



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

**YAPAY ZEKA ANALİZ DESTEKLİ KAPALI ORTAM HAVA
KALİTESİNİN SAĞLIK ÜZERİNE ETKİLERİNİN ARAŞTIRILMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

YUSUF BEKTAŞ

HAZİRAN

YUSUF BEKTAŞ

TEKNOLOJİ VE İNOVASYON YÖNETİMİ
ANABİLİM DALI

HAZİRAN-2024

**YAPAY ZEKA ANALİZ DESTEKLİ KAPALI ORTAM HAVA
KALİTESİNİN SAĞLIK ÜZERİNE ETKİLERİNİN ARAŞTIRILMASI**

YUSUF BEKTAŞ

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
TEKNOLOJİ VE İNOVASYON YÖNETİMİ ANABİLİM DALI**

Danışman

Doç. Dr. Selçuk SARIKOÇ

**AMASYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

HAZİRAN 2024

Yüksek Lisans Tezi Kabul ve Onay Sayfası

Yusuf BEKTAŞ tarafından hazırlanan “Yapay Zeka Analiz Destekli Kapalı Ortam Hava Kalitesinin Sağlık Üzerine Etkilerinin Araştırılması” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından OY BİRLİĞİ/OY ÇOKLUĞU ile Amasya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Teknoloji ve İnovasyon Yönetimi Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Doç. Dr. Selçuk SARIKOÇ

Enerji Anabilim Dalı, Amasya Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum/onaylamıyorum

Başkan : Dr. Öğr. Üyesi Onur KOŞAR

Enerji Sistemleri Anabilim Dalı, Kütahya Dumlupınar Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum/onaylamıyorum

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Yavuz ÜNAL

Bilgisayar Yazılımı Anabilim Dalı, Amasya Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum/onaylamıyorum

Tez Savunma Tarihi: 25/06/2024

Jüri tarafından kabul edilen bu tezin Yüksek Lisans Tezi olması için gerekli şartları yerine getirdiğini onaylıyorum.

.....

Doç. Dr. Ümit YILDIRIM

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

ETİK BEYAN

Amasya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,

bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

(İmza)

Yusuf BEKTAŞ

(Tarih)

YAPAY ZEKA ANALİZ DESTEKLİ KAPALI ORTAM HAVA KALİTESİNİN SAĞLIK ÜZERİNE ETKİLERİNİN ARAŞTIRILMASI

(Yüksek Lisans Tezi)

Yusuf BEKTAŞ

AMASYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Haziran 2024

ÖZET

Okullarda iç mekan hava kirleticileriyle ilişkili sağlık etkileri içinde, solunum yolu enfeksiyonları (SYE) riskinde artış ve Hasta Bina Sendromu (HBS) önemli yer tutmaktadır. Bu çalışmada bir lisede iç hava kalitesinin solunum yolu enfeksiyonları insidansı, hasta bina sendromu, devamsızlıklar üzerine etkisinin belirlenmesi ve iç mekanların hava kalite indeksinin tahmin edilebilmesi amacıyla hava kalitesi ölçüm sistemi tasarımı ve sensörlerden elde edilen veriler ile yapay zekaya dayalı model olarak bir derin öğrenme ağı geliştirilmesi amaçlanmıştır. Kesitsel tipteki bu çalışmanın evrenini Samsun'da bir lisede öğrenim gören 774 lise öğrencisi oluşturdu. Veri toplama işlemi 28/11/2022-16/06/2023 tarihleri arasında gerçekleştirildi. Basit rastgele yöntem kullanılarak iki adet atölye sınıfı seçildi ve toplamda 118 gün iş günü boyunca karbondioksit (CO₂), sıcaklık, nem ve partiküler madde (PM) ölçümleri, bu çalışma kapsamında yazılımı ve elektronik tasarımı özel hazırlanmış hava kalitesi ölçüm sistemi ile yapıldı. Ölçümlerin tamamlanmasını takiben öğrencilere yönelik olarak anket formu uygulandı. Anketin ilk bölümünde araştırmacılar tarafından hazırlanan sosyodemografik veri formu ve SYE geçirme durumuna ilişkin soru formu, ikinci bölümünde ise HBS belirtilerinin saptanması amacıyla MM 060 NA School ölçeği yer aldı. Anket bilgilerinin yanı sıra örnekleme alınan öğrencilerin devamsızlık bilgileri temin edildi. Toplam 79 öğrenci arasında HBS prevalansı %8,9, en az bir defa SYE geçirdiğini belirten kişi sayısı 14 (%17,7) olarak belirlendi. Okulun genelinde senelik ortalama bağıl nem için %47,6, sıcaklık için 24,8°C, CO₂ için 1433,7 ppm, PM₁ için 15,1 µg/m³, PM_{2.5} için 22,3 µg/m³, PM₁₀ için 31,1 µg/m³ olarak ölçüldü. Yapılan lojistik regresyon analizinde, sigara içmenin SYE geçirme riskini 8,0 kat arttırdığı belirlendi. Nem ve sıcaklık dışındaki tüm iç ortam hava kalitesi değişkenleriyle, raporlu devamsızlıklar arasında düşük derecede pozitif yönde korelasyon belirlendi. CO₂ ve PM_{2.5}'un limiti aştığı günleri takip eden günlerde raporlu devamsızlıkların daha yüksek olduğu görüldü. Yapay zekaya dayalı tahmin modelleri ile ilgili olarak, LSTM'de daha düşük hata oranları elde edildi ve her iki veri seti için de %81,25'lik doğruluk oranını elde edildi. İç ortam hava kalitesinin SYE ve HBS gelişimi üzerine anlamlı bir etkisi bulunamamış ancak CO₂ ve PM artışının, raporlu devamsızlıkları düşük düzeyde arttırdığı gözlenmiştir. Etkin havalandırmanın sağlanması için otomatik bir şekilde devreye giren iklimlendirme teknolojilerinin kullanımı hayata geçirilebilir.

Sayfa Adedi : 74
Anahtar Kelimeler : LSTM, Hasta Bina Sendromu, Hava Kalitesi ve Ölçümü
Danışman : Doç. Dr. Selçuk SARIKOÇ

Investigation of the Health Effects of Artificial Intelligence Analysis Supported Indoor Air
Quality in Closed Environments
(M. Sc. Thesis)

Yusuf BEKTAŞ

AMASYA UNIVERSITY
GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES
June 2024

ABSTRACT

Among the health effects associated with indoor air pollutants in schools, the increased risk of respiratory tract infections (RTI) and Sick Building Syndrome (SBS) have an important place. This study aimed to determine the effect of indoor air quality on the incidence of respiratory tract infections, sick building syndrome, and absenteeism in a high school, to design an air quality measurement system to estimate the air quality index of indoor spaces, to develop a deep learning network as an artificial intelligence-based model with data obtained from sensors. Two workshop classes were selected using the simple random method. During a total of 118 working days, carbon dioxide (CO₂), temperature, humidity and particulate matter (PM) were measured with an air quality measurement system whose software and electronic design were specially prepared for this study. Following the completion of the measurements, a survey form was administered to the students. The first part of the survey included the sociodemographic data form and the questionnaire regarding RTI prepared by the researchers, and the second part included the MM 060 NA School scale to detect SBS symptoms. In addition to the survey information, absenteeism information of the sampled students was provided. Among a total of 79 students, the prevalence of SBS was 8.9%, and the number of people who stated that they had RTI at least once was 14 (17.7%). The annual average values across the school were measured as 47.6% for relative humidity, 24.8°C for temperature, 1433.7 ppm for CO₂, 15.1 µg/m³ for PM₁, 22.3 µg/m³ for PM_{2.5}, and 31.1 µg/m³ for PM₁₀. In the logistic regression analysis, it was determined that smoking increased the risk of having an RTI by 8.0 times. A low positive correlation was determined between illness-related absences and all indoor air quality variables except humidity and temperature. It was observed that absences due to illness were higher in the days following the days when CO₂ and PM_{2.5} exceeded the limit. Regarding AI-based prediction models, lower error rates were achieved in LSTM, achieving an accuracy rate of 81.25% for both datasets. No significant effect of indoor air quality on the development of RTI and SBS was found, but it was observed that the increase in CO₂ and PM increased sickness-related absences at a low level.

Number of pages : 74
Keywords : LSTM, Sick Building Syndrome, Air Quality and Measurement
Supervisor : Assoc. Prof. Dr. Selçuk SARIKOÇ

ÖN SÖZ VE TEŞEKKÜR

Bu araştırmada, Samsun Vezirköprü Mesleki ve Teknik Anadolu Lisesi'nde iki sınıfta yerleştirilen hava kalitesi izleme cihazlarından elde edilen veriler, öğrencilerin üzerindeki etkileri araştırılmış ve bu verilerin yapay zeka kullanılarak tahmin edilmesi amaçlanmıştır. Tez çalışmasının planlanmasında, araştırılmasında, yürütülmesinde ve oluşumunda ilgi ve desteğini esirgemeyen, engin bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım, yönlendirme ve bilgilendirmeleriyle çalışmamı bilimsel temeller ışığında şekillendiren danışmanım Sayın Doç. Dr. Selçuk SARIKOÇ hocama sonsuz teşekkürlerimi sunarım. Sağlık alanındaki verilerin analizi ve katkılarından dolayı Dr. Öğr. Üyesi Berkhan TOPAKTAŞ ve yapay zeka alanında verilerin analizi ve katkılarından dolayı Öğr. Gör. Mehmet SARIKOÇ hocalarıma teşekkür ederim. FMB-BAP 22-0558 kodlu proje ile çalışmama destek sunan Amasya Üniversitesine de teşekkür ederim. Ayrıca, bu tez yazım sürecinde desteklerini esirgemeyen eşim Melisa BEKTAŞ'a da çok teşekkür ederim. Son olarak beni bu günlere sevgi ve saygı kelimelerinin anlamlarını bilecek şekilde yetiştirerek getiren ve benden hiçbir zaman desteğini esirgemeyen haklarını asla ödeyemeyeceğim annem ve babama sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT	v
ÖN SÖZ ve TEŞEKKÜR.....	vi
ÇİZELGELER DİZİNİ	x
ŞEKİLLER DİZİNİ	xi
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	xiii
1. GİRİŞ	1
2. LİTERATÜR TARAMASI	6
2.1. Hava Kalitesi İzleme ve Ölçümü	6
2.2. Yapay Zeka Uygulamaları	8
2.2.1. Çoklu doğrusal regresyon (MLR).....	8
2.2.2. K-En yakın komşular (KNN)	8
2.2.3. Karar ağaçları	9
2.2.4. Rastgele orman	9
2.2.5. Çok katmanlı algılayıcı sinir ağı (MLPNN)	9
2.2.6. Uzun kısa süreli bellek (LSTM)	10
2.3. Sağlık Etkileri ve Hastalıklar	10
2.4. İç Mekan Hava Kalitesi Parametreleri	13
2.4.1. Partikül madde (PM ₁₀ ve PM _{2.5}).....	14
2.4.2. Uçucu organik bileşikler (VOC).....	14
2.4.3. Karbon monoksit (CO)	15
2.4.4. Karbondioksit (CO ₂).....	15
2.4.5. Sıcaklık ve bağıl nem	16

2.4.6. Gürültü.....	17
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	18
3.1. Örneklem ve Katılımcılar.....	18
3.2. Sınıflar.....	19
3.3. Kullanılan Cihaz ve Yazılımlar.....	19
3.3.1. DHT22 nem ve sıcaklık sensörü.....	19
3.3.2. MH-Z14 karbondioksit sensörü.....	20
3.3.3. ESP32-WROOM-32D Wi-Fi ve bluetooth entegreli devre.....	20
3.3.4. Partikül madde sensörü.....	21
3.3.5. Veri tabanları	21
3.3.5.1. Firebase veritabanı	21
3.3.5.2. Thingspeak veritabanı	21
3.3.6. Yazılımın oluşturulması	22
3.3.7. FireBase veri gönderimi	25
3.3.8. 3D yazıcı ile sistem kutusunu oluşturma.....	26
3.3.9. Hava kalitesi ölçüm cihazının sınıflara kurulması	28
3.3.10. Veri seti hazırlama ön işlemleri	29
3.4. Yapay Zekaya Dayalı Tahmin Modelinin Geliştirilmesi.....	31
3.4.1. Veri seti.....	31
3.4.2. Tahmin modeli.....	32
3.4.2.1. Uzun kısa dönem hafıza (LSTM) ağı.....	32
3.4.2.2. LSTM tahmin modeli ve uygulama temel ayarları	34
3.4.2.3. Değerlendirme metrikleri	36
3.4.2.4. Tahmin modelinin işleyişi.....	36
3.4.2.5. Deneyler	37

3.5. Kirletici Limitleri ve İç Ortam Hava Kalitesi İndeksi	37
3.6. Veri Toplama Araçları	38
3.7. İstatistiksel Analiz.....	39
4. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	41
KAYNAKLAR	58
EKLER	64
ÖZGEÇMİŞ.....	74



ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 2. 1. İç hava kirleticilerinin insan sağlığına etkileri (Zorlu & Karadayi, 2020)	13
Çizelge 2. 2. Çeşitli PM _{2.5} kaynakları ve bunların kimyasal bileşenleri (Thangavel vd., 2022).....	14
Çizelge 2. 3. Farklı CO ₂ konsantrasyonlarının etkisi.....	16
Çizelge 3. 1. Sınıflara göre hava kalitesi ölçümü yapılan günlerin dağılımı.....	18
Çizelge 3. 2. Çalışmada kullanılan LSTM tahmin modeli temel ayarları	34
Çizelge 3. 3. Anket uygulanan kişi sayısı ve sınıf mevcutları	39
Çizelge 4. 1. Okuldaki çevresel faktörlerden rahatsız olma sıklığının dağılımı.....	41
Çizelge 4. 2. Son 3 ay içinde yaşanan belirtilerin dağılımı	42
Çizelge 4. 3. Okul çevresine yönelik düşüncelerin dağılımı	43
Çizelge 4. 4. Hava kalitesi ve diğer çevresel faktörler hakkında katılımcılarının görüşleri	43
Çizelge 4. 5. Günlere göre sınıflar arasındaki senelik hava kalitesi değişkenleri ve devamsızlıkların dağılımı	44
Çizelge 4. 6. Hava kalitesi ölçüm ortalamalarının sınıflara göre dağılımı	45
Çizelge 4. 7. Sınıflarda limit değerleri aşan gün sayılarının kirleticilere göre dağılımı .	46
Çizelge 4. 8. En az bir defa SYE gelişimi üzerine geliştirilen lojistik regresyon modeli	46
Çizelge 4. 9. Sınıflardaki devamsızlık ile hava kalitesi değişkenleri arasındaki korelasyonun dağılımı	47
Çizelge 4. 10. Hava kalitesi değişkenlerinde limit değerleri aşan günler sonrasında oluşan devamsızlıkların dağılımı	47
Çizelge 4. 11. Hava kalitesi değişkenlerinin korelasyonları.....	48
Çizelge 4. 12. Tahmin modelinin veri setleri üzerinde elde ettiği deney sonuçları.....	48

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil	Sayfa
Şekil 3. 2. MH-Z14 karbondioksit sensörü.....	20
Şekil 3. 3. Sıcaklık ve nem sensöründen gelen veriler	22
Şekil 3. 4. Pm sensöründen gelen veriler	24
Şekil 3. 5. MathWorks ThingSpeak genel arayüzü.....	25
Şekil 3. 6. MathWorks ThingSpeak veri arayüzü	25
Şekil 3. 7. FireBase veritabanı arayüzü	26
Şekil 3. 8. 3D Model Fusion 360 programı kutu arka yüzü.....	27
Şekil 3. 9. 3D Model Fusion 360 programı kutu ön yüzü.....	27
Şekil 3. 13. Sensör sisteminden elde edilen ham veri setine ait bir görüntü.....	29
Şekil 3. 14. Veri ön işleme sonrası oluşan veri kümesine ait bir görüntü.....	30
Şekil 3. 15. Veriseti bileşenlerinin grafiksel gösterimleri ve zamansal değişimleri (a) Sınıf-1, (b) Sınıf-2.....	31
Şekil 3. 16. İHKİ bileşeni yaz ve kış dönemleri (a) Sınıf-1, (b) Sınıf-2.....	32
Şekil 3. 17. LSTM bellek hücresinin iç yapısı.....	33
Şekil 3. 18. Veri setlerinin Hold-Out yöntemi ile ayrıştırılması (a) Sınıf-1, (b) Sınıf-2	35
Şekil 4. 1. Veri setlerine ait eğitim dönemi deney sonuçları (a) Sınıf-1, (b) Sınıf-2.....	49
Şekil 4. 2. Veri setlerine ait test dönemi deney sonuçları (a) Sınıf-1, (b) Sınıf-2.....	49

RESİMLER DİZİNİ

Resim	Sayfa
Resim 3. 1. Gerçek zamanlı hava kalitesi ölçüm sistemi 3D yazıcı baskısı	27
Resim 3. 2. 3D Model baskı sonu	28
Resim 3. 3. Gerçek zamanlı hava kalitesi ölçüm sisteminin sınıflara montajı ve elektrik bağlantısının yapılması	28



SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Bu çalışmada kullanılmış bazı simgeler ve kısaltmalar, yanda açıklamaları verilmek üzere aşağıda listelenmiştir.

Simgeler

Açıklama

CO	Karbonmonoksit
CO ₂	Karbondioksit
NO _x	Kükürt dioksit
O ₃	Ozon
SO ₂	Kükürt dioksit
ppm	Parts per million – Milyonda bir
µg/m ³	Mikrogram/ metreküp

Kısaltmalar

Açıklama

EPA	Çevre Koruma Ajansı
HBS	Hasta bina sendromu
IAQ	Kapalı ortam hava kalitesi
IoT	Internet of things – Nesnelerin interneti
PM	Partikül madde
SYE	Solunum Yolu Enfeksiyonu
VOC	Uçucu organik bileşenler
WHO	World Health Organization - Dünya Sağlık Örgütü

1. GİRİŞ

Hava kalitesi, insanların sağığı ve refahı üzerinde önemli bir etkiye sahip olan çevresel bir faktördür. Temiz hava solunumu, genel sağık durumunu korumak için hayati öneme sahiptir. Hava kalitesi, çeşitli kirleticilerin, özellikle de zararlı partikül madde, gazlar ve kimyasalların atmosferdeki konsantrasyonlarına bağılıdır. Kirli hava solunum yolu hastalıklarını, kalp-damar hastalıklarını, kanseri ve diğeri ciddi sağık sorunlarını tetikleyebilir. Endüstriyel aktiviteler, araç emisyonları, tarım faaliyetleri ve enerji üretimi gibi insan etkinlikleri hava kalitesini olumsuz etkileyebilir. Dolayısıyla, hava kalitesinin korunması ve iyileştirilmesi için etkili çevre politikaları, temiz enerji teknolojileri ve sürdürülebilir yaşam tarzları teşvik edilmelidir. Bu, sağıklı bir yaşam sürdürmek ve çevreyi korumak için önemli bir adımdır.

Son on yılda, İç Hava Kalitesi (IAQ) konusu uluslararası toplumun ve çevre yönetimlerinin artan ilgisiyle birlikte önem kazanmıştır. Yapılan araştırmalar, IAQ'nun zaman içinde hem niteliksel hem de niceliksel değişimlere uğradığını ve kirleticilerin tür ve seviyelerinde artış gösterdiğini ortaya koymuştur. Bu bulgular ışığında, birçok ülkede IAQ ile ilgili standartlar ve yönetmelikler geliştirilmiş, endüstriyel olmayan binalar için politikalar ve izleme planları oluşturulmuştur. İnsanların zamanlarının yaklaşık %90'ını evler, spor salonları, okullar, iş yerleri, ulaşım araçları gibi özel ve kamusal iç mekanlarda geçirdiğı tahmin edilmektedir. Dolayısıyla IAQ'nun genel sağık ve yaşam kalitesi üzerinde önemli bir etkisi olduğu açıktır. İç mekan hava kirliliğine maruz kalmaktan kaynaklanan sağık riskleri, özellikle çocuklar, genç yetişkinler, yaşlılar veya kronik solunum ve/veya kardiyovasküler hastalıkları olanlar gibi hassas gruplar için büyük bir tehdit oluşturabilir (Cincinelli ve Martellini, 2017).

Okul binalarında ve sınıflarda temiz hava dolaşımının sağılanması, hava kalitesinin artırılması için hayati öneme sahiptir. Temiz hava sağılanan sınıflarda, öğrenci ve öğretmen performanslarında belirgin bir artış görülebilir. Bu sayede öğrencilerin dikkati ve konsantrasyonu artar, öğrenme verimliliğı artar ve öğretmenlerin iş performansı yükselir. Temiz hava dolaşımı, sınıflarda olası kirleticilerin ve alerjenlerin azaltılmasına yardımcı olur, böylece öğrenci sağığı ve refahı iyileşir. Bu nedenle, okul yönetimleri ve ilgili kuruluşlar, sınıflarda etkili havalandırma sistemleri kurarak ve hava kalitesini düzenli olarak kontrol ederek öğrencilerin ve personelin sağılığını korumalıdır (Kuşcu, 2020).

Yapılan araştırmalar, kapalı mekânlardan olan okulların fiziki değişkenlerinin, öğrenmeyi etkilediğini göstermektedir. Görüntü kalitesi, ses seviyesi, sınıfın büyüklüğü, sıcaklık, ışıklandırma, oturma düzeni, öğrenci sayısı ve havalandırma gibi fiziksel faktörlerin, öğrencilerin öğrenme deneyimlerini önemli ölçüde etkilediği belirlenmiştir. Bu nedenle, okul ortamlarının bu fiziksel değişkenlere uygun şekilde tasarlanması, öğrencilerin daha verimli ve etkili bir şekilde öğrenmelerini sağlayabilir (Kuşcu, 2020). İyi tasarlanmış bir sınıf ortamı, öğrencilerin dikkatlerini toplamalarına, etkili bir şekilde çalışmalarına ve daha iyi öğrenmelerine katkıda bulunabilir. Doğal ışık ve kaliteli hava, öğrencilerin dikkatini artırabilir ve genel olarak öğrenme ortamını iyileştirebilir. Pencereleden gelen doğal ışık ve etkili havalandırma, öğrencilerin daha enerjik ve odaklanmış olmalarını sağlayabilir. Bu nedenle, sınıfların tasarımında doğal ışık ve hava kalitesine öncelik verilmesi, öğrencilerin öğrenme deneyimlerini olumlu yönde etkileyebilir.

Kötü kapalı ortam hava kalitesi genellikle birden fazla faktöre bağlıdır ve yalnızca tek bir etkene indirgenemez. Ortamdaki çeşitli kirletici kaynaklardan, mevsim koşullarından mobilyalara, hatta binanın kendisine kadar birçok faktör bu durumu etkileyebilir. Özellikle sınıf ortamlarında kötü hava kalitesi genellikle öğrenci nüfusu ve havalandırma sistemlerindeki sorunlarla ilişkilendirilir. Her öğrenci, kapalı bir ortamda bir tür kirletici kaynağı olarak kabul edilir. Bu nedenle, sınıfın boyutu, öğrenci sayısı, havalandırma sistemi gibi faktörler göz önüne alındığında, hava kalitesinin olumsuz etkilenmesi kaçınılmaz hale gelebilir (Balta, 2019).

Hava kirliliği, atmosferde bulunan ve insan sağlığına, ekolojik dengeye ve çevresel canlılığa zarar verebilecek veya çevresel kaynaklardan yararlanılmasını engelleyebilecek miktarda veya sürede kirleticilerin varlığına verilen genel bir isimdir. Hava kirliliği genellikle dış ortam ve iç ortam hava kirliliği olarak iki kategoriye ayrılır. Hem iç hem de dış ortamda bulunan hava kirleticilerinin miktarındaki artış, genel hava kalitesini düşürebilir. Dış ortam hava kirliliği genellikle SO₂, NO_x, CO, kurşun, hidrokarbonlar, partikül maddeler (PM veya toz) ve O₃ gibi geleneksel kirleticilere odaklanarak, kısa ve uzun vadeli standartlar belirlenir. Bu tür kirleticiler literatürde "birincil" olarak adlandırılırken, atmosferdeki kimyasal reaksiyonlarla oluşturdukları diğer formlar ise "ikincil kirleticiler" olarak bilinir (Özdeş, 2019).

Dünya Sağlık Örgütü (DSÖ), günlük iç mekan hava kalitesi için PM_{10} ve $PM_{2.5}$ için sınır değerleri olarak sırasıyla $50 \mu g/m^3$ ve $25 \mu g/m^3$, CO_2 için ise 1000 ppm'yi önermektedir. Ülkemizde iç mekan hava kalitesi için belirlenmiş kirletici parametre standartları bulunmamaktadır. İç mekanlardaki hava kalitesinin insanlar üzerindeki etkileri, iş performansında azalma ve çeşitli rahatsızlıklar şeklinde ortaya çıkabilir. Özellikle çocuklar, zamanlarının büyük bir kısmını geçirdikleri okul iç mekanlarının hava kalitesinden etkilenebilirler ve bu etkilerin önemsinmesi gereklidir (Arıkan ve Tekin, 2020).

İlk olarak, yüksek karbondioksit seviyelerinin dikkat eksikliği ve konsantrasyon sorunlarına yol açabileceğini belirtmek önemlidir. Bu durum, öğrencilerin derslere olan ilgisini azaltabilir ve öğrenme performanslarını olumsuz etkileyebilir. Ayrıca, baş ağrısı, yorgunluk ve halsizlik gibi fiziksel belirtiler de ortaya çıkabilir, bu da öğrencilerin aktif olmalarını güçleştirebilir.

Uzun süreli maruz kalma durumunda, düşük oksijen seviyelerinin beyin fonksiyonlarını etkileyebileceğini ve öğrenme yeteneğini azaltabileceğini belirtmek önemlidir. Ayrıca, kötü hava kalitesinin mikroorganizmaların ve virüslerin yayılmasını kolaylaştırabileceği unutulmamalıdır. Bu durum, öğrencilerin sık hastalanmasına ve devamsızlık oranlarının artmasına neden olabilir.

Hava Kalitesi İndeksi (HKİ), renk kodlu sayısal bir ölçektir ve belirli aralıklara ayrılmıştır. Genellikle devlet kurumları tarafından dış ortamdaki kirlilik seviyelerini halka duyurmak için kullanılır. Ancak, kapalı mekanlar da insan sağlığı üzerinde önemli etkilere sahip olabilirken, bu indeks sistemi genellikle sadece dış mekan kirliliği için kullanılır. İç mekan kirlilik kaynakları, havaya gaz veya partikül salan maddelerden kaynaklanır ve iç mekan hava kalitesi sorunlarının ana nedenidir. Yetersiz havalandırma, iç mekan kirleticilerini dışarı taşımak için yeterli temiz hava sağlamamanın yanı sıra iç mekan hava kirleticilerini yoğunlaştırarak iç mekan kirlilik seviyelerini artırabilir. Ayrıca, yüksek sıcaklık ve nem seviyeleri bazı kirleticilerin konsantrasyonlarını artırabilir (US EPA, 2014b).

Partiküler madde (PM), uçucu organik bileşikler, karbon monoksit (CO), karbon dioksit (CO_2), ozon, radon, ağır metaller, aerosoller, pestisitler, biyolojik alerjenler ve mikroorganizmalar gibi iç mekan hava kirleticileri birçok kaynaktan kaynaklanabilir. Bu kirleticilerin çoğu genellikle iki ana kaynaktan gelir: (i) İnsan faaliyetleri, örneğin bina

yakma, temizlik, inşaat veya yenileme sırasında belirli yapı malzemelerinin kullanılması ve elektronik makinelerin çalıştırılması ve (ii) dış kaynaklar, özellikle ulaşım (Tran, Park ve Lee, 2020).

CO₂, iç mekanlardaki birçok hava kirleticisiyle bağlantılıdır, özellikle konutlar ve okullardaki yüksek CO₂ seviyeleri diğer kirleticilerin varlığı hakkında bir gösterge olarak kullanılır. Bu nedenle, iç ortam hava kalitesini tahmin etmek için bir gösterge olarak değerlendirilir. (Ramalho et al., 2015). CO₂ maruziyeti ile sağlık etkileri arasında doğrudan bir bağlantı kurmak, 5.000 ppm'den daha düşük seviyelerde zor olabilir. Ancak, mevcut rehberler genellikle okul ve ofis gibi kapalı alanlar için 1.000 ppm altındaki CO₂ seviyelerinin iyi iç mekan hava kalitesini temsil ettiğini belirtmektedir (Goromosov ve Organization, 1968).

PM (Partiküler Madde), çeşitli kimyasal türlerin karışımı olan bir hava kirleticisidir. Parçacıklar, büyüklük, şekil ve kimyasal bileşim açısından büyük farklılıklar gösterebilir ve inorganik iyonlar, metalik bileşikler, elementel karbon, organik bileşikler ve yer kabuğundan bileşikler içerebilir. PM, genellikle çaplarına göre sınıflandırılır. PM₁₀ olarak adlandırılanlar, çapları 10 mikron veya daha az olan parçacıklardır ve solunabilir olup sağlık üzerinde olumsuz etkilere sahip olabilirler. İnce partikül madde, çapı 2,5 mikron veya daha küçük olan partiküller olarak tanımlanır (PM_{2.5}). Benzin, yağ, dizel yakıt veya odun yanması gibi emisyonlar, dış ortamdaki PM_{2.5} kirliliğinin büyük bir kısmını oluştururken, PM₁₀'un önemli bir bölümünü de üretebilirler. PM₁₀ ayrıca, şantiyelerden, çöplüklerden, tarımdan, orman yangınlarından, endüstriyel kaynaklardan, açık arazilerden rüzgarla taşınan tozlardan, polen ve bakteri parçalarından kaynaklanan tozları içerebilir (US EPA, 2014c).

Özellikle eğitim kurumları gibi kapalı ve kalabalık alanlarda etkinlik süresi boyunca birlikte bulunmanın zorunlu olduğu ortamların hava kalite indeksi ve havalandırma şartları, birey sağlığı ve bulaş riski açısından büyük önem taşır. Bu nedenle, okul ve sınıf ortamlarının hava kalite indeksinin hesaplanması ve tahmin edilmesi, bu ortamlarda sağlıklı bir eğitim sürecinin sağlanabilmesi için uygun şartların (havalandırma vb.) oluşturulmasında son derece önemlidir.

Daha önce okullarda iç mekan hava kalitesi üzerine yapılan çalışmaların çoğunluğu genellikle seçilmiş zamanlarda yapılan anlık ölçümlerle sınırlıdır. Literatüre bakıldığında,

sınıflara yerleştirilen sensörler aracılığıyla gerçek zamanlı sürekli ölçüm ve veri toplama sistemleri ile ilgili çok az sayıda çalışma bulunmaktadır. Bu çalışmanın amacı, Samsun ilinde bir lisedeki sınıflarda eğitim-öğretim dönemi boyunca sürekli ölçümlerle elde edilen (i) CO₂, sıcaklık, nem ve PM değerlerinin solunum yolu enfeksiyonları insidansına, hasta bina sendromu gelişimi ve devamsızlıklar üzerine etkisinin belirlenmesi, (ii) özgün bir hava kalitesi ölçüm sistemi tasarımının geliştirilmesi ve (iii) iç mekanların hava kalite indeksinin tahmin edilebilmesi amacıyla yapay zekaya dayalı bir model olarak derin öğrenme ağı geliştirilmesidir.



2. LİTERATÜR TARAMASI

2.1. Hava Kalitesi İzleme ve Ölçümü

Kapalı ortam hava kalitesi izleme sistemleri, sadece ortamın hava kalitesi hakkında bilgi sağlamakla kalmaz, aynı zamanda temiz hava sağlanması için uygun stratejiler sunarak da geliştirilir. Bu sistemler, ortamdaki kirleticilerin endişe verici seviyelerini hızlı bir şekilde analiz edebilme ve tanımlayabilme yeteneği için gerçek zamanlı ölçümlere dayanır. Gerçek zamanlı hava kalitesi verilerine sahip olmak, insanların ortam hava kirliliğini artıran konulara daha duyarlı hale gelmelerini sağlar. Bilinçli sağlık tercihleri yapan bireyler, ortam hava kirliliğini azaltmaya yönelik alternatif rotalar seçebilirler. Bu nedenle, ulaşım, nüfus yoğunluğu, küresel ısınma ve ani iklim değişikliği gibi faktörlerle birlikte hava kalitesi, günümüz kentsel ekosistemlerinde gerçek zamanlı olarak yakından takip edilmesi gereken kritik önlemlerden biridir.

Avrupa'da hava kirliliği, PM (Partikül Madde) ve NO₂ (Azot Dioksit) gibi kirleticiler açısından önemli bir sağlık sorunudur. NO₂, özellikle trafik kaynaklı olmak üzere çeşitli emisyonlardan yayılan ve insan sağlığını doğrudan etkileyen kritik bir kirletici gazdır. Hava kirliliğini takip etmenin en büyük zorluklarından biri, mevcut izleme sistemlerinin mekansal ve zamansal çözünürlüğünün yetersiz olmasıdır. Bu sistemler, geniş alanları kapsayamamakta ve hava kirliliği seviyelerindeki değişimleri anlık olarak takip edememektedir. Bu durum, hava kirliliğinin etkilerinin net bir şekilde anlaşılmasını ve etkin çözümler geliştirilmesini engellemektedir. Düşük maliyetli hava kalitesi sensörlerinin geliştirilmesi, bu sorunun çözümünde önemli bir adım olabilir. Bu sensörler, geniş bir alana yaygın şekilde yerleştirilerek hava kirliliği seviyelerinin daha ayrıntılı ve gerçek zamanlı olarak izlenmesine imkan vermektedir. Birçok araştırma, bu yeni sensörlerden elde edilen verilerin doğruluğunu, sağlamlığını ve güvenilirliğini artırmaya odaklanmaktadır. Bu çalışmalar, hava kirliliği izleme sistemlerinin kapasitesini önemli ölçüde artırarak, hava kirliliğiyle mücadelede kritik rol oynayabilir (Rogulski, Badyda, Gayer ve Reis, 2022).

Nesnelerin İnterneti (IoT) teknolojisinin hızlı gelişimiyle birlikte, hava kalitesi algılama yeteneği artmıştır. Bugün, uygun maliyetli çeşitli taşınabilir hava kalitesi sensörleri yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu sensörler, özellikle aerodinamik çapı 2,5 mikrometreden küçük olan küçük partiküllerin, yani Partikül Madde (PM) 2,5'in insan sağlığı üzerindeki etkisini

belirlemek için önemlidir. PM sensörleri, şehirlerdeki hava tozu seviyelerini ölçmek için güvenilir bir seçenek olarak kabul edilir. Bu sensörler, hava kalitesini hızla ve basitçe değerlendirebilir ve sonuçları saniyeler içinde sağlayabilir. Geleneksel hava kalitesi izleme cihazlarına kıyasla hassasiyetleri belki aynı seviyede olmasa da, değişen hava kalitesi eğilimlerini görmek için yeterli doğrulukta veri sağlarlar. Ancak, toplanan hava kalitesi bilgilerinin zamanında aktarılması ve işlenmesi önemlidir (Zheng, Zhao, Yang, Xiong ve Xiang, 2016).

Bir araştırmada, üniversite kampüsünün iç ve dış mekanlarında hava kalitesinin gerçek zamanlı izlenmesi amacıyla ESP32 MCU kullanılarak ESP-MESH ağ protokolü temelli bir sensör ağı oluşturuldu. Her bir sensör düğümü, kampüsün farklı noktalarına yerleştirilerek çeşitli hava kalitesi sensörleri (CO₂, CO, hava kalitesi) ile donatıldı. ESP-MESH, düşük maliyetli, kolay uygulanabilir, orta menzilli ve düşük güç tüketimine sahip bir ağ protokolüdür. Uygun fiyatlı ESP32 mikrodenetleyicileri, geniş bir alana dağılmış sensör düğümlerini tek bir kablosuz ağda birleştirerek hava kalitesi parametrelerinin doğru bir şekilde izlenmesini sağlar. İç ve dış mekanlardaki düğümlerden elde edilen sıcaklık, nem, PM_{2.5}, gaz konsantrasyonları gibi hava kalitesi parametrelerine ait veriler her iki dakikada bir toplanır ve 72 dakika boyunca sürekli olarak kaydedilir. Enerji verimliliği maksimize etmek için, sensör düğümlerinden yönlendiriciye veri iletim süresini kısaltan özel bir TDMA çizelgeleme şeması kullanılmıştır. Ağın performansı, paket kayıp oranı (PLR), paket hata oranı (PFR) ve paket teslim oranı (RPD) ile değerlendirilmiştir. RPD %97'nin üzerinde olup, her aktif düğüm için PLR ve PFR %1,8'in altında kalmıştır, bu da ESP-MESH ağ protokolünün özellikle orta ölçekli ağlar için yüksek hizmet kalitesi sunduğunu kanıtlamaktadır (Khan et al., 2022).

IoT teknolojisinin, bilgi iletişim teknolojisinin (ICT) ve sensör teknolojisinin ilerlemesi nedeniyle yüksek esneklik ve gerçek zamanlı, modüler ve uygun maliyetli bir yapı ile karakterize edilen iç ve dış hava kalitesi izleme ağları uygulanabilir hale gelmektedir (Zanella, Bui, Castellani, Vangelista ve Zorzi, 2012).

Farklı bir çalışmada, IoT tabanlı gerçek zamanlı iç mekan hava kalitesi izleme sistemi geliştirilmiş ve hayata geçirilmiştir. Bu sistem, Raspberry Pi 3 gibi donanım bileşenlerinden, sıcaklık ve nem sensörleri, CO₂ ve gaz sensörleri ve ışık sensörü gibi bileşenlerden ve sensör veri işleme yazılımı, web arayüzü yazılımı ve veritabanı gibi yazılım bileşenlerinden oluşur.

Sistem, sensörlerden gelen verileri işleyerek ve kullanıcıya web arayüzü aracılığıyla sunarak iç mekan hava kalitesini izlemeyi sağlar. Kullanıcılar, web arayüzü sayesinde sensör verilerini takip edebilir ve gerekli önlemleri alabilirler. Geliştirilen sistem, düşük maliyetli ve taşınabilir olmasıyla dikkat çeker ve evlerden ofislere, okullardan hastanelere kadar çeşitli ortamlarda kullanılabilir. Bu sistem, kullanıcıların iç mekan hava kalitesini izleyerek daha sağlıklı bir yaşam sürmelerine yardımcı olabilir (Üçgün, Gömbeci, Yüzgeç ve Yalçın, 2020).

2.2. Yapay Zeka Uygulamaları

Hava kirliliği tahminine odaklanan bu araştırmada, Python programlama dili ve NumPy, SciPy, Scikit-Learn ve Matplotlib gibi kütüphaneler kullanılarak MLR, SVM, KNN, karar ağaçları, rastgele orman ve MLPNN gibi farklı makine öğrenmesi yöntemleri üzerine tahmin modelleri geliştirilmiştir. Yapılan denemeler sonucunda, her bir yöntem için en uygun parametreler belirlenmiştir.

2.2.1. Çoklu doğrusal regresyon (MLR)

Doğrusal regresyon, tek bir bağımlı değişken ile birden fazla bağımsız değişken arasındaki ilişkiyi belirleyerek tahminler yapmayı amaçlar. Çoklu doğrusal regresyon (MLR), birden fazla bağımsız değişkenle ilişkilendirilmiş olan bağımlı değişkenin değişimini açıklamak için kullanılır (Niu, Lu ve Sun, 2021).

2.2.2. K-En yakın komşular (KNN)

k En Yakın Komşu (KNN) algoritması, sınıflandırma ve regresyon görevlerini yerine getiren ve tembel öğrenmeye dayanan bir makine öğrenimi algoritmasıdır. KNN yöntemleri, veriyle ilgili herhangi bir varsayımda bulunmadıkları için, özellikle karar sınırlarının düzensiz olduğu veya bir sınıfın birden fazla prototipe sahip olduğu durumlarda başarılıdır. KNN'nin esnekliği, sınıf sınırlarının doğal olarak belirsiz olduğu ve birçok sınıfın basit bir modelle kategorize edilemediği gen fonksiyon sınıflandırma problemleri için büyük avantaj sağlar. Bu özellik, KNN'nin gerçek dünya verileriyle uğraşırken karşılaşılan karmaşıklıkları ele almasına yardımcı olur (Yao ve Ruzzo, 2006).

2.2.3. Karar ağaçları

Karar ağaçları , “sınıflandırma ve regresyon problemlerinin çözümünde kullanılır. Ters ağaç görünümünde olup kök düğüm, dal ve yapraklardan oluşur. Kök düğüm daha fazla düğüme bölünebilir. Düğümlerde değişkenler, dallarda değişkenlerin aldığı değerler ve yapraklarda nihai sonuç temsil edilir. Kök düğümden yaprağa ulaşana dek ardışık düğümler takip edilerek karar alma işlemi gerçekleşir. Nihai sonucun sürekli değerler aldığı karar ağaçlarına regresyon ağaçları da denir” (Ünaldı ve Yalçın, 2022). Karar ağaçları, veri madenciliği ve makine öğrenmesi alanlarında geniş bir kullanım alanına sahiptir ve yüksek derecede yorumlanabilir modeller oluşturmak için tercih edilirler.

2.2.4. Rastgele orman

Rastgele Orman algoritması, karar ağaçları temeline dayanır. Bu algoritma, bir girdi parametreleri setinden rastgele parametreler seçerek çok sayıda karar ağacı oluşturur. Oluşturulan bu karar ağaçlarının sonuçları kullanılarak algoritmanın sınıflandırma çıktısı hesaplanır. Bu yöntem, birbiriyle bağımsız veya ilişkisiz parametrelerin farklı karar ağaçlarıyla değerlendirilmesini sağlar. Dolayısıyla, rastgele orman algoritması, bu geniş parametre yelpazesıyla başarılı sonuçlar üretebilir (Dokuz, Bozdağ ve Gökçek, 2020).

2.2.5. Çok katmanlı algılayıcı sinir ağı (MLPNN)

MLPNN, "Multi-Layer Perceptron Neural Network" kısaltmasıyla bilinen, yapay sinir ağları (YSA) ailesinin bir türüdür. Bu tür sinir ağları, en azından bir gizli katman içeren birçok katmanlı bir yapıya sahiptir. Her katmandaki düğümler (veya nöronlar), girdilerden çıktılara doğru bilgiyi aktarırken ağırlıklı bağlantılar üzerinden işlem yapar. MLPNN, genellikle regresyon veya sınıflandırma gibi tahmin problemlerini çözmek için kullanılır. Verilen bir veri setinden, istenen bir çıktıyı tahminlemek için öğrenme süreci boyunca ağırlıkları ayarlar. Bu ayarlama süreci, genellikle geriye doğru yayılım algoritması gibi optimizasyon teknikleri kullanılarak gerçekleştirilir (Jadidi, Menezes, De Souza ve De Castro Lima, 2018).

2.2.6. Uzun kısa süreli bellek (LSTM)

LSTM sinir ağı, bir önceki adımın çıktısını mevcut adımın girdisi olarak kullanan ve kısa bir süre belleğinde tutan RNN ağları ile çok benzer olan ancak RNN ağlarının karşılaştığı sorunları çözmek için geliştirilmiş yapay sinir ağıdır. Böylelikle, doğal dil işleme ve zaman serileri gibi problemlerin çözülmesinde kullanılabilirler. RNN ağları bilgiyi uzun süreli tutmakta başarısız olduğu için önemli bazı bilgiler ağı başında kaybolabilir. Aynı zamanda RNN ağları, geri yayılım süresince gradyan yok olması gibi problemlere sahiptir. LSTM ağı bahsedilen bu kısıtlamalara karşı geliştirilmiş bir modeldir. LSTM hücreleri kısa süreli bellek sorununu çözmek için bilgi akışını düzenleyen ve kontrol eden kapılar oluşurlar (Selvin, Vinayakumar, Gopalakrishnan, Menon ve Soman, 2017).

Kripto paralar, finansal piyasalarda hem değişim aracı hem de yatırım aracı olarak giderek daha fazla kabul görüyor. Bu paraların merkezi bir otoritenin kontrolü altında olmaması, fiyatlarında büyük dalgalanmalara yol açabiliyor. Bu nedenle, hangi finansal varlıklara yatırım yapılacağına ve yatırım kararlarının nasıl alınacağına dair zeki tahmin modelleri geliştirilmesi önem taşıyor. Derin öğrenme ve yapay zeka teknikleri, kripto para ve diğer yatırım araçlarının seçiminde kullanılmaktadır. Araştırmalar, tekrarlayan sinir ağı (RNN), Uzun-Kısa Süreli Bellek (LSTM) ve Kapılı Tekrarlayan Birim (GRU) gibi derin öğrenme modellerinin, geleneksel zaman serisi modellerini kripto para fiyatı tahmininde geride bıraktığını göstermektedir. Bu çalışmada, Bitcoin, Ethereum ve Ripple gibi en yüksek piyasa değerine ve işlem hacmine sahip kripto paraların 30 günlük fiyat tahmini, LSTM ve GRU gibi özel bir RNN yöntemi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Araştırmanın sonuçlarına göre, her iki modelde de Bitcoin'in en iyi tahmin sonucunu verdiği görülmüştür. İkinci en iyi tahmin sonucu Ripple için bulunmuş, ardından Ethereum gelmiştir. Kullanılan yöntemler karşılaştırıldığında, Bitcoin ve Ripple için en iyi tahmin sonucuna GRU modeli ile ulaşılırken, Ethereum için LSTM modeli MAPE performans kriterine göre en iyi tahmin sonucunu vermiştir (Demirci ve Karaatlı, 2023).

2.3. Sağlık Etkileri ve Hastalıklar

Yapılan araştırmalar, kötü iç hava kalitesinin bazı rahatsızlıklara neden olabileceğini göstermektedir. Özellikle, yetersiz havalandırma nedeniyle ortaya çıkan bina bağlantılı hastalık, bina sakinlerinin öksürük, göğüste sıkışma, ateş, titreme, kas ağrıları, lejyoner

hastalığı, zatürre gibi semptomlar yaşamasına yol açabilir. Bu semptomlar, binadan ayrıldıktan sonra bile uzun bir iyileşme süreci gerektirebilir (Kiremit, 2018).

Hasta Bina Sendromu (HBS), bina sakinlerinin belirli bir neden belirtilmeksizin genel rahatsızlık belirtileri yaşadığı durumları tanımlamak için kullanılan bir terimdir. Bu belirtiler genellikle bina içinde bulundukları sürece ortaya çıkar ve binayı terk ettikten sonra hızla azalır. HBS'nin belirtileri arasında göz, burun ve boğazda tahriş, halsizlik ve baş dönmesi bulunmaktadır. Ek olarak, burun kanaması, kuru öksürük, cilt kuruluğu, bulantı ve konsantrasyon zorluğu gibi semptomlar da görülebilir. Bir binanın "hastalıklı" olarak kabul edilmesi için sakinlerinin %20'sinin HBS belirtileri göstermesi ve bu semptomların binayı terk ettikten sonra hızla geçmesi gerekmektedir. HBS'nin etkisi, işçi verimliliğinde azalmaya ve artan devamsızlığa, çalışanların hasta izinleri talebine neden olabilir. Ancak, bu şikayetlerin başka nedenlerden kaynaklanabileceği de dikkate alınmalıdır. Özetle, HBS durumunda, binanın sorununun teşhis edilmesi, çözümünün bulunması ve uygulanması gerekmektedir (Kevin ve Charles, 2013).

Dünya Sağlık Örgütü, Hasta Bina Sendromu olarak bilinen bir başka rahatsızlıkta, göz, burun ve boğazda tahriş, baş ağrısı, baş dönmesi, bulantı, kusma, fiziksel ve zihinsel yorgunluk, hafıza kaybı, konsantrasyon eksikliği, deride kızarıklık, ağrı, kaşıntı ve kuruluk gibi semptomların yanı sıra, astım olmayan kişilerde astım benzeri semptomlar, göz ve burun akıntısı, koku ve tat duyusunda değişiklikler gibi belirtiler olduğunu tespit etmiştir (World Health Organization ve World Health Organization, 1990). Bu semptomların kökeni belirlenememiş ve kişilerin binalardan ayrıldıktan sonra semptomlarının kaybolduğu gözlemlenmiştir.

Çoğu insan dış mekan hava kirliliğinin sağlıklarını etkileyebileceğini biliyor, ancak iç mekan hava kirliliğinin de sağlık üzerinde önemli ve zararlı etkilere sahip olabileceği sıklıkla göz ardı ediliyor. EPA'nın yaptığı çalışmalar, insanların iç mekan hava kirleticilerine maruz kalma düzeylerinin, dış mekan hava kirliliği seviyelerinin iki ila beş katı arasında değiştiğini ortaya koyuyor. Bazı durumlarda ise bu fark, dış mekan seviyelerinin 100 katından daha fazla olabiliyor (Wallace et al., 1986). İç mekan hava kirleticilerinin bu seviyeleri özellikle endişe vericidir çünkü çoğu insan zamanının yaklaşık yüzde 90'ını iç mekanlarda geçirir (US EPA, 2015b). Bu semptomların kaynağı henüz belirlenememiş olup, kişiler binadan ayrıldıktan sonra bu semptomların kendiliğinden geçtiği gözlemlenmiştir. Solunabilir

parçacıklara maruz kalmak hem akciğerlerinizi hem de kalbinizi olumsuz etkileyebilir. Birçok araştırma, parçacık boyutunu doğrudan sağlık sorunlarına neden olma potansiyeline bağlamaktadır. Özellikle, küçük parçacıkların (10 mikrometreden daha az çapta olanlar) ciğerlerinize derinlemesine nüfuz edebileceği ve hatta bazılarının kan dolaşımına girebileceği bilinmektedir. Kalp veya akciğer hastalıkları olanlar, çocuklar ve yaşlı yetişkinler, solunabilir parçacıklara maruz kalmaya daha fazla risk altındadır. Bu tür maruziyetler, göz, burun ve boğazda tahrişe, koroner ve solunum yolu hastalığı semptomlarının ağırlaşmasına ve kalp veya akciğer hastalığı olan kişilerde erken ölüme neden olabilir (US EPA, 2014c). EPA, çapı 10 mikrometre veya daha küçük olan parçacıklar konusunda özellikle endişe duymaktadır çünkü bu parçacıklar solunabilir. Parçacıklar solunduğunda kalbi ve akciğerleri etkileyebilir ve bazı durumlarda ciddi sağlık etkilerine neden olabilir (US EPA, 2014c).

PM_{2.5} ve PM₁₀ olarak adlandırılan iki önemli kategorisi bulunmaktadır. PM_{2.5}, çapları 2.5 mikrometreden küçük olan partikül maddeleri ifade ederken, PM₁₀, çapları 10 mikrometreden küçük olanları ifade eder. PM_{2.5}, solunum yolu ile derinlere inebilme yeteneğine sahip olduğu için insan sağlığı üzerinde daha ciddi etkilere sahiptir. Bu nedenle, PM_{2.5}, hava kalitesi izleme ve sağlık etkileri açısından genellikle daha yakından izlenir ve düzenlemelere tabi tutulur. ABD'deki hava kirliliğinin ciddi bir sağlık sorunu olduğunu ve erken ölümlere neden olmaktadır. Bu kirliliğin ABD'deki ölümlere neden olan dokuzuncu en büyük risk faktörü olduğu ve 2016'da 100.000'den fazla ölüme neden olmuştur. Ayrıca, ince partikül madde olarak bilinen PM_{2.5}'in çevresel etkilerinin neredeyse %90'ından sorumlu olduğu tahmin edilmektedir. PM_{2.5}'e maruz kalmanın bir dizi ölümcül sağlık sonucuna yol açtığı ve bu sonuçların iskemik kalp hastalığı, inme, kronik obstrüktif akciğer hastalığı ve akciğer kanseri gibi hastalıkları içerir (Tschofen, Azevedo ve Muller, 2019).

Vaktimizin büyük kısmını geçirdiğimiz kapalı alanlar sağlığımızı tehdit edebilecek düzeyde kirleticilere sahip olabilmektedir. Kapalı ortam kirleticileri kişide Hasta Bina Sendromuna sebep olmaktadır. HBS semptomları belirgin bir nedene bağlı olmayıp kişi bazen bu semptomlarının farkında olmayabilir. Bu semptomlar çalışma ortamından uzaklaşınca kendiliğinden iyileşmektedir (Kiremit, 2018).

Çizelge 2. 1. İç hava kirleticilerinin insan sağlığına etkileri (Zorlu ve Karadayi, 2020).

İç hava kirleticileri	İnsan Sağlığına Etkileri
Uçucu Organik Bileşik	Hasta bina sendromu
Formaldehit	Deride kızarıklık, tahriş, kanser şüphesi
Kurşun	Çocuklarda gelişim bozuklukları
Radon	Akciğer kanseri
PVC	Hormon bozukluğu
Zararlı Gazlar	Solunum yolu rahatsızlıkları, zehirlenme

2.4. İç Mekan Hava Kalitesi Parametreleri

İç mekan hava kalitesi, insanların sağlığını ve refahını etkileyen önemli bir faktördür. İç mekanlarda bulunan bir dizi parametre, hava kalitesinin belirlenmesi ve sağlıklı bir ortamın sağlanması için izlenir.

Standartların ölçü birimleri hacimce milyonda parça (ppm), hacimce milyarda parça (ppb) ve metreküp hava başına mikrogramdır ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) (US EPA, 2014a).

Temiz Hava Yasası iki tür ulusal ortam hava kalitesi standardını tanımlar. Birincil standartlar, astımlılar, çocuklar ve yaşlılar gibi "hassas" nüfusların sağlığının korunması da dahil olmak üzere halk sağlığının korunmasını sağlar. İkincil standartlar, görüş mesafesinin azalmasına ve hayvanlara, mahsullere, bitki örtüsüne ve binalara verilen zarara karşı koruma da dahil olmak üzere kamu refahının korunmasını sağlar (US EPA, 2014a).

Kentsel alanlarda başlıca iki tür dış ortam hava kirleticisi vardır: araç emisyonları ve endüstriyel emisyonlar. Konuma ve rüzgarlara bağlı olarak, enerji santralleri ve endüstriyel kazanlar, yakma fırınları, petrokimya tesisleri, uçaklar ve gemilerden kaynaklanan katkılar da olabilir. Çok sayıda çalışma dış ortam havasının iç ortam hava kalitesini etkilediğini göstermiştir. Kuo ve Shen ve arkadaşları bir toz fırtınası sırasında iç ve dış mekanlardaki $\text{PM}_{2.5}$ ve PM_{10} konsantrasyonlarında benzer bir artış tespit etmiş ve bunu havalandırma sisteminin dış ortam havasını çekmesine bağlamışlardır. Kötü hava kalitesinin etkileri, yalnızca kirleticilere maruz kaldıktan sonra bile boğaz, göz ve burunda tahriş, baş ağrısı vb. dahil olmak üzere hemen hissedilebilir (Khan et al., 2022).

2.4.1. Partikül madde (PM₁₀ ve PM_{2.5})

PM, yani partikül madde, havada bulunan katı partiküller ve sıvı damlacıkların karışımını ifade eden bir terimdir. Bazı parçacıklar, toz, kir, kurum veya duman gibi, çıplak gözle görülebilecek kadar büyük veya koyu olabilirken, diğerleri o kadar küçüktür ki sadece elektron mikroskopuyla tespit edilebilirler. Parçacık kirliliği, genellikle PM₁₀ ve PM_{2.5} olarak sınıflandırılır. PM₁₀, solunabilen parçacıkların çapının genellikle 10 mikrometre veya daha küçük olduğu parçacıkları ifade ederken, PM_{2.5}, çaplarının genellikle 2,5 mikrometre veya daha küçük olduğu ince parçacıkları temsil eder. PM_{2.5} 'in ne kadar küçük olduğunu anlamak için, kafanızdaki tek bir saç telini düşünebilirsiniz. Ortalama insan saçının çapı yaklaşık 70 mikrometredir, yani en büyük ince parçacıktan 30 kat daha büyüktür (US EPA, 2016).

Çizelge 2. 2. Çeşitli PM_{2.5} kaynakları ve bunların kimyasal bileşenleri (Thangavel, Park ve Lee, 2022)

	Kaynak	Kimyasal Bileşenler
Doğal	Biyokütle	Potasyum (K)
	Deniz spreyi aerosoller	Sodyum (Na)
	Kömür yakma	Alüminyum (Al), Selenyum (Se), Kobalt (Co), Arsenik (As)
	Toprak ve yol tozu	Alüminyum (Al), Silisyum (Si), Kalsiyum (Ca)
	Volkanik toz partikülleri ve vahşi arazi yangın partikülleri	Potasyum (K), Çinko (Zn), Kurşun (Pb)
Antropojenik	Dizel, benzin ve kömür yanması	Elemental karbon (EC), Sülfatlar (SO ₄)
	Yağ yakıcı	Vanadyum (V), Nikel (Ni), Manganez (Mn), Demir (Fe))Organik karbon (OC)
	Ağır sanayi-yüksek sıcaklıkta yanma	Demir (Fe), Çinko (Zn), Bakır (Cu), Kurşun (Pb), Nitratlar (NO ₃)
	Gübre ve hayvancılık	Amonyum (NH ₄)
	Uçucu organik bileşik (VOC) emisyonları	Benzen, Etilen glikol, Formaldehit, Metilen klorür, Tetrakloroetilen, Toluen, Ksilen ve 1,3-Bütadien

2.4.2. Uçucu organik bileşikler (VOC)

VOC'ler, iç mekanda bulunan kimyasal bileşiklerdir ve temizlik ürünleri, boya, mobilya gibi malzemelerden buharlaşabilir. VOC'lerin yüksek seviyeleri baş ağrısı, baş dönmesi ve solunum problemlerine neden olabilir.

Uçucu organik bileşikler (VOC'ler) ve NO_x 'in güneş ışığı varlığında reaksiyonlarıyla troposferik ozonun oluşumu, 1950'lerdeki atmosfer kimyası araştırmalarına kadar uzanan köklü bir bilim olarak kabul edilmektedir (Haagen-Smit ve Fox, 1954).

İç mekanlarda, günlük kullanılan eşyalardan inşaat malzemelerine kadar birçok ürünün petrol bazlı olması ve Uçucu Organik Bileşikler (UOB-VOC Volatile Organic Compounds) içermesi yaygındır. Bu durum, insanlarda hasta bina sendromu gibi sağlık sorunlarının artmasına neden olabilir (Zorlu ve Karadayı, 2020). Kapalı ortam havasında, NO_x , SO_x , CO_x ve uçucu organik bileşikler gibi birçok kirletici gaz bulunmaktadır. Bu kirletici gazların yol açtığı etkiler arasında baş ağrısı, göz, burun ve boğaz rahatsızlıkları, yorgunluk, cilt problemleri, öksürük ve bulantı gibi belirtiler bulunmaktadır. Bu etkiler, yaşam kalitesini düşürürken aynı zamanda çalışanların verimini de olumsuz yönde etkileyebilir (Rüzgar ve Altun, 2016).

2.4.3. Karbon monoksit (CO)

Karbon monoksit (CO), renksiz, kokusuz, tatsız ve tahriş edici olmayan bir gazdır. CO , karbon içeren yakıtların tam olarak yanmaması sonucunda meydana gelir ve hem akut hem de kronik zehirlenmelere yol açabilir (Kandiş, Katırcı ve Karapolat, 2009).

2.4.4. Karbondioksit (CO_2)

Karbondioksit, karbonun oksijenle yanması sonucu oluşan, kokusuz ve renksiz bir gazdır. Doğada, mineral formunda (kömür, elmas, gaz halinde), suda çözünmüş halde (karbondioksit) veya organik formda bulunabilir. Dünya Sağlık Örgütü'nün yapı içinde belirlediği maksimum karbondioksit oranı %0,5 iken, NASA'nın belirlediği oran %1 veya daha az olarak ifade edilmektedir (Sağlam, 2019).

Karbondioksit, normal atmosferde bulunan bir gazdır ve insanlar tarafından solunum sürecinde üretilir. Ancak, kapalı ve yeterli havalandırılmamış bir alanda karbondioksit miktarı artarsa, çocuklar üzerinde çeşitli olumsuz etkilere yol açabilir.

Çizelge 2. 3. Farklı CO₂ konsantrasyonlarının etkisi (CO₂ İzleme ve İç Hava Kalitesi, 2018)

Konsantrasyon	Etki
350 ... 450 ppm	Tipik atmosferik konsantrasyon
600 ... 800 ppm	Sağlıklı iç hava kalitesi
1000 ppm	Sağlıklı iç hava kalitesi üst aralığı
5000 ppm	8 saat üzeri maksimum iş yeri konsantrasyonu
6000 ... 30 000 ppm	Yalnızca kısa süreli, kritik maruziyet
% 3 ila 8	Nefes alma sıklığında artış, baş ağrısı
> % 10	Mide bulantısı, kusma, bilinç kaybı
> % 20	Hızlı bilinç kaybı, ölüm

2.4.5. Sıcaklık ve bağıl nem

Sıcaklık ve bağıl nem, genellikle iç mekan hava kalitesiyle ilişkilendirilen ve konforu etkileyen parametrelerdir. Sıcaklık, aşırı düşük veya yüksek olmamalıdır. Yaz aylarında iç hava sıcaklığı genellikle dış sıcaklığa göre belirlenirken, kış aylarında iç mekan sıcaklığı, kullanım amacına ve türüne bağlı olarak belirlenir. Örneğin, merkezi ısıtma sistemlerinde, oturma odaları için iç hava sıcaklığı genellikle 22°C ve banyolar için 26°C olarak tercih edilir. Normalden daha yüksek sıcaklık ve nem, rahatsız edici bir hava yaratırken, düşük nem seviyelerinde burun ve ağızda kuruluk hissi oluşabilir ve vücut hızla su kaybederek sık sık su içme ihtiyacı hissedebilir. İç mekan nem seviyesi genellikle bağıl nemle ifade edilir ve genellikle %30 ile %70 arasında önerilir (Berbero ve Motör, n.d.).

Okul binalarında nemle ilgili sorunlar genellikle çatı ve su tesisatı sızıntıları, yoğuşma ve aşırı nem gibi çeşitli faktörlerden kaynaklanabilir. Son yirmi ila otuz yılda yapılan bina inşaatı uygulamalarındaki değişiklikler, nemin daha sıkı yalıtılmış binalarda kaçmasını zorlaştırarak bu sorunlara katkıda bulunmuştur. Ayrıca, okullardaki nem sorunları genellikle bakımın gecikmesi veya yetersiz bakım gibi bütçe ve diğer kısıtlamalarla ilişkilendirilir. Geçici yapılar olarak kullanılan römorklar ve taşınabilir sınıflar da sıklıkla nem ve küf sorunlarıyla ilişkilendirilmiştir (US EPA, 2015a).

2.4.6. Gürültü

Gürültü, insanların işitme sağlığı üzerinde olumsuz etkiler yaratabilen, fizyolojik ve psikolojik dengesini bozabilen ve iş performansını düşürebilen bir çevre kirliliği türü olarak tanımlanabilir. Bu olumsuz etkiler, ulaşım, endüstri, inşaat ve rekreasyon gibi dış mekan faaliyetlerinden kaynaklanan yapı dışı gürültüler ile yüksek sesle konuşma, müzik dinleme ve ev aletlerinin çıkardığı sesler gibi iç mekan faaliyetlerinden kaynaklanan yapı içi gürültüler şeklinde sınıflandırılabilir (Sağlam, 2019).

Gürültü, modern yaşamın kaçınılmaz bir parçası haline gelmiştir ve sağlık, refah ve yaşam kalitesi üzerinde önemli etkilere sahip olabilir. Evlerimizden iş yerlerimize, okullardan alışveriş merkezlerine kadar pek çok ortamda maruz kaldığımız gürültü, uyku bozukluklarından iş performansında düşüşe kadar çeşitli olumsuz sonuçlara neden olabilir. Yüksek ses seviyelerine uzun süre maruz kalmak işitme kaybına, stres ve anksiyeteye, konsantrasyon bozukluğuna ve hatta kalp hastalıklarına yol açabilir. Ayrıca, özellikle çocuklar için öğrenme ortamlarında gürültü, dikkat dağınıklığına ve öğrenme başarısızlığına neden olabilir. Bu nedenle, gürültünün kontrol altına alınması ve ses yalıtımı gibi önlemlerin alınması, sağlıklı ve yaşanabilir bir çevre sağlamak için önemlidir (Bulunuz ve Özgür, 2021).

3. MATERİYAL VE YÖNTEM

3.1. Örneklem ve Katılımcılar

Kesitsel tipteki bu çalışmanın evrenini Samsun Vezirköprü Mesleki ve Teknik Anadolu Lisesi'nde öğrenim gören 774 lise öğrencisi oluşturdu. Minimum örneklem hacmi, öğrencilerde HBS prevalansının %10,2 olduğu durumda (Tekin ve Arıkan, 2023) %80 güç, %5 tip 1 hata ve 0,1 sapma ile 66 olarak hesaplandı. Çalışma için öncelikle Amasya Üniversitesi Girişimsel Olmayan Klinik Araştırmalar Etik Kurulu'ndan (07/07/2022 tarih ve 69 sayılı karar) ve Samsun İl Milli Eğitim Müdürlüğü'nden gerekli izinler alındı (09/08/2022 tarih ve 54932617 sayılı yazı).

Veri toplama öncesinde 07/11/2022 tarihinden itibaren cihazların ön deneme işlemleri gerçekleştirildi. 28/11/2022 ve 16/06/2023 tarihleri arasında ise çalışma verileri toplandı. Ölçüm takvimi dış ortam hava kalitesi ve sınıfların ısınma, havalandırma gibi koşulları göz önüne alınarak yaz ve kış olarak iki ayrı döneme ayrıldı. Kış dönemini temsilen kaloriferlerin yanma tarihleri olan 28/11/2022-15/04/2023 tarih aralığı, yaz dönemini temsilen 16/04/2023-16/06/2023 tarih aralıkları seçildi. Sınıfların seçiminde basit rastgele yöntem kullanılarak iki adet atölye sınıfı (Sınıf 1 ve Sınıf 2) seçildi. Sınıf 1'de 9H ve 9K şubeleri, Sınıf 2'de ise 10A ve 10B şubeleri dönüşümlü olarak eğitim görmekteydiler. Her şube haftanın dört gününü ilgili atölyelerde geçirmekteydi. Okul genelinde kış dönemi için 73, yaz dönemi için 45 olmak üzere toplamda 118 gün iş günü ölçüm yapıldı. Ancak Sınıf 1'de 07/04/2023 ve 10/04/2023 tarihlerinde, Sınıf 2'de ise 29/03/2023-31/03/2023 tarihleri arasında teknik sorunlar sebebiyle veri alınamadı. Bu günler ilgili sınıfların ve okul genel ortalamasının hesaplamalarına dahil edilmedi. Tatil günlerinin çıkarılmasıyla sınıf başına yapılan ölçüm günleri Çizelge 3.1.'de sunulmuştur.

Çizelge 3. 1. Sınıflara Göre Hava Kalitesi Ölçümü Yapılan Günlerin Dağılımı

Sınıf	Kış Dönemi (28/11/2022- 15/04/2023) (Gün)	Yaz Dönemi (16/04/2023- 16/06/2023) (Gün)	Toplam (Gün)
Sınıf 1 (9H ve 9K)	71	45	116
Sınıf 2 (10A ve 10B)	70	45	115

3.2. Sınıflar

Vezirköprü Mesleki ve Teknik Anadolu Lisesi bina ve trafik yoğunluğunun oldukça düşük olduğu, kırsal bir alan olarak kabul edilebilecek bir bölgede yer almaktadır. Sınıf 1 160,0 m³, Sınıf 2 ise 174,4 m³ hacme sahiptir. Dersler 08:00'da başlayıp 17:15'te sona ermektedir. Öğle arası 12:10 ile 13:15 arasında olup, her bir ders 40 dakika ve her bir teneffüs 10 dakika sürmektedir. Her iki sınıfın da temizliği günde bir kere ıslak temizleme yöntemi ile yapılmakta ve her iki sınıf da altışar pencereye sahiptir. Havalandırma doğal yöntemle sağlanmaktadır. Sınıflarda tebeşir kullanılmamakta, bunun yerine akıllı tahta ve beyaz tahta kalemi kullanılmaktadır. Sensör cihazları sınıfın kapı ve pencereden en uzak yerinde, öğrencilerin sıralarında oturduklarında solunum yaptığı yükseklikte şekilde yerleştirilmiştir. Sınıf 1'de sensörlerin en yakın pencereden uzaklığı 1,66 metre iken, bu uzaklık Sınıf 2'de 1,55 metreydi. Sınıfların ısınması kalorifer sistemiyle sağlanmaktadır. Peteklerin ısınma tarihleri 15/11/2022-15/04/2023 tarihleri arasındadır.

3.3. Kullanılan Cihaz ve Yazılımlar

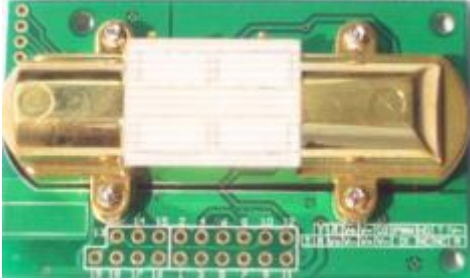
Sistemde 2 adet DHT22 nem ve sıcaklık sensörü, 2 adet CO₂-Sensor MH-Z14, 2 adet ESP32-WROOM-32D Wifi Bluetooth Geliştirme Modülü ve 2 adet de Lazer PM_{2.5} Partikül sensörü kullanılmıştır.

3.3.1. DHT22 nem ve sıcaklık sensörü

DHT22, bir sıcaklık ve nem sensörüdür ve DHT serisi sensörlerin bir üyesidir. Bu sensör, çevredeki sıcaklık ve nemi ölçmek için kullanılır ve Arduino, Raspberry Pi ve diğer mikrodenetleyicilerle kolayca entegre edilebilir. İşlevselliği, düşük maliyeti ve kolay kullanımı nedeniyle piyasada yaygın olarak kullanılan bir sensördür.

Sensörü Arduino programlama dilinde dht.h kütüphanesi ile birlikte kullanılmıştır. "dht.h", Arduino platformunda DHT serisi sıcaklık ve nem sensörlerini kullanmak için yaygın olarak kullanılan bir Arduino kütüphanesidir. Bu kütüphane, DHT11, DHT21 (AM2301) ve DHT22 sensörlerini Arduino kartlarında kolayca kullanılabilir hale getirir.

3.3.2. MH-Z14 karbondioksit sensörü



Şekil 3. 1. MH-Z14 karbondioksit sensörü

MH-Z14 sensörü, CO₂ seviyelerini doğrudan ölçerek atmosferdeki CO₂ konsantrasyonunu belirlemeye yardımcı olur. Bu sensörde, hassas bir NDIR (Non-Dispersive Infrared) teknolojisi kullanır. NDIR sensörleri, belirli bir gazın varlığını, gazın özgül emilim spektrumunu kullanarak tespit eder. MH-Z14, özellikle iç mekan hava kalitesi izleme, iklimlendirme kontrolü ve sera otomasyonu gibi uygulamalarda yaygın olarak kullanılmaktadır.

MH-Z14 sensörünü kullanırken, doğru veri almak için üreticinin belirttiği talimatları takip edilmiştir. Üretici firma bilgi formunda yer alan kalibrasyon için cihazın ilk çalışmaya başladığı anda düzgün veri alabilmesi için 3 dk'lık bir ısıtma süresi bulunmaktadır. Projede bu süre Arduino programlama kartındaki Delay komutu ile gecikme sağlanarak kullanılmıştır

3.3.3. ESP32-WROOM-32D Wi-Fi ve bluetooth entegreli devre

Piyasada yaygın olarak kullanılan bir Wi-Fi ve Bluetooth entegreli devre (IC) olan ESP32 serisinin bir üyesidir. ESP32-WROOM-32D, ESPRESSIF Systems tarafından geliştirilen ve ESP32 çipini içeren bir modüldür. Bu modül, Wi-Fi ve Bluetooth bağlantıları için donanım ve yazılım desteği sağlamaktadır, IoT (Nesnelerin İnterneti) projeleri ve diğer kablosuz uygulamalar için ideal bir çözüm olarak ön plana çıkmaktadır.

3.3.4. Partikül madde sensörü

Atmosferdeki hava kirliliğini izlemek için kullanılan bir sensördür. PM_{2.5} partikül sensörleri, optik, elektromanyetik veya lazer teknolojileri kullanabilir. Sensörün çalışma prensibi, havadaki partiküllerin sensör tarafından algılanması ve bu partiküllerin konsantrasyonunu ölçme esasına dayanır. Sensörler genellikle verileri mikrodenetleyicilere veya bilgisayarlara ileterek sonuçları işlemek ve görselleştirmek için kullanılır.

3.3.5. Veri tabanları

3.3.5.1. Firebase veritabanı

Google tarafından sunulan bir Bulut Bilişim platformudur ve uygulama geliştiricilere çeşitli araçlar ve hizmetler sunarak mobil ve web uygulamalarının geliştirilmesini ve yönetilmesini kolaylaştırır. Firebase, uygulama geliştiricilerine veri tabanı, depolama, kullanıcı kimlik doğrulama, analitik, mesajlaşma ve çok daha fazlasını sağlayarak uygulamaların hızlı bir şekilde geliştirilmesini ve kullanıcı deneyiminin iyileştirilmesini sağlar.

Firebase, geliştiricilerin uygulamalarını hızlı ve verimli bir şekilde oluşturmasını, kullanıcılar arasında gerçek zamanlı etkileşimlerin olmasını ve uygulama performansını arttırmasını sağlar. Ayrıca, başlangıç düzeyinde ücretsiz bir kullanım planı sunar, bu nedenle küçük çaplı projelerden büyük ölçekli uygulamalara kadar çeşitli ihtiyaçları karşılayabilir.

3.3.5.2. Thingspeak veritabanı

MathWorks tarafından geliştirilen ve özellikle IoT (Nesnelerin İnterneti) uygulamalarında veri toplamak, depolamak, analiz etmek ve görselleştirmek için kullanılan bir Bulut Bilişim platformudur. Thingspeak, ücretsiz bir hizmet olarak sunulur ve çeşitli cihazlar ve sensörlerle veri alışverişini destekleyerek IoT projelerinin hızlı bir şekilde geliştirilmesini sağlar.

Thingspeak, Arduino, Raspberry Pi ve diğer mikrodenetleyicilerle uyumlu olup, sensörlerden gelen verileri kolayca buluta yüklemeye ve izlemeye olanak tanır. Bu nedenle

IoT projeleri için veri toplama, depolama ve görselleştirme konularında kullanıcılar arasında yaygın kullanılan bir seçenek haline gelmiştir.

3.3.6. Yazılımın oluşturulması

Yazılımı oluştururken öncelikle bütün parçalar tek tek takılıp programlanmıştır. Böylece, parçaların çalışma yapıları öğrenilmiş ve doğrulukları test edilmiştir.

Sistem yazılımı yazılırken derleyici olarak Arduino IDE kullanılmıştır. Arduino kartlarının programlanması ve kodlanması için kullanılır. Arduino tabanlı projelerin geliştirilmesini kolaylaştırmak için basit ve kullanıcı dostu bir arayüze sahiptir. IDE, birçok standart Arduino kütüphanesini içerir. Arduino IDE, Arduino kartınıza bağlı olan seri port üzerinden iletilen verileri görmek için bir seri iletişim monitörü içerir. Bu, sensör değerlerini, hata mesajlarını ve diğer çıktıları izlemek için kullanılır. Geliştirilen program kodlarında sık sık hatalar ile karşılaşıldığından, bu şekilde anlık geri dönüt veren bir hata mesajları devre oluşturulmasında büyük bir kolaylık sağlayarak daha kısa zamanda sürecin bitirilmesine yardımcı olmuştur. Bu süreç aşağıdaki gibidir:

Öncelikli olarak DHT22 sensöründen sıcaklık ve nem verisini alınmıştır.

`float nem = dht.readHumidity()` komutu ile nem bilgisi alınmıştır.

`float sicaklik = dht.readTemperature()` komutu ile de sıcaklık bilgisi okunmaktadır.



Şekil 3. 2. Sıcaklık ve nem sensöründen gelen veriler

Bu kod ile , DHT22 sensörü ESP-32'den sıcaklık ve nem verileri okundu ve bu veriler seri port üzerinden gönderildi.

MH-Z14, karbondioksit (CO₂) konsantrasyonunu ölçen bir sensördür. Bu sensörü Arduino platformunda kullanarak CO₂ seviyesini ölçmek için aşağıdaki kod örneğini kullanılmıştır:

```
#include <SoftwareSerial.h>
SoftwareSerial co2Serial(10, 11); // RX, TX pimleri
void setup() {
  Serial.begin(9600);
  co2Serial.begin(9600);
  delay(30000);
```

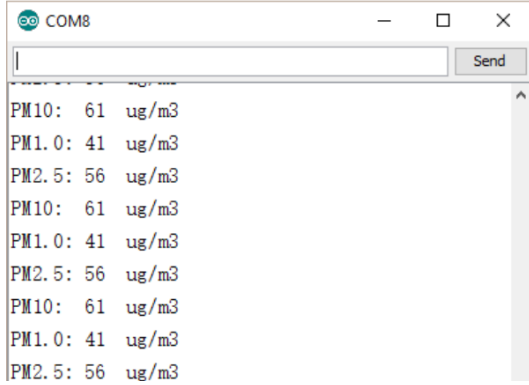
CO₂ sensörünü seri haberleşme protokollerini kullanarak uygun bir biçimde gelen veriler anlamlandırıldı ve okundu. Devremizde seri haberleşmeyi birden fazla cihaz kullandığı için bu haberleşmenin sağlıklı olabilmesi için harici haberleşme pinleri tanımlanarak bu sorunun önüne geçilmiştir.

Sensörün düzgün çalışabilmesi için katalogda da yer alan 3 dk'lık bir ısınma süreci gerekmektedir. Bu süre sağlanıp sensörün kalibrasyonunu yaparak sağlıklı bir ölçüm yapılmıştır. Yapılan ölçümleri seri ekranda kontrolü sağlanarak yazılımın kodlarına devam edilmiştir.

PM_{2.5} partikül sensörünü ESP8266 veya ESP32 gibi bir ESP mikrodenetleyici üzerinde çalıştırmak için aşağıda temel bir Arduino programı örneği yazılmıştır. Bu örnek, PM_{2.5} sensörünü kullanmaktadır. Arduino programı örneği aşağıdaki gibidir:

```
#include <SoftwareSerial.h>
SoftwareSerial sdsSerial(D6, D7);
void setup() {
  Serial.begin(9600);
  sdsSerial.begin(9600);}
```

Seri haberleşme kütüphanesi SoftwareSerial.h kullanarak seri haberleşmenin sorunsuz şekilde çalışması sağlanmıştır. Bu tarz yazılımlarda, bir kütüphaneden yardım almak işlem sırasında gözden kaçabilecek sorunların büyük ölçüde önüne geçmektedir.



Şekil 3. 3. Pm sensöründen gelen veriler

Haberleşme pinlerini CO₂ sensöründeki pinlerden farklı seçilmiştir. Seri haberleşme iki sensör için eş zamanlı olduğu için veri akışında herhangi bir sorun yaşanmaması önceliğimiz olmuştur. ESP denetleyicisi bu yüzden tercih edilmiştir. Bu mikrodenetleyici hem internete bağlanırken çok büyük bir kolaylık sağlamaktadır hem de pinleri isteğe göre özelleştirebilmektedir. Malzemelerin Esp ile tek tek çalıştırılmasından sonra program bir bütün haline getirilmiştir. Bütün parçalar tek tek bağlanarak sistemin birlikte çalışması sağlanmıştır. Sistem beraber çalışırken oluşan sorunları gözlemlenerek program kod parçasında gerekli değişiklikler yapılarak sisteme tekrar yüklenmiş ve böylece sistemin istenilen şekilde çalışması sağlanmıştır.

3.3.7. Verilerin gönderilmesi

Öncelikle verilerin gönderileceği bulut platformu ThingSpeak'de bir hesap oluşturulmuştur. New Channel" (Yeni Kanal) düğmesine tıklayarak projemize uygun kanallar oluşturulmuştur. Verilerimizi göndermemiz için gerekli olan "API Keys" (API Anahtarları) sekmesine giderek Write API Key'i oluşturduk ve bu kodu yazılımımıza ekledik.

```
unsigned long channelID = YOUR_CHANNEL_ID;
const char *writeAPIKey = "your_API_KEY";
```

Oluşturduğumuz kanal adını ve aldığımız api key'i yazılımımıza bu kodlar ile eklenmiştir. Bu işlemin ardından veriler gönderilmeye başlanmıştır. Veriler gönderirken float değişkeni kullanılmıştır. Bu sayede gönderilen verilerin ondalıklı olması sağlanarak daha hassas değerler elde edilmiştir.

My Channels

New Channel		Search by tag	Q
Name	Created	Updated	
9.Sınıf Private Public Settings Sharing API Keys Data Import / Export	2022-10-11	2022-11-21 16:11	
10.Sınıf Private Public Settings Sharing API Keys Data Import / Export	2022-11-21	2022-11-21 16:12	
11.Sınıf Private Public Settings Sharing API Keys Data Import / Export	2022-11-21	2022-11-21 16:10	

Şekil 3. 4. MathWorks ThingSpeak genel arayüzü

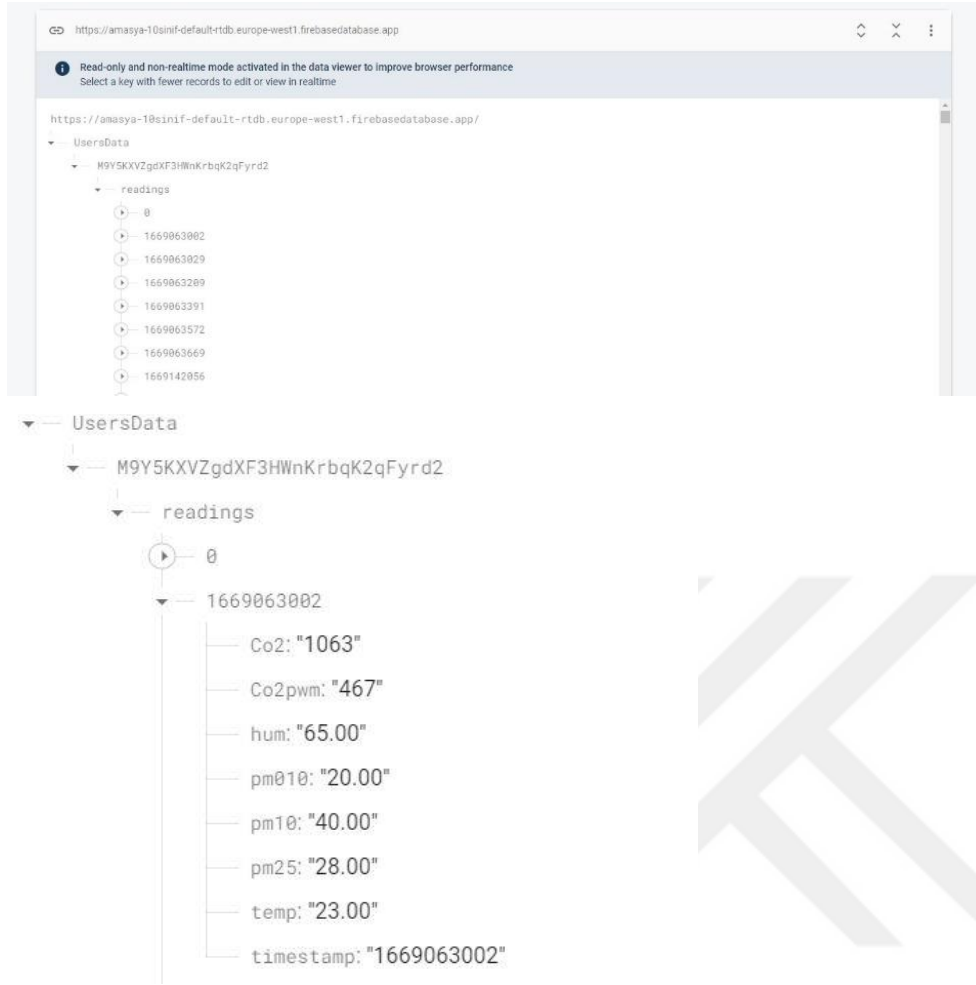


Şekil 3. 5. MathWorks ThingSpeak veri arayüzü

3.3.7. FireBase veri gönderimi

Yazılan kodlarda veriler iki farklı veri bulutuna gönderilmiştir. Bu sayede bir tanesinde oluşabilecek bir sorunun, projenin gidişatının önünde bir engel oluşturmaması amaçlanmıştır. Böylece veri güvenliği sağlanmıştır.

FireBase veritabanına veri göndermek için Firebase sitesinden bir proje oluşturulmuştur. Bu siteden alınan bilgileri programımızın gerekli yerine yerleştirilerek bilgi transferi sağlanmıştır.



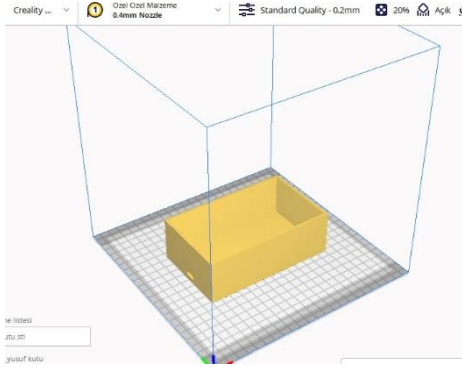
Şekil 3. 6. FireBase Veritabanı Arayüzü

3.3.8. 3D yazıcı ile sistem kutusunu oluşturma

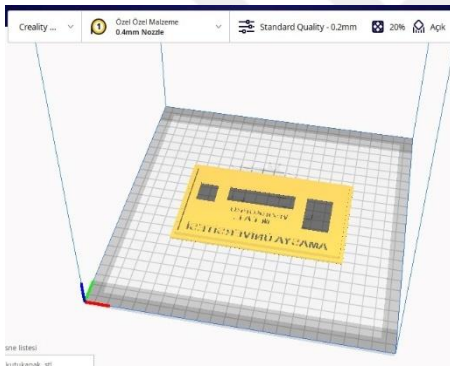
İlk adım olarak, yapılan devrenin bir bütün halinde durması için 3D modeli tasarlanmıştır. 3D yazdırma için STL formatında bir dosya oluşturulmuştur. Bu 3D modeli yaparken Fusion 360 programını kullanılmıştır. Farklı yazıcılar farklı malzemelerle çalışabilir. Bu nedenle, 3D yazıcıda sistem kutusu için gerekli baskı malzemesi seçilmiştir. 3D yazıcıda PLA malzeme baskısı daha iyi olduğu için PLA malzemesi seçilmiştir.

Yazdırma işlemi için gerekli olan baskı ayarları belirlenmiştir. Bu ayarlar, deneyimlere de dayanarak, katman yüksekliği, doluluk oranı, hız ve sıcaklık gibi parametreleri uygun şekilde girilmiştir.

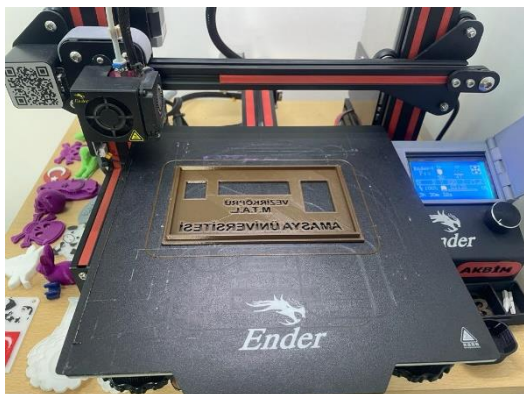
Modeli hazırlandıktan ve ayarlar belirlendikten sonra, yazıcıya baskı işlemini başlatılmış ve baskı sorunsuz bir şekilde alınmıştır.



Şekil 3. 7. 3D Model Fusion 360 Programı kutu arka yüzü



Şekil 3. 8. 3D Model Fusion 360 Programı kutu ön yüzü



Resim 3. 1. Gerçek zamanlı hava kalitesi ölçüm sistemi 3D yazıcı baskısı



Resim 3. 2. 3D Model baskı sonu

3.3.9. Hava kalitesi ölçüm cihazının sınıflara kurulması

3D yazıcı ile hazırlanan kutu içerisine oluşturulan devre yerleştirilmiştir. Daha sonra gerçek zamanlı hava kalitesi izlenecek olan sınıflara kurulum ve montaj işlemine geçilmiştir. Bu aşamada sınıfta öğrencilerin erişemeyeceği ve hava değerlerinin sürekli doğru bir şekilde alınacağı uygun nokta olarak kürsü üzeri seçilmiştir. Bu noktanın olduğu tavan bölgesine gerekli elektrik bağlantısını yapılarak gerçek zamanlı hava kalitesi ölçüm sistemi kurulmuş ve sorunsuz bir şekilde çalıştırılmıştır.



Resim 3. 3. Gerçek zamanlı hava kalitesi ölçüm sisteminin sınıflara montajı ve elektrik bağlantısının yapılması

Ölçüm işlemlerinde cihazlarda herhangi bir teknik sorun yaşanmamış olup ölçümler sorunsuz olarak çevrimiçi sisteme kaydedilmiştir. Buradaki veriler Excel formatında dışa aktarılarak verilerin ayıklanması sağlanmıştır.

3.3.10. Veri seti hazırlama ön işlemleri

Sensör sistemi üzerinden gelen veriler Firebase bulut bilişim platformunda depolanmıştır. Oluşturulan planlama çerçevesinde depolanan ham veriler csv dosya biçiminde dışarı aktarılmış ve kullanılabilir bilgiler haline getirebilmek için bir dizi ön işleme tabi tutulmuştur. İşlemler için uygulama ortamı olarak Google-Colaboratory ve Python programlama dili kullanılmış, Pandas, Numpy ve Datetime kütüphanelerinden faydalanılmıştır. Uygulama 2.50GHz hızında Intel Core i7 işlemci ve 32 GB RAM'e sahip bir sistem üzerinde gerçekleştirilmiştir. Aşağıda Şekil 3.13.'de 9. Sınıflar için sensör sisteminden elde edilen ham veri setine ait bir görüntü paylaşılmaktadır.

	entry_id	field1	field2	field3	field4	field5	field6	field7	DateTime
0	1	1.0	2.0	3.0	4.0	NaN	NaN	NaN	2022-10-13 23:23:25+03:00
1	2	1.0	2.0	3.0	4.0	NaN	NaN	NaN	2022-10-13 23:24:27+03:00
2	3	1.0	2.0	3.0	4.0	NaN	NaN	NaN	2022-10-13 23:25:28+03:00
3	4	1.0	2.0	3.0	4.0	NaN	NaN	NaN	2022-10-13 23:26:30+03:00
4	5	1.0	2.0	3.0	4.0	NaN	NaN	NaN	2022-10-13 23:27:31+03:00
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
86224	86225	59.1	26.7	1027.0	7.0	10.0	12.0	501.0	2023-06-19 13:16:58+03:00
86225	86226	59.1	26.7	1063.0	7.0	10.0	13.0	501.0	2023-06-19 13:20:02+03:00
86226	86227	58.7	26.7	1132.0	7.0	10.0	11.0	495.0	2023-06-19 13:23:05+03:00
86227	86228	58.8	26.8	1005.0	7.0	10.0	13.0	501.0	2023-06-19 13:26:06+03:00
86228	86229	58.6	26.7	1081.0	6.0	9.0	12.0	495.0	2023-06-19 13:29:10+03:00

86229 rows x 9 columns

Şekil 3. 9. Sensör sisteminden elde edilen ham veri setine ait bir görüntü

Buna göre sensör sistemi üzerinden yaklaşık 2-3 dakikalık sürelerle 24 saat boyunca gelen veriler bir önceki ara raporda belirtilen Dönem ve Ölçüm Tarihleri bilgilerine uygun şekilde düzenlenmiştir. Düzenleme işlemi gerçekleştirilirken tatil günleri ve her iki dönemde farklılık gösteren okul ders saatleri gözetilmiştir. Bu sayede sensör sisteminden elde edilen büyük ham veri seti ayıklanarak, veri seti boyutu küçültülmüştür. Sonraki aşamada hazırlanmaya çalışılan veri setimizde çeşitli nedenlerle ölçüm yapılamayan veya boş değer (NaN) bilgisi olan alanlar silinmiştir. Şekil 3.14.'de ilgili Eğitim-Öğretim yılının 2. Döneminde 9. Sınıflara ait sensör bilgilerini içeren ve veri ön işleme sonrası oluşan veri kümesinin bir görüntüsü sunulmaktadır.

	field1	field2	field3	field4	field5	field6	field7
DateTime							
2023-02-20 08:00:22+03:00	36.4	22.2	1307.0	14.0	20.0	25.0	823.0
2023-02-20 08:03:29+03:00	36.7	22.2	1390.0	16.0	25.0	34.0	833.0
2023-02-20 08:06:48+03:00	37.3	22.3	1388.0	16.0	24.0	34.0	922.0
2023-02-20 08:09:54+03:00	37.6	22.3	1460.0	17.0	25.0	33.0	1013.0
2023-02-20 08:13:02+03:00	38.2	22.4	1643.0	16.0	22.0	31.0	1163.0
...	...	...	...	...	...	...	...
2023-06-16 11:55:07+03:00	61.0	26.2	1067.0	7.0	11.0	15.0	476.0
2023-06-16 11:58:10+03:00	61.0	26.3	1106.0	7.0	11.0	13.0	475.0
2023-06-16 12:01:14+03:00	60.8	26.3	1009.0	7.0	10.0	13.0	475.0
2023-06-16 12:04:17+03:00	60.7	26.3	1061.0	7.0	11.0	13.0	471.0
2023-06-16 12:07:20+03:00	60.8	26.3	1019.0	8.0	12.0	14.0	471.0

11280 rows × 7 columns

Şekil 3. 10. Veri ön işleme sonrası oluşan veri kümesine ait bir görüntü

Örnek olarak 2. Dönem 9. Sınıflara ait veri kümesi için komutların özet bir görüntüsü aşağıdaki gibidir:

```
> veriDilimi= df.loc[df['DateTime'] >= '2023-02-19T23:59:59'] #19/02/2023 23:59 dan
sonraki verileri al

> veriDilimi_yaz=veriDilimi.loc[veriDilimi['DateTime'] <= '2023-06-16T13:00:01'] # ve
16/06/2023 13:00 dan önceki verileri al

> HaftsonuTemizlenmis_1 = veriDilimi_yaz[(veriDilimi_yaz['DateTime'].dt.weekday) <
5].reset_index(drop=True)

> HaftsonuTemizlenmis_1 = HaftsonuTemizlenmis_1.set_index('DateTime')
# 20 Şubat 2023 sonrası için okul giriş-çıkış saatleri dışında kalan verileri kaldır

> Temiz_DersSaartleri_1 = HaftsonuTemizlenmis_1.between_time('8:00', '12:10')
> Temiz_DersSaartleri_2 = HaftsonuTemizlenmis_1.between_time('13:15', '17:15')
> birlesikveri=pd.concat([Temiz_DersSaartleri_1, Temiz_DersSaartleri_2])

>sgun= df.loc[df['DateTime'] >= '2023-06-16T07:59:59'] #16/06/2023 07:59 dan sonraki
verileri al

> son_gun=sgun.loc[sgun['DateTime'] <= '2023-06-16T13:00:01'] # ve 16/06/2023 13:00
dan önceki verileri al

> son_gun = son_gun.set_index('DateTime') # 2. dönem karne gününe ait verileri al

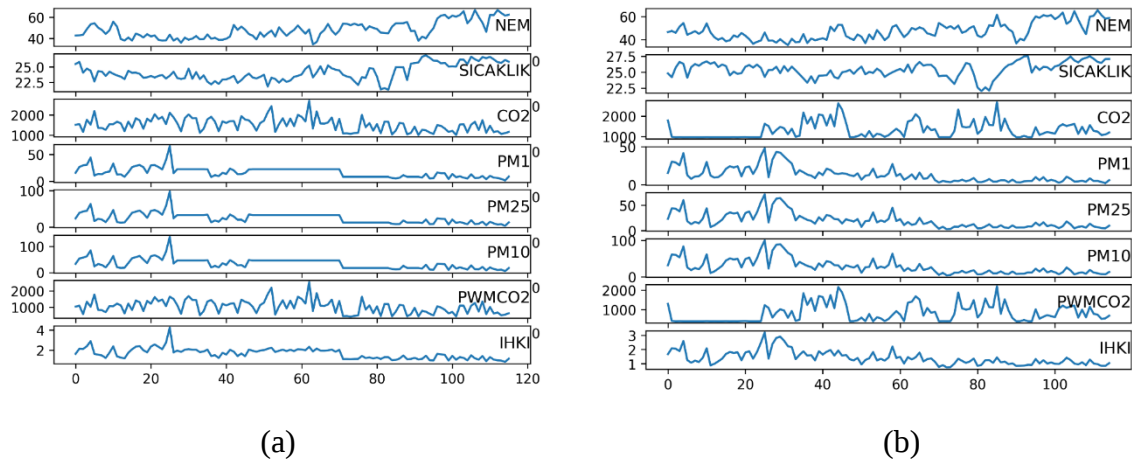
> son_gun_temizle = son_gun.between_time('8:00', '12:10')
```

```
> yaz_verileri=pd.concat([birlesikveri, son_gun_temizle])
# veri setini csv dosyasına dönüştürüyoruz
> yaz_verileri.to_csv('9_Sinif_Veriler_BAP_Yaz_Hazir.csv',na_rep='EksikDeger')
```

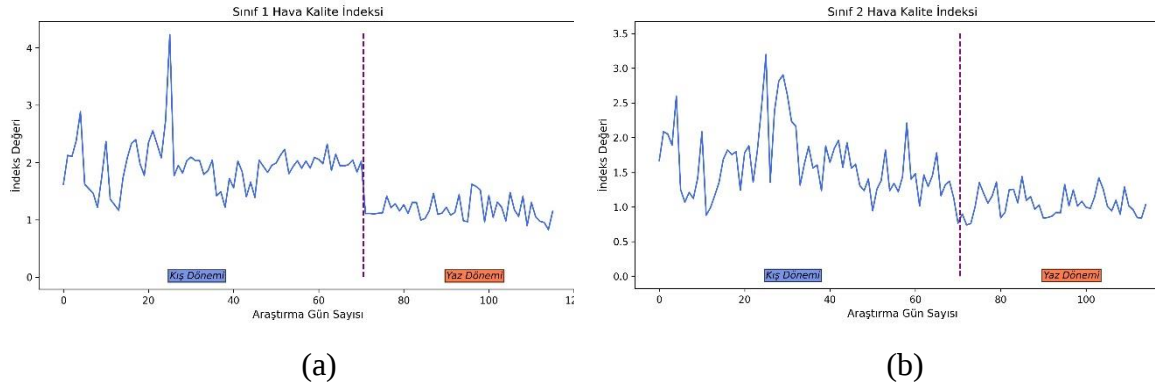
3.4. Yapay Zekaya Dayalı Tahmin Modelinin Geliştirilmesi

3.4.1. Veri seti

Çalışmada kullanılan tahmin modelinin amacı; bir eğitim kurumunda gözlemlenen sınıflardaki sensör sisteminden gelen verilerle, iç mekan hava kalite indeksini tahmin etmektir. Bu amaçla Samsun Vezirköprü Mesleki ve Teknik Anadolu Lisesi’nde öğrenim gören yaklaşık 100 lise öğrencisini gözlemleme fırsatı veren iki sınıf iç mekan olarak seçilmiştir. Sensor sistemi kurulan iki sınıf için gözlemler yapılmış ve elde edilen dakika cinsinden veriler öncelikle hesaplanarak günlük verilere dönüştürülmüştür. Veri seti bileşenlerinin grafiksel gösterimleri ve zamansal değişimleri Şekil 3.15.’de gösterilirken, Şekil 3.16.’da hesaplanan ve tahmin edilmek istenen İHKİ değeri yaz ve kış dönemleri işaretlenmiş şekilde sunulmaktadır.



Şekil 3. 11. Veri seti bileşenlerinin grafiksel gösterimleri ve zamansal değişimleri (a) Sınıf-1, (b) Sınıf-2



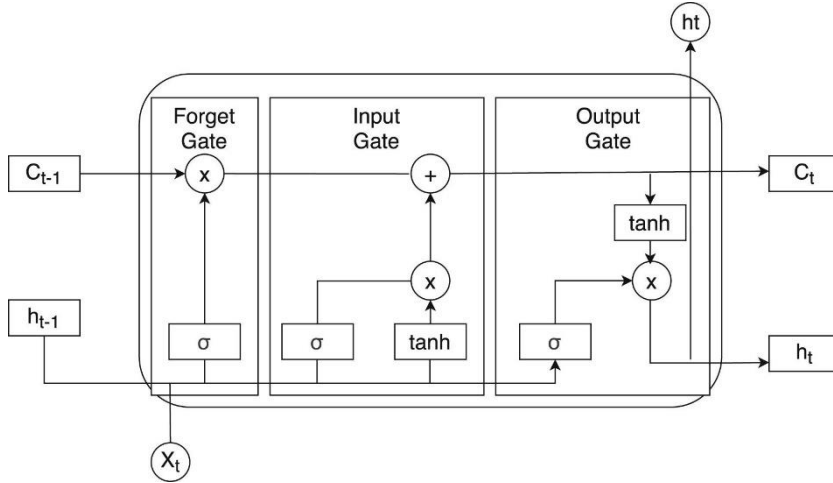
Şekil 3. 12. İHKİ bileşeni yaz ve kış dönemleri (a) Sınıf-1, (b) Sınıf-2

3.4.2. Tahmin modeli

Kullanmış olduğumuz LSTM derin öğrenme ağı literatürden seçilmiştir. Daha önce hisse senedi fiyat tahmini ve su kaynaklarının rezervuar hacimlerinin tahmininde birebir kullanılmış ve başarılı sonuçlar elde etmiş olan bu derin öğrenme modeli (Hunt, Matthews, Pappenberger ve Prudhomme, 2022; Sarıkoç ve Çelik, 2022) çalışmamızda iç mekan hava indeksi tahmini için uygulanmıştır. Kullanılan tahmin modelini detaylandırmadan önce LSTM ağlarından bahsetmek gerekmektedir.

3.4.2.1. Uzun kısa dönem hafıza (LSTM) ağı

Esasen Tekrarlayan Sinir Ağlarının (RNN) bir geliştirmesi olan Uzun Kısa Dönem Hafıza (LSTM), Hochreiter ve Schmidhuber tarafından tanıtılmıştır (Hochreiter ve Schmidhuber, 1997). LSTM ağlarını farklı kılan, zaman serilerindeki geçmiş bilgileri verimli bir şekilde kullanabilmesidir. Ayrıca RNN'lerdeki uzun vadeli bağımlılıkları işlerken kaybolan gradyan problemini de çözebilir. LSTM ağı tıpkı RNN ağları gibi birbirini tekrar eden sinir ağı hücrelerinden oluşur ancak RNN'lerden farklı olarak hafıza hücresindeki kapı adı verilen mekanizmalar ile geçmiş bilgileri hatırlayıp unutabilir (Hochreiter ve Schmidhuber, 1997; Nosratabadi et al., 2020). Bu sayede istenilen geçmiş bilgi atılabilir ya da LSTM ağında saklanabilir. Şekil 3.17.'de LSTM ağına ait bir hafıza hücresinin iç yapısı gösterilmektedir(Ozkok ve Celik, 2022).



Şekil 3. 13. LSTM bellek hücresinin iç yapısı

Bir LSTM bellek hücresinde saklama durumunun kontrol edilmesini sağlayan giriş, çıkış ve unutma olmak üzere üç farklı kapı mekanizması bulunmaktadır. Kapıların işlevleri ve hesaplanmaları şu şekildedir:

- Giriş Kapısı: Güncellenmesi istenilen bilgileri belirleme işlevinden sorumludur.

$$it = \sigma(Wi \cdot [ht - 1, xt] + bi) \quad (1)$$

$$\tilde{ct} = \tanh(WC \cdot [ht - 1, xt] + bC) \quad (2)$$

- Unutma Kapısı: Atılması istenilen bilgileri belirleme işlevini yerine getirir. Bunun için genellikle lojistik sigmoid fonksiyonu kullanarak değerlerin 0~1 aralığında olması sağlanır.

$$ft = \sigma(Wf \cdot [ht - 1, xt] + bf) \quad (3)$$

- Çıkış Kapısı: Hücre modülüne ait çıkış bilgisini tutmaktadır. Giriş ve çıkış kapıları görevlerini yerine getirmek için genellikle tanh veya lojistik sigmoid fonksiyonlarını kullanmaktadır.

$$C_t = ft \cdot C_{t-1} + it \cdot \tilde{C}_t \quad (4)$$

$$ot = \sigma(Wo \cdot [ht - 1, xt] + bo) \quad (5)$$

$$ht = ot \cdot \tanh(Ct) \quad (6)$$

3.4.2.2. LSTM tahmin modeli ve uygulama temel ayarları

Daha önce çalışmamızda kullandığımız LSTM ağını literatürden seçtiğimizi vurgulamıştık. Seçilen LSTM modelinin problem özelinde iyileştirilmesi için optimize edilmesi gelecekteki çalışmalarda arzu edilebilir, ancak şuan için yalnızca iç mekanlardaki hava kalite indeksini tahmin edebilen literatürde kendi ispat etmiş olan bir model ile tahmin görevini yürütmeyi amaçlıyoruz. Çalışmamızda Thakkar ve Sethia'nın (Sethia ve Raut, 2019; Thakkar ve Chaudhari, 2021) çalışmalarında kullanmış oldukları LSTM tahmin modeli temel ayarlarını aynı şekilde uygulayarak gerçekleştiriyoruz. Çizelge 3.2.'de çalışmada kullanılan LSTM tahmin modeline ait temel ayarlarının bir özetini sunmaktadır.

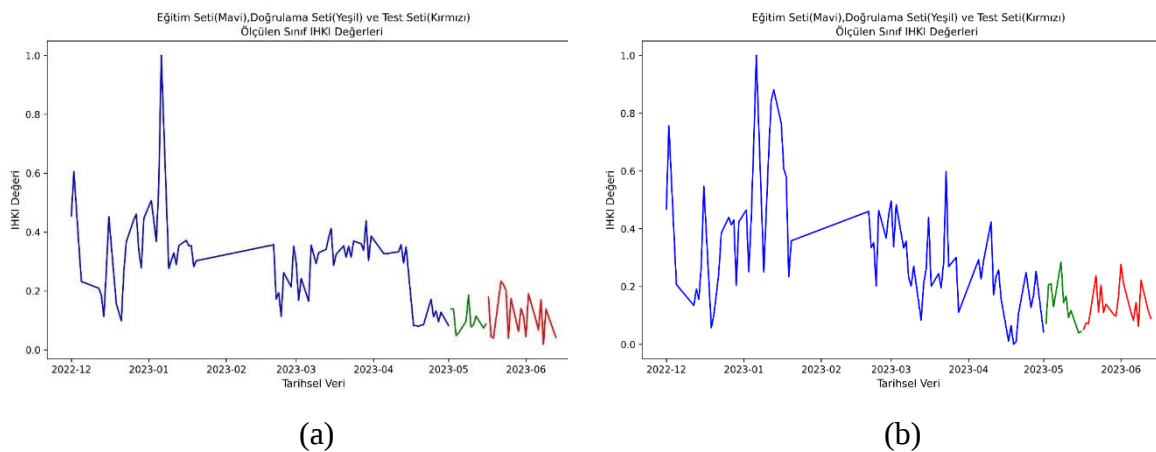
Çizelge 3. 2. Çalışmada kullanılan LSTM tahmin modeli temel ayarları

Parametreler	Değerler
Model Mimarisi	64-128-256-512-1
Model Ağırlığı Başlangıç Değerleri	Rastgele
Eğitim Turu Sayısı (Epoch)	125
Toplu İş Boyutu (Batch Size)	50
Seyreltme (Dropout)	0.3
Aktivasyon fonksiyonu	Doğrusal (Linear)
Optimizasyon Algoritması	ADAM
Kayıp fonksiyonu	Mean Squared Error (MSE)

Buna göre çalışmamızda oluşturulan LSTM tahmin modeli mimarisi birbirini takip eden beş katmandan oluşan bir yapıya sahiptir. Aşırı uyumu önlemek için katmanlar arasına dropout katmanları eklenmiştir. Model ilk aşamada 64 ve 128 düğümlü iki LSTM katmanından oluşmakta ve uzun dönemli bağımlılık işlemeyi sağlamaktadır. Sonraki iki katman 256 ve 512 düğümden oluşan yoğun katmanlardan oluşmaktadır. Bu katmandaki tüm düğümler bir önceki katmanın düğümlerine bağlıdır ve tam bağlı bir yapı gösterir. Modelin son katmanında ise tahmin değerini verecek olan ve tek bir düğümden oluşan çıktı katmanı yer

almaktadır. Tahmin modeli için eğitim sürecinin epoğu 125, yığın boyutu 50 ve bırakma değeri 0.3 olarak belirlenmiştir. Hedef öznitelik düzeltilmiş değer olarak belirlenirken, doğrusal aktivasyon fonksiyonu ve Adam optimizasyon algoritması kullanılmıştır. Parametrelerin güncellenmesi için ortalama karesel hata (MSE) kayıp fonksiyonu ile çalışma gerçekleştirilmiştir.

LSTM tahmin modelini farklı bir probleme uygulayan Thakkar ve Sethia çalışmalarında veri kümesini ayrıştırmak için hold-out yöntemini kullanmıştır (Sethia ve Raut, 2019; Thakkar ve Chaudhari, 2021). Hold-out yöntemi, çapraz doğrulamanın en basit türüdür. En basit haliyle, veri kümesi eğitim kümesi (isteğe bağlı doğrulama kümesi) ve test kümesi olarak adlandırılan iki kümeye ayrılır. Bu yöntemin ana avantajı hesaplama işleminin kısa sürmesidir. Ancak, değerlendirme yüksek varyansa sahip olabilir. Yazarların çalışmalarında kullandığı hold-out yöntemi, aynı oranlar kullanılarak çalışmamıza uygulanmıştır. Buna göre sensör sistemi yardımıyla gözlenen sınıflardaki iç mekan hava kalite indeksi hesaplanarak Sınıf-1 ve Sınıf-2 isimlerinde iki veri seti oluşturulmuştur. Her iki veri seti de eğitim seti, doğrulama seti ve test seti olmak üzere üçe ayrılmıştır. Eğitim seti için %70, doğrulama seti için %10 ve test seti için %20 oranları kullanılarak ayrıştırma işlemi gerçekleştirilmiştir. Buna ilişkin görsel Şekil 3.18.'de sunulmaktadır. Grafiksel gösterimdeki mavi renkli çizgi eğitim setini, yeşil renkli çizgi doğrulama setini ve kırmızı renkli çizgi ise test setini ifade etmektedir.



Şekil 3. 14. Veri setlerinin Hold-Out yöntemi ile ayrıştırılması (a) Sınıf-1, (b) Sınıf-2

3.4.2.3. Değerlendirme metrikleri

Tahmin modelinin öngörülebilirliğini ve bulunan tahminlerin doğruluğunu ölçmek için değerlendirme kriterlerine ihtiyaç vardır. Kök ortalama kare hatası (RMSE), ortalama kare hatası (MSE), ortalama mutlak hata (MAE) gibi hata tahmin yöntemleri makine öğrenmesi modellerinin performansını değerlendirmek için literatürde sıklıkla kullanılmaktadır. Bu metriklerin yanında tahmin modelinin doğruluğunu ölçmek amacıyla determinasyon katsayısı (R^2) ve ortalama yön doğruluğu (MDA) gibi metriklerde yine literatürde tercih edilmektedir. R^2 , modeldeki bağımsız değişkenlere göre bağımlı değişkenin varyasyon oranını ifade ederken MDA, tahmin yönünü (yukarı veya aşağı) fiilen gerçekleşen yönle karşılaştırır ve tahminin yönünün niceliksel değerinden bağımsızdır, sonuç olarak bir tahmin doğruluk oranı döndürür. Çalışma kapsamında değerlendirme metrikleri olarak; RMSE, MSE, MAE ve MDA metrikleri kullanılmıştır. Değerlendirme ölçütlerinin hesaplanmasına ilişkin (7), (8), (9) ve (10) numaralı eşitlikler aşağıda sunulmuştur. Buna göre $\hat{y}_i$, i. örneklemin tahmin edilen değerini, y_i ise buna karşılık gelen gerçek değeri temsil etmektedir.

$$MSE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2 \quad (7)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2} \quad (8)$$

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |y_i - \hat{y}_i| \quad (9)$$

$$MDA = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n [sign(y_i - y_{i-1}) = sign(\hat{y}_i - y_{i-1})] \quad (10)$$

3.4.2.4. Tahmin modelinin işleyişi

LSTM Tahmin modelin işletilmesinde izlenecek adımlar aşağıdaki gibidir:

1. Gözlemlenen sınıflardaki sensor sisteminden dakika cinsinden gelen bilgiler, günlük bilgilere dönüştürülerek ham bir girdi veri çerçevesi oluşturulur.

2. İHKİ hesaplanabilmesi için öncelikle farklı öznitelik indeks değerleri hesaplanır. Sonrasında eşitlik (10)' da belirtilen formül ile İHKİ hesaplanarak veri setine dahil edilir.
3. Veri ön işleme aşamalarında veriler standartlaştırılır ve normalize edilir. Böylece her bir öznitelik 0~1 arasında değer alması sağlanır.
4. Gözlemlenen her bir sınıf için elde edilen veri kümesi, hold-out yöntemi ile eğitim, doğrulama ve test kümelerine ayrılır.
5. Ayırıştırılan her set LSTM tahmin modelinde işlenebilmek için 3 boyutlu girdi türüne dönüştürülür. Girdi biçimi; eğitim/doğrulama/test kayıt (örneklem) sayısı, 3 günlük (zaman adımı) geri bakış penceresine, 8 adet öznitelikten (özellik) meydana gelmektedir.
6. İşlem adımlarından sonra elde edilen veri kümesi 5 katmanlı LSTM modeline girdi olarak verilir.
7. Tahmin modeli, belirlenen tarihten 3 gün önceki sensor bilgilerine bakarak sonraki günde oluşacak İHKİ değerini tahmin etmeye çalışır.

3.4.2.5. Deneyler

Deneyler, tahmin modelinin sensörler vasıtasıyla ölçülerek hesaplanan iç mekan hava kalite indeksini tahmin etmedeki başarısını göstermeyi amaçlamaktadır. Deney üst bölümlerde anlatılan temel ayarları ve işleyişi takip etmektedir. Bu deneyler, on rastgele başlangıç çekirdek değeri için tekrarlanır ve elde edilen en iyi ortalama yön doğruluğu sonucu açıklanmaktadır. Deneyler Intel Core i7 - 2.5 GHz CPU ve 36 GB RAM'e sahip bir sistem üzerinde, Python programlama dili ve Keras kütüphanesi kullanılarak Google-Collaboratory ortamında gerçekleştirilmiştir.

3.5. Kirletici Limitleri ve İç Ortam Hava Kalitesi İndeksi

DSÖ'nün önerileri doğrultusunda iç ortam kirleticilerinde sınır değer CO₂ için 1.000 ppm düzeyinde alındı (Goromosov ve Organization, 1968) . PM_{2.5} ve PM₁₀ için iç ortama yönelik sınır değer bulunmaması sebebiyle DSÖ'nün dış ortam için önerdiği sınır değerler alındı: Sırasıyla 15 µg/m³ (24 saatlik) ve 45 µg/m³ (24 saatlik) (WHO, 2021). ASHRAE iç ortam hava sıcaklığı için 67-82 °F (19,4-27,7 °C) aralığını; bağıl nem oranı için ise en fazla %65 düzeyini önermektedir (ANSI/ASHRAE, 2016, 2017).

Sınıflarda ölçümü yapılan kirleticilerden CO₂, PM_{2.5} ve PM₁₀ kullanılarak bir iç ortam hava kalitesi indeksi (İHKİ) oluşturuldu. İHKİ hesaplanmasında PM indeksleri, ölçülen değerlerin yukarıda belirtilen limit değerlere bölünmesiyle elde edildi. CO₂ indeksi ise ölçülen değerin limit değere bölünüp 1 ile toplanmasıyla elde edildi. Daha sonra bu üç indeksin aritmetik ortalaması alınarak İHKİ değerine ulaşıldı (Mainka ve Zajusz-Zubek, 2015).

$$PM_{2.5} \text{ İndeksi} = \frac{PM_{2.5} \text{ konsantrasyonu}}{15 \mu g/m^3} \quad (11)$$

$$PM_{10} \text{ İndeksi} = \frac{PM_{10} \text{ konsantrasyonu}}{45 \mu g/m^3} \quad (12)$$

$$CO_2 \text{ İndeksi} = \frac{CO_2 \text{ konsantrasyonu}}{1.000 \text{ ppm}} + 1 \quad (13)$$

$$İHKİ = \frac{PM_{2.5} \text{ İndeksi} + PM_{10} \text{ İndeksi} + CO_2 \text{ İndeksi}}{3} \quad (14)$$

3.6. Veri Toplama Araçları

Ölçümlerin tamamlanmasını takiben öğrencilere yönelik olarak anket formu uygulandı. Anketin ilk bölümünde araştırmacılar tarafından hazırlanan sosyodemografik veri formu ve SYE geçirme durumuna ilişkin soru formu yer almaktadır. Solunum yolu enfeksiyonu hastalıklarının doğru bir şekilde tespit edilebilmesi için beyana dayalı anket bilgilerinin yanı sıra okul idaresinden seçilen sınıflarda öğrenim gören öğrencilerin devamsızlık bilgileri ve okula sunulan hastalık raporları temin edildi. Anketin ikinci bölümünde ise HBS belirtilerinin saptanması amacıyla MM 060 NA School ölçeği kullanıldı. MM Anketlerinin geliştirilmesine Andersson ve ark. tarafından 1985 yılında Örebro Üniversite Hastanesi Mesleki ve Çevre Tıbbi Anabilim Dalı'nda başlanmıştır. İlk standart anket (işyerleri için MM 040 NA) geçerlilik ve güvenilirlik analizlerinden sonra 1989'da yayınlanmıştır. O zamandan beri okullar, kreşler, ofisler, hastaneler ve konutlar gibi belirli ortamlara yönelik farklı versiyonlar geliştirilmiştir. MM 060 NA School, 12 yaş üzerindeki çocuklar için doğrudan kendilerine yönelik soruları içermektedir (Andersson, 1985). Ölçeğin ilk bölümünde sigara kullanımı, evcil hayvan besleme, evde halı kullanımı ve küf varlığı gibi olası solunum yolu irritanlarının varlığı araştırılmaktadır. Bundan sonraki bölümlerde ise okul çevresindeki

fiziksel faktörlerin kişide meydana getirdiği rahatsızlıklar; geçmiş ve mevcut hastalıklar; son üç ay içerisinde görülmek kaydıyla mevcut belirtiler; mevcut sıcaklık, gürültü, toz, hava kalitesi gibi çevresel faktörler hakkında kişinin düşünceleri araştırılmaktadır. HBS'nin pozitif olarak kabul edilmesi için son üç ayda var olan genel semptomlar (yorgunluk, uykusuzluk, baş ağrısı, mide bulantısı/baş dönmesi, konsantrasyon bozukluğu, karın ağrısı) ve mukokutanöz semptomların (gözlerde kaşıntı, yanma veya tahriş; burunda tahriş, akıntı, tıkanma; boğazda kuruluk; öksürük; kuru veya kızarmış yüz cildi; kafa derisi veya kulaklarda pullanma/kaşıntı; ellerde kuruluk, kaşıntılı/kızarıklık cilt) her hafta görüldüğünü belirten ve bu semptomların okul ortamıyla ilgili olduğunu düşünen kişiler arasından en az bir genel semptom ve en az bir mukokutanöz semptom görülmesi kriter olarak belirlendi (Chirico, Ferrari ve Taino, 2017).

Anket uygulaması 2 numaralı ara raporda belirtildiği üzere yaz ve kış dönemleri olmak üzere iki ayrı dönemde gerçekleştirilmiştir. Toplamda ulaşılan tekil kişi sayısı ve sınıf mevcutları Çizelge 3.3.'de sunulmuştur:

Çizelge 3. 3. Anket uygulanan kişi sayısı ve sınıf mevcutları

Şube	Ulaşılan Kişi Sayısı	Sınıf Mevcudu
9K	15	20
9H	24	25
10B	25	29
10A	15	24
Toplam	79	98

3.7. İstatistiksel Analiz

Araştırmadan elde edilen veriler SPSS (Version 22 for Windows, SPSS Inc, Chicago, IL, USA) paket programıyla analiz edildi. Verileri değerlendirilirken sayısal değişkenler ortalama±standart sapma, kategorik veriler ise sayı (%) ile ifade edildi. İstatistiksel analizlerde sayısal değişkenlerin normal dağılıma uygunluğu Kolmogorov-Smirnov Testi ile değerlendirildi. Normal dağılıma uyan sayısal değişkenlerin karşılaştırılmasında Student's T test, normal dağılıma uymayan sayısal değişkenlerin karşılaştırılmasında Mann-Whitney U Testi, kategorik değişkenlerin karşılaştırılmasında ise Pearson Ki-kare Testi ve Fisher'in Kesin Testi kullanıldı. Sınıflardaki iç ortam hava kalitesinin solunum yolu enfeksiyonları ile

ilişkisinin belirlenmesinde günlük kirletici ortalamasıyla, sık görülen bir SYE etkeni olan influenza hastalığı için kabul edilen 1-4 günlük kuluçka süresinin (CDC, 2024) ortanca değeri olan 3 gün sonraki devamsızlıkların korelasyonuna bakıldı. Verilerin normal dağılıma uymaması sebebiyle Spearman Korelasyon Testi kullanıldı. Korelasyon katsayısı 0,05-0,29: düşük veya önemsiz korelasyon, 0,30-0,39: düşük orta derecede korelasyon, 0,40-0,59: orta derecede korelasyon, 0,60-0,69: iyi derecede korelasyon, 0,70-0,74: çok iyi derecede korelasyon ve 0,75-1,00: mükemmel korelasyon olarak sınıflandırıldı. Sınıf mevcudu büyüklüklerinin karıştırıcı etkisinin giderilmesi için devamsızlık değişkenleri mutlak sayılar yerine, devamsızlığın sınıf mevcuduna oranlamasıyla elde edilen yüzdeler ile analize dahil edildi. SYE gelişimi üzerine risk faktörlerinin belirlenmesi için binomial lojistik regresyon kullanıldı. Oluşturulan modelde tek değişkenli analizlerde anlamlı çıkan değişkenler ve solunum yolu enfeksiyonu gelişim riskini etkilediği bilinen hava kalitesi ölçümleri analize dahil edildi. Hava kalitesi değişkenlerinin arasında yüksek korelasyon olması sebebiyle bu ölçümleri temsilen oluşturulan İHKİ çok değişkenli analizde yer aldı. İstatistiksel anlamlılık düzeyi tek değişkenli lojistik regresyon analizi için $p < 0,25$; diğer tüm testler için $p < 0,05$ olarak kabul edildi.

4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Çalışmaya katılan toplam 79 öğrencinin 39'u (%49,4) Sınıf 1'de öğrenim gören 9. sınıf, 40'ı (%50,6) ise Sınıf 2'de öğrenim gören 10. sınıf öğrencileriydi. Öğrencilerin tamamı erkekti ve yaş ortalamaları $15,2 \pm 0,9$ yıldı. Katılımcıların 29'unda (%36,7) baba ortaokul, 35'inde (%44,3) anne ilkokul mezunuydu. Düzenli olarak spor yaptığını beyan eden kişi sayısı 22 (%27,8), düzenli olarak ilaç kullandığını belirten kişi sayısı ise 2 (%2,5) olarak bulundu.

HBS'yi sorgulayan "MM 060 NA School" ölçeğine verilen cevaplar incelendiğinde; öğrencilerin 13'ünün (%16,5) sigara kullandığı, 40'ının (%50,6) yaşadığı evde sigara içen biri olduğu, 63'ünün (%79,7) müstakil evde yaşadığı, 21'inin (%26,6) evinde duvardan duvara halı serili olduğu, 28'inin (%35,4) evde tüylü evcil hayvan beslediği, 10'unun (%12,7) ev duvarlarında nem veya küf belirtisi olduğu belirlendi.

Son 3 ay içerisinde çevresel faktörlerin içinden, katılımcıların 36'sı (%45,6) gürültünün çok sık olarak kendilerini rahatsız ettiğini, 39'u (%49,4) hiçbir zaman okulda konforlu hissetmediğini belirtti (Çizelge 4.1.).

Çizelge 4. 1. Okuldaki çevresel faktörlerden rahatsız olma sıklığının dağılımı

	Evet, çok sık (Her hafta)	Evet, bazen	Hayır, hiçbir zaman
Çevre faktörleri	n (%)	n (%)	n (%)
Cereyan (Hava akımı)	5 (6,3)	35 (44,3)	39 (49,4)
Çok yüksek sınıf sıcaklığı	8 (10,1)	42 (53,2)	29 (36,7)
Değişen sınıf sıcaklığı	16 (20,3)	34 (43,0)	29 (36,7)
Çok düşük sınıf sıcaklığı	11 (13,9)	36 (45,6)	32 (40,5)
Havasız ortam (Kötü hava)	27 (34,2)	32 (40,5)	20 (25,3)
Kuru hava	14 (17,7)	28 (35,4)	37 (46,8)
Kötü koku	25 (31,6)	40 (50,6)	14 (17,7)
Statik elektrik	5 (6,3)	18 (22,8)	56 (70,9)
Sigara dumanı	6 (7,6)	29 (36,7)	44 (55,7)
Gürültü	36 (45,6)	28 (35,4)	15 (19,0)
Loş veya parlamaya neden olan ışık	7 (8,9)	31 (39,2)	41 (51,9)
Toz ve kir	26 (32,9)	33 (41,8)	20 (25,3)
Okulda konforlu hissetme	6 (7,6)	31 (39,2)	39 (49,4)
Okuldaki iç mekan havasının okul performansını etkileme düşüncesi	11 (13,9)	32 (40,5)	33 (41,8)

Genel semptomları son 3 ay içerisinde olmak kaydıyla her hafta yaşadığını belirtip bu durumun okulla ilgisini olduğunu düşünen öğrenci sayısı 23 (%29,1) olarak bulunurken; bu sayı mukokutanöz semptomlar için 8 (%10,1) olarak tespit edildi. HBS pozitifliğinde kullanılan en az bir genel semptom ve en az bir mukokutanöz semptomu son 3 ay içerisinde olmak kaydıyla her hafta yaşadığını belirtip bu durumun okulla ilgisini olduğunu düşünen öğrenci sayısı ise 7 (%8,9) olarak belirlendi. Sınıflar arasında HBS pozitifliği açısından anlamlı farklılık tespit edilmedi ($p>0,05$). Öğrencilerin son 3 ay içinde yaşadığı belirtiler incelendiğinde en sık yaşanan belirtinin uykusuzluk (%35,4) olduğu görüldü. Son 3 ay içinde yaşanan diğer belirtilerin görülme sıklığı Çizelge 4.2.'de sunulmuştur.

Çizelge 4. 2. Son 3 ay içinde yaşanan belirtilerin dağılımı

	Evet, çok sık (Her hafta)	Evet, bazen	Hayır, hiçbir zaman	Evetse okuldan kaynaklandığını düşünenler
Belirtiler ¹	n (%)	n (%)	n (%)	n (%)
Yorgunluk	27 (34,2)	43 (54,4)	8 (10,1)	30 (38,0)
Uykusuzluk	28 (35,4)	40 (50,6)	10 (12,7)	27 (34,2)
Baş ağrısı	14 (17,7)	42 (53,2)	22 (27,8)	19 (24,1)
Mide bulantısı/baş dönmesi	6 (7,6)	29 (36,7)	43 (54,4)	8 (10,1)
Konsantrasyon bozukluğu	12 (15,2)	22 (27,8)	44 (55,7)	8 (10,1)
Gözlerde kaşıntı, yanma veya tahriş	9 (11,4)	21 (26,6)	48 (60,8)	7 (8,9)
Burunda tahriş, akıntı, tıkanma	9 (11,4)	21 (26,6)	48 (60,8)	9 (11,4)
Boğazda kuruluk	3 (3,8)	35 (44,3)	40 (50,6)	8 (10,1)
Öksürük	8 (10,1)	45 (57,0)	25 (31,6)	11 (13,9)
Kuru veya kızarmış yüz cildi	4 (5,1)	17 (21,5)	57 (72,2)	4 (5,1)
Kafa derisi veya kulaklarda pullanma	3 (3,8)	6 (7,6)	69 (87,3)	2 (2,5)
Ellerde kuruluk, kaşıntılı/kızamık cilt	8 (10,1)	15 (19,0)	55 (69,6)	6 (7,6)
Karın ağrısı	7 (8,9)	35 (44,3)	36 (45,6)	9 (11,4)

¹Kayıp verilerden dolayı tüm gözlerin toplamı katılımcı sayısını vermemektedir.

Okul çevresine yönelik öğrencilerin düşünceleri Çizelge 4.3.'de yer almaktadır. Buna göre okula ait ortamlardan “Çok kötü” cevabının en yüksek oranda okul tuvaletleri için verildiği belirlendi (%43,0).

Çizelge 4. 3. Okul çevresine yönelik düşüncelerin dağılımı

	Çok iyi	İyi	Kabul edilebilir	Kötü	Çok kötü
	n (%)	n (%)	n (%)	n (%)	n (%)
Okul bahçesi¹					
Aktivite imkanı	7 (8,9)	28 (35,4)	16 (20,3)	19 (24,1)	9 (11,4)
Yeşil alanlar	12 (15,2)	38 (48,1)	18 (22,8)	5 (6,3)	6 (7,6)
Işık	6 (7,6)	40 (50,6)	20 (25,3)	9 (11,4)	4 (5,1)
Trafik güvenliği	12 (15,2)	18 (22,8)	14 (17,7)	21 (26,6)	14 (17,7)
Sınıf ortamı					
Mobilya, döşeme	10 (12,7)	20 (25,3)	32 (40,5)	11 (13,9)	6 (7,6)
Renk düzeni	10 (12,7)	25 (31,6)	23 (29,1)	10 (12,7)	11 (13,9)
Akustik (ses düzeni)	3 (3,8)	16 (20,3)	26 (32,9)	16 (20,3)	18 (22,8)
Temizlik	7 (8,9)	19 (24,1)	21 (26,6)	18 (22,8v)	14 (17,7)
Diğer ortamlar					
Ortak alanlar	10 (12,7)	25 (31,6)	20 (25,3)	14 (17,7)	10 (12,7)
Soyunma odaları	6 (7,6)	18 (22,8)	15 (19,0)	15 (19,0)	17 (21,5)
Yemek salonu	8 (10,1)	20 (25,3)	14 (17,7)	18 (22,8)	15 (19,0)
Spor salonu	10 (12,7)	22 (27,8)	12 (15,2)	14 (17,7)	15 (19,0)
Tuvaletler	4 (5,1)	14 (17,7)	13 (16,5)	14 (17,7)	34 (43,0)

¹Kayıp verilerden dolayı tüm gözlerin toplamı katılımcı sayısını vermemektedir.

Okul genelinde kötü hava kalitesine sahip alan olup olmadığıyla ilgili soruya öğrencilerin 45'i (%57,0) evet cevabı verdi. Hava kalitesi ile ilgili diğer sorulara verilen yanıtlar Çizelge 4.4.'de yer almaktadır.

Çizelge 4. 4. Hava kalitesi ve diğer çevresel faktörler hakkında katılımcılarının görüşleri

Sıcaklık Koşulları ¹	Çok iyi	İyi	Kabul edilebilir	Kötü	Çok kötü
	n (%)	n (%)	n (%)	n (%)	n (%)
Okuldaki sıcaklık hakkındaki genel düşünce	2 (2,5)	24 (30,4)	29 (36,7)	8 (10,1)	15 (19,0)
	Kışın çok soğuk	Diğer zamanlar çok soğuk	Yazın çok sıcak	Diğer zamanlar çok sıcak	
Sıcaklıkla ilgili yaşanan sorunlar ²	47 (59,5)	22 (27,8)	25 (31,6)	13 (16,5)	
Hava Kalitesi					
	Çok iyi	İyi	Kabul edilebilir	Kötü	Çok kötü
Sınıflardaki hava kalitesi hakkındaki genel düşünce	5 (6,3)	14 (17,7)	16 (20,3)	13 (16,5)	29 (36,7)

Çizelge 4. 5. (devamı)

	Pazartesi sabahları daha kötü	Öğleden sonra daha kötü	Blok ders olunca daha kötü	Alana göre değişmekte	Kötü koku
Hava kalitesi ile ilgili yaşanan sorunlar ²	13 (16,5)	39 (49,4)	29 (36,7)	36 (45,6)	41 (51,9)
Gürültü					
	Evet	Hayır			
Sınıftaki gürültüden rahatsız olma durumu	63 (79,7)	15 (19,0)			
	Havalandırma rahatsız edici	Okul bahçesinden gelen ses	Sandalyelerin çıkardığı ses	Öğrencilerin gürültüsü	
Evet cevabını verenlerde sebep ²	21 (26,6)	23 (29,1)	29 (36,7)	54 (68,4)	
Toz ve Kir					
	Evet	Hayır			
Sınıftaki toz ve kirden rahatsız olma durumu	59 (74,7)	19 (24,1)			
	Genel temizlik yetersiz	Dolaplarda ve diğer yüzeylerde toz ve kir mevcut	Kapsamlı temizlik yapılmamakta		
Evet cevabını verenlerde sebep ²	43 (54,4)	28 (35,4)	30 (38,0)		

¹ Kayıp verilerden dolayı tüm gözlerin toplamı katılımcı sayısını vermemektedir.

² Birden fazla seçenek sunuldu.

Verilerin toplanmaya başlandığı tarihten anketlerin uygulanma tarihine kadar en az bir SYE geçirdiğini belirten kişi sayısı 14 (%17,7) olarak belirlendi. Sınıflar arasında en az bir SYE geçirme yönünden anlamlı farklılık görülmedi ($p>0,05$). Sınıflar arasında günlere göre hava kalitesi değişkenleri ve her bir tarihteki raporlu ve toplam devamsızlıkların sınıf mevcuduna oranları arasındaki farka bakıldığında, sıcaklık ve toplam devamsızlık yüzdesinin Sınıf 2’de; CO₂, PM₁, PM_{2.5}, PM₁₀, İHKİ ve raporlu devamsızlık yüzdesinin Sınıf 1’de daha yüksek olduğu görüldü (Çizelge 4.5.).

Çizelge 4. 6. Günlere göre sınıflar arasındaki senelik hava kalitesi değişkenleri ve devamsızlıkların dağılımı

	Sınıf 1	Sınıf 2	
	Ort±SS	Ort±SS	p ¹
Bağıl Nem (%)	47,9±7,8	47,5±7,4	0,711
Sıcaklık (°C)	24,1±1,3	25,4±1,1	<0,001

Çizelge 4. 7. (devamı)

CO ₂ (ppm)	1526,0±334,3	1314,1±395,5	<0,001
PM ₁ (µg/m ³)	17,0±9,5	13,1±10,0	<0,001
PM _{2.5} (µg/m ³)	25,0±14,1	19,5±14,9	<0,001
PM ₁₀ (µg/m ³)	34,4±19,6	27,5±20,9	0,001
İHKİ	1,7±0,5	1,4±0,4	<0,001
Raporlu devamsızlık	4,3±6,5	1,2±2,7	<0,001
Toplam devamsızlık	8,1±9,0	11,4±10,4	0,012

¹ Mann-Whitney U testi

Okulun genelinde senelik ortalama bağıl nem için %47,6, sıcaklık için 24,8°C, CO₂ için 1433,7 ppm, PM₁ için 15,1 µg/m³, PM_{2.5} için 22,3 µg/m³, PM₁₀ için 31,1 µg/m³ olarak ölçülürken; İHKİ 1,538 olarak hesaplandı. Okulun genelinde yaz dönemi için bağıl nem ve sıcaklık değerlerinin, kış dönemi içinse CO₂, PM₁, PM_{2.5}, PM₁₀ ve İHKİ değerlerinin daha yüksek olduğu bulundu. Benzer durum Sınıf 1 için de geçerliken, Sınıf 2’de sıcaklık ve CO₂ değişkenlerinde dönemler arasında fark saptanmadı. Bu karşılaştırmalara ait sonuçlar ve yapılan 118 günlük ölçümler sonucunda sınıfların ve bu sınıfların ortalamasıyla elde edilen okulun hava kalitesine yönelik veriler Çizelge 4.6.’da yer almaktadır

Çizelge 4. 8. Hava kalitesi ölçüm ortalamalarının sınıflara göre dağılımı

Ölçüm Yeri	Ölçüm Dönemi	Bağıl Nem (%)	Sıcaklık (°C)	CO ₂ (ppm)	PM ₁ (µg/m ³)	PM _{2.5} (µg/m ³)	PM ₁₀ (µg/m ³)	İHKİ
Sınıf 1	Kış	43,9	23,6	1664,7	22,4	32,7	45,2	1,950
	Yaz	54,2	24,9	1307,3	8,5	12,8	17,4	1,181
	p ¹	<0,001 ²	<0,001 ³	<0,001 ³	<0,001 ³	<0,001 ³	<0,001 ³	<0,001 ³
	Senelik	47,9	24,1	1526,0	17,0	25,0	34,4	1,652
Sınıf 2	Kış	43,8	25,3	1291,3	18,1	26,8	37,9	1,641
	Yaz	53,2	25,6	1349,5	5,2	8,0	11,4	1,045
	p ¹	<0,001 ²	0,237 ²	0,066 ³	<0,001 ³	<0,001 ³	<0,001 ³	<0,001 ³
	Senelik	47,5	25,4	1314,1	13,1	19,5	27,5	1,408
Okul	Kış	43,8	24,5	1498,6	20,2	29,7	41,4	1,800
	Yaz	53,7	25,3	1328,4	6,9	10,4	14,4	1,113
	p ¹	<0,001 ²	<0,001 ³	0,002 ³	<0,001 ³	<0,001 ³	<0,001 ³	<0,001 ²
	Senelik	47,6	24,8	1433,7	15,1	22,3	31,1	1,538

¹ Yaz ve kış dönemlerinin karşılaştırması² Student T test³ Mann-Whitney U test

Uluslararası rehberlerde belirlenen limit değerlere göre her iki sınıfta tüm günlerde sıcaklığın normal aralıklarda yer aldığı görüldü. CO₂ konsantrasyonunun Sınıf 1’de ise tüm günlerde, Sınıf 2’de ölçüm yapılan günlerin %66,1’inde; PM_{2.5} konsantrasyonunun Sınıf 1’de ölçüm yapılan günlerin %62,9’unda, Sınıf 2’de %52,2’sinde ve PM₁₀ konsantrasyonunun Sınıf 1’de ölçüm yapılan günlerin %43,1’inde, Sınıf 2’de ise %18,3’ünde limit değerler üzerinde olduğu belirlendi (Çizelge 4.7.).

Çizelge 4. 9. Sınıflarda limit değerleri aşan gün sayılarının kirleticilere göre dağılımı

Ölçüm Yeri	Ölçüm Dönemi	Limit Değerleri Aşan Gün Sayıları				
		Bağıl Nem n (%)	Sıcaklık n (%)	CO ₂ n (%)	PM _{2.5} n (%)	PM ₁₀ n (%)
Sınıf 1	Kış (n=71)	0	0	71 (100,0)	65 (91,5)	50 (70,4)
	Yaz (n=45)	3 (6,7)	0	45 (100,0)	8 (17,8)	0
	Senelik (n=116)	3 (2,6)	0	116 (100,0)	73 (62,9)	50 (43,1)
Sınıf 2	Kış (n=70)	0	0	39 (55,7)	57 (81,4)	21 (30,0)
	Yaz (n=45)	1 (2,2)	0	37 (82,2)	3 (6,7)	0
	Senelik (n=115)	1 (0,9)	0	76 (66,1)	60 (52,2)	21 (18,3)

Yapılan lojistik regresyon analizinde HBS pozitifliği, toplam ve raporlu devamsızlık bağımlı değişken olarak belirlendiğinde anlamlı bir model oluşturulamadı. Sene içerisinde en az bir kere SYE geçirme durumuna göre oluşturulan modelde, sigara içmenin SYE geçirme riskini 8,0 kat arttırdığı belirlendi (Çizelge 4.8.).

Çizelge 4. 10. En az bir defa SYE gelişimi üzerine geliştirilen lojistik regresyon modeli

	Tek değişkenli			Çok değişkenli		
	OR	%95 GA	p	OR	%95 GA	p
İHKİ	4,7	0,04-562,49	0,523	137,8	0,31-61404,76	0,113
Spor yapmamak	1,3	0,34-5,56	0,654			
Düzenli ilaç kullanımı	4,9	0,28-83,86	0,271			
Sigara kullanımı	3,9	1,05-14,81	0,041	8,0	1,55-41,57	0,013
Hane halkı sayısı	1,1	0,93-1,18	0,413			
Astım varlığı	3,3	0,68-15,71	0,139	4,9	0,87-27,86	0,071
Ev duvarlarında nem/küf varlığı	1,3	0,24-6,94	0,762			

Örneklemin genelinde sınıflardaki iç ortam hava kalitesi değişkenleriyle, SYE için ortalama kuluçka süresi kadar kabul edilen 3 gün sonraki hastalık raporlu devamsızlıkların ilgili sınıflardaki mevcutta oranlanan yüzdeleri arasındaki korelasyona bakıldığında, nem ve sıcaklık dışındaki tüm değişkenler için düşük derecede pozitif yönde korelasyon belirlendi.

Aynı hava kalitesi değişkenleriyle 3 gün sonraki genel devamsızlığın sınıflardaki mevcutta oranlanan yüzdeleri arasında ise anlamlı bir korelasyon saptanmadı ($p>0,05$) (Çizelge 4.9.).

Çizelge 4. 11. Sınıflardaki devamsızlık ile hava kalitesi değişkenleri arasındaki korelasyonun dağılımı

	Raporlu Devamsızlık (%)		Genel Devamsızlık (%)	
	r	p	r	p
Bağıl Nem	-0,005	0,940	-0,112	0,095
Sıcaklık	-0,107	0,108	-0,043	0,524
CO₂	0,134	0,044	-0,119	0,076
PM₁	0,208	0,002	0,001	0,998
PM_{2,5}	0,204	0,002	-0,017	0,805
PM₁₀	0,201	0,002	-0,011	0,867
İHKİ	0,206	0,002	-0,032	0,636

Okulun genelinde tüm ölçüm günleri esas alınarak, hava kalitesi değişkenlerinde belirlenen limit değerleri aşan günleri takip eden 3 gün sonraki raporlu ve toplam devamsızlıkların sınıf mevcutlarına oranlarının dağılımı Çizelge 4.10.'da verilmiştir. Sıcaklık değerleri tüm günlerde limit değerler içerisinde yer aldığından analize dahil edilmedi. CO₂ ve PM_{2,5}'un limiti aştığı günleri takip eden 3 gün sonraki raporlu devamsızlık yüzdelerinin, bu değerlerin limit altında kaldığı günleri takip eden 3 gün sonraki raporlu devamsızlık yüzdelerine göre daha yüksek olduğu görüldü (sırasıyla $p=0,041$ ve $p=0,023$).

Çizelge 4. 12. Hava kalitesi değişkenlerinde limit değerleri aşan günler sonrasında oluşan devamsızlıkların dağılımı

		Raporlu devamsızlık		Toplam devamsızlık	
		Ort+SS	p ¹	Ort+SS	p ¹
Bağıl Nem	Limit altı günler (n=227)	2,7+5,2	0,215	9,8+9,7	0,547
	Limit üstü günler (n=4)	7,7+8,8		7,7+10,8	
CO₂	Limit altı günler (n=39)	1,2+2,6	0,041	11,6+9,5	0,140
	Limit üstü günler (n=192)	3,2+5,6		9,3+9,7	
PM_{2,5}	Limit altı günler (n=98)	2,5+5,8	0,023	10,3+10,7	0,783
	Limit üstü günler (n=133)	3,1+4,9		9,3+8,9	
PM₁₀	Limit altı günler (n=160)	2,6+5,5	0,054	9,8+10,2	0,775
	Limit üstü günler (n=71)	3,2 +4,6		9,5+8,6	

¹ Mann-Whitney U testi

Okulun genelinde yıl boyu kaydedilen ölçümler baz alınarak iç ortam hava kalitesi değişkenlerinin birbirleriyle olan korelasyonuna bakıldığında bağıl nemin sıcaklıkla pozitif

yönde ve düşük orta derecede ($p<0,001$), PM'nin tüm türleriyle negatif yönde ve orta derecede ($p<0,001$); sıcaklığın CO₂ ile negatif yönde ve düşük derecede ($p=0,048$), PM'nin tüm türleriyle negatif yönde ve düşük derecede ($p<0,01$); CO₂'nin PM'nin tüm türleriyle pozitif yönde ve düşük derecede ($p<0,01$); PM'nin tüm türlerinin birbirleriyle pozitif yönde ve mükemmel derecede ($p<0,001$) korelasyon gösterdiği gözlemlendi (Çizelge 4.11.).

Çizelge 4. 13. Hava kalitesi değişkenlerinin korelasyonları

	Dönem	Sıcaklık (°C)		CO ₂ (ppm)		PM ₁ (µg/m ³)		PM _{2.5} (µg/m ³)		PM ₁₀ (µg/m ³)	
		r	p	r	p	r	p	r	p	r	p
Bağıl Nem (%)	Kış	0,321	0,006	0,176	0,136	-0,158	0,182	-0,193	0,101	-0,195	0,099
	Yaz	0,227	0,134	0,143	0,349	0,003	0,987	-0,003	0,984	-0,016	0,917
	Sene	0,396	<0,001	-0,052	0,573	-0,538	<0,001	-0,542	<0,001	-0,546	<0,001
Sıcaklık (°C)	Kış			-0,103	0,384	0,063	0,594	0,049	0,683	0,049	0,678
	Yaz			-0,043	0,777	-0,088	0,565	0,038	0,807	0,026	0,864
	Sene			-0,183	0,048	-0,275	0,003	-0,248	0,007	-0,253	0,006
CO ₂ (ppm)	Kış					-0,113	0,340	-0,120	0,313	-0,113	0,341
	Yaz					0,344	0,021	0,350	0,018	0,401	0,006
	Sene					0,246	0,007	0,247	0,007	0,258	0,005
PM ₁ (µg/m ³)	Kış							0,981	<0,001	0,980	<0,001
	Yaz							0,942	<0,001	0,941	<0,001
	Sene							0,987	<0,001	0,987	<0,001
PM _{2.5} (µg/m ³)	Kış									0,999	<0,001
	Yaz									0,991	<0,001
	Sene									0,999	<0,001

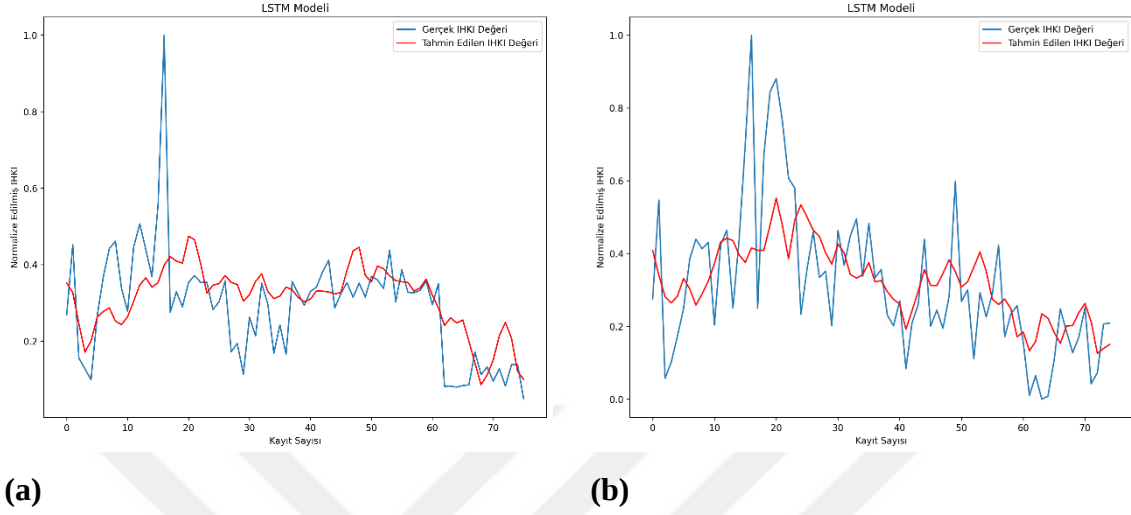
Yapay zekaya dayalı tahmin modelleriyle ilgili deneylere ait sonuçlar Çizelge 4.12.'te sunulmuştur.

Çizelge 4. 14. Tahmin modelinin veri setleri üzerinde elde ettiği deney sonuçları

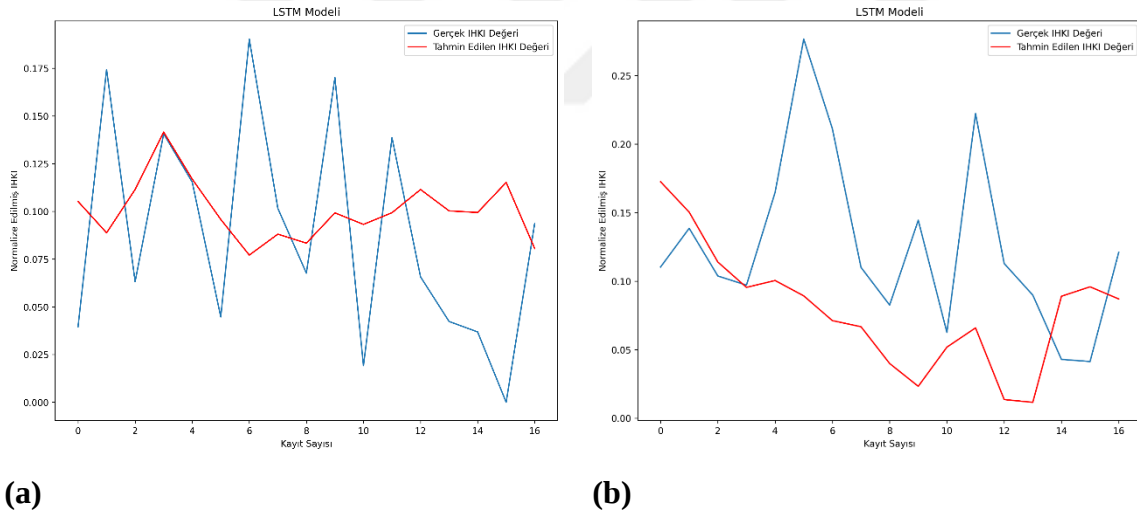
Veri Seti		MSE	RMSE	MAE	MDA
Sınıf-1	Eğitim	0.0252	0.1587	0.1218	0.7432
	Test Seti	0.0075	0.0868	0.0685	0.8125
Sınıf-2	Eğitim	0.0140	0.1183	0.0842	0.6533
	Test Seti	0.0038	0.0616	0.0514	0.8125

Sınıf-1 ve Sınıf-2 veri setlerinin deneysel sonuçlarının grafiksel gösterimleri eğitim ve test setleri için sırasıyla Şekil 4.1. ve Şekil 4.2.'de sunulmuştur. Mavi düz çizgi eğitim ve test

setinde kullanılan İHKİ gerçek değerini, kırmızı çizgi ise LSTM tahmin modeli tarafından tahmin edilen değeri temsil etmektedir.



Şekil 4. 1. Veri setlerine ait eğitim dönemi deney sonuçları (a) Sınıf-1, (b) Sınıf-2



Şekil 4. 2. Veri setlerine ait test dönemi deney sonuçları (a) Sınıf-1, (b) Sınıf-2

Samsun iline bağlı Vezirköprü ilçesinde bir lisede gerçekleştirilen bu çalışma ile sınıflardaki hava kalitesine yönelik olarak elde edilen sıcaklık, nem, CO₂, PM₁, PM_{2.5} ve PM₁₀ verileri özgün tasarımı hava kalitesi ölçüm sistemi ile gerçek zamanlı olarak ölçülmüştür. Böylece hava kalitesi değerlerinin gün içinde ve sene içindeki değişimlerinin sürekli izlenmesiyle anlık ölçümlere göre daha güvenilir veriler elde edilmiştir. Elde edilen veriler yapay zeka destekli LSTM yöntemi ile analiz edilerek %81.25'lik doğruluk oranıyla İHKİ değerinin

yükseleceği ya da düşeceği tahmin edilmiştir. Hava kalitesine yönelik değişkenlerin, senelik ve günlük olarak SYE, HBS ve devamsızlıklar üzerine etkisi çeşitli analizlerle incelenerek iç ortam hava kalitesinin öğrenci sağlığı üzerine etkisi belirlenmeye çalışılmıştır.

Çalışmamızda MM 060 NA School ölçeği kullanılarak araştırılan HBS prevalansı %8,9; genel semptomlardan en az birini son 3 ay içerisinde olmak kaydıyla her hafta yaşadığını belirtip bu durumun okulla ilgisini olduğunu düşünen öğrenci oranı %29,1; mukokutanöz semptomlardan en az birini yaşayan öğrenci oranı ise %10,1 olarak belirlenmişti. Literatürde HBS'nin doğrudan lise öğrencilerinde araştırıldığı çalışma sayısının kısıtlı olduğu görülmüştür. Türkiye'de ilköğretim öğrencilerinin yer aldığı bir çalışmada ise HBS prevalansı %10,2 düzeyinde bulunmuş, yine aynı çalışmada genel semptomlardan prevalansı %22,7; mukokutanöz semptom prevalansı ise %16,1 düzeyinde belirlenmiştir (Tekin ve Arıkan, 2023). Bu iki çalışmada yaş grupları farklı olsa da HBS prevalanslarının birbirine yakın düzeyde olduğu görülmüştür. HBS semptomlarının görülme sıklığına bakılacak olursa Muş'ta yer alan liselerde yapılan bir çalışmada en fazla görülen belirtilerin baş ağrısı ve yorgunluk olduğu (Yildiz, 2020), Kütahya'daki ilköğretim öğrencilerinde ise en sık görülen HBS semptomlarının yorgunluk, burun tıkanıklığı-akıntısı, öksürük ve baş ağrısı olarak sıralandığı görülmüştür (Tekin ve Arıkan, 2023). İran'da katılımcılar arasında lise öğrencilerinin de yer aldığı bir çalışmada en fazla görülen belirtilerin baş dönmesi ve yorgunluk olduğu tespit edilmiştir (Amouei et al., 2019). Okullarda HBS'nun araştırıldığı çalışmaları kapsayan bir derlemede en fazla saptanan belirtilerin baş ağrısı ve yorgunluk olduğu, bu belirtilere sebep olan ortam terk edildiğinde semptomların da kaybolduğu belirlenmiştir (Vesitara ve Surahman, 2019). Çalışmamızda ilk üç sırada yer alan yorgunluk, uykusuzluk ve baş ağrısı semptomlarının genel olarak literatürle uyumlu olduğu görülmüştür. Belirtilen semptomların HBS'nin tanı kriterlerinde yer aldığı gibi, genel popülasyonda da HBS'den bağımsız olarak birçok faktöre bağlı meydana gelebilmesi nedeniyle, bu durumun beklenen bir bulgu olduğu öne sürülebilir.

İran'da gerçekleştirilen çalışmada incelenen risk faktörleri arasında öğrenciler en fazla, sınıflarda ve okullarda gürültünün rahatsız edici bir faktör olduğundan şikayetçi olmuştur (Amouei et al., 2019). Benzer bir bulguya bizim çalışmamızda rastlanmış, okuldaki çevresel faktörlerden rahatsız olma sorgulandığında son üç ay içerisinde en fazla gürültünün kendilerini rahatsız ettiğini belirtmiştir. Okulun trafik ve bina yoğunluğunun az olduğu bir bölgede yer alması sebebiyle gürültünün yine öğrencilerden kaynaklandığı düşünülmektedir.

Okul gürültüsüne maruz kalmanın çocukların okuma ve hafıza gibi bilişsel becerilerinin yanı sıra standartlaştırılmış akademik test puanları üzerindeki etkisine dair güçlü kanıtlar bulunmaktadır (Stansfeld ve Clark, 2015). Bunun yanında gürültünün endokrin işlevler, kan basıncı, uyku ve ruhsal sağlık üzerine de olumsuz etkileri göz önüne alındığında hem çalışanların hem de öğrencilerin okullarda bu yönden risk altında olduğu açıktır. Okul çevresine yönelik düşünceler sorulduğunda ise öğrenciler okula ait ortamlardan en fazla tuvaletlerden rahatsız olduklarını belirtmişti. Muş'ta yer alan liselerde de benzer şekilde en fazla rahatsız olunan yerlerin koridorlar ve tuvaletler olduğu bulunmuştur (Yildiz, 2020). Tuvaletlerdeki rahatsız edici koku ve çevre faktörlerinin düzelmesi havalandırma, düzenli temizlik ve uygun tesisat malzemeleri kullanma gibi uygulamalarla başta idarenin görevi olsa da, temiz kullanım ve hijyen gibi konularda öğrencilerin eğitimi ihmal edilmemelidir. İngiltere'de ilkokullarda yapılan bir çalışmada tüm kentsel bölgede yer alan okullardaki ankete katılan öğrencilerin %9,2'si öznel hava kalitesini "kötü" veya "çok kötü" olarak değerlendirirken, kırsal kesimdeki okulda ankete katılan öğrencilerin çoğunluğu hava kalitesinden memnun veya çok memnun olduğu; yanıt verenlerin hiçbirinin memnuniyetsizlik ifade etmediği görülmüştür (Chatzidiakou, Mumovic, Summerfield, Hong ve Altamirano-Medina, 2014). Buna karşılık bizim çalışmamıza dahil edilen okul, şehir merkezinden uzakta bir noktada yer almasına rağmen öğrencilerin yarısından fazlası okul genelinde kötü hava kalitesine sahip alanlar olduğunu, %36,7'si sınıflardaki hava kalitesinin genel olarak çok kötü olduğunu düşündüklerini belirtmişlerdir.

Bu çalışmada okul genelinde yaz dönemi için bağıl nem ve sıcaklık değerlerinin, kış dönemi içinse CO₂, PM₁, PM_{2.5}, PM₁₀ ve İHKİ değerlerinin daha yüksek olduğu bulunmuştu. Bu durum özellikle CO₂ ve PM türleri yönünden literatürle benzerlik göstermektedir. Amerika'da tüm sınıflarda HVAC sisteminin kullanıldığı ilkokul, ortaokul ve liselerden 220 sınıfın dahil edildiği çalışmada kış aylarında iç mekan CO₂ konsantrasyonu 1.000 ile 2.000 ppm arasında olan ve 2.5 µm'den küçük PM'nin yüksek olduğu derslik sayısının sonbahar ve ilkbahar aylarına göre daha fazla olduğu görülmüştür (Deng ve Lau, 2019). İran'daki okullarda ortalama CO₂ konsantrasyonu ilkbaharda kışa göre daha düşük olduğu (Amouei et al., 2019), İtalya'da doğal havalandırmanın kullanıldığı ilkokullarda ortalama CO₂ konsantrasyonları kış dönemi değerlerinin, yaz dönemi değerlerinin 1,2 ila 3,5 katı olduğu gösterilmiştir (Stabile, Dell'Isola, Russi, Massimo ve Buonanno, 2017). Hindistan'daki okullarda ise PM konsantrasyonlarının kış mevsiminde, yaz mevsimine göre daha yüksek olduğu bulunmuştur (Chithra ve Shiva Nagendra, 2012). Balıkesir ve Antalya illerindeki ilk,

orta ve yüksek okullarda yapılan CO₂, bağıl nem ve sıcaklık ölçüm değerleri ve bunların aylara göre değişimlerinin incelendiği çalışmada lise binalarında kirlilik seviyesinin daha yüksek olduğu, havalandırmanın nispeten yetersiz olduğu Ocak ayı değerlerinin daha yüksek olduğu bulunmuştur. İç mekanlarda önerilen CO₂ sınır değeri olan 1.000 ppm değerinin en fazla Ocak ayında aşıldığı bulunmuştur (Bulgurcu, İlten ve Coşgun, 2003). Kış aylarında havaların soğumasıyla beraber pencerelerin daha az açılması ve bunun sonucunda havalandırmanın daha az sağlanması sonucunda bu durumun beklenen bir bulgu olduğu söylenebilir. İç ortam kirleticilerinin doğrudan etkileri ve yetersiz havalandırmanın da kolaylaştırıcı etkisiyle solunum yoluyla bulaşan enfeksiyon etkenlerinin kış aylarında daha fazla görüldüğü göz önüne alınırsa ders aralarında mutlaka etkin bir havalandırmanın sağlanması gerekmektedir.

Çalışmamızda uluslararası rehberlere göre belirlenen limit değerler baz alındığında okul genelinde tüm günlerde sıcaklığın belirlenen limit değerler olan 19,4-27,7 °C aralığında yer aldığı, senelik ortalamasının 24,8 °C gibi oldukça ideal bir değer olarak hesaplandığı görüldü. Bağıl nemin ise tamamı yaz döneminde olmak üzere yalnızca 4 gün boyunca limit değer olan %65'i aştığı, senelik ortalamasının %47,6 düzeyinde olduğu belirlendi. Bu bağlamda sınıfların konfor parametreleri açısından uygun olduğunu söylemek mümkündür. Ancak iç ortam kirleticileri incelendiğinde CO₂ Sınıf 1'de tüm günlerde, Sınıf 2'de senenin %66,1'inde 1.000 ppm düzeyini aşmış ve okul genelinde sene ortalaması 1.433 olarak hesaplanmıştı. Benzer durum PM için de söz konusudur. Özellikle kış döneminde her iki sınıfta PM_{2.5} ve PM₁₀ limit değerleri daha fazla geçmiş ve senelik ortalamalarda PM_{2.5} 15 µg/m³ değerinin üzerinde yer almıştır. İngiltere'de ilkokullarda yapılan çalışmada tüm sınıflarda PM'ye maruz kalma oranının yüksek olduğu, iç mekan sıcaklıklarının çeyrekler arası aralıkları tüm sınıflarda 19,1 °C ila 24,6 °C arasında değiştiği ve bağıl nem gibi kabul edilebilir aralıkta olduğu bulunmuştur (Chatzidiakou et al., 2014). Fransa'da ilkokullarda yapılan çalışmada genel olarak, çocukların yaklaşık üçte birinin, DSÖ'nün PM_{2.5} için belirttiği standartlara göre yüksek konsantrasyonlarda hava kirleticilere maruz kaldığı bulunmuştur (Annesi-Maesano et al., 2012) . Kuveyt'te yürütülen araştırma 46 okuldan 25'inin, yani %54'ünün, izin verilen limiti aşan önemli düzeyde PM₁₀'a sahip olduğunu göstermektedir (Vesitara ve Surahman, 2019). İran'da yapılan çalışmada farklı eğitim seviyelerinde, CO₂ konsantrasyonunun çoğu sınıfta kış ve ilkbahar olmak üzere iki mevsim boyunca yüksek olduğu gösterilmiştir (Amouei et al., 2019). Hindistan'da yapılan çalışmada, okullarda ölçülen CO₂ konsantrasyonlarının her zaman 1.000 ppm'in altında

olduğu ancak çoğu gün iç mekan PM_{10} ve $PM_{2.5}$ seviyelerinin 24 saatlik ortalamayı aştığı tespit edilmiştir (Chithra ve Shiva Nagendra, 2012). Portekiz'deki ilkokullarda tüm sınıflarda $PM_{2.5}$ ve PM_{10} değerlerinin Dünya Sağlık Örgütü tarafından o dönemde önerilen $25 \mu g/m^3$ ve $50 \mu g/m^3$ kılavuz değerlerini aştığını; sınıfların %86'sında ise ortalama CO_2 konsantrasyonunun 1.000 ppm'in üzerinde olduğu belirlenmiştir (Madureira, Paciência, Pereira, Teixeira ve Fernandes, 2016). Gerek çalışmamızdan gerekse daha önce farklı ülkelerde yapılan çalışmalardan elde edilen bulgular göstermektedir ki, farklı seviyelerdeki okulların genelinde sıcaklık ve nem gibi konfor parametreleri genel olarak istenilen düzeylerde tutulabilmekte ancak CO_2 ve PM değerleri limit değerleri çoğunlukla aşmaktadır. Sınıflarda gerekli olan etkin havalandırmanın doğal havalandırma yoluyla manuel olarak sağlanmasının çeşitli dezavantajları bulunabilmektedir. Havalandırmaya gereken önemin verilmemesi veya iç ortam sıcaklık dengesinin bozulmaması için bilerek pencerelerin açılmaması bu durumun ortaya çıkmasında önemli bir faktör gibi gözükmektedir. Bu ve benzeri sorunların çözümü için sınıflarda da iç ortam hava kalitesini algılayarak otomatik bir şekilde devreye giren iklimlendirme teknolojilerinin kullanımı hayata geçirilebilir. Danimarka'da yapılan bir çalışmada manuel olarak çalıştırılabilen pencereleri olan sınıfın, en yüksek karbon dioksit konsantrasyon seviyelerine sahip olduğu, incelenen tüm sınıflar arasında otomatik olarak çalıştırılabilen pencerelere, egzoz fanına ve mekanik havalandırma sistemlerine sahip sınıfların, ısıtma mevsiminde en iyi termal ortamı ve hava kalitesini elde ettiği belirlenmiştir (Gao, Wargocki ve Wang, 2014).

İç ortam hava kalitesi ile HBS, SYE ve devamsızlık arasındaki nedensel ilişkiye yönelik olarak, yapılan çeşitli çalışmalarda; Kütahya'daki ilköğretim okullarında HBS ile artan PM değerleri arasında ilişki olduğu belirlenmiş ancak CO_2 ile HBS arasında anlamlı bir ilişki saptanamamıştır (Tekin ve Arıkan, 2023). İran'da okullarda yürütülen çalışmada maruz kalınan CO_2 ve sıcaklık düzeyi arttıkça HBS belirtilerinin daha fazla görüldüğü belirlenmiştir (Amouei et al., 2019). İngiltere'deki ilkokullarda tüm sınıflarda PM'ye maruz kalma oranının artmış mukozal semptomlarla, yüksek iç mekan CO_2 seviyelerinin genel semptomlarla ilişkili olduğu görülmüştür (Chatzidiakou et al., 2014). Çalışmamızın primer amacı sınıflardaki iç ortam hava kalitesinin; HBS, SYE ve devamsızlık üzerine etkisinin belirlenmesiydi. Bu ilişki çeşitli analizlerle incelenmiş ve yapılan binomial lojistik regresyon analizinde yalnızca SYE gelişimi üzerine anlamlı bir model geliştirilebilmişti. Bu analizde de SYE gelişimi üzerine etkisi olduğu bilinen değişkenler ve tek değişkenli analizde anlamlı fark çıkan değişkenler çok değişkenli analize dahil edilmiş, yalnızca sigara içmenin SYE

gelişim riskini 8,0 kat arttırdığı belirlenmişti. Tütün ürünlerinin SYE gelişimini arttırdığı çok uzun süredir bilinen ve kabul edilmiş bir ilişkidir (Jiang, Chen ve Xie, 2020). Ancak çalışmamızın önemli bir kısıtlılığı olan dar örneklem çerçevesi iç ortam hava kalitesinin; HBS, SYE ve devamsızlık üzerindeki etkisinin çok değişkenli analizlerde ortaya çıkmamasına sebep olmuş olabilir. Bu sebeple ölçüm yapılan gün bazında her bir gün için ölçülen ortalama hava kalitesi değişkenleri ile devamsızlık arasındaki ilişkiye bakmak bu çalışma için daha doğru olacaktır. İç ortamdaki hava kalitesinin predispozan etkisi sonucunda ortaya çıkacak bir SYE ve bu hastalık sonucunda meydana gelecek devamsızlık belirli bir inkübasyon periyodu sonrasında meydana gelecektir. Bu her hastalık için farklı olmakla beraber bu çalışma için sık görülen bir SYE etkeni olan influenza hastalığı için kabul edilen 1-4 günlük kuluçka süresinin (CDC, 2024) ortanca süresi olan 3 günlük süre esas alındı. Böylece sınıflardaki iç ortam hava kalitesi ile 3 gün sonraki devamsızlıklar arasındaki ilişkiye bakıldığında genel devamsızlıklar ile anlamlı bir ilişki bulunamamış, raporlu devamsızlıklar ve nem ve sıcaklık dışındaki tüm değişken arasında düşük derecede pozitif yönde korelasyon belirlenmişti. Yani CO₂ ve PM düzeylerindeki artış 3 gün sonraki raporlu devamsızlığı düşük düzeyde arttırmaktadır. Bu ilişkiyle ilgili olarak yapılan diğer bir analizde de, CO₂ ve PM_{2.5}'in limiti aştığı günleri takip eden 3 gün sonraki raporlu devamsızlıkların, bu değerlerin limit altında kaldığı günleri takip eden 3 gün sonraki raporlu devamsızlıklara göre daha yüksek olduğu görülmüştü. Çalışmamızda yer alan bu analizleri destekleyen bir bulgu olarak, sınıflar arasında günlere göre hava kalitesi değişkenleri ve her bir tarihteki raporlu ve toplam devamsızlıkların sınıf mevcuduna oranları arasındaki farka bakıldığında, sıcaklık ve toplam devamsızlık yüzdesinin Sınıf 2'de; CO₂, PM türlerinin, İHKİ ve raporlu devamsızlık yüzdesinin Sınıf 1'de daha yüksek olduğu görülmüştü. Bu üç analiz bir arada incelendiğinde, CO₂ ve PM türlerinin sınıf iç ortamındaki artışını, raporlu devamsızlıkların meydana gelmesinde bir etken olarak ele alabiliriz. Okullarda iç ortam hava kalitesi ile devamsızlık arasındaki ilişkinin incelendiği çalışmalarda birbirinden farklı sonuçlar dikkat çekmektedir. Amerika'da 85 adet ilkokul sınıfında gerçekleştirilen çalışmada, ısıtmanın olmadığı dönemde, çapı 2,5 µm'den küçük olan PM yönünden hastalıkla bağlantılı devamsızlıklarda %3'lük bir artış tahmin edildiği; ısıtma sezonu boyunca ise sınıf ortalama CO₂ konsantrasyonunun 100 ppm artmasıyla hastalıkla bağlantılı devamsızlıklarda %3'lük bir artış beklendiği bulunmuştur (Deng, Zou ve Lau, 2021). Yine aynı ülkede ilkokulların dahil edildiği çalışmada ise genel veya hastalık nedeni devamsızlık ile CO₂, sıcaklık, bağıl nem, toz gibi iç ortam hava kalitesi parametreleri arasında anlamlı bir ilişki bulunamamıştır (Haverineny-Shaughnessy, Shaughnessy, Cole, Toyinbo ve

Moschandreas, 2015). İskoçya’da gerçekleştirilen çalışmada ilkokullarda her 100 ppm’lik CO₂ artışı, yıllık devam oranında %0,2 düzeyinde azalmasıyla ilişkilendirilmiş; iç mekan sıcaklığı ve bağıl nemin, devamsızlıkla ilişkisi bulunamamıştır (Gaihre, Semple, Miller, Fielding ve Turner, 2014).

Okulun genelinde yıl boyu kaydedilen ölçümlerin sonucunda bağıl nemin sıcaklıkla pozitif, PM’nin tüm türleriyle negatif yönde; sıcaklığın CO₂ ve PM’nin tüm türleriyle negatif yönde; CO₂’nin PM’nin tüm türleriyle pozitif yönde ve PM’nin tüm türlerinin birbirleriyle pozitif yönde korelasyon gösterdiği bulunmuştur. Avrupa’da 23 ülkeden 54 şehirde 115 okulun dahil edildiği geniş kapsamlı bir çalışmada da bağıl nem dışındaki korelasyon analizleri çalışmamıza benzer bulunmuş; CO₂ ve PM_{2.5} arasında pozitif, sıcaklık ile CO₂ ve PM_{2.5} arasında negatif yönde ilişki belirlenmiştir. Ancak bağıl nem ile sıcaklık arasında negatif ve üstelik iyi derecede korelasyon saptanmıştır (Baloch et al., 2020). Amerika’da tüm sınıflarda HVAC sisteminin kullanıldığı ilkokul, ortaokul ve liselerde senenin genelini yansıtan korelasyon analizlerinde bağıl nem ve sıcaklık arasında negatif bir yönde korelasyon belirlenirken; sıcaklık, CO₂ ve PM_{2.5} değişkenleri arasında herhangi anlamlı bir korelasyon gözlenmemiştir (Deng ve Lau, 2019). Hindistan’da yapılan çalışmada, okullarda hafta içi günlerde PM₁₀ konsantrasyonları ile sıcaklık, nem ve CO₂ arasında anlamlı bir ilişki gözlenmemiştir (Chithra ve Shiva Nagendra, 2012). Portekiz’deki ilkokullarda literatürle benzer ve çalışmamızdan farklı olarak bağıl nem ile sıcaklık arasında negatif yönde bir ilişki bulunmuş, çalışmamıza benzer bir bulgu olarak da bağıl nem ve PM türleri arasında negatif; sıcaklık ve CO₂ arasında da negatif yönde bir ilişki belirlenmiştir (Madureira et al., 2016). Görüldüğü üzere iç okullardaki iç ortam hava kalitesi parametrelerinin kendi aralarındaki korelasyonları yönünden çalışmamızla literatür bulguları, bağıl nem ve sıcaklık ilişkisi dışında benzerdir. Bu çalışmada bağıl nem ve sıcaklık arasında belirlenen pozitif yöndeki ilişki Türkiye’nin sene boyu ölçülen meteorolojik verileriyle de çelişmektedir. Ülkede genel olarak bağıl nemin yaz aylarında düştüğü yani sıcaklıkla ters ilişkili olduğu görülmektedir (MGM, 2024). Sıcaklık ile CO₂ ve PM türleri arasındaki negatif ilişkinin sebebinin, kış mevsiminde azalan sıcaklıklara bağlı olarak doğal havalandırmanın daha az sağlanmasına bağlı olduğunu düşünmekteyiz. Bunun daha önce yapılan çalışmalarda belirlenmesi ve kendi çalışmamızda da kış döneminde ile CO₂ ve PM türlerinin daha yüksek düzeye saptanması sebebiyle beklenen bir bulgu olduğunu öne sürebiliriz. İlginç olan bulgu ise bağıl nem ile tüm PM türleri arasında negatif yönde ve orta derecede korelasyonun belirlenmesiydi. Her ne kadar ASHRAE iç ortamda bağıl nem oranını alt sınır olmadan en fazla %65 düzeyinde

önerse de (ANSI/ASHRAE, 2022), gereğinden fazla kuru ortam PM türevlerinde artışa yol açabilir. Bu amaçla yapılacak çalışmalarla bağlı nemin alt sınırının da belirlenmesi faydalı olabilir. Çalışmamızda PM türlerinin (PM_{10} , $PM_{2.5}$ ve PM_{10}) kendi aralarında mükemmel derecede korelasyon göstermesi cihazın tutarlı ve doğru bir şekilde ölçüm yaptığının göstergesi olarak görülebilir.

Yapay zekaya dayalı tahmin modelleriyle ilgili deneylere ait sonuçlar değerlendirilecek olursa, LSTM tahmin modelinin Sınıf-2 veri setine daha iyi uyum gösterdiğini ve daha düşük hata oranları elde ettiğini görebilmekteyiz. Tahmin modelinin ortalama tahmin doğruluğu konusunda Sınıf-1 veri setinin eğitim döneminde daha iyi performans göstermesine rağmen test döneminde her iki veri seti için de %81.25'lik doğruluk oranını elde edilmiştir. Bu doğruluk oranı, 3 günlük geriye bakış penceresi dikkate alınarak bir sonraki günde İHKİ değerinin yükseleceğini ya da düşeceğini tahmin etmesi sonucu hesaplanmıştır. Yüksek oranlı tahmin sonucu, sınıf ortamı gibi iç mekanlarda sağlıklı bir eğitim öğretim sürecinin sağlanması ve planlanması için son derece önemlidir. Çalışmada kullanılan zaman periyodu kısaltılarak iç mekan hava kalite indeksi ders esnasında yükselmesi ve belirlenen bir eşik değerini geçmesi gibi bir durumda, oluşturulan LSTM tahmin modeli ile uygun İHKİ değerlerinin sağlanmasına yönelik IoT (Internet of Things) tabanlı sistemleri hazırlamak mümkündür. Bunun yanında tahmin modeli iç mekanların fiziki durumu ve İHKİ değerleri göz önüne alınarak ders/etkinlik sürelerinin belirlenmesi ya da teneffüs vakitlerinin verimli planlamasına yardımcı sistemler haline getirebilir.

Çalışmanın en güçlü yanı iki ayrı sınıfta toplamda 118 gün boyunca CO_2 , sıcaklık, nem ve PM değerlerinin sürekli ölçüm ile kaydedilmesi, bu verilerin anlık değişiminin izlenmesi ve günlük, dönemlik ve senelik ortalamalarının alınarak anlık ölçümlere göre iç ortam hava kalitesine yönelik daha güvenilir sonuçlar sunmasıydı. Böylece günlere ve mevsimlere göre iç ortam hava kalitesinin değişimi ve bu faktörlerin devamsızlık üzerine etkileri gün bazlı olarak incelenebilmiş oldu.

Bunun yanında çalışmanın birkaç tane kısıtlılığı da bulunmaktadır. Bunlardan en önemlisi verilerin şehir yerleşkesinden uzakta yer alan tek bir okulda toplanması, nispeten az örneklem sayısı ve örneklemin yalnızca erkeklerden oluşmasıdır. Diğer önemli kısıtlılıklar arasında ise devamsızlıkların tarihe göre analiz edilmesine rağmen, SYE ve HBS

semptomlarının tarihe göre analiz edilememesi ve iç ortam hava kalitesini değerlendirirken bu verilerin dış ortam hava kalitesi ile ilişkisinin belirlenememesi yer almaktadır.

Sonuç olarak iç ortam hava kalitesinin SYE ve HBS gelişimi üzerine anlamlı bir etkisi bulunamamış ancak CO₂ ve PM türlerinin artışının, raporlu devamsızlıkları düşük düzeyde arttırdığı gözlenmiştir. Sıcaklık ve nem gibi konfor parametreleri genel olarak istenilen düzeylerde tutulabilmiş ancak CO₂ ve PM_{2.5} değerleri özellikle kış mevsiminde olmak üzere limit değerlerin üzerinde seyretmiştir. Havalandırmaya gereken önemin verilmemesi veya iç ortam sıcaklık dengesinin bozulmaması için pencerelerin açılmaması gibi sorunların çözümü için sınıflarda da iç ortam hava kalitesini algılayarak otomatik bir şekilde devreye giren ısıtma, havalandırma ve iklimlendirme sistemlerinin kullanımı hayata geçirilebilir. Böylece mahal tipine, mahaldeki insan sayısına ve alanın büyüklüğüne bağlı olarak gerekli temiz hava miktarı ASHRAE 62-1 Havalandırma için kabul edilebilir iç hava kalitesi standartlarına uygun hesaplanarak havalandırma debisi prosedürü uygulanabilir. Bununla birlikte, modifiye edilmiş Wells-Riley denklemi ve ASHRAE 62.1'deki belirtilen ofisler için gerekli havalandırma debisi hesabı ile solunum yolu ile bulaşan enfeksiyonların bulaş riski oranları gerçek zamanlı olarak hesaplanabilir. Kapalı mekanlarda iç hava kalitesi influenza gibi salgın dönemlerinde salgının etkisinin azaltılması, normal dönemlerde ise çalışan sağlığını ve konforunu artırmak için termal konfor analizi bu sisteme uyarlanabilir. Ayrıca, ısıtma, havalandırma ve iklimlendirme sistemlerinden kaynaklı enerji tüketiminin ve karbon salınımının azaltılması yönelik senaryolar geliştirilerek otomasyon sistemleri ile enerji verimliliği sağlanabilir.

KAYNAKLAR

- Amouei, A., Aghalari, Z., Zarei, A., Afsharnia, M., Geraili, Z., and Qasemi, M. (2019). Evaluating the relationships between air pollution and environmental parameters with sick building syndrome in schools of Northern Iran. *Indoor and Built Environment*, 28(10), 1422–1430.
- Andersson. (1985). The MM Questionnaires. URL: <http://www.mmquestionnaire.se/mmquestionnaire.html>. Son Erişim Tarihi: 19.05.2024.
- Annesi-Maesano, I., Hulin, M., Lavaud, F., Raherison, C., Kopferschmitt, C., de Blay, F., Charpin, D. A., and Denis, C. (2012). Poor air quality in classrooms related to asthma and rhinitis in primary schoolchildren of the French 6 Cities Study. *Thorax*, 67(8), 682–688.
- ANSI/ASHRAE. (2022). Ventilation and Acceptable Indoor Air Quality. URL: <https://webstore.ansi.org/standards/ashrae/ansiashrae622022>. Son Erişim Tarihi: 19.04.2024.
- Arıkan, İ., ve Tekin, Ö. F. (2020). Partiküler Madde Ve Karbondioksit İçin İç Ortam Hava Kalitesi İndeksi (İhki) Hesaplaması: Okul Örneği / Calculation Of Indoor Air Quality Index (Iaqi) For Particulate Matter And Carbondioxide: A School Sample. *ESTÜDAM Halk Sağlığı Dergisi*, 5(2), 188–195.
- Baloch, R. M., Maesano, C. N., Christoffersen, J., Banerjee, S., Gabriel, M., Csobod, É., de Oliveira Fernandes, E., Annesi-Maesano, I., Szuppinger, P., and Prokai, R. (2020). Indoor air pollution, physical and comfort parameters related to schoolchildren's health: Data from the European SINPHONIE study. *Science of the Total Environment*, 739, 139870.
- Balta, D. (2019). *Dağıtık Sensör Sistemleri Mimarisi İle Bulanık Mantık Temelli Ve Çevrimiçi Kapalı Ortam Hava Kalitesi İzleme Sistemi Geliştirilmesi*. Yayımlanmamış Doktora Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.
- Berbero, U., ve Motör, D. (2011, 13-16 Nisan). Edirne'de Bir Dokuma-Konfeksiyon İşletmesinde İç Ortam Hava Kalitesinin Değerlendirilmesi–2010. *X. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi*, İzmir.
- Bulgurcu, H., İlten, N., ve Coşgun, A. (2003). Okullarda İç Hava Kalitesi Problemleri Ve Çözümler. *VII. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi Ve Sergisi*, İzmir.
- Bulunuz, M., ve Özgür, K. (2021). Analysis of Parental Opinions on Sound and Noise Pollution in Learning Environments. *Journal of Family Counseling and Education*, 6(2), 1–32.
- CDC. (2024, Mart 22). Key Facts About Influenza (Flu). URL: <https://www.cdc.gov/flu/about/keyfacts.htm>. Son Erişim Tarihi: 19.04.2024.
- Chatzidiakou, L., Mumovic, D., Summerfield, A. J., Hong, S. M., and Altamirano-Medina, H. (2014). A Victorian school and a low carbon designed school: Comparison of

- indoor air quality, energy performance, and student health. *Indoor and Built Environment*, 23(3), 417–432.
- Chirico, F., Ferrari, G., and Taino, G. (2017). Prevalence and risk factors for Sick Building Syndrome among Italian correctional officers: A pilot study. *Journal of Health and Social Sciences*.
- Chithra, V. S., and Shiva Nagendra, S. M. (2012). Indoor air quality investigations in a naturally ventilated school building located close to an urban roadway in Chennai, India. *Building and Environment*, 54.
- Cincinelli, A., and Martellini, T. (2017). Indoor Air Quality and Health. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 14(11), 1286.
- Testo. (2018). CO2 izleme ve iç hava kalitesi. URL: <https://static.testo.com/image/upload/v1702468806/TR/Whitepaper-testo-160-IAQ-TR.pdf>. Son Erişim Tarihi: 19.04.2024.
- Demirci, E., ve Karaatlı, M. (2023). Kripto Para Fiyatlarının LSTM Ve GRU Modelleri İle Tahmini. *Journal of Mehmet Akif Ersoy University Economics and Administrative Sciences Faculty*, 10(1), 134–157.
- Deng, S., and Lau, J. (2019). Seasonal variations of indoor air quality and thermal conditions and their correlations in 220 classrooms in the Midwestern United States. *Building and Environment*, 157, 79–88.
- Deng, S., Zou, B., and Lau, J. (2021). The adverse associations of classrooms' indoor air quality and thermal comfort conditions on students' illness related absenteeism between heating and non-heating seasons—A pilot study. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(4), 1500.
- Dokuz, Y., Bozdağ, A., ve Gökçek, B. (2020). Hava Kalitesi Parametrelerinin Tahmini Ve Mekansal Dağılımı İçin Makine Öğrenmesi Yöntemlerinin Kullanılması. *Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 9(1), 37–47.
- Gaihre, S., Semple, S., Miller, J., Fielding, S., and Turner, S. (2014). Classroom Carbon Dioxide Concentration, School Attendance, and Educational Attainment. *Journal of School Health*, 84(9), 569–574.
- Gao, J., Wargocki, P., and Wang, Y. (2014). Ventilation System Type and the Resulting Classroom Temperature and Air Quality During Heating Season. In A. Li, Y. Zhu, and Y. Li (Eds.), *Proceedings of the 8th International Symposium on Heating, Ventilation and Air Conditioning* (Vol. 261, pp. 203–214). Springer Berlin Heidelberg.
- Goromosov, M. S., and Organization, W. H. (1968). The physiological basis of health standards for dwellings. *World Health Organization. Geneva:World Health Organization*, 99.
- Haagen-Smit, A. J., and Fox, M. M. (1954). Photochemical Ozone Formation with Hydrocarbons and Automobile Exhaust. *Air Repair*, 4(3), 105–136.

- Haverineny-Shaughnessy, U., Shaughnessy, R. J., Cole, E. C., Toyinbo, O., and Moschandreas, D. J. (2015). An assessment of indoor environmental quality in schools and its association with health and performance. *Building and Environment*, 93, 35–40.
- Hochreiter, S., and Schmidhuber, J. (1997). Long Short-Term Memory. *Neural Computation*, 9(8), 1735–1780.
- Hunt, K. M. R., Matthews, G. R., Pappenberger, F., and Prudhomme, C. (2022). Using a long short-term memory (LSTM) neural network to boost river streamflow forecasts over the western United States. *Hydrology and Earth System Sciences*, 26(21), 5449–5472.
- Jadidi, A., Menezes, R., De Souza, N., and De Castro Lima, A. C. (2018). A Hybrid GA–MLPNN Model for One-Hour-Ahead Forecasting of the Global Horizontal Irradiance in Elizabeth City, North Carolina. *Energies*, 11(10), 2641.
- Jiang, C., Chen, Q., and Xie, M. (2020). Smoking increases the risk of infectious diseases: A narrative review. *Tobacco Induced Diseases*, 18, 2070-7266.
- Kandiş, H., Katırcı, Y., ve Karapolat, B. S. (2009). Karbonmonoksit Zehirlenmesi. *Duzce Medical Journal*, 11(3), 54-60.
- Kevin, C., and Charles, Y. A. (2013, March). Investigation into the Effects of Sick Building Syndrome on Building Occupants: A Case Study of Commercial Bank Buildings in Awka Nigeria. *International Journal of Engineering Research and Development*.
- Khan, A. U., Khan, M. E., Hasan, M., Zakri, W., Alhazmi, W., and Islam, T. (2022). An Efficient Wireless Sensor Network Based on the ESP-MESH Protocol for Indoor and Outdoor Air Quality Monitoring. *Sustainability*, 14(24), 16630.
- Kiremit, B. Y. (2018). Hasta Bina Sendromunun Sağlık Çalışanları Üzerine Etkileri. *Hitit Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 11(1), 665–682.
- Kuşcu, E. (2020). *Sınıflardaki hava kalitesinin öğrenme üzerine etkisi* (Tez No. 534607)[Yüksek Lisans Tezi, Kastamonu Üniversitesi]. YÖK Tez Merkezi. <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/giris.jsp>
- Madureira, J., Paciência, I., Pereira, C., Teixeira, J. P., and Fernandes, E. de O. (2016). Indoor air quality in Portuguese schools: Levels and sources of pollutants. *Indoor Air*, 26(4), 526–537.
- Mainka, A., and Zajusz-Zubek, E. (2015). Indoor Air Quality in Urban and Rural Preschools in Upper Silesia, Poland: Particulate Matter and Carbon Dioxide. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 12(7), 7697–7711.
- İnternet: Meteoroloji Genel Müdürlüğü. (2024). 2023 Yılı Ortalama Nem Değerleri. URL: <https://www.mgm.gov.tr/FILES/resmi-istatistikler/parametreAnalizi/2023-ortalama-nem.pdf>. Son Erişim Tarihi: 19.05.2024.
- Niu, W., Lu, J., and Sun, Y. (2021). A Production Prediction Method for Shale Gas Wells Based on Multiple Regression. *Energies*, 14(5), 1641.

- Nosratabadi, S., Mosavi, A., Duan, P., Ghamisi, P., Filip, F., Band, S. S., Reuter, U., Gama, J., and Gandomi, A. H. (2020). Data Science in Economics: Comprehensive Review of Advanced Machine Learning and Deep Learning Methods. *Mathematics*, 8(10), 1799.
- Özdeş, H. (2019). *İç ortam hava kalitesi bakımından farklı yerleşim birimlerinde CO2 düzeylerinin belirlenmesi ve incelenmesi* (Tez No.598460) [Yüksek Lisans Tezi, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi]. YÖK Tez Merkezi. <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/giris.jsp>
- Ozkok, F. O., ve Celik, M. (2022). A hybrid CNN-LSTM model for high resolution melting curve classification. *Biomedical Signal Processing and Control*, 71, 103168.
- Ramallo, O., Wyart, Amouei, A., Aghalari, Z., Zarei, A., Afsharnia, M., Geraili, Z., and Qasemi, M. (2019). Evaluating the relationships between air pollution and environmental parameters with sick building syndrome in schools of Northern Iran. *Indoor and Built Environment*, 28(10), 1422–1430.
- Ramallo, O., Wyart, G., Mandin, C., Blondeau, P., Cabanes, P.-A., Leclerc, N., Mullot, J.-U., Boulanger, G., and Redaelli, M. (2015). Association of carbon dioxide with indoor air pollutants and exceedance of health guideline values. *Building and Environment*, 93, 115–124.
- Rogulski, M., Badyda, A., Gayer, A., and Reis, J. (2022). Improving the Quality of Measurements Made by Alphasense NO2 Non-Reference Sensors Using the Mathematical Methods. *Sensors*, 22(10), 3619.
- Rüzgar, D. G., and Altun, Ş. (2016). Tekstil Malzemeleri ile Kapalı Alan Hava Kalitesinin İyileştirilmesi. *Tekstil ve Mühendis*, 23(104), 288–296.
- Sağlam, S. (2019). *Farklı mekanlarda hava kalitesinin incelenmesi* (Tez No. 558843) [Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi]. YÖK Tez Merkezi. <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/giris.jsp>
- Sarıkoç, M., ve Çelik, M. (2022). Boyut İndirgeme Teknikleri ve LSTM Derin Öğrenme Ağı İle BIST100 Endeksi Fiyat Tahmini. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 34, 519–524.
- Selvin, S., Vinayakumar, R., Gopalakrishnan, E. A., Menon, V. K., and Soman, K. P. (2017). Stock price prediction using LSTM, RNN and CNN-sliding window model. 2017 International Conference on Advances in Computing, *Communications and Informatics (ICACCI)*, 1643–1647.
- Sethia, A., and Raut, P. (2019). Application of LSTM, GRU and ICA for Stock Price Prediction. In S. C. Satapathy and A. Joshi (Eds.), *Information and Communication Technology for Intelligent System*. Springer. Singapur.
- Stabile, L., Dell’Isola, M., Russi, A., Massimo, A., and Buonanno, G. (2017). The effect of natural ventilation strategy on indoor air quality in schools. *Science of The Total Environment*, 595, 894–902.

- Stansfeld, S., and Clark, C. (2015). Health Effects of Noise Exposure in Children. *Current Environmental Health Reports*, 2(2), 171–178.
- Tekin, Ö. F., ve Arıkan, İ. (2023). Evaluation Of The Relationship Between Sick Building Syndrome Prevalence And Indoor Air Quality In Schools. *ESTÜDAM Halk Sağlığı Dergisi*, 8(1), 42–53.
- Thakkar, A., and Chaudhari, K. (2021). A comprehensive survey on deep neural networks for stock market: The need, challenges, and future directions. *Expert Systems with Applications*, 177, 114800.
- Thangavel, P., Park, D., and Lee, Y. C. (2022). Recent Insights into Particulate Matter (PM_{2.5})-Mediated Toxicity in Humans: An Overview. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(12), 7511.
- Tran, V. V., Park, D., and Lee, Y. C. (2020). Indoor air pollution, related human diseases, and recent trends in the control and improvement of indoor air quality. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(8), 2927.
- Tschofen, P., Azevedo, I. L., and Muller, N. Z. (2019). Fine particulate matter damages and value added in the US economy. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 116(40), 19857–19862.
- Üçgün, H., Gömbeci, F., Yüzgeç, U., ve Yalçın, N. (2020). IoT Tabanlı Platform ile Gerçek Zamanlı İç Ortam Hava Kalitesi İzleme Sistemi. *Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 7(1), 370–381.
- Ünaldı, S., ve Yalçın, N. (2022). Hava Kirliliğinin Makine Öğrenmesi Tabanlı Tahmini: Başakşehir Örneği. *Mühendislik Bilimleri ve Araştırmaları Dergisi*, 4(1), 55–44.
- İnternet: US EPA, O. (2014a, April 10). NAAQS Table [Other Policies and Guidance]. URL: <https://www.epa.gov/criteria-air-pollutants/naaqs-table>. Son Erişim Tarihi: 22.04. 2024
- İnternet: US EPA, O. (2014b, August 14). Introduction to Indoor Air Quality [Collections and Lists]. URL: <https://www.epa.gov/indoor-air-quality-iaq/introduction-indoor-air-quality>. Son Erişim Tarihi: 20.04. 2024
- İnternet:US EPA, O. (2014c, August 15). Indoor Particulate Matter. URL: <https://www.epa.gov/indoor-air-quality-iaq/indoor-particulate-matter>. Son Erişim Tarihi: 20.04. 2024
- İnternet:US EPA, O. (2015a, June 2). Mold and Indoor Air Quality in Schools. URL: <https://www.epa.gov/mold/mold-and-indoor-air-quality-schools>. Son Erişim Tarihi: 20.04. 2024
- İnternet:US EPA, O. (2015b, October 27). Why Indoor Air Quality is Important to Schools. URL: <https://www.epa.gov/iaq-schools/why-indoor-air-quality-important-schools>. Son Erişim Tarihi: 20.04. 2024
- İnternet:US EPA, O. (2016, April 19). Particulate Matter (PM) Basics. URL: <https://www.epa.gov/pm-pollution/particulate-matter-pm-basics>. Son Erişim Tarihi: 20.04. 2024

- Vesitara, R. A. K., and Surahman, U. (2019). Sick building syndrome: Assessment of school building air quality. *Journal of Physics: Conference Series*, 1375(1), 012087.
- Wallace, L. A., Pellizzari, E. D., Hartwell, T. D., Whitmore, R., Sparacino, C., and Zelon, H. (1986). Total exposure assessment methodology (team) study: Personal exposures, indoor-outdoor relationships, and breath levels of volatile organic compounds in New Jersey. *Environment International*, 12(1), 369–387.
- WHO. (2021). WHO global air quality guidelines: Particulate matter (PM_{2.5} and PM₁₀), ozone, nitrogen dioxide, sulfur dioxide and carbon monoxide. *WHO*.
- World Health Organization and World Health Organization. (1990). Indoor air quality: Biological contaminants: report on a WHO meeting, Rautavaara, 29 August-2 September 1988. *Regional Office for Europe: World Health Organization*.
- Yao, Z., and Ruzzo, W. L. (2006). A Regression-based K nearest neighbor algorithm for gene function prediction from heterogeneous data. *BMC Bioinformatics*, 7(1), S11.
- Yildiz, C. D. (2020). A Management Factor at Sick Building Syndrome: Are Old or New School Buildings Sick? *Educational Policy Analysis and Strategic Research*, 15(1), 209–231.
- Zanella, A., Bui, N., Castellani, A., Vangelista, L., and Zorzi, M. (2012). Internet of Things for Smart Cities. *Internet of Things Journal*, IEEE, 1.
- Zheng, K., Zhao, S., Yang, Z., Xiong, X., and Xiang, W. (2016). Design and Implementation of LPWA-Based Air Quality Monitoring System. *IEEE Access*, 4, 3238–3245.
- Zorlu, K., ve Karadayi, T. T. (2020). İç Mekan Hava Kalitesinde Yapı Malzemelerinin Rolü. *Sinop Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 5(2), 193–211.

EKLER

Ek-1. Etik Kurul Onayı

Evrak Tarih ve Sayısı: 20.07.2022-80576



T.C.
AMASYA ÜNİVERSİTESİ REKTÖRLÜĞÜ
Girişimsel Olmayan Klinik Araştırmalar Etik Kurulu

Sayı : E-76988455-050.01.04-80576
Konu : Etik Kurul Onayı

20.07.2022

Sayın Dr. Öğr. Üyesi Berkhan TOPAKTAŞ
Dr. Öğretim Üyesi

İlgi : 17.06.2022 tarihli ve 1659 sayılı dilekçeniz.

Üniversitemiz Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü Enerji Anabilim Dalı Öğretim Üyesi Doç. Dr. Selçuk SARIKOÇ, Tıp Fakültesi Temel Tıp Bilimleri Bölümü Histoloji ve Embriyoloji Anabilim Dalı Dr. Öğr. Üyesi Ahmet Uğur AKMAN, Tıp Fakültesi Temel Tıp Bilimleri Bölümü Tıbbi Biyokimya Anabilim Dalı Dr. Öğr. Üyesi Alpaslan ÖZTÜRK ile Fen Bilimleri Enstitüsü'nde öğrenim gören Teknoloji ve İnovasyon Yönetimi Bölümü Yüksek Lisans Programı öğrencisi ve Vezirköprü Mesleki ve Teknik Anadolu Lisesi'nde görev yapan Elektronik Öğretmeni Yusuf BEKTAŞ ile işbirliğinizde yapılması planlanan "Yapay Zeka Analiz Destekli Kapalı Ortam Hava Kalitesinin Sağlık Üzerine Etkilerinin Araştırılması" konulu çalışma Üniversitemiz Girişimsel Olmayan Klinik Araştırmalar Etik Kurulumuz tarafından incelenmiştir.

Söz konusu çalışmanın yürütülmesinin ve uygulanmasının etik olarak uygun olduğu kanaatine varılmış olup, Kurul Kararının bir örneği ilişikte gönderilmiştir.

Bilgilerini rica ederim.

Doç. Dr. Güzide ŞENEL
Etik Kurul Başkanı

Ek:Kurul Kararı (1 Sayfa)

Bu belge, güvenli elektronik imza ile imzalanmıştır.

Belge Doğrulama Kodu :BSDB4U9BYC Pin Kodu :69872

Belge Takip Adresi :
<https://turkiye.gov.tr/ebd?eK=5544&eD=BSDB4U9BYC&eS=80576>

Adres:Akbilek Mah. Hakimiyet Cad. No:4/3 P.K. :05100 Merkez/Amasya
Telefon:0 (358) 211 5005 Faks:0 (358) 218 01 04
e-Posta:genelsekreterlik@amasya.edu.tr Web:http://www.amasya.edu.tr/
Kep Adresi:amasyauniversitesi@hs01.kep.tr

Bilgi için: Dilek
BÜYÜKBAYRAKTAR
Unvanı: Bilgisayar İşletmeni
Tel No: (358)2115011



Bu belge,güvenli elektronik imza ile imzalanmıştır.

Ek-1. (devam) Etik Kurul Onayı

	T.C. AMASYA ÜNİVERSİTESİ GİRİŞİMSSEL OLMAYAN KLİNİK ARAŞTIRMALAR ETİK KURULU KURUL KARAR FORMU

Toplantı Tarihi	Toplantı Sayısı	Karar No
07 Temmuz 2022	7	69

KARAR NO 69:

Amasya Üniversitesi Tıp Fakültesi Dahili Tıp Bilimleri Bölümü Halk Sağlığı Anabilim Dalı Dr. Öğr. Üyesi Berkhan TOPAKTAŞ'ın yürütücülüğünde olan ve Yardımcı Araştırmacı olarak yer alan Amasya Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü Enerji Anabilim Dalı Öğretim Üyesi Doç. Dr. Selçuk SARIKOÇ, Amasya Üniversitesi Tıp Fakültesi Temel Tıp Bilimleri Bölümü Histoloji ve Embriyoloji Anabilim Dalı Dr. Öğr. Üyesi Ahmet Uğur AKMAN, Amasya Üniversitesi Tıp Fakültesi Temel Tıp Bilimleri Bölümü Tıbbi Biyokimya Anabilim Dalı Dr. Öğr. Üyesi Alpaslan ÖZTÜRK ile Amasya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü'nde öğrenim gören Teknoloji ve İnovasyon Yönetimi Bölümü Yüksek Lisans Programı öğrencisi ve Vezirköprü Mesleki ve Teknik Anadolu Lisesi'nde görev yapan Elektronik Öğretmeni Yusuf BEKTAŞ'ın işbirliğinde, Samsun İli içerisinde yer alan Vezirköprü Mesleki ve Teknik Anadolu Lisesi ve Ondokuz Mayıs Anadolu Lisesi'nde öğrenim gören öğrencilere yapılması öngörülen **"Yapay Zeka Analiz Destekli Kapalı Ortam Hava Kalitesinin Sağlık Üzerine Etkilerinin Araştırılması"** konulu çalışma, Kurul tarafından proje araştırma etiği yönünden değerlendirildi ve incelendi.

Söz konusu çalışmanın yürütülmesinin ve uygulanmasının etik olarak uygun olduğuna katılanların oybirliğiyle karar verildi.

		KABUL	RED
BAŞKAN	Doç. Dr. Güzide ŞENEL	İMZA	
BAŞKAN YARDIMCISI	Dr. Öğr. Üyesi Safiye TEMEL	İMZA	
RAPORTÖR	Dr. Öğr. Üyesi Ece AVULOĞLU YILMAZ	İMZA	
ÜYELER	Doç. Dr. Levent SEMİZ	İMZA	
	Doç. Dr. Kenan GÜMÜŞ	İMZA	
	Doç. Dr. Serkan ZENGİN	İMZA	
	Dr. Öğr. Üyesi Burak YAZGAN	İMZA	
	Dr. Öğr. Üyesi Hüsna KAYA KAÇAR	İZİNLİ	
	Dr. Öğr. Üyesi Ceren BAŞKAN	İMZA	

KYT-FRM-265/00

Bu belge,güvenli elektronik imza ile imzalanmıştır.

Ek-2. Araştırma uygulama izni

Amasya Üni Gelen Evrak Tarih ve Sayısı: 22.08.2022-85869



T.C.
SAMSUN VALİLİĞİ
İl Millî Eğitim Müdürlüğü

Sayı : E-27485554-605.01-54932617 09.08.2022
 Konu : Berkhan TOPAKTAŞ' ın
 Araştırma Uygulama İzni

DAĞITIM YERLERİNE

İlgi : a) Millî Eğitim Bakanlığı Yenilik ve Eğitim Teknolojileri Genel Müdürlüğü'nün
 21/01/2020 tarihli ve 81576613-10.06.01-E. 1563890- 2020/2 sayılı Genelgesi,
 b) Amasya Üniversitesi Rektörlüğü Yazı İşleri Müdürlüğü'nün 22/07/2022 tarihli ve
 81078 sayılı yazısı.

Amasya Üniversitesi Tıp Fakültesi Halk Sağlığı Ana Bilim Dalı Dr.Öğretim Üyesi Berkhan TOPAKTAŞ' ın ; İlimiz İlkadım Ondokuz Mayıs Anadolu Lisesi ve Vezirköprü Mesleki ve Teknik Anadolu Lisesinde öğrenim gören öğrencilere yönelik "Yapay Zeka Analiz Destekli Kapalı Ortam Hava Kalitesinin Sağlık Üzerine Etkilerinin Araştırılması " başlıklı tez çalışması yapmak istediğine ilişkin ilgi (b) yazı ve ekleri, ilgi (a) genelgeye göre incelenmiş ve komisyon tarafından uygun görülmüştür.

Söz konusu çalışmanın komisyon kararı doğrultusunda, uygulama sorularını çalışmayı yapan kişi tarafından raporlanarak, Müdürlüğümüz Ar-Ge Birimine gönderilmesine dikkat edilerek, denetimi ilçe millî eğitim müdürlükleri/okul idaresinde olmak üzere, kurum faaliyetlerini aksatmadan, gönüllülük esasına göre yapılmasının sağlanması hususunda;

Bilgilerinizi ve gereğini rica ederim.

Dr.Murat AĞAR
Vali a.
İl Millî Eğitim Müdürü

Ekler :
 1- İlgi (b) yazı ve ekleri
 2- 08/08/2022 tarihli komisyon kararı

DAĞITIM:
Gereği:
 İlkadım-Vezirköprü İlçe Kaymakamlığına
 (İlçe Millî Eğitim Müdürlüğü)

Bilgi:
 Amasya Üniversitesi Rektörlüğü
 Yazı İşleri Müdürlüğü

Bu belge güvenli elektronik imza ile imzalanmıştır.

Adres : Atatürk Bulvarı Hükümet Konağı İl Millî Eğitim Müdürlüğü/SAMSUN
 Telefon No : 0 (362) 435 80 63
 E-Posta: samsunmem@meh.gov.tr
 Kep Adresi : meb@hs01.kep.tr

Belge Doğrulama Adresi : <https://www.turkiye.gov.tr/meb-ebys>
 Bilgi için: L.SOYLEYİCİ
 Unvan : Şef
 Faks:3624324854
 İnternet Adresi: <http://samsun.meb.gov.tr>

Bu evrak güvenli elektronik imza ile imzalanmıştır. <https://evraksorgu.meb.gov.tr> adresinden 9014-54c1-371a-b73d-83fe koda ile teyit edilebilir.



Ek-4. Anket Formu

**YAPAY ZEKA ANALİZ DESTEKLİ KAPALI ORTAM HAVA KALİTESİNİN
SAĞLIK ÜZERİNE ETKİLERİNİN ARAŞTIRILMASI**

Bu çalışma, Samsun ilinde seçilen okullarda, sınıflardaki hava kalitesinin bir yıllık ölçüm değerlerine etki eden faktörlerin belirlenmesi ve hava kalitesinin üst solunum yolu enfeksiyonu insidansına ve hasta bina sendromu gelişimi üzerine etkisinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Anketteki sorulara samimi ve doğru cevap vermeniz alınacak sonucun gerçekleri yansıtmaya gücünü arttıracaktır. Çalışmada toplanan veriler tamamen bilimsel amaçlarla kullanılacak, hiçbir kişi veya kurumla paylaşılmayacaktır. Vereceğiniz cevapların size ait olduğunun hiç kimse tarafından bilinmemesi için lütfen anket formlarına adınızı ve soyadınızı yazmayınız. Katılımınız ve desteğiniz için teşekkür ederiz.

Tarih:/...../.....

A- SOSYODEMOGRAFİK VERİ

1) Doğum tarihiniz (yıl):

2) Cinsiyetiniz: ☐ Erkek ☐ Kız

3) Devam ettiğiniz

Okul:

Sınıf:

4) Anne Eğitim Düzeyi: ☐ Okuryazar değil ☐ İlkokul ☐ Ortaokul ☐ Lise ☐ ÜniversiteBaba Eğitim Düzeyi: ☐ Okuryazar değil ☐ İlkokul ☐ Ortaokul ☐ Lise ☐ Üniversite5) Kardeşiniz var mı? ☐ Hayır ☐ Evet (Kardeş sayısı:.....)6) Düzenli olarak spor yapıyor musunuz? ☐ Hayır ☐ Evet

7) Düzenli olarak ilaç kullanıyor musunuz?

☐ Hayır ☐ Evet (Varsa belirtiniz:))

8) Genel sağlık durumunuzu nasıl değerlendirirsiniz?

☐ Çok kötü ☐ Kötü ☐ Orta ☐ İyi ☐ Çok iyi

B- COVID-19 ve SOLUNUM YOLU ENFEKSİYONU

“B bölümünde” yer alan soruları (1-7) 2022-2023 Eğitim Öğretim Dönemi başlangıcı olan **12 Eylül 2022 tarihinden itibaren** cevaplayınız.

12 Eylül 2022 tarihinden bu yana;

1) Ağız ve/veya burundan sürüntü yoluyla yapılan (PCR testi) COVID-19 testi yaptırdınız mı?

☐ Hayır (Cevabınız hayırsa 5. soruya geçiniz)☐ Evet (Yapılan test sayısı:.....)

2) Ağız ve/veya burundan sürüntü yoluyla yapılan (PCR testi) en az bir COVID-19 testiniz pozitif (hasta) çıktı mı?

☐ Hayır (Cevabınız hayırsa 5. soruya geçiniz)☐ Evet (Pozitif çıkan test sayısı:.....)

Ek-4. (devam) Anket Formu

3) Geçirdiğiniz COVID-19 hastalığı öncesinde temaslı olduğunuz (hastalığı size bulaştırdığını düşündüğünüz) bir COVID-19 hastası var mıydı?

- ☐ Hayır (Cevabınız hayırsa 5. soruya geçiniz)
☐ Evet

4) Geçirdiğiniz COVID-19 hastalığı öncesinde temaslı olduğunuz kişinin yakınlık derecesini belirtiniz.

- ☐ Sınıf arkadaşı
☐ Diğer arkadaş
☐ Aynı evde yaşadığınız aile bireyleri
☐ Diğer akrabalar
☐ Diğer (Belirtiniz)

5) COVID-19 dışında solunum yolu enfeksiyonu geçirdiniz mi?

- ☐ Hayır (Cevabınız hayırsa 7. soruya geçiniz)
☐ Evet (Kaç kere:.....)

6) COVID-19 dışında geçirdiğiniz solunum yolu enfeksiyonu sebebiyle okula devamsızlık yaptınız mı?

- ☐ Hayır
☐ Evet (Toplamda kaç gün:.....)

7) Aşağıda yer alan solunum yolu enfeksiyonu belirtilerinden hangilerini yaşadınız? (Birden fazla seçenek işaretleyebilirsiniz)

- ☐ Burun akıntısı ☐ Halsizlik ☐ Öksürük ☐ Boğazda yanma
☐ Boğaz/kulak ağrısı ☐ Ses kısıklığı ☐ Ateş ☐ Kas ağrısı
☐ Bulantı/kusma ☐ İshal ☐ Titreme ☐ Baş ağrısı ☐ Gözlerde kızarma/yaşarma
☐ Diğer (Belirtiniz):

C- HASTA BİNA SENDROMU

1- Hangi yıldan beri bu okula devam etmektesiniz?

2- Sigara içiyor musunuz? ☐ Evet ☐ Hayır

3- Evde sigara içen biri var mı? ☐ Evet ☐ Hayır

4- Yaşadığınız ev: ☐ Apartman dairesi ☐ Müstakil ☐ Diğer (.....)

5- Evinizde sizden başka yaşayan kaç kişi var? yetişkin çocuk (18 yaş altı)

6- Evinizde duvardan duvara halı var mı? ☐ Evet ☐ Hayır

7- Evinizde tüylü evcil hayvan (kedi, köpek, kuş vb.) besliyor musunuz? ☐ Evet ☐ Hayır

8- Evinizdeki duvarlarda nem veya küf belirtisi var mı? ☐ Evet ☐ Hayır

Okul Çevresi

9- Son üç ay içinde okulunuzda aşağıdaki faktörlerden herhangi biri sizi rahatsız etti mi?

(Rahatsız olmamışsanız bile lütfen her soruyu yanıtlayınız)

	Evet, çok sık (Her hafta)	Evet, bazen	Hayır, hiçbir zaman
Cereyan (Hava akımı)			
Çok yüksek sınıf sıcaklığı			
Değişen sınıf sıcaklığı			
Çok düşük sınıf sıcaklığı			
Havasız ortam (Kötü hava)			
Kuru hava			
Kötü koku			

Ek-4. (devam) Anket Formu

Statik elektrik (Yüzeylere temas sonucu çarpma hissi)			
Sigara dumanı			
Gürültü			
Loş veya parlamaya ve/veya yansımalara neden olan ışık			
Toz ve kir			

10- Okulda kendinizi konforlu hissediyor musunuz?

☐ Evet, çok sık ☐ Evet, bazen ☐ Hayır, hiçbir zaman

11- Okuldaki iç mekan havasının okul performansınızı etkilediğini düşünüyor musunuz?

☐ Evet, çok sık ☐ Evet, bazen ☐ Hayır, hiçbir zaman

12- Geçmiş/Mevcut Hastalık ve Semptomlar

			Cevabınız evetse son 1 sene içerisinde geçirme durumu	
	Evet	Hayır	Evet	Hayır
Hiç astım probleminiz oldu mu?				
Hiç saman nezlesi (alerjik nezle) geçirdiniz mi?				
Hiç egzamadan geçirdiniz mi?				
			Evet	Hayır
Annenizin alerjisi var mı (örneğin astım, saman nezlesi, egzama) ?				
Babanızın alerjisi var mı (örneğin astım, saman nezlesi, egzama) ?				

13- Mevcut Belirtiler

Son üç ay içinde aşağıdaki belirtilerden herhangi birini yaşadınız mı?(Herhangi bir belirtiniz olmasa bile lütfen her soruyu cevaplayınız)

				Eğer evetse, bunun okul ortamınızdan kaynaklandığını düşünüyor musunuz?		
	Evet, çok sık (Her hafta)	Evet, bazen	Hayır, hiçbir zaman	Evet	Hayır	Bilmiyorum
Yorgunluk						
Uykusuzluk						
Baş ağrısı						
Mide bulantısı/baş dönmesi						
Konsantrasyon bozukluğu						
Gözlerde kaşıntı, yanma veya tahriş						
Burunda tahriş, akıntı, tıkanma						
Boğazda kuruluk						
Öksürük						
Kuru veya kızarmış yüz cildi						

Ek-4. (devam) Anket Formu

Kafa derisi veya kulaklarda pullanma/kaşıntı						
Ellerde kuruluk, kaşıntılı/kızamık cilt						
Karın ağrısı						
Diğer (Lütfen belirtiniz)						

14- Okul Çevresi

	Çok iyi	İyi	Kabul edilebilir	Kötü	Çok kötü
- Okul bahçesi ortamı hakkında ne düşünüyorsunuz?					
Aktivite imkanı, oturulacak yerler					
Yeşil alanlar					
Işık					
Trafik güvenliği					
- Sınıf ortamı hakkında ne düşünüyorsunuz?					
Mobilya, döşeme					
Renk düzeni					
Akustik (ses düzeni)					
Temizlik					
- Aşağıdaki ortamlar hakkında ne düşünüyorsunuz?					
Ortak alanlar					
Soyunma odaları (varsa)					
Yemek salonu (varsa)					
Spor salonu (varsa)					
Tuvaletler					

15- Sıcaklık Koşulları

	Çok iyi	İyi	Kabul edilebilir	Kötü	Çok kötü
Genel olarak okuldaki sıcaklık hakkında ne düşünüyorsunuz?					

16- Sıcaklıkla ilgili yaşadığınız sorunlar (Birden fazla seçenek işaretleyebilirsiniz):

- ☐ Kışın çok soğuk
- ☐ Diğer zamanlarda çok soğuk
- ☐ Yazın çok sıcak
- ☐ Diğer zamanlarda çok sıcak

Gürültü

17- Sınıftaki gürültüden rahatsız mısınız? ☐ Evet ☐ Hayır

18- Eğer evetse neden? (Birden fazla seçenek işaretleyebilirsiniz)

- ☐ Havalandırma rahatsız edici
- ☐ Okul bahçesinden gelen ses
- ☐ Sandalyelerin çıkardığı ses
- ☐ Öğrencilerin gürültüsü

Ek-4. (devam) Anket Formu

Toz ve Kir

19- Sınıftaki toz ve kirden rahatsız mısınız? ☐ Evet ☐ Hayır

20- Eğer evetse neden? (Birden fazla seçenek işaretleyebilirsiniz)

- ☐ Genel temizlik yetersiz
- ☐ Dolaplarda ve diğer yüzeylerde toz ve kir mevcut
- ☐ Kapsamlı temizlik yapılmamakta
- ☐ Diğer (Lütfen belirtiniz):.....

21-Hava Kalitesi

	Çok iyi	İyi	Kabul edilebilir	Kötü	Çok kötü
Genel olarak sınıflardaki hava kalitesi hakkında ne düşünüyorsunuz?					

22- Kötü hava kalitesine sahip alanlar var mı? ☐ Evet ☐ Hayır

23- Eğer evetse hangi alanlar?.....

24- Hava kalitesi ile ilgili yaşadığınız sorunlar (birden fazla cevap olabilir):

- ☐ Pazartesi sabahları daha kötü
- ☐ Öğleden sonraları daha kötü
- ☐ Blok ders olduğunda daha kötü
- ☐ Alanlara göre değişmekte
- ☐ Kötü koku
- ☐ Odaları/alanları havalandırmak mümkün değil

Anketimiz sona ermiştir, katılımınız için teşekkür ederiz.

ÖZGEÇMİŞ

Adı-Soyadı : Yusuf BEKTAŞ

Bildiriler

1-) Topakbaş, B., Sarıkoç, M., Bektaş, Y., Sarıkoç, S., ve Akman, A. U.(2024, 18-19 Mart). Analysis of the Effects of Artificial Intelligence Supported Indoor Air Quality on Health. 11th INTERNATIONAL ZEUGMA CONFERENCE ON SCIENTIFIC RESEARCH, Gaziantep

Katıldığı Projeler

1-) Uluslararası Demiryolları Birliği (UIC) platformlarından biri olan Yetenek ve Uzmanlık Geliştirme Platformu tarafından başlatılan, TCDD bünyesinde faaliyet gösteren Orta Doğu Demiryolu Eğitim Merkezi (MERTCe) tarafından organize edilen 2022 TrainRail Hackathon Orta Doğu Bölgesel Yarışmasında A system that minimizes the risk of COVID-19 transmission by controlling the CO₂ rate başlıklı proje ile Amasya Üniversitesi'ni temsil ve 3.'lük derecesi

2-) Anadolu Üniversiteler Birliği (AÜB) tarafından 2022 tarihinde düzenlenen 1. Ar-Ge Proje Pazarı yarışmasında ilk 10'a kalarak mansiyon ödülü

3-) Teknofest 2021 yılında düzenlenen insanlık yararına teknoloji yarışmasında Yapay Zeka destekli gözlük projesi ile final