı bir sistem geliştirirler. Ancak ilk defa “Internet of Things” kelimesi 1999 yılında Kevin Ashton tarafından kullanılmıştır. Kevin Ashton, ürün lansmanı yapacağı zaman kayıtlı belgelerdeki ürün adedi ile stoktaki ürün adedinin farklı olduğunu görür. Bu sorunu çözmek için geliştirdiği çözüm önerisinde “Internet of Things” başlığını kullanmıştır. Bu tarihten itibaren Nesnelerin İnterneti kavramı yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır [18].

IoT; sağlık, çevre, trafik, havacılık, üretim, savunma, ev otomasyonu ve iletişim gibi alanlarda yaygın olarak kullanılmaktadır. İnternete bağlı cihaz sayısı yıldan yıla artış gösterdiği için üretilen toplam veri de artmaktadır. 2020 yılında 29 zettabayta çıkan bu veri miktarının 2025 yılında 175 zettabayta ulaşması beklenmektedir [19].

2.3. Nesnelerin İnterneti Mimarisi

Şekil 2.1’de görüldüğü gibi Nesnelerin İnterneti 5 katmandan oluşur. İlk olarak sensörler aracılığıyla ortamdaki sıcaklık, yön, hareket, titreşim, hızlanma, nem, havadaki kimyasal değişimler gibi veriler toplanır. Bu tez çalışmasında da hava kalitesi sensörleri kullanılıp havadaki kirletici maddeler ölçülmüştür.

Sonraki katmanlarda ortamdan toplanan veriler işlenir ve akıllı nesneye bu veriler ışığında aksiyon aldırılır. Akıllı nesne, ortam ve alınan aksiyon sonuçlarıyla ilgili bilgiyi yönetim merkezine aktarır. Bu tez çalışmasında da sensörlerden alınan veriler ışığında hava kalitesi indeksi hesaplanmıştır ve makine öğrenmesi ile hava kalitesi indeksinin tahmini gerçekleştirilmiştir. [19].



Şekil 2.1. IoT mimarisi katmanları [19].

2.3.1. Algılama katmanı

Fiziksel nesneler ve sensör ağlarından oluşur. Nesnelerin İnterneti mimarisinin en kritik bileşeni olan sensör ağı, tek tip ya da farklı tipteki sensörlerin bir araya gelmesiyle oluşur. Sensör ağları birbiri arasında da iletişim kurabilmektedirler. Sensörlerin bağlantı tipleri kablolu veya kablosuz olabilir. Sensörlerin verileri algılama yöntemleri RFID(Radio Frequency Identification), barkod, kızılötesi şeklinde olabilir. Sensörün tipine göre farklı veriler toplanabilir. Bu katmanın diğer bir görevi de verileri Ağ katmanına iletmektir [19].

2.3.2. Ağ katmanı

Veri aktarım katmanı olarak ifade edilebilir. Algılama katmanından gelen sensör verilerini veri işleme sistemine yani Ara katmana aktarır. Yapılan aktarma işlemi kablolu ya da kablosuz olabilir [19].

2.3.3. Ara katman

Nesnelerin İnterneti'nde toplanan veriler farklı tipte olabilir veya farklı servislere sahip olabilirler. Bu sebeple, farklı sensörlerden gelen verilerin tek bir tipe dönüştürülüp veri tabanına kaydedilmesi gerekmektedir. Bu katman sayesinde farklı sistemlerde de sorunsuz biçimde çalışabilmesi sağlanır. Verilerin güvenliği ve çevrimiçi çalışma süresi ile ilgili sorunlarda bu katmanın görevleri arasındadır. Tüm bunlara ek olarak veriyi işleyip sonuçlar üretir ve bu sonuçlar doğrultusunda bir çıktı üretir [19].

2.3.4. Uygulama katmanı

İlk 3 katmanda veri işlenir ve ara katmanda bir çıktı üretilir. Üretilen bu çıktı ile nasıl bir aksiyon alınacağına Uygulama katmanı karar verir [19].

2.3.5. İş katmanı

Tüm sistemin genel yönetiminden sorumludur. Uygulama katmanından alınan verilerle oluşturulan iş modellerinin yönetiminden de sorumludur [19].

2.4. Makine Öğrenmesi

Makine öğrenmesi, bir bilgisayarın ne yapacağına karar vermesi noktasında insanların net komutlarına ihtiyaç duymaksızın öğrenmesine yardımcı olacak

matematiksel modellerin kullanımıdır. Başka bir deyişle makine öğrenmesini, insanların nasıl öğrendiğinden yola çıkan, verilerdeki kalıpları algoritmalar ile şekillendiren ve böylece tahmin yapabilen veri modeli oluşturan, yapay zekanın bir alt kümesi olarak konumlandırabiliriz. Makine öğrenmesinin yöntemleri: Denetimli öğrenme, denetimsiz öğrenme ve takviyeli öğrenmedir. Denetimli öğrenme, sınıflama ve regresyon olarak iki gruba ayrılır. Denetimsiz öğrenme, kümeleme ve birliktelik olarak iki gruba ayrılır [20].

2.4.1. RapidMiner

RapidMiner makine öğrenmesi, veri madenciliği, metin madenciliği, tahmin edici analiz ve iş analizi amaçlarına yönelik olarak geliştirilmiş bir yazılım platformudur. Nerede ve ne formatta olursa olsun istediğimiz herhangi bir veri kaynağına bağlanabilir. Verileri görselleştirebilir. RapidMiner ile kod yazmadan hızlı bir şekilde etkili makine öğrenmesi modelleri oluşturulabilir ve model doğrulama ile modelin gerçek performansı ortaya çıkarılabilir [21]. Sağladığı bu avantajlar sayesinde RapidMiner yazılımı tercih edilmiştir.

3. ÖNERİLEN SİSTEM

3.1. Hava Kirliliği

Günümüzde önemli sağlık sorunlarına neden olan hava kirliliği, atmosferde çeşitli kirleticilerin (toz, duman, gaz, su buharı vb.) insan ve diğer canlılara zarar verecek düzeye erişmesi şeklinde tanımlanır. Hava kirliliğinin kaynakları olarak trafik, sanayi, ısınma sistemleri, hızlı kentleşme, şehrin yanlış bölgelere kurulması, kalitesiz yakıtlar ve uygun olmayan yakma sistemleri gösterilebilir. Yapılan çalışmalar hava kirliliğinin solunum yolu hastalıkları gibi çeşitli hastalıkları artırdığını ortaya çıkarmıştır [22].

İnsanoğlu yaklaşık 1,5 milyon yıl önce ateşi, ısınma ve pişirme gibi işlemler için kullanmaya başladığında ilk hava kirliliğine yol açmıştır. M.Ö. 3000’li yıllarda ise metallerin kullanımıyla demir tozları havaya karışmıştır ve kullanılmayan, hasarlı aletler çevreye atılmıştır. Ateş yakılması ve metal malzemelerin kullanılması sonucu demir tozlarının oluşması ekosisteme zarar verecek eşiğe ulaşmamıştır. Yerleşim yerlerindeki hava kalitesinin bozulmaya başladığı tarih 16. yüzyılın sonlarıdır. 18. ve 19. yüzyılda da Avrupa’da Sanayi Devrimi’nin başlamasıyla, makineler ortaya çıkmış, küçük, orta, büyük ölçekli fabrikalarda makine kullanımı artmış ve hava kirliliği problemi ortaya çıkmıştır. Günümüzde hava kirleticilerinin atmosfere yayılma alanları daha da fazladır. Bu alanlar endüstri tesisleri, enerji santralleri (özellikle fosil yakıtların kullanıldığı tesisler), atık yakma tesisleri, kuru temizlemeciler, taşıtlar, yangınlar, topraktaki organik çürümeler ve yıldırımlardır [8].

Ülkemizde hava kirliliği 1995 yılında Ankara’da ortaya çıkmıştır. Daha sonra hava kirliliğinin azaltılıp hava kalitesinin artırılması için büyük kentlerde çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmalara örnek olarak var olan yönetmeliklerde değişiklikler yapılması, 2872 sayılı Hava Kalitesinin Kontrolü Yönetmeliği hazırlanması verilebilir. Türkiye’nin AB üyeliği sürecinde de 6 Haziran 2008 tarihli ve 26898 sayılı Resmi Gazete’de “Hava Kalitesi Değerlendirme ve Yönetimi Yönetmeliği ” yayımlanmıştır. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı tarafından 81 ilde

hava kalitesi ölçüm istasyonları kurulmuştur. Bu sayede tüm illerdeki hava kirliliği düzeyi takip edilebilecektir.

3.2. Dünya'daki En Kirli Ülkeler

2022 yılında PM2.5 konsantrasyonuna göre dünyadaki en kirli ilk 3 ülke:

1. Çad – 89.7 PM2.5 konsantrasyon değeri
2. Irak – 80.1 PM2.5 konsantrasyon değeri
3. Pakistan 70.9 PM2.5 konsantrasyon değeri şeklindedir.

Hindistan 53.3 PM2.5 konsantrasyon değeri ile 8. sıra, Bosna Hersek 33.6 PM2.5 konsantrasyon değeri ile 19. sıra, İran 32.5 PM2.5 konsantrasyon değeri ile 21. sıra, Çin 30.6 PM2.5 konsantrasyon değeri ile 25. sıra, Sırbistan 24.7 PM2.5 konsantrasyon değeri ile 33. sıra, Türkiye 21.1 PM2.5 konsantrasyon değeri ile 45. sırada yer almaktadır [25].

3.3. Dünyadaki En Kirli Şehirler

2022 yılında PM2.5 konsantrasyonuna göre dünyadaki en kirli ilk 3 şehir:

1. Lahore, Pakistan - 97.4 PM2.5 konsantrasyon değeri
2. Hotan, Çin – 94.3 PM2.5 konsantrasyon değeri
3. Bhiwadi, Hindistan 92.7 PM2.5 konsantrasyon değeri şeklindedir.

Türkiye'deki 53 PM2.5 konsantrasyon değeri ile en kirli şehir tablo 3.1'e göre Iğdır olmuştur. Dünya'daki en kirli şehirler listesinde 80. sırada yer alır. 40.2 oranıyla Gaziantep ikinci en kirli şehirdir. Dünya'daki en kirli şehirler listesinde 239. sırada yer alır. 36.8 oranıyla Düzce üçüncü en kirli şehirdir. Dünya'daki en kirli şehirler listesinde 297. sırada yer alır [26].

Tablo 3.1. Türkiye'deki ilk 20 kirli şehir [26].

Şehir	Sıralama	PM2.5 değeri
Iğdır	80	53
Gaziantep	239	40.2
Düzce	297	36.8

Tablo 3.1. (Devamı) Türkiye’deki ilk 20 kirli şehir [26].

Şehir	Sıralama	PM2.5 değeri
Mersin	325	35.3
Konya	350	34.5
Hendek	353	34.4
Kahramanmaraş	405	32.8
İskenderun	541	28.4
Tarsus	546	28.3
Çorlu	555	28.1
Bursa	573	27.4
İncirliova	585	27.1
Antakya	586	27.1
Kastamonu	604	26.8
Selçuklu	655	26
Erzincan	660	25.9
Amasya	667	25.8
Aydın	673	25.6
Hekimdağ	699	25
Şehitkamil	735	24.4

Hava kirliliği yukarıda da anlatıldığı gibi günlük problemimiz durumuna gelmiştir. Bu tez çalışmasında da ortamın hava kalitesini ölçebilecek sistemin gerçekleştirilmesi amaçlanmaktadır [9].

Bu sistemi gerçekleştirebilmek için ilk olarak hava kalitesi indeksini ve kirletici maddeleri bilmemiz gerekmektedir. Daha sonra bu kirletici madde değerleri ile hava

kalitesi indeksi hesaplanmalıdır. Tezin bu alt bölümünde hava kalitesi indeksi, kirletici maddeler ve hava kalitesi indeksi hesaplama adımları verilecektir.

3.4. Hava Kalitesi İndeksi

Atmosferde hava kirleticileri farklı konsantrasyonda ve farklı sürelerde bulunabilir. Günlük hayatta farklı kirleticilerin sebep olduğu hava kirliliği seviyesinin daha iyi anlaşılabilmesi için ve hava kalitesinin düzeyini ifade etmek için hava kalitesi indeksi (HKİ) kullanılır. Hava kalitesi indeksi tablo 3.2’de görüldüğü gibi sayısal bir ölçektir. Aynı zamanda da halkın daha iyi anlayabilmesi için renk skalası ile görselleştirilmiştir. Bu sayede halk yaşadığı bölgede hava kirliliği hakkında ve hava kirliliğinin neden olabileceği sağlık sorunları hakkında bilgi sahibi olabilmektedir [23].

Tablo 3.2. Hava kalitesi indeks değerleri ve anlamları [23].

HKİ (AQI) Değer Aralıkları	Sağlık/Endişe Seviyeleri	Renkler	Anlamı
0-50	İyi	Yeşil	Hava kirliliği az.
51-100	Orta	Sarı	Hava kalitesi kabul edilebilir, ancak bazı kirleticiler orta düzeyde sağlık etkisi yaratabilir.
101-150	Hassas gruplar için sağlıksız	Turuncu	Bazı hassas gruplar için risklidir.
151-200	Sağlıksız	Kırmızı	Toplumsal tüm kesimleri sağlık etkileri ile karşılaşmaya başlayabilir. Hassas gruplar, daha ciddi düzeyde etkilenebilir.

Tablo 3.2.(Devamı) Hava kalitesi indeks değeri ve anlamları [23].

HKİ (AQI) Değer Aralıkları	Sağlık/Endişe Seviyeleri	Renkler	Anlamı
201-300	Çok Sağlıksız	Mor	Sağlık alarmı için tetikleme noktasıdır. Toplumun Tüm kesimleri çok ciddi düzeyde etkilenebilir.
301-500	Tehlikeli	Kahverengi	Acil durum alarmı için bir tetikleme noktasıdır.

500'ün üzerindeki değerler "AQI Ötesinde" olarak değerlendirilir. Böyle durumlarda "tehlikeli" kategorisindeki önlemler uygulanır [23,24].

Hava kalitesi indeksi belirlenirken 5 temel kirletici madde dikkate alınır. Bunlar PM(PM2.5 ve PM10), NO₂, SO₂, CO ve O₃'dur.

3.4.1. CO

CO, kapalı ortamlar için risk oluşturan en tehlikeli kirleticidir [10]. CO gazının özelliklerine bakıldığında havadan daha hafif, renksiz, kokusuz ve zehirli bir gaz olduğu görülmektedir. Oluşum şekli ise karbon içeren yakıtların yetersiz yanmasıdır. CO gazını soluyan bireylerde, CO gazı akciğer yoluyla kana karışır ve hemoglobine bağlanır. Bunun sonucunda kandaki oksijen miktarı azalır. Kandaki oksijen yetersizliği bireylerde çeşitli rahatsızlıklara (solunum yolu rahatsızlığı, zehirlenme, beyin ve kalp gibi hassas organlarda bozulma, baş ağrısı vb.) yol açar [7,10].

3.4.2. NO₂

Atmosferdeki azot yanma sonucu oksitlerine dönüşür. NO_x'in çeşitleri genellikle NO, NO₂ ve NO₃ şeklindedir. Bunların içinde en tehlikelileri NO ve NO₂'dir. Hava kalitesi indeksi için de NO₂ dikkate alınır. NO₂, zehirli bir gaz olup kırmızımsı kahverengi rengindedir. Klor gazı gibi keskin bir kokusu vardır. NO gazının yanması yani oksijenle tepkimeye girmesi sonucunda NO₂ gazı oluşur. NO₂'nin kaynakları: Taşıtlardan çıkan egzoz dumanı, fosil yakıtlar, elektrik üretimi, endüstriyel işlemler,

yetersiz çıkışlı gaz sobaları, sigara dumanıdır. CO'de olduğu gibi NO₂'de solunum yoluyla vücuda girer. Astım hastalığı olan bireyler için çok tehlikelidir. Çünkü düşük konsantrasyonda bile olsa bu bireyleri etkileyebilmektedir. NO₂'nin sebep olduğu hastalıklar arasında göz, burun ve boğazda tahriş; bronşit, baş ağrısı, akciğer ve kulak enfeksiyonu; yüksek konsantrasyona maruz kalma durumunda ise akciğer kanseri gösterilebilir [7].

NO_x'in kaynakları; fosil yakıtlar, doğal orman yangınları, hava, deniz ve kara taşımacılığı (%50'si) ve fosil kaynaklı enerji santrallerinden olan termik santrallerdir. Kapalı ortamlardaki NO_x kaynakları ise sigara dumanı, deodorant gazları ve fosil yakıtların yanmasıdır. NO_x'ler asit yağışlarına sebep olabilir [10].

3.4.3. SO₂

SO₂ hava ortamındaki birinci kirleticidir. Yanmaz, renksiz ve gaz halindedir. Normalde atmosferde bulunmaz. SO₂ yayan termik santraller, endüstriyel bölgelerin bulunduğu alanlar ve kükürt içeren yakıtların kullanılması sonucu atmosfere karışır [9]. Havadaki kükürt konsantrasyonu hava akımına, nem oranına ve yakılan yakıtın cins ve miktarına bağlı olarak değişir. Nefes almanın güçleşmesi, solunum yollarının daralması, kalp ve akciğer hastalıkları SO₂'nin sebep olduğu bazı rahatsızlıklardır. SO₂'nin zararlarının azaltılması için bina içlerinde iyi bir havalandırma sistemi olmalı, yerleşim alanlarından uzak endüstriyel bölgeler planlanmalı, merkezi ısıtma teşvik edilmeli ve araç yakıtları kurşunsuz tercih edilmelidir [7].

3.4.4. O₃

O₃, 3 adet oksijen atomunun birleşmesinden oluşur. Normalde atmosferin üst seviyelerinde ve yeryüzüne yakın bölümlerinde bulunur. CO gazı gibi renksiz ve kokusuzdur.

Güneşin zararlı ultraviyole ışınlarını süzme özelliği bulunan ozon gazının yeryüzüne yakın seviyede fazla olması canlılara zarar vermektedir. Ozon tabakasının incilmesi insan sağlığı için zararlıdır. Ozon konsantrasyonunun atmosferde azalması, yeryüzüne ulaşan ultraviyole ışınlarının artmasına neden olur. Bunun sonucunda da insanlarda cilt kanserine ve göz hastalıklarına sebep olmaktadır.

Ozon gazının kaynakları motorlu taşıtlar, termik santraller, rafineriler, kimyasal fabrikalar, parfüm ve deodorantlardır. Yaz ayları, güneşli günler ve yüksek sıcaklıklar havadaki ozon gazı konsantrasyonunun artmasına sebep olmaktadır.

Atmosferin yeryüzüne yakın kısımlarında ozon konsantrasyonunun artması sonucunda ozon gazının solunması tehlikesi vardır. Ozon gazı solunum yoluyla vücuda girerse akciğerlere zarar verebilir [7].

3.4.5. PM

Fiziksel olarak havada katı ya da sıvı olarak bulunan, havada asılı duran su haricindeki maddelere partikül madde denir. Partikül maddelerin çıplak gözle görülebilen büyük boyutlu çeşitleri vardır. Ancak gözle görülemeyen 0,1 ile 100 µm arasında değişen boyutları da vardır. Partikül maddelerin kaynakları: Bacalı sanayiler, yığın halinde üstü açık malzemeler ve doğa olaylarından volkanlardır [10].

Partikül maddelerin PM10 ve PM2.5 olarak iki çeşidi bulunmaktadır. PM10, 10 µm ebadındadır. PM2.5, 2.5 µm ebadındadır. 2.5 µm'den daha küçük partiküller ince partiküldür. 2.5 – 10 µm aralığındaki partiküller, kaba partiküllerdir. Sadece elektron mikroskobu ile ince partiküller görülebilirler. PM'lerin insan ve diğer canlılar üzerinde zararlı etkileri olduğu gibi güneş ışınlarının enerji taşıdığı dalga boylarında etkili olarak enerji akışını değiştirebilirler.

PM'lerin kaynakları: Motorlu taşıtlar, enerji santralleri, yakacak odun kullanımı, orman yangınları, anız yakma, endüstriyel işlemler, kırma, öğütme işlemleri, yollardan kalkan tozlardır [10,24].

Tablo 3.3'de görüldüğü gib temel kirleticiler için AQI değeri 100'ün üzerinde olduğu zaman bazı hassas gruplar için risk oluşturmaktadır. Bu hassas grupların kendileri için tehlikeli olan kirletici maddelerin AQI değerlerini takip etmesi gerekmektedir.

Tablo 3.3. Temel kirleticiler ve hassas gruplar [23].

Bu kirleticiler için AQI 100'ün üzerinde olduğu zaman:		Bilgilendirilmesi gereken hassas gruplar:
Ozon		Akciğer hastalığı olan kişiler, çocuklar, yaşlılar, açık havada aktif olan kişiler,

Tablo 3.3. (Devamı) Temel kirleticiler ve hassas gruplar [23].

Bu kirleticiler için AQI 100'ün üzerinde olduğu zaman:		Bilgilendirilmesi gereken hassas gruplar:
		belli genetik rahatsızlığı olan kişiler, belirli besin maddelerine toleransı düşük olan kişiler en fazla risk altında olan gruplardır.
PM2.5		Kalp veya akciğer hastalığı olan kişiler, yaşlılar, çocuklar, daha düşük sosyoekonomik duruma sahip kişiler en fazla risk altında olan gruplardır.
PM10		Kalp veya akciğer hastalığı olan kişiler, yaşlılar, çocuklar, daha düşük sosyoekonomik duruma sahip kişiler en fazla risk altında olan gruplardır.
CO		Kalp hastalığı olan kişiler en fazla risk altında olan gruplardır.
NO2		Astımı olan kişiler, çocuklar ve yaşlılar en çok risk altındaki gruplardır.
SO2		Astımı olan kişiler, çocuklar ve yaşlılar en çok risk altındaki gruplardır.

Tablo 3.4'e göre AQI için kirletici maddelere özgü alt indeksler vardır ve bu değer aralıklarında bazı hassas gruplar için risk oluşturmaktadır. EPA tarafından bu indeks değerleri için uyarı beyanları yapılmıştır [23].

Tablo 3.4. AQI için kirletici maddelere özgü alt indeksler ve uyarı beyanları [23].

AQI Kategorileri (İndeks Değerleri)	Ozon(ppm)		Partikül Madde (µg/m3)		CO (ppm)	SO2 (ppb)	NO2 (ppb)
	8 saat	1 saat	PM2.5 24 saat	PM10 24 saat	8 saat	1 saat	1 saat
İyi (0-50)	0-0.054		0-12.0	0-54	0-4.4	0-35	0-53
Orta (51-100)	Hiçbiri		Hiçbiri	Hiçbiri	Hiçbiri	Hiçbiri	Hiçbiri
	0.055-0.070		12.1-35.4	55-154	4.5-9.4	36-75	54-100
	Alışılmadık derecede hassas insanlar uzun süreli veya ağır dış mekan aktivitesini azaltmayı düşünmelidir.		Alışılmadık derecede hassas insanlar uzun süreli veya ağır dış mekan aktivitesini azaltmayı düşünmelidir.		Hiçbiri	Hiçbiri	Alışılmadık derecede hassas bireyler özellikle işlek yolların yakınlarında uzun süreli aktiviteleri azaltmayı düşünmelidirler.
Hassas gruplar için sağlıklı (101-150)	0.071-0.085	0.125-0.164	35.5-55.4	155-254	9.5-12.4	76-185	101-360
	Akciğer hastalığı olan kişiler, çocuklar, yaşlılar, açık havada aktif olan kişiler, belli genetik rahatsızlığı olan kişiler, belirli besin maddelerine toleransı düşük olan kişiler uzun süreli veya ağır dış mekan aktivitesini azaltmayı düşünmelidir.		Kalp veya akciğer hastalığı olan kişiler, yaşlılar, çocuklar, daha düşük sosyoekonomik duruma sahip kişiler uzun süreli veya ağır dış mekan aktivitesini azaltmayı düşünmelidir.		Kalp hastalığı olan kişiler ağır aktiviteleri sınırlandırılmalıdır ve yoğun trafik gibi CO kaynaklarından kaçınmalıdır.	Astımlı kişiler açık hava aktivitelerini azaltmayı düşünmelidirler.	Astımlı kişiler, yaşlılar, çocuklar özellikle işlek yolların yakınlarında uzun süreli aktiviteleri azaltmayı düşünmelidirler.

Tablo 3.4.(Devamı) AQI için kirletici maddelere özgü alt indeksler ve uyarı beyanları [23].

AQI Kategorileri (İndeks Değerleri)	Ozon(ppm)		Partikül Madde (µg/m ³)		CO (ppm)	SO ₂ (ppb)	NO ₂ (ppb)
	8 saat	1 saat	PM _{2.5} 24 saat	PM ₁₀ 24 saat	8 saat	1 saat	1 saat
Sağlıksız (151-200)	0.086-0.105	0.165-0.204	55.5-150.4	255-354	12.5-15.4	186-304	361-649
	Akciğer hastalığı olan kişiler, çocuklar, yaşlılar, açık havada aktif olan kişiler, belli genetik rahatsızlığı olan kişiler, belirli besin maddelerine toleransı düşük olan kişiler uzun süreli veya ağır dış mekan aktivitesini azaltmayı düşünmelidir. Diğer herkes uzun süreli açık hava aktivitelerini azaltmayı düşünmelidir.		Kalp veya akciğer hastalığı olan kişiler, yaşlılar, çocuklar, daha düşük sosyoekonomik duruma sahip kişiler uzun süreli veya ağır dış mekan aktivitesini azaltmayı düşünmelidir. Diğer herkes uzun süreli açık hava aktivitelerini azaltmayı düşünmelidir.		Kalp hastalığı olan kişiler ağır aktiviteleri sınırlandırılmalıdır ve yoğun trafik gibi CO kaynaklarından kaçınmalıdır.	Çocuklar, astımlı kişiler veya akciğer hastalığı olan kişiler, açık hava aktivitelerini azaltmayı düşünmelidirler.	Astımlı kişiler, yaşlılar, çocuklar özellikle işlek yolların yakınlarında uzun süreli aktiviteleri azaltmayı düşünmelidirler. Diğer herkes özellikle işlek yolların yakınında açık hava aktivitesini sınırlandırılmalıdır.
Çok Sağlıksız (201-300)	0.106-0.200	0.205-0.404	150.5-250.4	355-424	15.5-30.4	305-604	650-1249
	Akciğer hastalığı olan kişiler, çocuklar, yaşlılar, açık havada aktif olan kişiler, belli genetik rahatsızlığı olan kişiler, belirli besin maddelerine toleransı düşük olan kişiler uzun süreli veya ağır dış mekan aktivitesini azaltmayı düşünmelidir. Diğer herkes uzun süreli açık hava aktivitelerini azaltmayı düşünmelidir.		Kalp veya akciğer hastalığı olan kişiler, yaşlılar, çocuklar, daha düşük sosyoekonomik duruma sahip kişiler uzun süreli veya ağır dış mekan aktivitesini azaltmayı düşünmelidir. Diğer herkes uzun süreli açık hava aktivitelerini azaltmayı düşünmelidir.		Kalp hastalığı olan kişiler ağır aktiviteleri sınırlandırılmalıdır ve yoğun trafik gibi CO kaynaklarından kaçınmalıdır.	Çocuklar, astımlı kişiler veya akciğer hastalığı olan kişiler, açık hava aktivitelerini azaltmayı düşünmelidirler. Diğer herkes uzun süreli açık hava aktivitelerini azaltmayı düşünmelidir.	Astımlı kişiler, yaşlılar, çocuklar tüm açık hava aktivitelerinden kaçınmalıdır. Diğer herkes özellikle işlek yolların yakınında uzun süreli açık hava aktivitesinden kaçınmalıdır.

Tablo 3.4.(Devamı) AQI için kirletici maddelere özgü alt indeksler ve uyarı beyanları [23].

AQI Kategorileri (İndeks Değerleri)	Ozon(ppm)		Partikül Madde (µg/m3)		CO (ppm)	SO2 (ppb)	NO2 (ppb)
	8 saat	1 saat	PM2.5 24 saat	PM10 24 saat	8 saat	1 saat	1 saat
Tehlikeli (301-500)	-	0.405-0.604	250.5-500.4	425-604	30.5-50.4	605-1004	1250-2049
	Herkes açık hava aktivitelerinden kaçınmalıdır.		Herkes açık hava aktivitelerinden kaçınmalıdır. Kalp veya akciğer hastalığı olan kişiler, yaşlılar, çocuklar, daha düşük sosyoekonomik duruma sahip kişiler içeride kalmalı ve aktivite seviyelerini düşük tutmalıdır.		Kalp hastalığı olan kişiler ağır aktiviteleri sınırlandırmalıdır ve yoğun trafik gibi CO kaynaklarından kaçınmalıdır.Diğer herkes uzun süreli açık hava aktivitelerini azaltmayı düşünmelidir.	Çocuklar, astımlı kişiler veya akciğer hastalığı olan kişiler, içeride kalmalıdır.Diğer herkes uzun süreli açık hava aktivitelerini azaltmayı düşünmelidir	Çocuklar, astımlı kişiler veya akciğer hastalığı olan kişiler, içeride kalmalıdır.Diğer herkes tüm dış mekan aktivitelerinden kaçınmalıdır.

3.5. AQI Değeri Nasıl Hesaplanır

AQI değerini hesaplayabilmek için 5 kirletici maddenin değeri bulunur. Her bir kirletici madde için aşağıdaki adımlar uygulanır:

- Tüm izlenen maddeler arasındaki en yüksek değer belirlenir.
 - Ozon (ppm) - 3 ondalık basamak kesilir
 - PM_{2.5} (µg/m³) - 1 ondalık basamak kesilir
 - PM₁₀ (µg/m³) - tamsayı alınır
 - CO - 1 ondalık basamak kesilir
 - SO₂ - tamsayı alınır
 - NO₂ - tamsayı alınır
- AQI için kirletici maddeye özgü tablo 3.5'deki değer karşılığı olan satır bulunur.
- Denklem 3.1 kullanılarak indeks hesaplanır.
- Bulunan indeks değeri en yakın tamsayıya yuvarlanır.

Tablo 3.5. AQI değeri hesaplama [23].

Kesme Noktaları							AQI değeri	Kategori ler
O ₃ (ppm) 8 saat	O ₃ (ppm) 1 saat ¹	PM _{2.5} (µg/m ³) 24 saat	PM ₁₀ (µg/m ³) 24 saat	CO (ppm) 8 saat	SO ₂ (ppb) 1saat	NO ₂ (ppb) 1saat	AQI	
0.00 - 0.054	-	0.0 - 12.0	0 - 54	0.0 - 4.4	0 - 35	0 - 53	0 - 50	İyi
0.055 - 0.070	-	12.1 - 35.4	55 - 154	4.5 - 9.4	36 - 75	54 - 100	51 - 100	Orta

¹ Genelde 8 saatlik ozon değerleri kullanılır. 1 saatlik ozon değerinin kullanılacağı daha az alan vardır.

Tablo 3.5.(Devamı) AQI değeri hesaplama [23].

Kesme Noktaları							AQI değeri	Kateg oriler
O3 (ppm) 8 saat	O3 (ppm) 1 saat ²	PM2.5 (µg/m3) 24 saat	PM10 (µg/m3) 24 saat	CO (ppm) 8 saat	SO2 (ppb) 1saat	NO2 (ppb) 1saat	AQI	
0.071 - 0.085	0.125 - 0.164	35.5 – 55.4	155 - 254	9.5 - 12.4	76 - 185	101 - 360	101 - 150	Hassa s grupl ar için sağık sız
0.086 - 0.105	0.165 - 0.204	(55.5 - 150.4) ³	255 - 354	12.5 - 15.4	(186 - 304) ⁴	361 - 649	151 - 200	Sağık ksız
0.106 - 0.200 ³	0.205 - 0.404	(150.5 - 250.4) ³	355 - 424	15.5 - 30.4	(305 - 604) ⁴	650 - 1249	201 - 300	Çok sağık sız
	0.405 - 0.504	(250.5 - 350.4) ³	425 - 504	30.5 - 40.4	(605 - 804) ⁴	1250 - 1649	301 - 400	Tehli keli
	0.505 - 0.604	(350.5 - 500.4) ⁴	505 - 604	40.5 - 50.4	(805 - 1004) ⁵	1650 - 2049	401 - 500	Tehli keli

$$Ip=((Ihi-Ilo)/(BPhi-BPlo))*(Cp-BPlo)+Ilo \quad (3.1)$$

Denklem 3.1’de:

- Ip=kirletici maddenin indeksi
- Cp=kirletici maddenin kesilmiş hali

² Genelde 8 saatlik ozon değeri kullanılır. 1 saatlik ozon değeri kullanılması daha az alan vardır.

³ 8 saatlik ozon değeri 301’den büyük AQI değerlerini tanımlamaz. 1 saatlik ozon değeri kullanılır.

⁴ PM2.5 için farklı bir SHL ilan edilirse, bu değerler ona göre değişir.

⁵ 1 saatlik SO2 değeri 200’den büyük AQI değerlerini tanımlamaz. Bunun için 24 saatlik değerler kullanılır.

- BPhi=kesme noktasının maksimum değeri
- Bplo=kesme noktasının minimum değeri
- Ihi= Bphi karşılık gelen AQI değeri
- Ilo= Bplo karşılık gelen AQI değeri

karşılık gelir [22].

Örnek hesaplama:

8 saatlik ozon değeri 0.07853333 olduğu varsayılırsa;

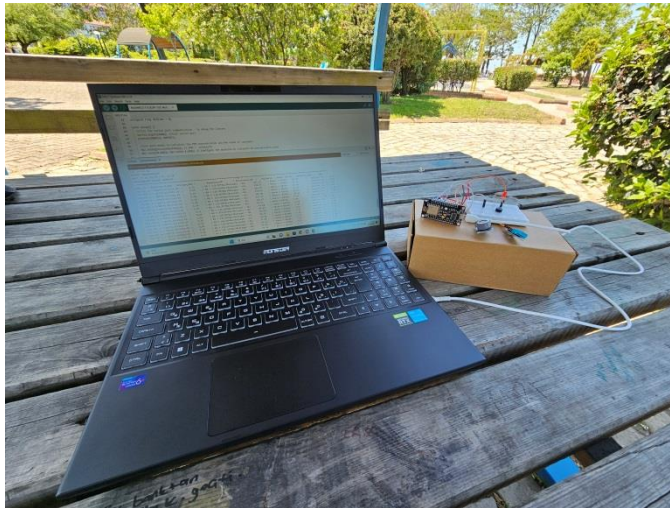
- 3 ondalık basamak kesme uygulanır. Değer 0.078 olur.
- Değerin tablo 2.4'deki karşılığı bulunur. (0.071-0.085)
- AQI değerinin 101-150 indeks değerine karşılık geldiği bulunur.
- Denklem 2.1'de yerine yazılırsa:

$$((150-101)/(.085-.071))*(0.078-0.071)+101=125.5=126$$

8 saatlik 0.07853333 ozon değerinin AQI'si 126 olarak bulunur.

3.6. IoT Nesnesi (Hava Kalitesi Ölçüm Sistemi)

Önerilen sistemde, ortamdaki kirletici madde miktarlarını takip etmek, kirletici madde miktarlarını veri tabanına anlık olarak kaydetmek için bir IoT nesnesi geliştirilmiştir. Şekil 3.1'de gerçekleştirilen sistem görülmektedir. Bu alt bölümde önerilen sistemde kullanılan malzemeler kısaca anlatılacaktır.



Şekil 3.1. Hava kalitesi ölçüm işlemi.

3.6.1. Donanım mimarisi

Bu çalışmada hava kalitesi ölçümü için MQ-131 ozon ölçümleme sensörü, MQ-135 hava kalite sensörü, MQ-7 CO sensörü, NodeMCU-ESP8266 geliştirme kartı kullanılmıştır.

3.6.1.1. MQ-131

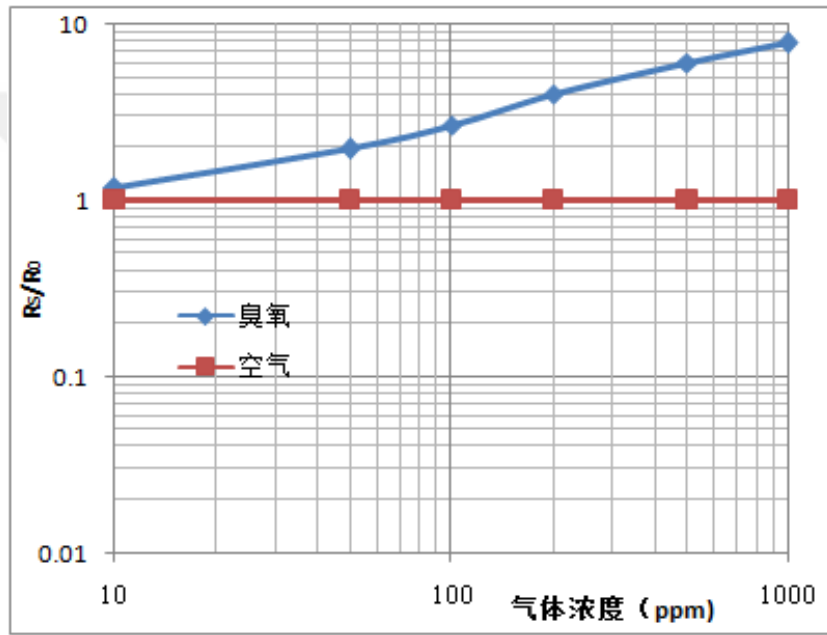
Tablo 3.6'ya göre yarı iletken metal oksit bir ozon gazı ölçüm sensörüdür. Şekil 3.2'de görüldüğü gibi ozon gazının varlığında, gaz konsantrasyonunun artmasıyla birlikte sensörün iletkenliği azalır. Basit bir devre aracılığıyla sensörün iletkenliğindeki değişim gaz konsantrasyonu çıkış sinyaline karşılık getirilebilir. İç mekan ozon alarmlarında, endüstriyel ozon alarmlarında ve taşınabilir ozon algılayıcılarında yaygın olarak kullanılır [27].

Tablo 3.6. MQ-131 teknik parametreleri [27].

Model			MQ-131
Sensör Tipi			Yarı iletken
Standart Kapsülleme			Bakalit, metal kapak
Hedef Gaz			Ozon
Algılama Aralığı			10-1000 ppm ozon
Standart Devre Gereksinimleri	Döngü Gerilimi	Vc	$\leq 24V$ DC
	Isıtıcı Gerilimi	Vh	$5.0V \pm 0.1V$ AC veya DC
	Yük Direnci	RL	Ayarlanabilir
Standart test koşulları altında sensör karakteri	Isıtıcı Direnci	Rh	$31\Omega \pm 5\Omega$ (oda sıcaklığı)
	Isıtıcı Tüketimi	Ph	$\leq 900mW$
	Duyarlılık	S	$R_s(200ppm\ O_3 \text{ içindeki} / R_s(\text{havadaki}) \geq 2)$
	Çıkış Voltajı	ΔV_s	$\geq 1.0V$ (200ppm O3 içindeki)
	Konsantrasyon Eğimi	α	≤ 0.6 (R10ppm/R100ppm O3)

Tablo 3.6.(Devamı) MQ-131 teknik parametreleri [27].

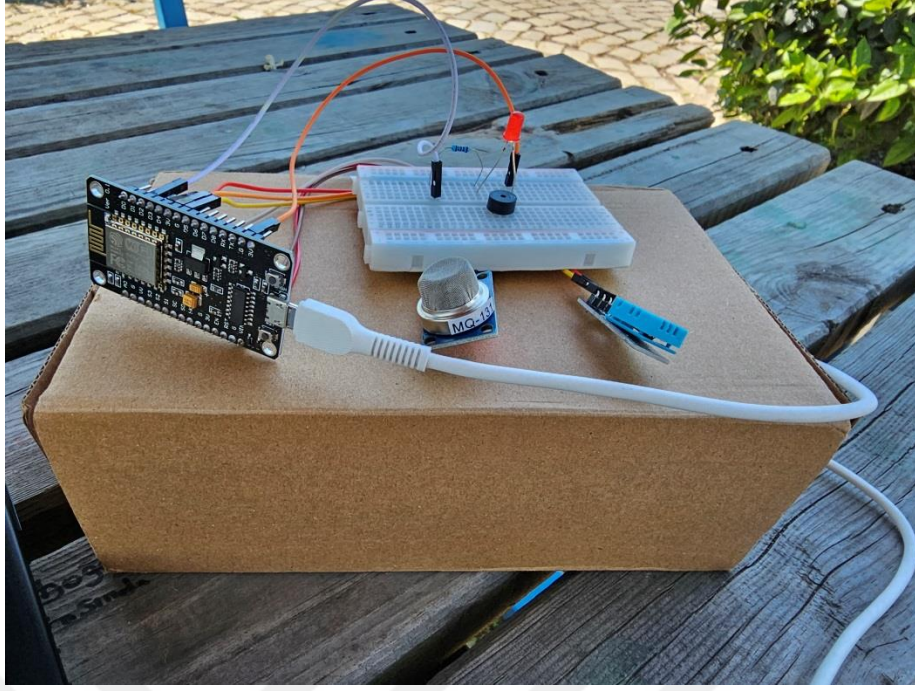
Standart test koşulları	Sıcaklık, nem	20°C±2°C ; 55%±5%RH
	Standart test devresi	Vc:5.0V±0.1V: VH: 5.0V±0.1V
	Ön ısıtma süresi	48 saatin üzerinde



Şekil 3.2. MQ-131 sensör direnç oranı ve gaz konsantrasyonu grafiği [27].

Ordinat (Y eksenı) sensörün direnç oranını (R_s/R_o), Apsis (X eksenı) de gaz konsantrasyonunu gösterir. R_s farklı konsantrasyona sahip hedef gazdaki direnç anlamına gelir. R_o ise sensörün temiz havadaki direnci anlamına gelir.

Şekil 3.3'te MQ-131 sensörünün bağlantısı görölmektedir.



Şekil 3.3. MQ-131 sensörü bağlantısı.

MQ-131 ozon sensörünün A0, D0, GND ve VCC olmak üzere 4 pini bulunur. Ozon sensörünün A0 pini NodeMCU kartının A0 pinine, ozon sensörünün GND pini NodeMCU kartının GND pinine, ozon sensörünün VCC pini de NodeMCU kartının VIN (5V) pinine bağlanmıştır.

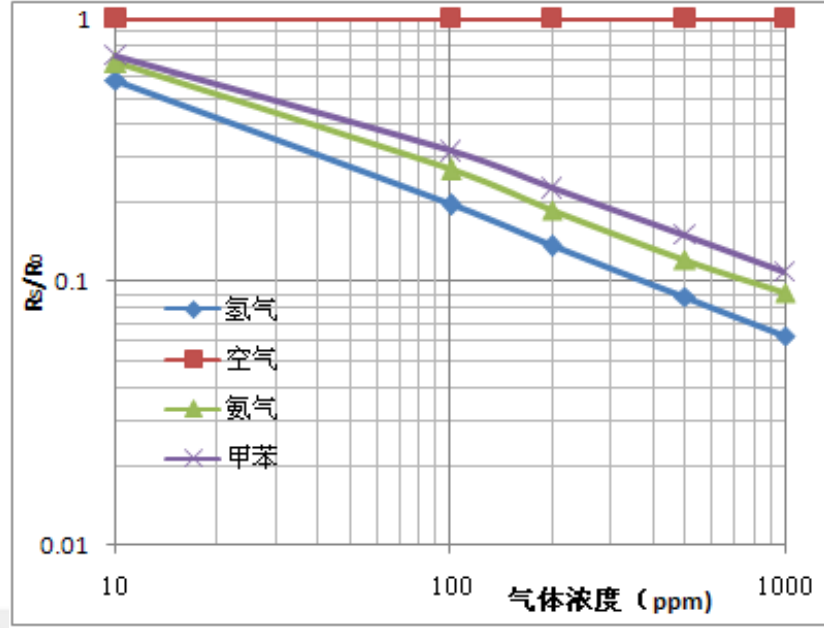
3.6.1.2. MQ-135

MQ-135 gaz sensörünün hassas malzemesi, temiz havada daha düşük iletkenliğe sahip olan SnO₂'dir. Şekil 3.4'te görüldüğü gibi hedef gazın varlığında, gaz konsantrasyonunun artmasıyla birlikte sensörün iletkenliği de artar. Kullanıcılar iletkenlik değişimini basit bir devre aracılığıyla gaz konsantrasyonunun çıkış sinyaline karşılık gelecek şekilde dönüştürebilirler.

Tablo 3.7'ye göre MQ-135 gaz sensörü amonyak, sülfür, benzen serisi buhara karşı yüksek hassasiyete sahiptir. Ayrıca duman ve diğer toksik gazları da izleyebilir [28].

Tablo 3.7. MQ-135 teknik parametreleri [28].

Model	MQ-135			
Sensör Tipi	Yarı iletken			
Standart Kapsülleme	Bakalit, metal kapak			
Hedef Gaz	Amonyak, sülfür, benzen serisi buharlar			
Algılama Aralığı	10-1000 ppm (amonyak, hidrojen, sigara dumanı)			
Standart Gereksinimleri	Devre	Döngü Gerilimi	Vc	$\leq 24V$ DC
		Isıtıcı Gerilimi	Vh	$5.0V \pm 0.1V$ AC veya DC
		Yük Direnci	RL	Ayarlanabilir
Standart koşulları altında sensör karakteri	test	Isıtıcı Direnci	Rh	$29\Omega \pm 3\Omega$ (oda sıcaklığı)
		Isıtıcı Tüketimi	Ph	$\leq 950mW$
		Duyarlılık	S	$R_s(havadaki)/R_s(400 \text{ ppm } H_2) \geq 5$
		Çıkış Voltajı	ΔV_s	$2.0V-4.0V(400 \text{ ppm } H_2 \text{ içinde})$
		Konsantrasyon Eğimi	α	$\leq 0.6(R_{400ppm}/R_{100ppm } H_2)$
Standart koşulları	test	Sıcaklık, nem		$20^\circ C \pm 2^\circ C$; $55\% \pm 5\% RH$
		Standart test devresi		Vc: $5.0V \pm 0.1V$; VH: $5.0V \pm 0.1V$
		Ön ısıtma süresi		48 saatin üzerinde



Şekil 3.4. MQ-135 sensör direnç oranı ve gaz konsantrasyonu grafiği [28].

Ordinat(Y eksen) sensörün direnç oranını (R_s/R_0), Apsis (X eksen) de gazların konsantrasyonunu gösterir. R_s farklı konsantrasyona sahip hedef gazdaki direnç anlamına gelir. R_0 ise sensörün temiz havadaki direnci anlamına gelir.

3.6.1.3. MQ-7

MQ-7 gaz sensörünün hassas malzemesi, temiz havada daha düşük iletkenliğe sahip olan SnO_2 'dir. Yüksek ve düşük sıcaklık yöntemiyle algılama yapar ve düşük sıcaklıkta (1.5V ısıtıldığında) CO tespit eder. Tablo 3.8'e göre sensörün iletkenliği gaz konsantrasyonunun artmasıyla birlikte daha da yükselir. Yüksek sıcaklıkta (5V ısıtıldığında), düşük sıcaklık altında emilen gazları temizler [29].

Tablo 3.8. MQ-7 teknik parametreleri [29].

Model	MQ-7
Sensör Tipi	Yarı iletken
Standart Kapsülleme	Plastik
Hedef Gaz	CO

Tablo 3.8. (Devamı) MQ-7 teknik parametreleri [29].

Algılama Aralığı			10-10000 ppm CO
Standart Devre Gereksinimleri	Döngü Gerilimi	Vc	$\leq 10V$ DC
	Isıtıcı Gerilimi	Vh	$5.0V \pm 0.2V$ AC veya DC (yüksek)
			$1.5V \pm 0.1V$ AC veya DC (düşük)
	Isıtıcı Süresi	TL	$60 \pm 1S$ (Yüksek) $90 \pm 1S$ (düşük)
Standart test koşulları altında sensör karakteri	Yük Direnci	RL	Ayarlanabilir
	Isıtıcı Direnci	Rh	$31\Omega \pm 3\Omega$ (oda sıcaklığı)
	Isıtıcı Tüketimi	Ph	$\leq 350mW$
	Duyarlılık Direnci	Rs	$2K\Omega - 20K\Omega$ (100ppm CO içinde)
	Duyarlılık	S	$R_s(\text{havadaki})/R_s(100 \text{ ppm CO}) \geq 5$
	Çıkış Voltajı	ΔV_s	$2.0V - 4.0V$ (400 ppm H ₂ içinde)
	Konsantrasyon Eğimi	α	≤ 0.6 (R300ppm/R100ppm CO)
Standart test koşulları	Sıcaklık, nem		$20^\circ C \pm 2^\circ C$; $65\% \pm 5\% RH$
	Standart test devresi		Vc: $5.0V \pm 0.1V$; VH (yüksek): $5.0V \pm 0.1V$; VH (düşük): $1.5V \pm 0.1V$
	Ön ısıtma süresi		48 saatin üzerinde

Şekil 3.5’te MQ-7 sensörünün bağlantısı görülmektedir.



Şekil 3.5. MQ-7 sensörü bağlantısı.

MQ-7 CO sensörünün A0, D0, GND ve VCC olmak üzere 4 pini bulunur. CO sensörünün A0 pini NodeMCU kartının A0 pinine, CO sensörünün GND pini NodeMCU kartının GND pinine, CO sensörünün VCC pini de NodeMCU kartının VIN (5V) pinine bağlanmıştır.

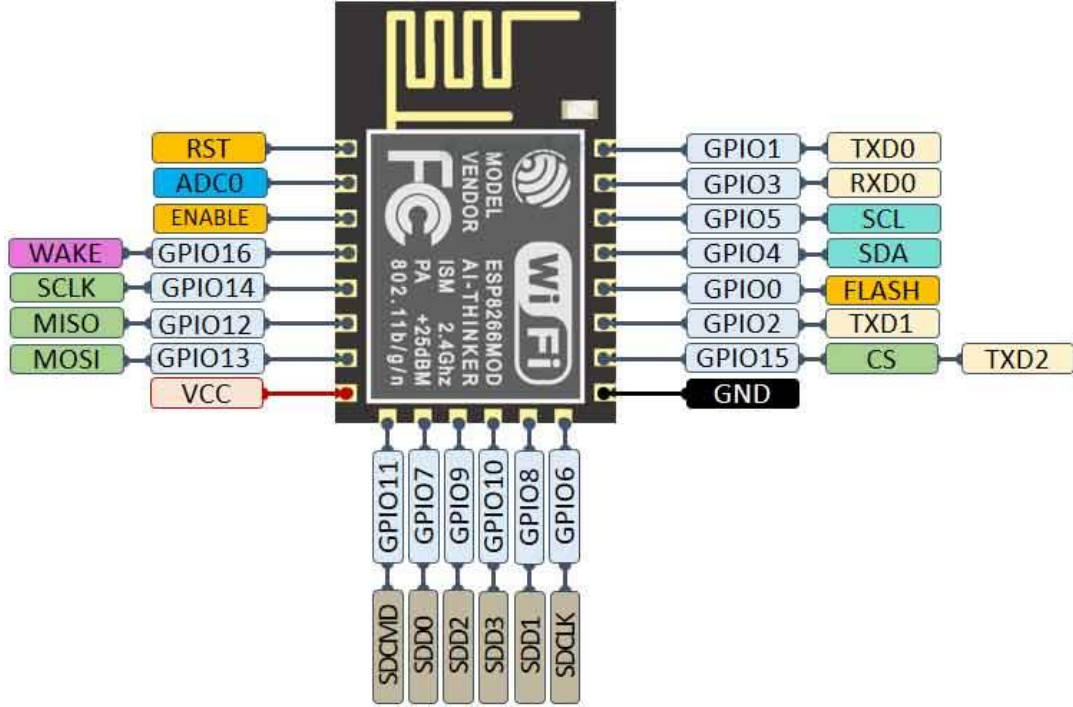
3.6.1.4. NodeMCU-ESP8266 geliştirme kartı

NodeMCU üzerinde ESP8266 modülü bulundurulur. Açık kaynak kodludur. Küçük boyutlu elektronik devre geliştirme kartıdır. Farklı kullanım alanları olan, stabil çalışan bir karttır. NodeMCU ile internet bağlantısı kolay bir şekilde yapılabilmektedir. Bu özelliği sayesinde uzaktan kontrol ve internet ihtiyacı olan IoT projelerinde çok fazla kullanılır. Diğer önemli bir özelliği de düşük güç tüketimidir. Bu sayede güç tüketiminin önemli olduğu projelerde tercih edilmektedir [30].

NodeMCU'nun programla dili Script'tir. NodeMCU'yu avantajlı kılan en önemli özelliği de Arduino IDE üzerinden de programlanabilmesi ve bu sayede Arduino ile aynı dili kullanabilmesidir. Üzerinde bulunan micro usb sayesinde programlanması çok kolaydır.

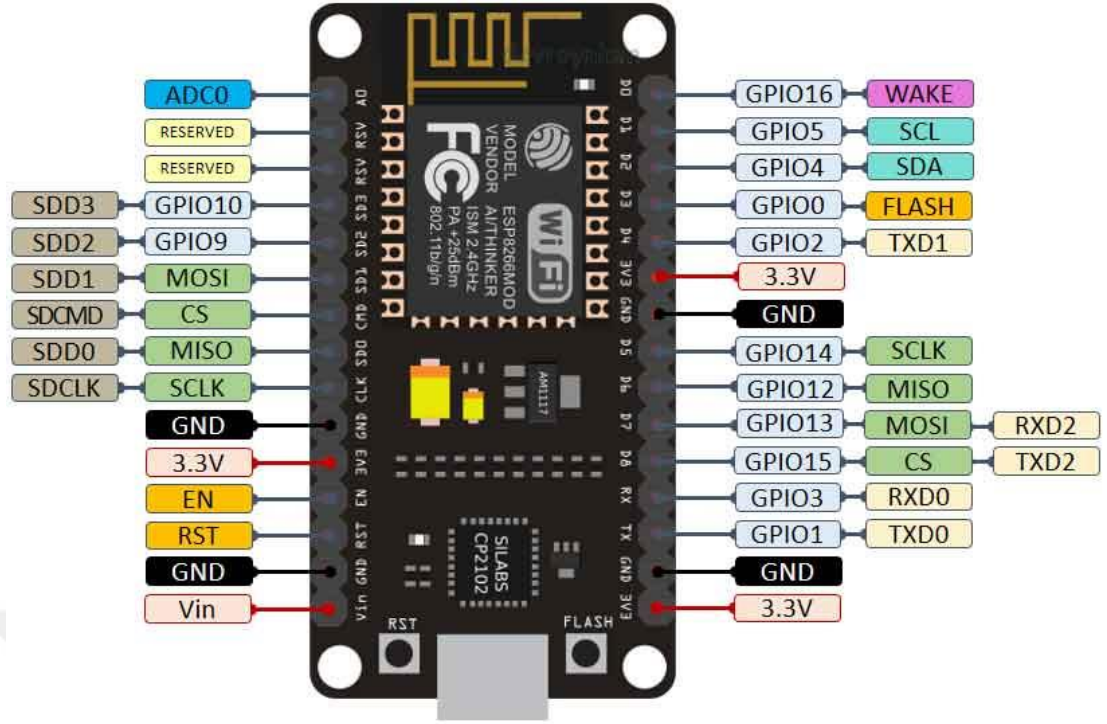
NodeMCU'nun en çok kullanılanı CH340G çipli modelidir. Kart kullanılmadan önce driver yüklemesi yapılması gerekmektedir.

Şekil 3.6’da görüldüğü gibi tüm GPIO’lar geliştirme kartlarında erişilebilir değildir. En yaygın kullanılan ESP8266 kartları ESP-01, ESP8266-12E NodeMCU Kiti ve Wemos D1 Mini’dir [31].



Şekil 3.6. ESP-8266 wifi modülü pin giriş çıkışları [31].

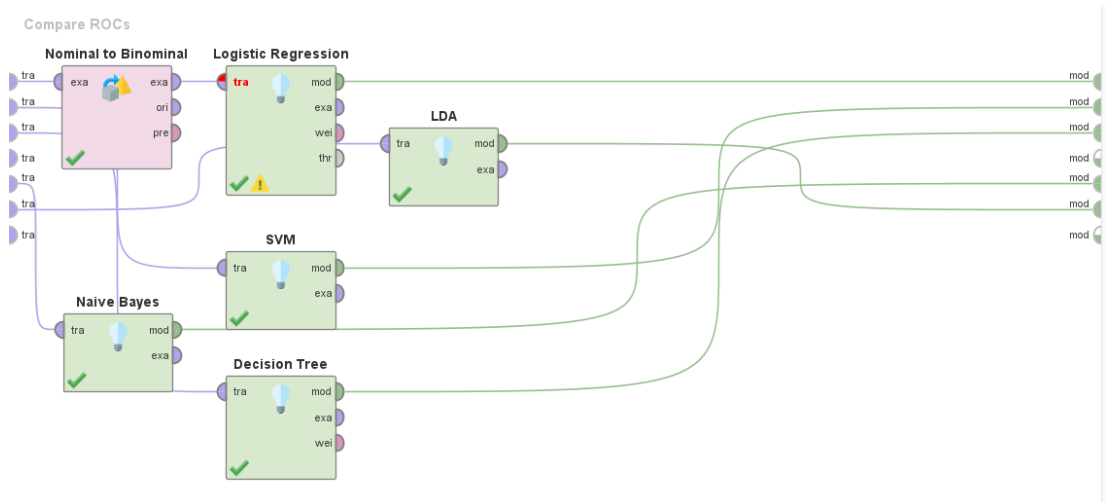
Şekil 3.7’de projede kullanılan ESP8266-12E NodeMCU Kiti için pin giriş çıkışları verilmiştir.



Şekil 3.7. ESP8266-12E NodeMCU kiti pin giriş çıkışları [31].

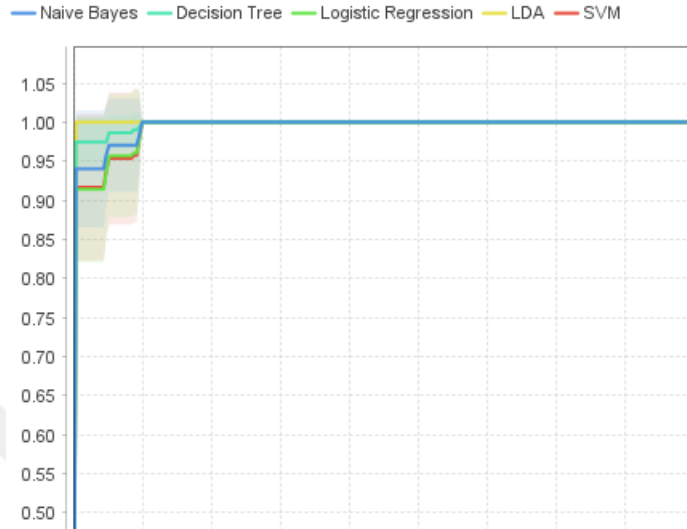
3.7. Veri Analiz Tekniği

Verilerin analizi ve sınıflandırılması için doğru algoritma seçilmedir. Algoritmaya karar vermek için RapidMiner programı kullanılmıştır. RapidMiner ile sık kullanılan Naive Bayes, LDA, Karar Ağaçları, Lojistik Regresyon ve SVM algoritmaları arasında şekil 3.8’de görüldüğü gibi ROC analizi yapılmıştır.



Şekil 3.8. ROC analizi.

RapidMiner ile ROC analizi yapıldığında şekil 3.9'daki gibi grafik ortaya çıkmıştır. ROC analizi sonuç grafiğine göre en hızlı 1.00 tamsayısına ulaşan LDA ve Karar Ağacı algoritmaları daha başarılıdır.



Şekil 3.9. ROC analizi sonuç grafiği.

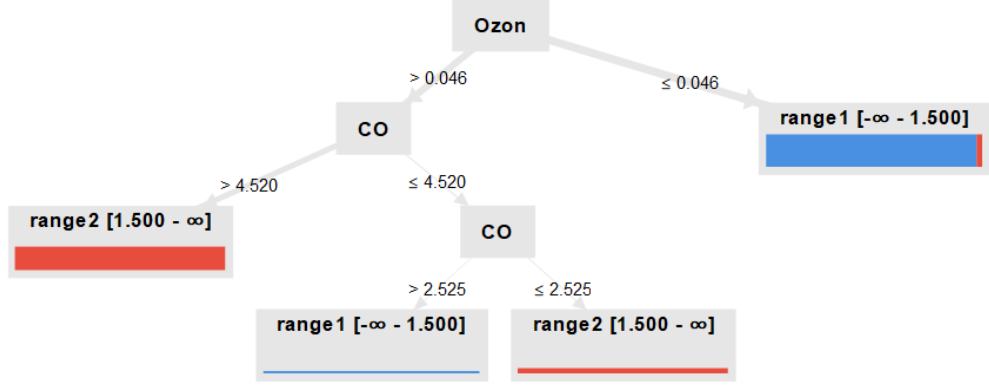
3.7.1. LDA

Diskriminant analizi, veri kümesindeki değişkenlerin iki veya daha fazla gerçek gruplara ayrılmasına imkan verecek şekilde, birimlerin ya da gözlemlerin p-tane özelliği ele alınarak bu birimlerin gerçek gruplarına optimal düzeyde atanmalarını sağlayacak fonksiyonlar oluşturan bir yöntemdir. Diskriminant analizi, doğrusal (linear) ve karesel (quadratic) diskriminant analizi olarak iki ana gruba ayrılarak incelenmektedir. Lineer diskriminant analizi (LDA) çok değişkenli normal dağılım gösteren kitlelerden rasgele çekilmiş örneklem veri matrislerinin gruplar arası varyans-kovaryans matrislerinin eşit olması koşulunda uygulanabilmektedir [32].

3.7.2. Karar Ağacı

Karar ağaçları sınıflama, özellik ve hedefe göre karar düğümleri ve yaprak düğümlerinden oluşan ağaç yapısı formunda bir model oluşturan bir sınıflandırma yöntemidir. Karar ağacı algoritması, veri setini küçük ve hatta daha küçük parçalara bölerek geliştirilir. Bir karar düğümü bir veya birden fazla dallanma içerebilir. İlk düğüme kök düğüm denir. Bir karar ağacı hem kategorik hem de sayısal verilerden

oluşabilir. RapidMiner programında Karar Ağacı algoritması uygulandığında şekil 3.10’da görüldüğü gibi karar ağacı oluşturmuştur [33].

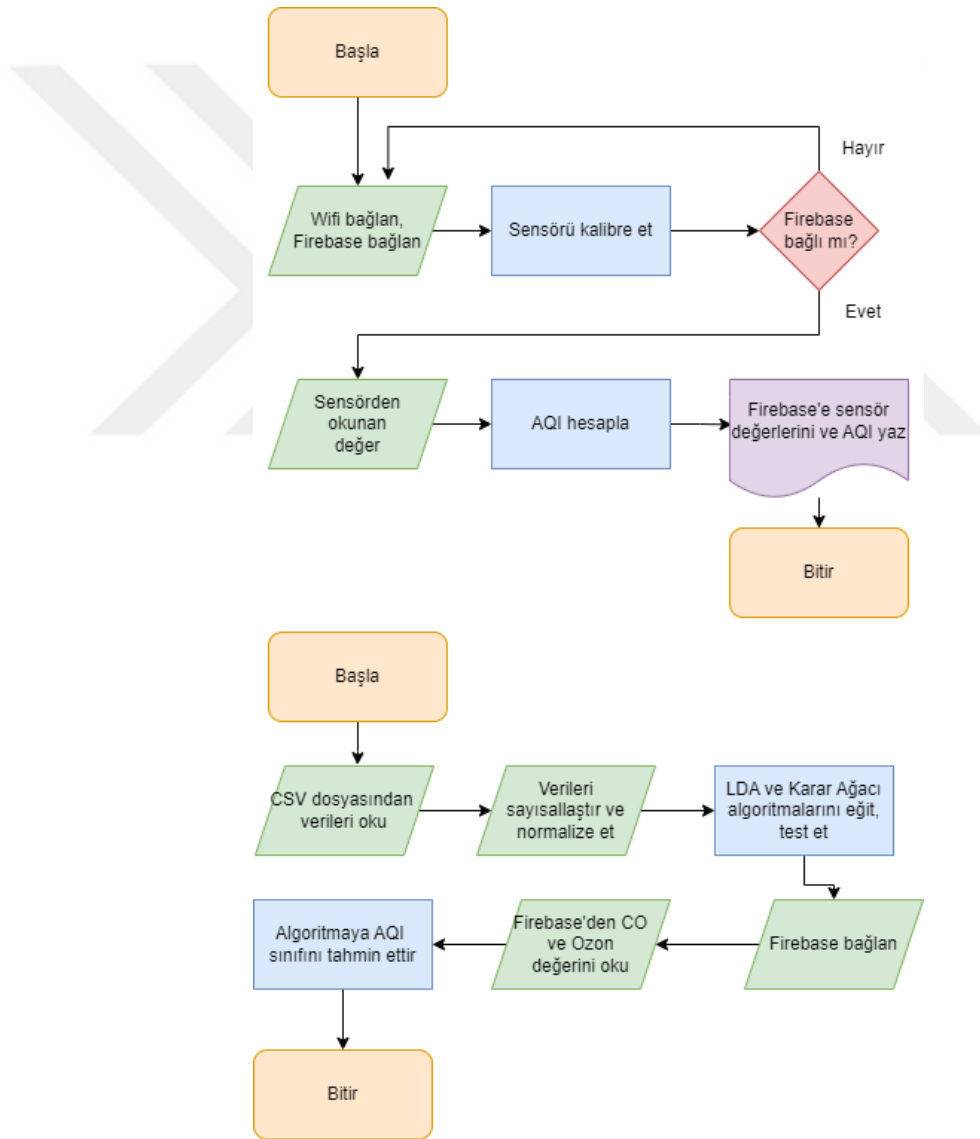


şekil 3.10. RapidMiner ile Karar Ağacı algoritması sonucu.



4. UYGULAMA ORTAMI

Bu çalışmada NodeMCU geliştirme kartını programlamak için Arduino IDE, verileri kaydetmek için Firebase veri tabanı, mobil uygulama geliştirmek için MIT App Inventor ve Python dilinde makine öğrenmesi gerçekleştirmek için de Visual Studio Code platformu kullanılmıştır. Bu tez çalışmasının genel çalışma mantığı şekil 4.1'deki akış diyagramında gösterilmiştir.



Şekil 4.1. Gerçekleştirilen sistemin akış diyagramı.

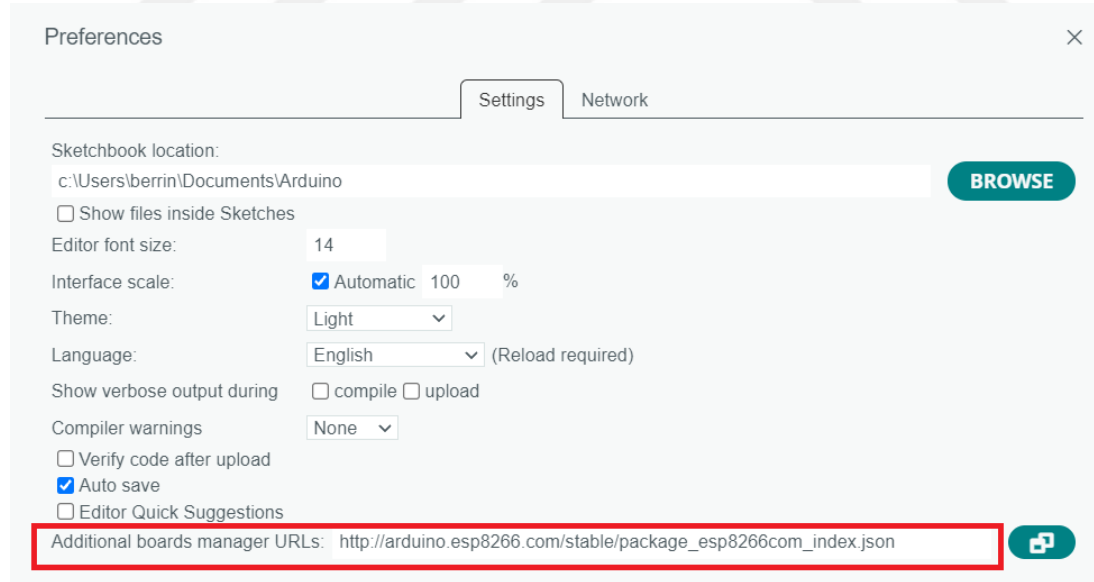
4.1. Çalışma Ortamının Hazırlanması

4.1.1. Arduino IDE'nin ayarlanması

Bilgisayarın NodeMCU kartını tanıyabilmesi için CH340G driver yüklenmelidir. CH340G driver yükleme adımları şu şekildedir:

- NodeMCU geliştirme kartı USB kabloyla bilgisayara bağlanır.
- Aygıt yöneticisi penceresi açılır. Ch341ser.exe dosyası çalıştırılır ve INSTALL butonuna tıklanır.
- “Driver install success!” penceresinde tamam tıklanır.
- Aygıt yöneticinden Bağlantı Noktaları başlığı altında “USB-SERIAL CH340 (Com x)” şeklinde yüklendiği görülür.
- Arduino IDE’de Araçlar menüsü altındaki Port kısmında NodeMCU’nun COM portu seçilir [29].

Driver yükleme işleminden sonra Arduino IDE’de NodeMCU programlayabilmek için ek kart yöneticisine eklenmesi gerekmektedir. Arduino IDE, Dosya, Tercihler adımları izlenerek şekil 4.2’de görülen sayfada gerekli link eklemesi yapılır. Kütüphane yönetimi bölümünden esp8266 kütüphanesi yüklenir ve araçların altında kartlar bölümüne esp8266 eklenmiş olur.



Şekil 4.2. Arduino IDE ek kart yöneticisi.

MQ-7, MQ-131, MQ-135 sensörleri NodeMCU geliştirme kartının A0 pinine bağlanmıştır. NodeMCU geliştirme kartı ESP8266 Wi-Fi modülü ile Wi-Fi ağına bağlanmıştır. Bu Wi-Fi bağlantısı ile A0 analog pininden okuduğu sensör verilerini

Firebase gerçek zamanlı veri tabanına kaydetmektedir. Sensörden veri okuma işlemi saatte 60 veri olacak şekilde ayarlanmıştır ve veri tabanına saatte 60 değer kaydedilmektedir.

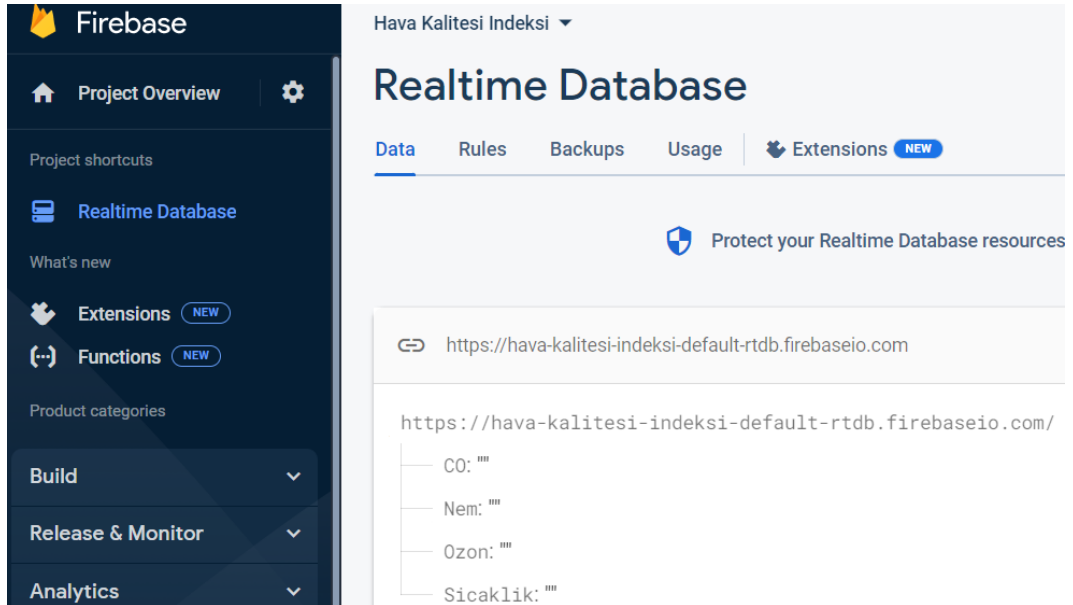
4.1.2. Firebase'in ayarlanması

Firebase, Google firmasına ait gerçek zamanlı verileri tutabilmek için geliştirilmiş bir platformdur. Bu çalışmada sensörlerden toplanan verilerin gerçek zamanlı depolanmasına ihtiyaç olduğu için Firebase kullanılmıştır. Firebase kullanmak için Google hesabına ihtiyaç vardır. Google hesabı ile oturum açtıktan sonra yeni proje oluşturulabilir ve veritabanı oluşturulabilir. Veri tabanı oluşturulduktan sonra uzaktan okuma ve yazmaya izin vermek için şekil 4.3.'deki gibi kural değişikliği yapılır.

```
{  
  "rules": {  
    ".read": true,  
    ".write": true  
  }  
}
```

Şekil 4.3. Firebase kurallar penceresi.

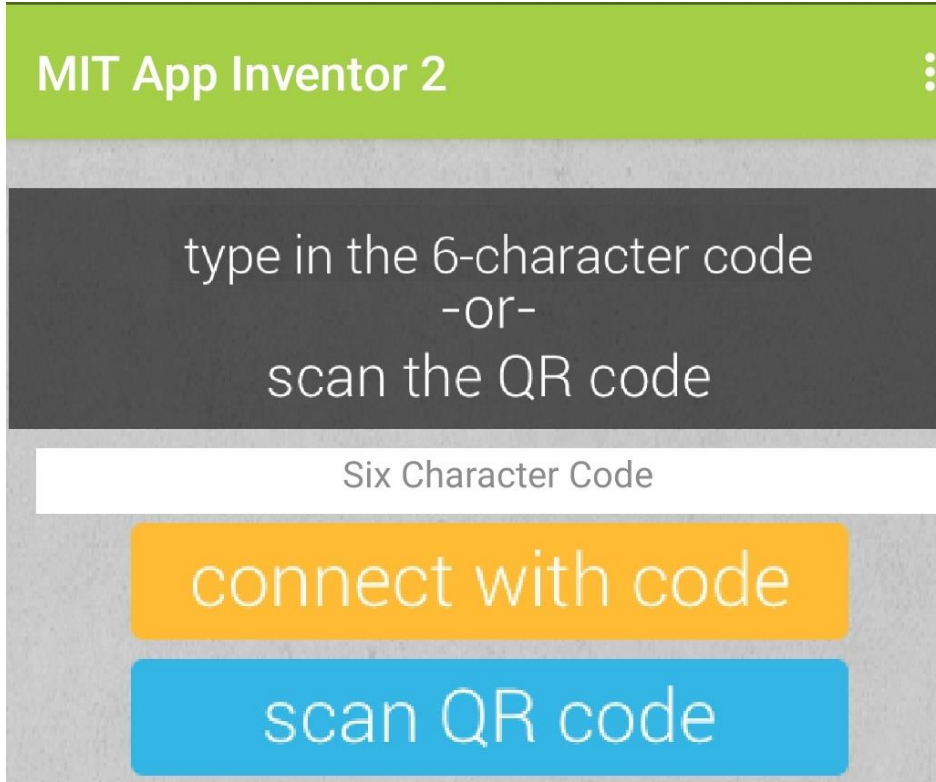
Oluşturulan veritabanına değer eklemesi de şekil 4.4'te görüldüğü gibi yapılmıştır.



Şekil 4.4. Firebase veritabanına değer ekleme.

4.1.3. MIT App Inventor’ün Ayarlanması

MIT tarafından geliştirilen App Inventor bu çalışmada Android cihazlar için mobil uygulama geliştirme için kullanılacaktır. Blok tabanlı bir uygulama olduğu için hızlı bir şekilde projeler geliştirilebilmektedir. App Inventor ile yapılan uygulamaları Android cihaza yükleyebilmek için “MIT AI2 Companion” uygulaması yüklenmelidir. Uygulama açıldığında şekil 4.5’de görüldüğü gibi açılış ekranı gelir. Buradan “Scan QR code” seçeneği ile kendi yaptığımız projenin karekodunu taratırız ve Android cihazımızda kendi projemizi kullanmaya başlarız.



Şekil 4.5. App Inventor arayüzü.

Hava kalitesi indeksi mobil uygulaması için şekil 4.6’da görülen arayüz tasarlanmıştır.

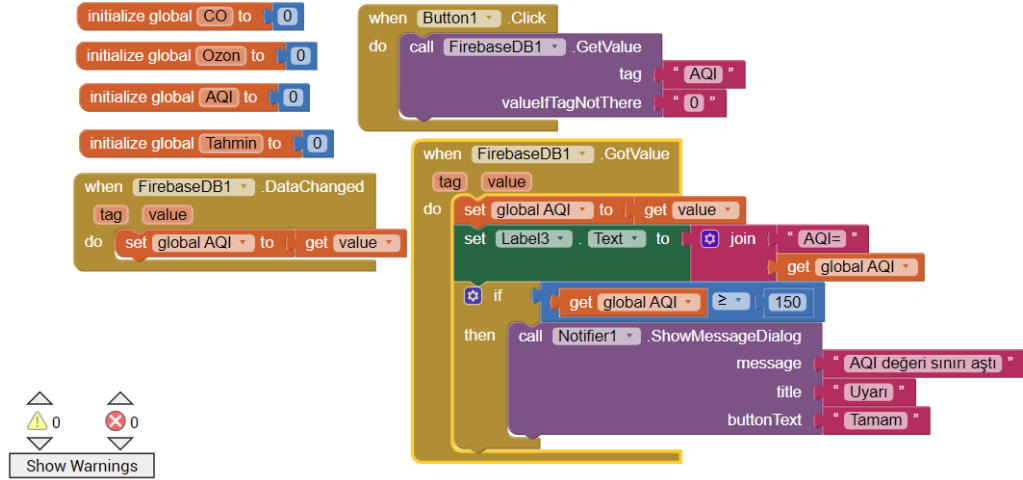


Şekil 4.6. App Inventor arayüz tasarımı.

App Inventor uygulaması Firebase veri tabanına bağlanmıştır. Veri tabanındaki veride değişiklik gerçekleştiği zaman AQI değerini ekranda göstermektedir. Ve AQI değeri “hassas gruplar için sağlıksız” kategorisinin sınır değeri olan 150’yi aştığı zaman uyarı göndermektedir. Şekil 4.7’de gönderilen uyarı gösterilmektedir. Şekil 4.8’de mobil uygulama için yazılan kod blokları görülmektedir.



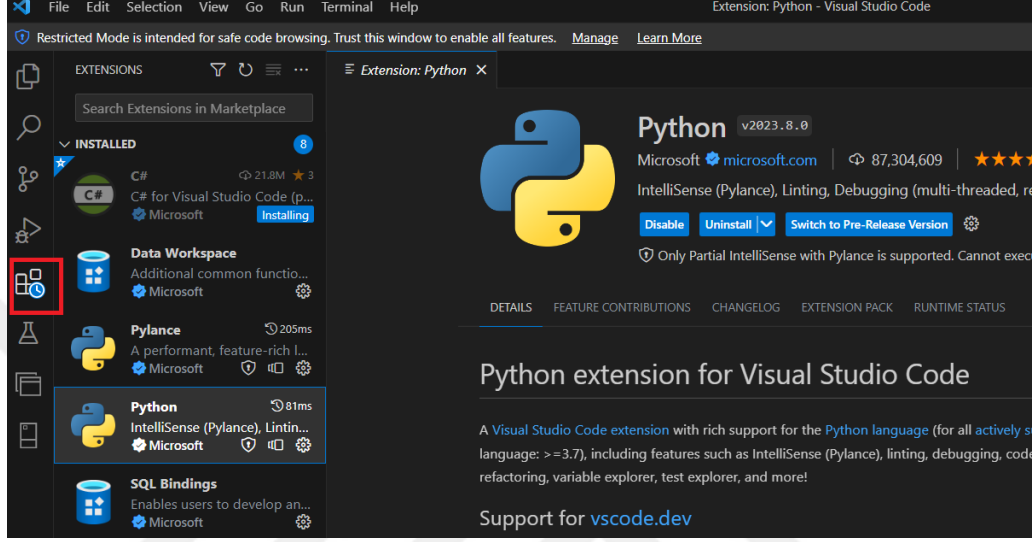
Şekil 4.7. App Inventor uyarı ekranı.



Şekil 4.8. App Inventor kodları

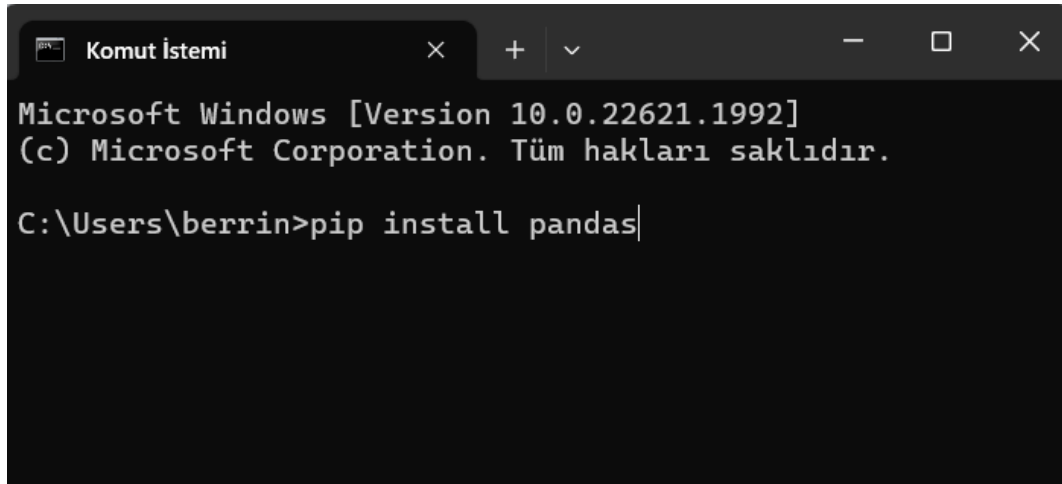
4.2. Kod Geliştirme Ortamı

Bu çalışmada Visual Studio Code editörü kullanılmıştır. Visual Studio Code indirilip kurulumu yapıldıktan sonra Python programlama dilinde kod yazabilmek için şekil 4.9'daki eklentiler sekmesinden Python yüklenmelidir.



Şekil 4.9. Visual studio code eklentiler.

Makine öğrenmesi gerçekleştirmek için kod geliştirme ortamında “pandas, sklearn, matplotlib” gibi bazı kütüphaneler kullanırız. Kod geliştirme ortamında bu kütüphanelerin hata vermeden çalışabilmesi için bilgisayarın komut istemi penceresinden de kurulum yapılması gerekmektedir. Şekil 4.10’de görüldüğü gibi komut istemi penceresi açıldıktan sonra “pip install pandas” komutu yazılarak pandas kütüphanesinin yüklemesi gerçekleştirilebilir. “pip install scikit-learn” komutu sklearn kütüphanesi için “pip install matplotlib” komutu da matplotlib kütüphanesi için yazılması gereken komutlardır.



```
Komut İstemi
Microsoft Windows [Version 10.0.22621.1992]
(c) Microsoft Corporation. Tüm hakları saklıdır.

C:\Users\berrin>pip install pandas
```

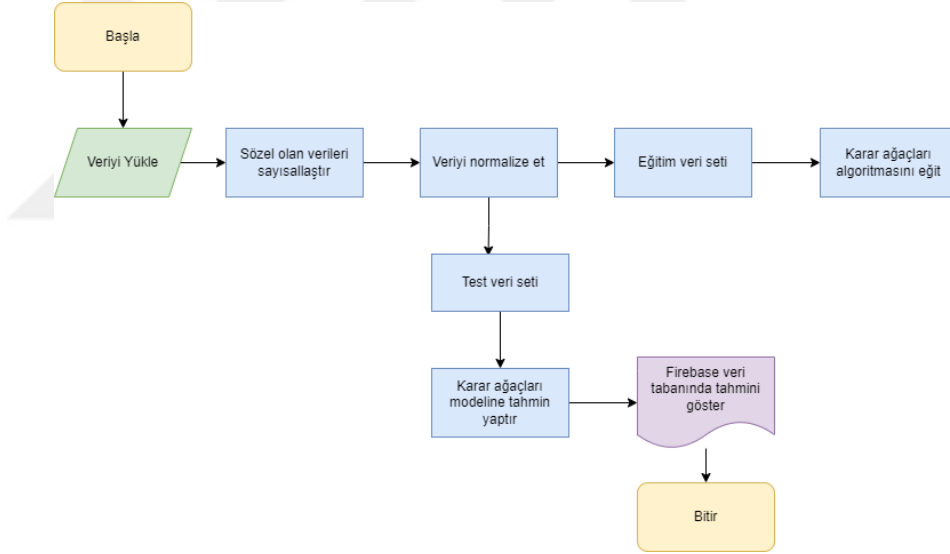
Şekil 4.10. Komut istemi penceresinden kütüphane kurulumu.

5. ÖNERİLEN YAKLAŞIMDA VERİ ANALİZİ

Bu tez çalışmasında sensörlerden toplanan CO ve ozon değerleri ile elde edilen veriler makine öğrenmesi algoritması olan Karar Ağaçları ve LDA ile etkileşime sokulup hava kalitesi indeksi hakkında sonuç üretmesi sağlanmıştır.

5.1. Karar Ağacı ile Gerçek Zamanlı Veri Tahmini

Şekil 5.1’de Karar Ağaçları algoritması ile modeli eğitip veri tahmini yaptırmak için kullanılan akış diyagramı verilmiştir. CSV dosyasından veriler okunmuştur. Sözel veriler sayısalı dönüştürülmüştür. Veriler normalize edilmiştir. Eğitim ve test veri seti hazırlanıp algoritmaya uygulanmıştır.



Şekil 5.1. Karar Ağacı algoritması için akış diyagramı.

5.1.1. Eğitim

Şekil 5.2’de kullanılan veri setinin ilk 5 değeri görülmektedir. Şekil 5.3’te de verilerin normalize edilmiş hali görülmektedir. Veriler eğitim ve test verisi olarak ikiye ayrıldıktan sonra Karar Ağaçları modeli ile eğitilmiştir.

	Date	CO	Ozon	COAQI	O3AQI	AQI	AQIKategori
0	5/31/2023 9:50	0.52	0.065	6	84	84	2
1	5/31/2023 9:51	0.47	0.061	5	71	71	2
2	5/31/2023 9:52	0.41	0.045	5	42	42	1
3	5/31/2023 9:53	0.37	0.039	4	36	36	1
4	5/31/2023 9:54	0.35	0.038	4	35	35	1

Şekil 5.2. Kullanılan veri setinin ilk 5 değeri.

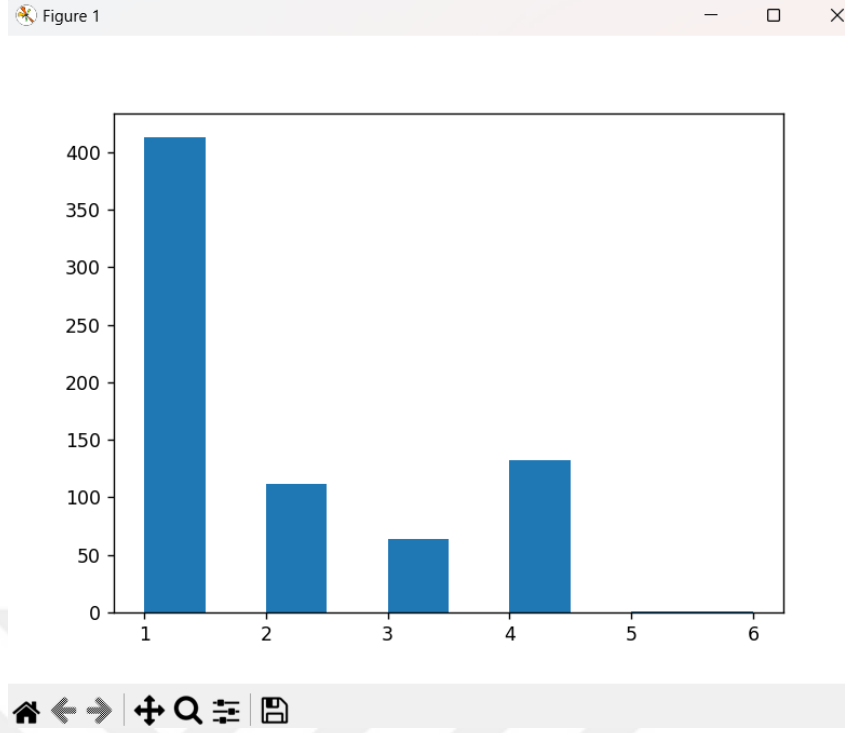
	CO	Ozon
0	0.006943	0.116576
1	0.005746	0.109290
2	0.004309	0.080146
3	0.003352	0.069217
4	0.002873	0.067395
..	...	...
718	0.009337	0.012750
719	0.009097	0.012750
720	0.009097	0.012750
721	0.008619	0.012750
722	0.008619	0.012750

Şekil 5.3. Normalize edilmiş veri.

Karar Ağaçları algoritmasına hazırlanan eğitim seti uygulandıktan sonra algoritmanın performansını görmek için hata matrisi yazdırılmıştır. Şekil 5.4'te hata matrisinin sonuçları görülmektedir. Karar Ağaçları algoritması için kullanılan verilerin grafiği de şekil 5.5'de gösterilmiştir.

$$\begin{bmatrix} 122 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 31 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 24 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 39 \end{bmatrix}$$

Şekil 5.4. Karar Ağacı hata matrisi.



Şekil 5.5. Verilerin sınıflara dağılım grafiği.

5.1.2. Tahmin

Eğitim veri seti ile eğitilen Karar Ağaçları algoritmasında tahmin işlemlerini yapmak için ilk olarak Firebase bağlantısı yapılmıştır. Firebase’den okunan CO ve Ozon verileri pandas veri formatına dönüştürüldükten sonra algoritmaya uygulanmıştır. Algoritma veriler ile yaptığı tahmin sonucunu şekil 5.6’da görüldüğü gibi “durum” olarak Firebase veri tabanına kaydetmektedir. Hava kalitesi indeksi olarak 6 sınıf vardır. Ve tahmin sonucu bu sınıflardan biri olarak gösterilmektedir.

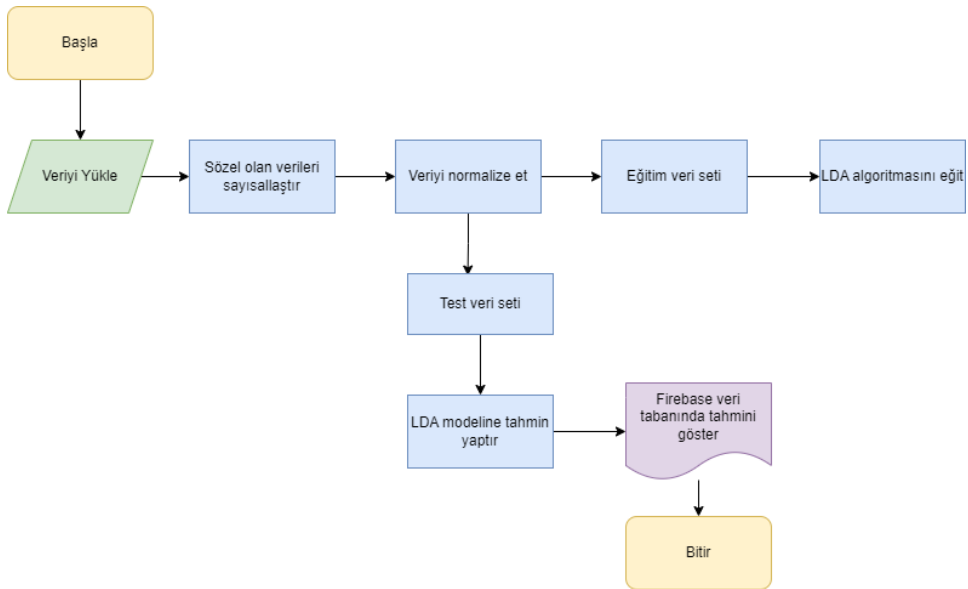
https://test2-5877b-default

AQI: 0
CO: 0.49483
COAQI: 5.62305
Durum: 4
O3AQI: 7.78032
Ozon: 0.0084

Şekil 5.6. Firebase veri tabanı Karar Ağacı tahmin sonucu.

5.2. LDA ile Gerçek Zamanlı Veri Tahmini

Şekil 5.7’de LDA algoritması ile modeli eğitip veri tahmini yaptırmak için kullanılan akış diyagramı verilmiştir. LDA, RapidMiner programında en yüksek başarıyı elde eden algoritmadır. Bu algoritma kullanılırken de CSV dosyasından veriler okunmuştur. Sözel veriler sayısalıla dönüştürülmüştür. Veriler normalize edilmiştir. Eğitim ve test veri seti hazırlanıp algoritmaya uygulanmıştır.

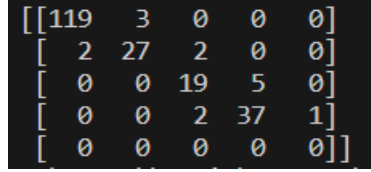


Şekil 5.7. LDA algoritması için akış diyagramı.

5.2.1. Eğitim

LDA algoritması için de Karar Ağaçları algoritmasına uygulanan veri seti kullanılmıştır. Bu veri setinin ilk 5 değeri şekil 5.2’de gösterilmiştir. Verilerin normalize edilmiş hali de şekil 5.3’te gösterilmiştir.

LDA algoritmasına hazırlanan eğitim seti uygulandıktan sonra algoritmanın performansını görmek için hata matrisi yazdırılmıştır. Şekil 5.8’de hata matrisinin sonuçları görülmektedir.



A 5x5 confusion matrix for LDA. The matrix is displayed in a black box with yellow text. The values are: Row 1: [119, 3, 0, 0, 0], Row 2: [2, 27, 2, 0, 0], Row 3: [0, 0, 19, 5, 0], Row 4: [0, 0, 2, 37, 1], Row 5: [0, 0, 0, 0, 0].

[	119	3	0	0	0]
[	2	27	2	0	0]
[	0	0	19	5	0]
[	0	0	2	37	1]
[	0	0	0	0	0]]

Şekil 5.8. LDA hata matrisi.

LDA hata matrisinden de görüldüğü üzere LDA algoritması hava kalitesi indeksinin 6 farklı sınıfını ayırt etmede daha başarılı olmuştur.

5.2.2. Tahmin

Eğitim veri seti ile eğitilen LDA algoritmasında tahmin işlemlerini yapmak için Karar Ağaçları algoritması tahmin adımlarında olduğu gibi ilk olarak Firebase bağlantısı yapılmıştır. Firebase’den okunan CO ve Ozon verileri pandas veri formatına dönüştürüldükten sonra algoritmaya uygulanmıştır. LDA algoritması veriler ile yaptığı tahmin sonucunu şekil 5.9’da görüldüğü gibi “durum” olarak Firebase veri tabanına kaydetmektedir. Hava kalitesi indeksi olarak 6 sınıf vardır. Ve tahmin sonucu bu sınıflardan biri olarak gösterilmektedir.

https://test2-5877b-default-

AQI: 155
CO: 6.2 123 ✕
COAQI: 1.54614
Durum: 2
O3AQI: 7.78032
Ozon: 0.06

Şekil 5.9. Firebase veri tabanı LDA tahmin sonucu.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Hava kirliliğini azaltmak için son zamanlarda çalışmalar yapılmaktadır. Bu çalışmalar arasında hava kalitesi indeksi ölçümü yaygın olarak gerçekleştirilmektedir. Bu tez çalışmasında hava kalitesi ölçüm sistemlerine katkıda bulunmak için ozon ve karbonmonoksit gazı temel alınarak ölçümler gerçekleştirilmiştir. Geliştirilen sistem sayesinde anlık olarak ozon ve karbonmonoksit gazının takibi yapılmakta ve hava kalitesi indeksi hesaplanmaktadır. Sensörlerden gelen veriler Firebase gerçek zamanlı veri tabanına anlık olarak kaydedilmiştir. Ayrıca hesaplanan hava kalitesi indeksi de anlık olarak Firebase gerçek zamanlı veri tabanına kaydedilmiştir. Makine öğrenmesi gerçekleştirebilmek için veriler CSV dosyasına da kaydedilmiştir. CSV dosyasından Python programlama dili kullanılarak okunan veriler önce sayısallaştırılmış sonra da normalize edilmiştir. Normalize veri eğitim verisi ve test verisi olarak ayrılmıştır. Eğitim verisi ile Karar Ağaçları ve LDA modeli eğitilmiş ve test verisi ile de test edilmiştir. LDA algoritması hava kalitesi indeksi sınıflarını ayırt etmede Karar Ağaçları algoritmasından daha başarılı olmuştur. Algoritmalar ile elde edilen tahmin sonuçları Firebase gerçek zamanlı veri tabanına kaydedilmiştir.

App Inventor uygulaması kullanılarak da mobil uygulama gerçekleştirilmiştir. Mobil uygulama ile hava kalitesi indeksi değeri 150'yi aştığı zaman bildirim gönderilmektedir.

Gelecek çalışmalarda tez çalışmasında elde edilen hava kalitesi ölçüm sistemi geliştirilerek ozon ve karbonmonooksitten farklı kirlletici maddelere de tepki vermesi eklenebilir. Wi-Fi bağlantısına ek olarak bluetooth bağlantısı ya da RFID bağlantısı eklenebilir. Android cihaz uygulamasına ek olarak farklı cihazlar için de uygulama bölümleri eklenebilir. Mobil cihazlar için uygulama Android Studio ortamı kullanılarak da geliştirilebilir. Gelecek çalışmalarda Android Studio'da Kotlin ve Flutter dilleri ile de mobil uygulama geliştirilebilir. Hava kalitesi ölçüm sistemine güneş panellerinden güç alması eklenerek güç kaynağından bağımsız hale getirilebilir.

Hava kalitesi ölçümleri Zonguldak ilinde gerçekleştirilmiştir. Gelecek çalışmalarda ölçümler farklı özellikleri barındıran illerde de yapılabilir. Hava kalitesi indeks sınıflandırmasında 6 sınıf bulunmaktadır. Gerçek hayat ölçümlerinde hassas gruplar için sağlıklı olan 3. sınıftan sonraki değerlere pek rastlanmamaktadır. Bu değerler halk sağlığı için risk barındırdığı için doğal ortamlarda bulunmaması gerekmektedir. Bu sebeple özellikle çok sağlıklı olan 5. sınıf ve tehlikeli olan 6. sınıf değerlerini veri seti barındıramamaktadır. Veri setinde bu değerler olmadığı için de bu sınıfları algoritma tanımamakta ve bu sınıflar ile ilgili tahmin de bulunamamaktadır. Gelecek çalışmalarda veri seti tüm sınıflara eşit dağılmış şekilde düzenlenebilir ve tahmini yapılamayan sınıflar da tahmin edilebilir hale getirilebilir.



KAYNAKLAR

- [1] Erzi, H. M. (2021). *Nesnelerin İnterneti Teknolojisi İle Akıllı Ev Kontrolü İçin Uygulama Geliştirilmesi* [Yüksek lisans tezi]. İnönü Üniversitesi.
- [2] Rustamov, K. (2022). *Akıllı Kentlere Dönüşüm Sürecinde Nesnelerin İnterneti (IOT) ve Büyükşehir Belediyelerinin Rolü: İstanbul Büyükşehir Belediyesi Örneği* [Yüksek lisans tezi]. İstanbul Üniversitesi.
- [3] Hılal, A.A.H. (2019). *IOT Based Intelligent Parking System* [Yüksek lisans tezi]. Erciyes Üniversitesi.
- [4] Mısırlı, S. (2022). *Endüstri 4.0 Kapsamında Nesnelerin İnterneti (IOT) Uygulamalarının Mağaza İçindeki Satın Alma Davranışları Üzerine Bir Uygulama* [Yüksek lisans tezi]. İstanbul Üniversitesi.
- [5] Saylam, R. (2020). *Nesnelerin İnterneti (IOT)'nin Askeri Alanda Kullanılabilirliği ve Kabul Modeli Önerisi* [Doktora tezi]. Atatürk Üniversitesi.
- [6] Kılıç, A. (2019). *Nesnelerin İnterneti (IOT) ve Yiyecek İçecek Sektörü İçin Öneriler, Örnek Bir Uygulama* [Yüksek lisans tezi]. Haliç Üniversitesi.
- [7] Alptekin, O. (2007). *Binalarda iç hava kalitesi toz partiküllerinin iç mekan hava kalitesi üzerindeki etkilerinin incelenmesi* [Yüksek lisans tezi]. Gazi Üniversitesi.
- [8] Demirarslan, K. (2012). *Kocaeli Körfez İlçesi'nde hava kirletici kaynaklarının ve hava kalitesi seviyesinin belirlenmesi* [Doktora tezi]. Kocaeli Üniversitesi.
- [9] Gündüz, H. (2018). *Uzaktan algılama ve coğrafi bilgi sistemleri entegrasyonu ile Aksaray ili hava kalitesi haritasının oluşturulması* [Yüksek lisans tezi]. Aksaray Üniversitesi.
- [10] Tel, M. (2019). *Niğde il merkezinde evrensel ısınma kaynaklı emisyonların AERMOD VIEW hava kalitesi modeli kullanılarak incelenmesi* [Yüksek lisans tezi]. Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi.
- [11] Karaman, F. (2022). *Ameliyathane Hava Kalitesi İzleme Sistemi* [Yüksek lisans tezi]. Fatih Sultan Mehmet Vakfı Üniversitesi.
- [12] Wonohardjo, E. P., ve Kusuma, G.P. (2019). Air Pollution Mapping Using Mobile Sensor Based on Internet of Things. *Procedia Computer Science*, 157, 638-645.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877050919311433>
- [13] Liu, C. (2023). Air Quality Index Forecasting Via Genetic Algorithm-Based Improved Extreme Learning Machine. *IEEE Access*, 11, 67086 – 67097.
<https://ieeexplore.ieee.org/document/10168889>

- [14] Katushabe, C., Kumaran, S., ve Masabo, E. (2023). Internet of Things Based Visualisation of Effect of Air Pollution on the Lungs Using HEPA Filters Air Cleaner. *Heliyon*, 9. [https://www.cell.com/heliyon/fulltext/S2405-8440\(23\)05007-7?_returnURL=https%3A%2F%2Flinkinghub.elsevier.com%2Fretrieve%2Fpii%2FS2405844023050077%3Fshowall%3Dtrue](https://www.cell.com/heliyon/fulltext/S2405-8440(23)05007-7?_returnURL=https%3A%2F%2Flinkinghub.elsevier.com%2Fretrieve%2Fpii%2FS2405844023050077%3Fshowall%3Dtrue)
- [15] Sevinç H. (2020). ESP8266 ve Arduino ile Nesnelerin İnterneti (2). Dikeyksen.
- [16] Dökmetaş G. (2016). Arduino ve Raspberry Pi ile Nesnelerin İnterneti (1). Dikeyksen.
- [17] Bıçakçı, S. (2019). Nesnelerin İnterneti. *Takvim-I Vekayi*, 7(1), 24-36. <https://dergipark.org.tr/tr/pub/takvim/issue/44522/498857>
- [18] <https://ankaref.com/blog/nesnelerin-interneti-iot-tarihine-yolculuk-32> adresinden 16 Mayıs 2023 tarihinde alınmıştır.
- [19] Önal, A. (2019). *MISIOT: Modüler, Akıllı, Sunucu Tabanlı Nesneler'in İnterneti Platform Yazılımı* [Yüksek lisans tezi]. TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi.
- [20] https://www.etiya.com/tr/blog/makine-ogrenmesi-machine-learning-ve-derin-ogrenme-nedir?gclid=Cj0KCQjw2qKmBhCfARIsAFy8buK51V92m-Rhb9aNjtnkUT94BjqURdRz5xOpo7G1j_NsQpY6BMXK4oaAsDIEALw_wcB adresinden 16 Mayıs 2023 tarihinde alınmıştır.
- [21] <https://rapidminer.dqturkiye.com/> adresinden 16 Mayıs 2023 tarihinde alınmıştır.
- [22] <https://181.csb.gov.tr/hava-kirliligi-ile-ilgili-bilgi-notu-duyuru-365102> adresinden 16 Mayıs 2023 tarihinde alınmıştır.
- [23] EPA. (2018). Technical Assistance Document for the Reporting of Daily Air Quality – the Air Quality Index (Yayın no. 454/B-18-007). <https://www.airnow.gov/publications/air-quality-index/technical-assistance-document-for-reporting-the-daily-aqi/>
- [24] <https://www.termodinamik.info/teknik/hava-kalitesi-indeksi-nedir> adresinden 16 Mayıs 2023 tarihinde alınmıştır.
- [25] <https://www.iqair.com/world-most-polluted-countries> adresinden 16 Mayıs 2023 tarihinde alınmıştır.
- [26] <https://www.iqair.com/world-most-polluted-cities> adresinden 16 Mayıs 2023 tarihinde alınmıştır.
- [27] <https://www.winsen-sensor.com/product/mq131-h.html> adresinden 16 Mayıs 2023 tarihinde alınmıştır.
- [28] <https://www.winsen-sensor.com/product/mq135.html?searchid=4644> adresinden 16 Mayıs 2023 tarihinde alınmıştır.
- [29] <https://www.winsen-sensor.com/product/mq-7b.html?searchid=4644> adresinden 16 Mayıs 2023 tarihinde alınmıştır.

- [30] <https://maker.robotistan.com/nodemcu-esp8266/> adresinden 16 Mayıs 2023 tarihinde alınmıştır.
- [31] <https://devreyakan.com/esp8266-pin-referansi-giris-ve-cikis-pinleri/> adresinden 16 Mayıs 2023 tarihinde alınmıştır.
- [32] Sevindik, S., ve Şiray, G.Ü. (2018). Diskriminant Analizi ve Bazı Alternatif Regresyon Analizleri. *Ç.Ü Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 35(9), 117-125.<https://fbe.cu.edu.tr/storage/fbeyedek/makaleler/2017/D%C4%B0SKR%C4%B0M%C4%B0NANT%20ANAL%C4%B0Z%C4%B0.pdf>
- [33] https://erdincuzun.com/makine_ogrenmesi/decision-tree-karar-agaci-id3-algoritmasi-classification-siniflama/ adresinden 16 Mayıs 2023 tarihinde alınmıştır.





ÖZGEÇMİŞ

Ad-Soyad :Berrin CENGİZ

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2013, Sakarya Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Bilgisayar Sistemleri Öğretmenliği Bölümü

MESLEKİ DENEYİM VE ÖDÜLLER:

- 2013 yılında Sakarya Üniversitesi Bilgisayar Sistemleri Öğretmenliği Bölümünden bölüm ikincisi olarak mezun oldu.
- 2020 yılında Milli Eğitim Bakanlığı'nda öğretmen olarak çalışmaya başladı. Halen Bilişim Teknolojileri öğretmeni olarak Milli Eğitim Bakanlığı'nda görev yapmakta.

DİĞER ESERLER:

- Batmaz, B. , Çelik, Z., Bayılmış, C. ve Kırbaş, İ. 2015. Akıllı Telefon Temelli Birey Takip Sistemi, *SAÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 19(1), 75-82.