

Araştırma Makalesi – Research Article

IoT Tabanlı Platform ile Gerçek Zamanlı İç Ortam Hava Kalitesi İzleme Sistemi

Hakan ÜÇGÜN^{1*}, Fatmanur GÖMBECİ², Uğur YÜZGEÇ³, Nesibe YALÇIN⁴

Geliş / Received: 02/05/2020

Revize / Revised: 11/06/2020

Kabul / Accepted: 12/06/2020

ÖZ

Hava kirliliği, günümüzde karşılaştığımız en büyük problemlerden bir tanesidir. İnsan sağlığı, iklim ve ekosistem üzerinde olumsuz etkilere yol açan hava kirliliğinin artmasında, atmosferdeki kirleticilerin miktarlarındaki artışın yanı sıra iç ortamlardaki hava kalitesindeki katkısı olduğu bir gerçektir. Günlük yaşantısının büyük bir kısmını kapalı iç ortamlarda (evlerde, ofislerde, okullarda, hastanelerde, alışveriş merkezlerinde vb.) geçiren insanlar, ortamın havasındaki zararlı gazlardan ve partikül maddelerden etkilenmekte ve sağlık sorunları yaşayabilmektedir. Bu tarz ortamlardaki yaşam standartlarının insan yaşamı için optimum değerlerde tutulması ve insan sağlığını tehdit edebilecek faktörlerin belirlenerek ortadan kaldırılması ya da etkilerinin azaltılması gerekmektedir. Teknolojik gelişmeler sayesinde ortamın hava kalitesinin belirlendiği sistemler ile bu tarz sorunların ortadan kaldırılması mümkündür. Bu çalışma kapsamında, IoT tabanlı iç ortam hava kalitesi izleme sistemi gerçekleştirilmiştir. Oluşturulan sistem içerisinde Raspberry Pi 3 kontrol kartı, sıcaklık, nem, gaz ve ışık sensörleri kullanılmıştır. Sensörler aracılığıyla alınan iç ortam verileri, kontrol kartı aracılığıyla işlenerek elde edilmiş ve veri tabanına kaydedilmiştir. Hazırlanan web arayüzü ile iç ortamdaki yaşam koşullarına ilişkin bilgiler anlık olarak takip edilebilmektedir. Geliştirilen hava kalitesi formülü kullanılarak iç ortam hava kalitesi hesaplanarak kullanıcılara aktarılmaktadır. Taşınabilir donanım platformu ile herhangi bir iç ortamın hava kalitesinin tespit edilmesi sağlanmaktadır.

Anahtar Kelimeler- İç Ortam Hava Kalitesi, Gerçek Zamanlı İzleme, Nesnelerin İnterneti, Raspberry Pi, Sensör Teknolojileri

^{1*}Sorumlu yazar iletişim: hakan.ucgun@bilecik.edu.tr (<https://orcid.org/0000-0002-9448-0679>)

Bilgisayar Mühendisliği, Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Gülümbe Kampüsü, Merkez, Bilecik

²İletişim: fatmanurg.1997@gmail.com (<https://orcid.org/0000-0002-3375-3557>)

³İletişim: ugur.yuzgec@bilecik.edu.tr (<https://orcid.org/0000-0002-5364-6265>)

Bilgisayar Mühendisliği, Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Gülümbe Kampüsü, Merkez,

⁴İletişim: nyalcin@bartin.edu.tr (<https://orcid.org/0000-0003-0324-9111>)

Bilgisayar Mühendisliği, Bartın Üniversitesi, Kutlubey Yazıcılar Kampüsü, Merkez,

Real Time Indoor Air Quality Monitoring System with Platform based on IoT

ABSTRACT

Air pollution is one of the major problems in the world we face today. Air pollution, which has negative effects on human health, climate and ecosystem, increases due to the increase in the amounts of pollutants in the atmosphere and also indoor air pollution. People who spend most of their daily life indoor environments (e.g. homes, offices, schools, hospitals, shopping centers) are affected by harmful gases and particulates in the environment and may have health problems. Living standards in such environments should be kept at optimum values for human life, the factors that may threaten human health should be eliminated, and their effects should be reduced. Thanks to technological developments, it is possible to eliminate such problems with the systems where air quality is determined. Within the scope of this study, IoT based indoor air quality monitoring system has been developed. In the system, Raspberry Pi 3 controller card, temperature, humidity, gas and light sensors are used in the system. The environment data from the sensors has been processed by the control card and then saved to the database. Information about living conditions in the indoor environment can be monitored instantly via web user interface Indoor air quality is calculated using the developed air quality formula and presented to the users. The portable hardware platform enables the determination of air quality in any indoor environment.

Keywords- *Indoor Air Quality, Real Time Monitoring, Internet of Things, Raspberry Pi, Sensor Technologies*

I. GİRİŞ

Nesnelerin interneti (IoT, Internet of Things) teknolojisi, gerçek dünyadaki nesnelerin internet aracılığıyla birbirleri ile haberleşmesini sağlamaktadır [1]. Bu teknoloji ile cihazlar, insan müdahalesi olmadan birbirlerini algılayabilir, tanımlayabilir, iletişim kurarak bilgi transferinde bulunabilir [2]. Genel olarak, veri toplamak ya da veri transferi yapmak için donanım bileşenleri, sensörler, aktüatörler, akıllı cihazlar ve yazılımlar içermektedirler. İç ve dış ortam hava kalitesinin izlenmesi, ev izleme ve güvenlik sistemleri, yaşlı bakım sistemleri, binalarda enerji yönetimi ve mikro iklim izleme sistemleri [3] gibi pek çok IoT tabanlı uygulama günümüzde kullanılmaktadır.

Hava kirliliği atmosferdeki yabancı maddelerin, canlı yaşamına zarar verecek derecede yoğunluğa ulaşması ve ekolojik dengeye zarar vermesi olarak tanımlanabilir. Hava kirliliği, insan hayatını ciddi bir şekilde etkilemekte ve sürekli maruz kalındığında ciddi hastalıklara sebep olabilmektedir [4]. 2019 yılındaki hava kirliliği, sağlık için en büyük çevresel risk olarak kabul edilmiştir. Hava kirliliği, biyokütle yakımı, araç ve fabrikaların kontrolsüz CO yayması, trafik yoğunluğu gibi durumlar sebebiyle artış göstermiştir [5].

Hava kirliliği, faaliyetlerin gerçekleştiği yere bağlı olarak iki gruba ayrılabilir: dış ortam hava kirliliği, tüm atmosferi ve ötesini kapsayan açık bir ortama ilişkin kirlenme iken; iç ortam hava kirliliği, evler, ofisler ve diğer kapalı alanlardaki kirlenmedir [6]. Pek çok insan dış ortamdaki hava kalitesinin sağlıkları için daha önemli olduğunu düşünürken, iç ortamlardaki hava kirliliği ile ilgili potansiyel risklerden habersizdir [7]. Çevre Koruma Ajansı (Environmental Protection Agency, EPA), kirletici seviyeleri kıyasladığında iç ortamların dış ortamlara göre 2 ila 5 kat daha fazla tehlikeli olduğunu söylemektedir [8]. İç ortam kirleticileri, temizlik ürünleri, yalıtım malzemeleri, mobilyalar, ofis ekipmanları gibi kapalı ortamlarda bulunan emisyon kaynaklarından ve solunum, sigara içme, ısıtma, yemek pişirme, gibi iç ortam etkinliklerinden meydana gelmektedir [7].

İç ortam hava kalitesi (Indoor Air Quality, IAQ) konusu, son yıllarda artan hava kirliliğinin önemli sağlık sorunlarına yol açması nedeniyle büyük ilgi görmektedir. Kapalı ortamlardaki kimyasal maddeler, uçucu organik bileşenler, yemek ve çöp kokuları gibi etmenler hastalıklara sebebiyet vermektedir [9]. İnsanlar, günümüz koşullarında gün içerisinde uzun süre kapalı ortamlarda bulunmaktadır. Bu sebeple, iç ortamlardaki hava kalitesinin insan sağlığına doğrudan etki ettiği rahatlıkla söylenilebilir [10]. IAQ, insanların sağlığı, rahatlığı ve konforu yanında verimliliğini de etkilediği için bu ortamların sürekli gözetlenmesi ve temizlenmesi gerekmektedir. İç ortamların hava kalitesini gözlemlemek ve kontrol etmek amacıyla, iç ortam izleme sistemlerine ihtiyaç duyulmaktadır. Bu izleme sistemleri ile özellikle çocuklar, yaşlılar ve hastalar için konforlu ve sağlıklı bir ortam sunulabilmektedir.

Bu çalışma kapsamında, iç ortamlardaki hava kalitesinde meydana gelen değişiklikleri takip etmek amacıyla IoT tabanlı bir izleme sistemi gerçekleştirilmiştir. Sistem içerisindeki dijital ve analog sensörlerden (sıcaklık ve nem, gaz, ışık) alınan ortam verilerinin kontrol kartı aracılığıyla işlenmesiyle iç ortamdaki hava kalitesine yönelik değerler elde edilmiştir. Sensör verileri ve hesaplanan IAQ değeri, Wi-Fi ağı üzerinden veri tabanına kaydedilmiştir. Hazırlanan web arayüzü ile veri tabanındaki veriler yazılan web servisler aracılığıyla alınmakta ve kullanıcıların grafiksel ve sayısal olarak IAQ verilerini izleyebilmesi sağlanmaktadır.

II. İÇ ORTAM HAVA KALİTESİ VE YAPILAN ÇALIŞMALAR

Hava kalitesi bilinci, özellikle sağlık ve yaşam konforu açısından dünya genelinde artmaktadır. Günümüzde insanlar yaşamlarının yaklaşık %90'ını iç ortamlarda geçirmektedir. İç ortamlardaki hava kalitesinin kötü olması, hasta bina sendromu gibi ciddi hastalıklara neden olabilmekte ve giderek artan küresel bir sorun haline gelmektedir [11]. İç hava kalitesi, kapalı ortamlardaki havanın kalitesini belirlemek için kullanılan bir göstergedir ve ortamda bulunan insanların sağlığını, performansını ve konforunu etkileyen ortama ilişkin kirletici seviyeleri, sıcaklık ve nem değerleri, aydınlatma miktarı ile gürültü seviyesi ile ilgilidir [12].

İç ortamlardaki hava kalitesinin izlenmesi ve kontrol edilmesine yönelik çalışmalara bakıldığında, Ha ve arkadaşları [13], gerçek zamanlı sensör verilerini kullanarak IAQ indeksi ve nem indeksini gelişmiş bir iç ortam hava kalitesi indeksinde birleştiren bir hava kalitesi yönetim sistemi önermiştir. İç ortamdaki hava kirletici seviyeleri, bir waspmote sensör ağı ile ölçülürken, hava kalitesi ve nem indeksi verileri, genişletilmiş bir kesirli sıralı Kalman filtresi kullanılarak birbirine bağlanmıştır. Çalışma için bir test merkezi olarak bir ofis binası

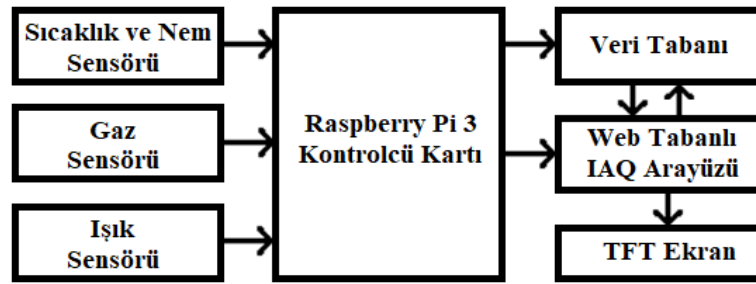
seçilmiştir. Ofis ortamındaki hidrojen, amonyak, etanol, hidrojen sülfür, karbonmonoksit, karbondioksit ve oksijen değerleri ile sıcaklık ve nem parametreleri ile ilgili veriler toplanmıştır. Jo ve arkadaşları [14], iç mekânlardaki hava kalitesini izlemek amacıyla IoT ve bulut bilişim teknolojilerine dayalı "Smart-Air" isimli bir cihaz geliştirmişlerdir. Cihaz ile iç ortamlardaki hava kalitesini her zaman ve her yerde izleyebilmek mümkündür. Cihaz ile ortamdaki aerosol, VOC, CO, CO₂ ve sıcaklık-nem konsantrasyonunu ölçülmekte ve LTE modem üzerinde veriler web sunucusuna aktarılmaktadır. Le ve arkadaşları [15], Vietnam Hanoi'deki ilköğretim okulları içerisindeki sınıflarda bulunan havanın kalitesinin ölçümü ve izlenmesine yönelik bir sistem geliştirmişlerdir. Çalışmanın sonucu olarak, okullardaki ana hava kalitesi sorununun özellikle PM_{2.5} olmak üzere partiküler konular olduğu görülmüştür. Marques ve arkadaşları [16], IoT mimarisine dayalı ortamdaki karbondioksit (CO₂) miktarının izlenmesini sağlayan bir sistem geliştirmişlerdir. Sistem içerisinde ESP8266 modülü ve CO₂ sensörü kullanmış ve sensör verilerini, veri tabanında depolanmıştır. Hazırlanan iAirCO₂ uygulaması ile web ve mobil platformlar üzerinden ortamdaki CO₂ miktarının grafiksel olarak izlenmesi sağlanmıştır. Sung ve arkadaşları [17], insanların iç ortamlardaki termal konforunu belirlemek için IoT mimarisi aracılığıyla bir iç ortam termal konfor çevre izleme sistemi geliştirmiştir. Sistemde, Arduino Uno mikro denetleyicisi kullanılarak alınan sensör verileri ESP8266 modülü ile kablosuz olarak veri tabanına kaydedilmiştir. Verilerin izlenmesi ve ortamın kontrol edilmesi için bilgisayar ortamında C# dili ile arayüz hazırlanmıştır. Çalışma sonrasında, termal konfor ve enerji tasarrufu sağlanmıştır. Tiele ve arkadaşları [18], iç ortam kalitesi için düşük maliyetli, taşınabilir bir izleme sistemini tasarlamış ve geliştirmişlerdir. Geliştirilen sistem ile iç ortamlardaki sıcaklık, nem, PM_{2.5}, PM₁₀, CO, CO₂, aydınlatma ve ses seviyelerinin izlenmesi sağlanmıştır. Sistemin kullanılabilirliğini kontrol etmek için tipik bir iç mekân çalışma ortamı ve dış mekânlarda çeşitli ortamlarda deneyler yapılmıştır. Salamone ve arkadaşları [19], düşük maliyetli sensörler ve açık kaynaklı donanım ve yazılım kullanarak sınırlı bir alandaki iç ortam kalitesini ölçmeyi amaçlayan bir cihaz geliştirmişlerdir. Önerilen nano Çevresel İzleme Sistemi (nEMoS) cihazı, bir bakımevindeki ve ofisteki termal konforu değerlendirmek için kullanılmış ve iyi bir güvenilirliğe sahip olduğu görülmüştür. Zhao ve arkadaşları [20], yeşil çatıların simülasyonu için kullanılan bir prototip rüzgâr tüneline dayanan kablosuz sensör ağları (WSN) sistemi geliştirilmesine yönelik bir sistem sunmuşlardır. PM_{2.5}, rüzgâr hızı, sıcaklık ve bağıl nem konsantrasyonunun aynı anda elde edilmiş ve kullanıcı web sitesi üzerinden gerçek zamanlı olarak izlenmiştir. Çalışmanın sonuçları, rüzgâr tüneli modülünün ve sensör ağının güvenilirliğini doğrulamıştır. Zhao ve arkadaşları [21], ileri IoT tekniklerini kullanarak bir iç ortam hava kalitesi detektörü (IAQD) geliştirmişlerdir. IAQD, gerçek zamanlı olarak sıcaklık, nem, PM_{2.5}, CO₂ ve formaldehit parametrelerini tespit edebilmektedir. Farklı uygulama senaryolarının ihtiyaçları için, RS485, LoRa, WiFi, GPRS ve NB-IoT gibi çoklu iletişim arayüzleri kullanılmıştır. Deneyler yapılmış ve istatistiksel analiz sonuçları, önerilen IAQ sisteminin güvenilirliğini ve yüksek performanslı olduğunu göstermektedir. Literatür taraması sonucunda elde edilen çalışmaların karşılaştırmalı analizi, Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Hava İstasyonlarının Karşılaştırmalı Analizi

Ref.	İşlemci	Ortam Parametreleri	Mimari	Bağlantı	Düşük Maliyet	Veri Erişimi
[13]	ATmega1281 (Waspote)	CO, CO ₂ , Formaldehit, NO ₂ , O ₃ , SO ₂ , PM _{2.5} , VOC, Sıcaklık, Bağıl Nem	IoT/WSN	Wi-Fi	X	Web
[14]	ARM - STM 32F407IG	Toz, VOC, CO, CO ₂ , Sıcaklık, Nem	IoT	LTE modem	X	Web/Mobil
[15]	-	CO ₂ , NO ₂ , PM _{2.5} , PM ₁₀ , VOC	Kablolu	Kablolu	X	Monitör
[16]	Tensilica LX6 (SparkFun ESP32)	CO ₂	IoT	Kablolu	√	ThingSpeak Server
[17]	Arduino	Aerosol, CO ₂ , Sıcaklık, Nem, Rüzgâr Hızı	IoT	Wi-Fi	X	PC
[18]	Feather M0 (Adafruit)	PM _{2.5} , PM ₁₀ , CO, CO ₂ , Sıcaklık, Nem, Ses, Işık	Kablolu	I2C/UART	√	OLED Display
[19]	Arduino UNO	Sıcaklık, Bağıl Nem, CO ₂ , Işık, Rüzgâr Hızı	IoT	ZigBee	√	Mobil
[20]	ARM / STM 32F103VET6	Rüzgâr Hızı, Sıcaklık, Nem, PM _{2.5} , Mesafe	IoT	Wi-Fi	√	LCD Display
[21]	ARM / STM 32F103C8T6	Toz, Sıcaklık, Nem, CO ₂ , PM _{2.5} , Formaldehit	IoT	Çoklu Kablosuz	X	Web/Mobil

III. IAQ İZLEME SİSTEMİNİN TASARIMI

Çalışma kapsamında geliştirilen IoT tabanlı IAQ izleme sisteminin çalışma prensibi, Şekil 1'de verilmiştir. Sistem içerisinde Raspberry Pi 3 kontrol kartı, sıcaklık ve nem sensörü, CO₂, gaz sensörü ve ışık sensörü kullanılmıştır. Sistemin çalışma prensibine bakıldığında, ilk aşamada ortam ile ilgili veriler sensörler aracılığıyla ham olarak alınmaktadır. Ham sensör değerleri, Raspberry Pi 3 kontrol kartı aracılığıyla işlenerek ortam koşulları ile ilgili parametre değerleri elde edilmektedir. İkinci aşamada, parametre verileri veri tabanına kaydedilmekte ve web arayüzü aracılığıyla değerler çekilmektedir. Web arayüzüne çekilen veriler, sayısal ve grafiksel olarak kullanıcılara aktarılmaktadır. Sistem içerisinde sensör verilerini almak ve veri tabanına kaydetmek için Python, web arayüzü için ise PHP ve HTML programlama dilleri kullanılmıştır. Arayüz üzerinden ortam parametrelerine ek olarak iç ortamdaki hava kalitesinin sayısal değeri de kullanıcılara aktarılmaktadır.



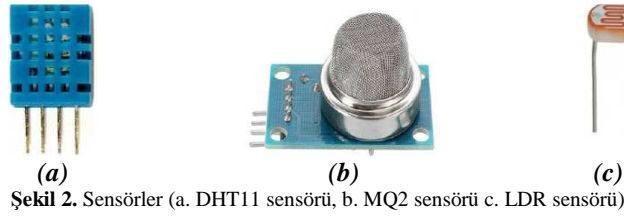
Şekil 1. IAQ izleme sisteminin çalışma prensibi

A. Raspberry Pi 3 Tek Kartlı Bilgisayar

Birleşik Krallık'ta bulunan ve kar amacı gütmeyen Raspberry Pi Vakfı tarafından geliştirilen Raspberry Pi kartları, düşük maliyetli ve kredi kartı büyüklüğündeki bilgisayarlar olarak 2009 yılında piyasaya sürülmüşlerdir. Üzerlerinde bulunan genel amaçlı giriş çıkış pinleri sayesinde, elektronik kart özelliğine sahip olmakta ve programlama yeteneği kazanmaktadır. Çalışmalara kapsamında, Raspberry Pi 3 kontrolcü kartı kullanılmıştır. İçerisinde, ARM tabanlı Cortex A53 işlemcisi, 1 GB RAM, microSD kart yuvaları, kamera arayüzü, HDMI girişi, 2.4 GHz kablosuz internet, bluetooth ve GPIO pinleri gibi çevre elemanları bulunmaktadır. GPIO pinleri sayesinde UART, I2C, SPI vb. seri iletişim protokollerinin yanı sıra sensör kullanımına da imkân sağlamaktadır [22]. Linux ve Windows tabanlı işletim sistemleri ile çalışan bu kart, modüler olarak programlanabilir ve yönetilebilir bir bilgisayardır. Çalışma kapsamında, Raspbian işletim sistemi kullanılmıştır. Raspberry Pi 3 kartı, GPIO modülü üzerinden sensör kontrolünün kolay olması, web erişimi için harici donanım ya da modül gerektirmemesi, çalışmada kullanılan web arayüzü ve veri tabanı bileşenlerinin bütünleşik olarak kullanımı gibi avantajlarından ötürü tercih edilmiştir.

B. IAQ Algılama Birimi

Algılama birimi, iç ortamdaki hava kalitesini izlemek için kullanılan 3 sensörden (DHT11 Sıcaklık ve Nem Sensörü, MQ2 Gaz Sensörü, LDR sensörü) oluşmaktadır. DHT11 sensörü, iç ve dış ortamlardaki sıcaklık ve nem verilerinin ölçülmesi amacıyla kullanılan ve dijital olarak çıkış veren 4 pinli bir sensördür. İçerisindeki NTC birimi ile sıcaklığı, nem ölçüm birimi ile nemi ölçmektedir [23]. Şekil 2.a' da DHT11 sıcaklık ve nem sensörü verilmiştir. MQ2 gaz sensörü, iç ortamlarda bulunan bütan, metan, alkol, hidrojen, duman propanı gibi farklı gaz türlerini tespit etmek için kullanılan bir sensördür. Sensör, son derece hassastır ve tepki süresi çok hızlıdır. Analog olarak çıkış veren 4 pinli bir sensördür [24]. Şekil 2.b' de, MQ2 gaz sensörü verilmiştir. LDR sensörleri, ışığa duyarlı olarak çalışan ve yarı iletken malzemelerden yapılmış sensörlerdir ve foto iletkenlik ilkesine bağlı olarak çalışmaktadırlar. Güneş ışıkları, iletken malzemenin üzerine düştüğünde, serbest olan elektronların yer değiştirmesiyle LDR direncinde değişiklikler meydana gelmektedir. Bu değişen direnç değerleri ile bir çıkış değeri verirler. Analog ya da dijital olarak çıkış veren 2 pinli bir sensördür [25]. Şekil 2.c' de LDR ışık sensörü gösterilmiştir. Tablo 2'de, iç ortam parametrelerinin ölçümünde kullanılan sensörlere ait çalışma voltajları ve ölçüm aralıkları verilmiştir.



Tablo 2. İç ortam ölçüm parametreleri

Parametre	Çalışma Voltajı	Ölçüm Aralığı
Sıcaklık [23]	3-5.5V	0-50 °C
Nem [23]	3-5.5V	%20-90 RH
CO Gazı [26]	5V	100-10000 ppm
Duman [26]	5V	100-10000 ppm
Işık [27]	5V	10-1000 lux

C. Veri Tabanı Tasarımı

Çalışma kapsamında sensörlerden elde edilen ortam kalitesi parametrelerinin depolanması, gerçek zamanlı olarak işlenmesi ve web arayüzü üzerinden izlenebilmesi amacıyla bir veri tabanı tasarlanmıştır. Veri tabanı işlemleri için MySQL veri tabanı kullanılmıştır. Raspberry Pi 3 kartı içerisindeki Raspbian işletim sistemine kurulan MySQL sunucusu aracılığıyla çalıştırılan veri tabanına, sensörlerden alınan sıcaklık, nem, ışık şiddeti, duman ve CO gazı değerlerine ek olarak güncel zaman bilgisi de kaydedilmektedir. Veri tabanına kaydedilen parametre değerleri, web servisleri aracılığıyla arayüze aktarılmaktadır. Veri tabanı içerisindeki iç ortam parametreleri, yazılan servis uygulamaları ile web tabanlı kullanıcı arayüzüne aktarılmaktadır.

D. Kullanıcı Arayüzü Tasarımı

İç ortamdaki hava kalitesi değerlerinin kullanıcılara gerçek zamanlı olarak aktarılması amacıyla web tabanlı arayüz geliştirilmiştir. IAQ izlem sistemine ait web arayüzü Şekil 3'de sunulmuştur. Geliştirilen arayüz, web ortamında gerçekleştirilmesiyle, kullanıcılara mobil cihazlar ve bilgisayarlar üzerinden ulaşabilecekleri genel bir erişim imkânı sunulmuştur. Arayüzün çalışma prensibi şu şekildedir. Sensörlerden alınarak veri tabanına kaydedilen parametre değerleri, web arayüzü için yazılan servis uygulaması aracılığıyla veri tabanından ayrı ayrı çekilmektedir. Arayüz içerisinde ortama ait her parametre değeri için grafikler oluşturulmakta ve genel hava kalitesine erişim sağlanmaktadır. Arayüz içerisinde ortama ait son değerlere doğrudan erişim varken, tüm verilere ulaşılma imkânı da bulunmaktadır. Ortamdaki sıcaklık, nem, ışık, duman ve CO gazı gibi parametreler için Highchart interaktif JavaScript kütüphaneleri kullanılarak grafiksel ekranlar oluşturulmuştur.

İÇ ORTAM HAVA KALİTESİ İZLEME İSTASYONU

BİRİMLER	ZAMAN	SICAKLIK (°C)	NEM (%)	ISIK (LUX)	CO (PPM)	DUMAN (PPM)	GENEL HAVA KALİTESİ (%)
Güncel Değerler	2019-07-06 18:51:53	28	54	147	0.015	0.049	94.9

Kabul Edilebilir Ortam Kalitesinde
Değerler Ne Olmalıdır?

Tüm verilere ulaşmak için tıklayınız

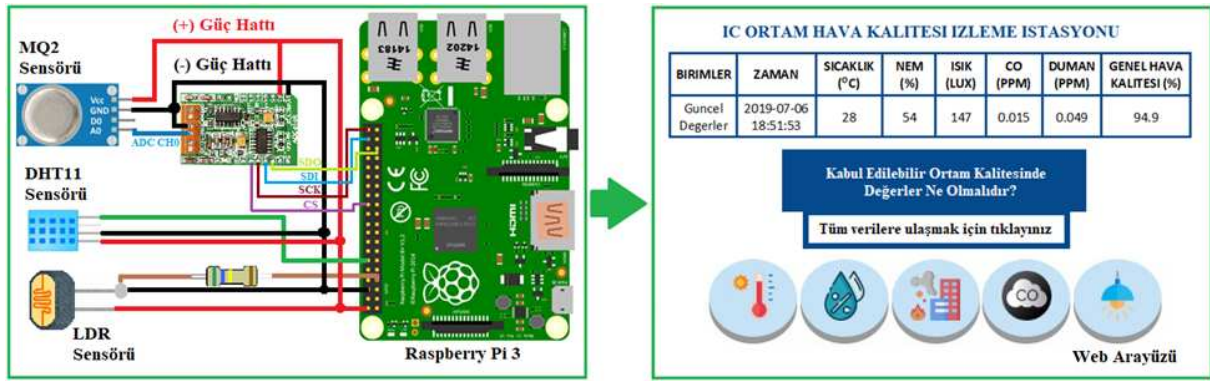


Şekil 3. İç ortam hava kalitesi web arayüzü

IV. IAQ İZLEME SİSTEMİNİN ÇALIŞMA YÖNTEMİ

İç ortamlardaki hava kalitesinin izlenmesi amacıyla geliştirilen sistemin blok diyagramı Şekil 4'te verilmiştir. Sistem içerisindeki sensörlerden alınan analog ve dijital değerler Raspberry Pi kontrol kartı içerisinde dönüşüm işlemlerine tabi tutularak ortam ile ilgili parametre değerleri elde edilmektedir. Elde edilen parametre değerleri, veri tabanına aktarılmaktadır. Geliştirilen kullanıcı arayüzü aracılığıyla veri tabanındaki değerler çekilmekte ve grafiksel olarak kullanıcılara aktarılmaktadır. Geliştirilen sistem ile ortam verileri anlık olarak takip edilebilmektedir.

Sistemde donanım olarak Raspberry Pi 3 kontrol kartı, MQ2 gaz sensörü, ADC click kartı, DHT11 sıcaklık ve nem sensörü ve LDR sensörü kullanılırken, yazılım olarak Python, HTML, PHP ve JavaScript dilleri kullanılmıştır. Raspberry Pi 3 kartında analog dijital dönüştürücü birimi olmadığından MQ2 gaz sensöründen alınan analog değerleri okumak için ADC click kartı kullanılmıştır. Kart üzerinde 4 adet ADC kanalı bulunmaktadır. Bunlardan birincisine MQ2 gaz sensörü bağlanıp ilgili kanaldan analog verilerin okunması sağlanmıştır. Raspberry Pi ile ADC click kartı arasındaki iletişim ise SPI seri haberleşme protokolü üzerinden gerçekleştirilmektedir. Sensörler ile Raspberry Pi 3 kartı arasındaki pin bağlantıları Tablo 3'de verilmiştir



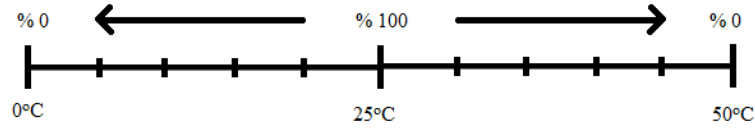
Şekil 4. IAQ izleme sisteminin blok diyagramı

Tablo 3. Pin Bağlantıları

Raspberry Pi 3	Sensörler
BCM4	LDR
BCM18	DHT11
BCM19	(ADC Click) SDO
BCM20	(ADC Click) SDI
BCM21	(ADC Click) SCK
BCM8	(ADC Click) CS

A. Hava Kalitesi Formülü

IAQ'nin belirlenmesi için, çalışma kapsamında bir hava kalitesi formülü oluşturulmuş ve sensörlerden elde edilen parametre değerleri formülde kullanılarak iç ortamdaki hava kalitesinin oranı hesaplanmıştır. Her bir iç ortam parametresi için literatürde yer alan standartlara göre bir eşik seviyesi belirlenmiştir. Literatür taramaları sonucunda, eşik seviyelerini belirlerken ortam parametrelerinin insan sağlığı üzerindeki etkisine ve değerlerinin insanlar için önem durumuna bakılmıştır [28]. Parametrelerin kullanımına örnek olarak seçilen sıcaklık parametresi için Şekil 5'de gösterildiği gibi 0°C - 50°C arasındaki değer aralıkları ele alınmıştır. EN ISO 7730' e göre IAQ açısından ortam sıcaklığının 20-26°C ve nemin %30-70 arasında olması gerekmektedir [28]. Buna uygun olarak çalışmada, en uygun sıcaklık değeri olarak 25°C seçilmiştir. Bu sıcaklık değerinin altı veya üstü uygunsuzluk seviyesine gitmektedir.



Şekil 5. Sıcaklık Parametresinin Yüzdelerle Kalite Aralığı

Sıcaklık sensörünün kaba kodu Şekil 6'da verilmiştir. Şekilde sıcaklık değeri için optimum değer olarak 25°C seçilmiştir. Sıcaklığın verimi ile ilgili üç farklı yüzdelerle değer hesaplama işlemi yapılmıştır. Kaba kodda verilen işlemlerde, sıcaklık değerinin 25°C'den küçük, 25°C'e eşit ve 25°C'den büyük olma durumları verilmiştir. Bu durumlara bağlı olarak yüzdelerle değer hesaplanmaktadır. Ortamdaki sıcaklık değeri, 0°C ve 50°C değerlerine yaklaştıkça sıcaklığın yüzdelerle verimi düşmektedir. Kaba kodun çalışmasına örnek vermek gerekirse, sıcaklık sensöründen alınan değer 30°C olsun, sıcaklık değeri "*sıcaklıkKalite = (50 - sıcaklık) * 4;*" formülünde yerine konularak "*(50 - 30) * 4 = 80%*" şeklinde hesaplanacaktır. Diğer sensörler ilgili yapılan kalite hesaplamaları, yüzdelerle aralıklarının seçimleri ve formülasyon işlemleri için aynı işlemler yapılmıştır.

Tablo 4'de sensörler ile ölçülen değer aralıkları, IAQ parametrelerinin ortam seviyeleri, sağlık riski seviyeleri ve çalışma kapsamında seçilen optimum değer aralıkları verilmiştir. İç ortamdaki hava kalitesinin formülasyon işlemleri yapılırken ortam parametrelerinin seviyeleri ve insan sağlığı üzerindeki risk seviyeleri göz önüne alınmıştır [18, 28, 29].

```
if (sicaklik<25)
    sicaklikKalite = sicaklik * 4;
else if (sicaklik == 25)
    sicaklikKalite = 100;
else
    sicaklikKalite = ( 50 - sicaklik ) * 4;
```

Şekil 6. Sıcaklık Sensörü için Geliştirilen Kaba Kod

Tüm sensörler için kalite değerleri hesaplandıktan sonra, genel ortam kalitesi değeri hesaplanmaktadır. Genel ortam kalitesi için kullanılan formül aşağıda verilmiştir. Her parametre için ortam değeri ve belirlenen eşik seviyeleri arasında kıyaslamalar yapılmış ve bu kıyaslamalar ile parametreler üzerinden kalite katsayıları hesaplanmıştır. Her sensör için belirlenen kalite katsayılarını kullanarak genel ortam kalitesi hesaplanmaktadır. Geliştirilen formüldeki "**Ortalama**" değeri, genel hava kalitesi temsil etmektedir.

$$\text{Ortalama} = (\text{CO} * 0.3) + (\text{Sıcaklık} * 0.25) + (\text{Nem} * 0.25) + (\text{Işık Şiddeti} * 0.1) + (\text{Duman} * 0.1) \quad (1)$$

Tablo 4. Ortam Parametrelerinin Kalite Değerleri [18,28]

IAQ Parametreleri	Ölçülen Değer Aralıkları	Ortam Seviyeleri [18]	Sağlık Riski Seviyeleri	Seçilen Değer Aralıkları
Sıcaklık	0 - 50 °C	16 - 26°C	26>T>20 °C [28]	20 - 25 °C
Nem	20 - 90 %	40 - 70%	70>RH>30 % [28]	40 - 70 RH
Işık Şiddeti	10 - 1000 lux	200 - 500 lux	<100 lux [18]	200 - 300 lux
CO gazı	100 - 10000 ppm	0 - 10 ppm	>10 ppm [18]	0 - 10 ppm
Duman	100 - 10000 ppm	0 - 10 ppm	>10 ppm [29]	0 - 10 ppm

V. IAQ SİSTEMİNİN UYGULAMA TESTLERİ

Geliştirilen IAQ istasyonunun donanımsal görünümü Şekil 7.a'da verilmiştir. İstasyon ile iç ortamdaki hava parametrelerinin hassas bir şekilde ölçülmesi ve işlenmesi sağlanmaktadır. Sensörler ile Raspberry Pi 3 kontrol kartı arasında, Tablo 2'de verilen GPIO pinleri üzerinden bağlantılar yapılmıştır. Web arayüzündeki

verilerin anlık olarak izlenmesi ve takip edilmesi amacıyla istasyon üzerinde TFT ekran kullanılmıştır. Ekran sayesinde bütünlük bir IAQ izleme sistemi geliştirilmiştir. Şekil 7.b’de istasyondaki TFT ekran üzerinden kullanıcılara gösterilen arayüz verilmiştir. Sensörlerden 5 saniyede bir alınan ortama ilişkin sıcaklık, nem, ışık miktarı, duman ve CO gazı verileri veritabanına kaydedilmekte ve web arayüzü üzerinden kullanıcılara sunulmaktadır. Geliştirilen sistemin diğer sistemlere göre kolay kurulum, kablosuz teknolojinin kullanımı, TFT ekran sayesinde ayrı bir donanıma ihtiyaç duyulmadan ortamdaki hava kalitesi anlık olarak görülmesi, tek bir pencere arayüzünde tüm veri erişimi gibi avantajları bulunmaktadır.



(a)



(b)

Şekil 7. (a) İstasyonunun donanımsal gösterimi, (b) TFT ekranda verilerin gösterimi

Şekil 8’de ortam parametrelerinin web arayüzü üzerinden grafiksel gösterimleri verilmiştir. Grafiklerde iteratif olarak gösterilen verilerde belirli aralıklarda artışların ve düşüşlerin yaşandığı görülmektedir. Bu sonuçlar, sensörlerden elde edilen verilere göre değişmektedir. Şekil 8’de sırasıyla (a) Sıcaklık, (b) Nem, (c) Işık Şiddeti, (d) Duman, (e) CO Gazı ve (f) Genel Ortam Kalitesi değerlerinin grafikleri verilmiştir. IAQ sistemi, laboratuvar ortamında yapılan deneylerle test edilmiştir. Grafiklerinin başlangıcında ortamdaki gaz seviyelerinin düşük olmasına bağlı olarak genel hava kalitesi oranının yüksek olduğu ve son kısımlara doğru seviyenin düştüğü görülmektedir. Bu durum sistemin, hava koşullarının değişimine karşın verilen hızlı tepkiyi göstermektedir. İlerleyen test çalışmalarında, iç ortamın sürekli izlenmesi ile daha kalıcı ve kontrollü bir sistem geliştirilecektir.

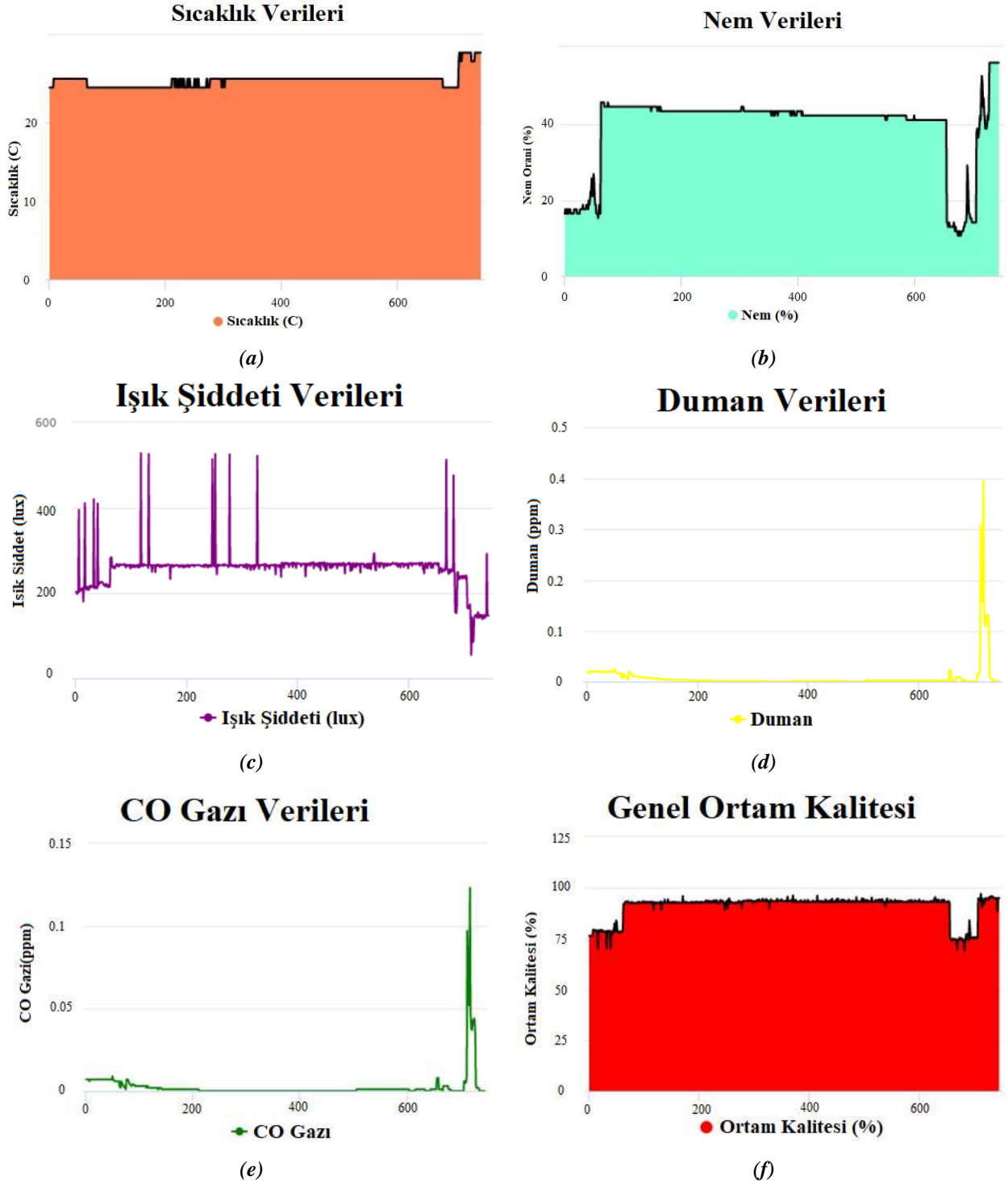
VI. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

Bu çalışma kapsamında, IoT tabanlı IAQ izleme sistemi gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen izleme sisteminde temel amaç, IAQ’ni insan hayatı için en optimum seviyede tutulabilmek ve ortam koşullarından ötürü meydana gelebilecek olan sorunların üstesinden gelmektir. Bu amaca ulaşmak için kolay kurulum özelliğine sahip, düşük maliyetli ve kompakt bir donanım sistemi geliştirilmiştir. Sistem içerisinde Raspberry Pi 3 kontrolcü kartı, DHT11 sıcaklık ve nem sensörü, ışık sensörü ve gaz sensörü kullanılmıştır. Bu sistem ile iç ortamdaki hava parametrelerinin (sıcaklık, nem, ışık şiddeti, duman ve CO gazı) okunarak kullanıcılara görsel olarak aktarılması sağlanmaktadır.

Sensörlerden elde edilen ham veriler, Raspberry Pi 3 kontrolcü kartında işlendikten sonra MySQL veri tabanına kaydedilmiş, daha sonra iç ortamdaki hava kalitesini tespit etmek amacıyla geliştirilen formülde kullanılarak hava kalitesi hesaplanmıştır. Yazılan web servisi aracılığıyla veri tabanından çekilen ortam parametreleri, hazırlanan kullanıcı arayüzü üzerinden grafiksel ve sayısal olarak kullanıcılara aktarılmıştır. Önerilen sistem ile cihazın bulunduğu ortamdaki hava parametrelerinin uzaktan izlenmesine imkân veren bir uygulama sunulmuştur.

Yapılan testler sonucunda elde edilen bilgilerin ışığında, gerçekleştirilen sistemin kabul edilebilir IAQ’nin sağlanması hususundaki katkısının umut verici olduğu görülmektedir. Gerçekleştirilen sistemin yerleştirileceği farklı ortamlara göre farklı performans göstermesi mümkün olacaktır. Örneğin, kapalı mekânlarda

çalışan işçi sağlığını korumak ve işçi performansını artırmak, özel ilgi ve bakım gerektiren hasta, yaşlı ve bebeklerin bulunduğu ortamların sağlığını ve konforunu korumak amacıyla kullanılabilir. İlerleyen çalışmalarda, daha geniş kapsamlı bir iç ortam izleme sisteminin kurulması ve sistemin yapay zekâ teknikleri ile desteklenerek akıllı hale getirilmesi planlanmaktadır.



Şekil 8. Ortamdaki hava kalitesi parametrelerinin grafiksel gösterimleri
(a) Sıcaklık, (b) Nem, (c) Işık şiddeti, (d) Duman, (e) CO gazı, (f) Genel ortam kalitesi

KAYNAKLAR

- [1] Hammami, A. (2019). Smart Environment Data Monitoring. 2019 International Conference on Computer and Information Sciences (ICCIS), 3-4 April, Sakaka, Saudi Arabia, pp. 1-6.
- [2] Majumder, A.J.A., Mcwhorter, T.M., Ni, Y., Nie, H., Iarve, J., Ucci, D.R. (2019). sEmoD: A Personalized Emotion Detection Using a Smart Holistic Embedded IoT System. 2019 IEEE 43rd Annual Computer Software and Applications Conference (COMPSAC), 15-19 July, Milwaukee, WI, USA, pp. 850-859.
- [3] Shah J., Mishra, B. (2016). Customized IoT enabled wireless sensing and monitoring platform for smart buildings. *Procedia Technology*, 23, 256-263.
- [4] Venkatanarayanan, A., Vijayavel, A., Rajagopal, A., Nagaradjane, P. (2019). Design of sensor system for air pollution and human vital monitoring for connected cyclists. *IET Communications*, 13(19), 3181-3186.
- [5] Ghosh, R., Gardner, J.W., Guha, P.K. (2019). Air Pollution Monitoring Using Near Room Temperature Resistive Gas Sensors: A Review. *IEEE Transactions on Electron Devices*, 66(8), 3254-3264.
- [6] Firdhous, M.F.M., Sudantha, B.H., Karunaratne, P.M. (2017). IoT enabled proactive indoor air quality monitoring system for sustainable health management. 2017 2nd International Conference on Computing and Communications Technologies (ICCCT), 23-24 February, Chennai, India, pp. 216-221.
- [7] Pham, N.Q, Rachim, V.B., Chung, W.Y. (2018). EMI-Free Bidirectional Real-Time Indoor Environment Monitoring System. *IEEE Access*, 7, 5714-5722.
- [8] Abraham, S., Li, X. (2014). A cost-effective wireless sensor network system for indoor air quality monitoring applications. *[J]. Procedia Computer Science*, 34, 165-171.
- [9] Spiru, P., Simona, P.L. (2017). A review on interactions between energy performance of the buildings, outdoor air pollution and the indoor air quality. *Energy Procedia*, 128, 179-186.
- [10] Başaran, D., Karanfil, B., Tüysüz, B. (2018). Çoklu modül destekli enerji etkin akıllı kontrol sistemi. *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 22(2), 468-479.
- [11] Huang, K., Song, J., Feng, G., Chang, Q., Jiang, B., Wang, J., Sun, W., Li, H., Wang F., Fang, X. (2018). Indoor air quality analysis of residential buildings in northeast China based on field measurements and longtime monitoring. *Building and Environment*, 144, 171-183.
- [12] Yalçın, N. (2017). *Gaz Sensörleri ile Ölçüm Sistemleri için Ortam Modelleme ve Simülasyon Geliştirilmesi*. Doktora Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.
- [13] Quang Phuc Ha, Q.P., Metia, S., Phung, M.D. (2020). Sensing Data Fusion for Enhanced Indoor Air Quality Monitoring. *IEEE Sensors Journal*, 20(8), 4430-4441.
- [14] Jo, J.H., Jo, B.W., Kim, J.H., Kim, S.J., Han, W.Y. (2020). Development of an IoT-Based Indoor Air Quality Monitoring Platform. *Journal of Sensors*, 2020, Article ID 8749764, 1-14.
- [15] Le, H.A., Linh, V.T.Q. (2020). Investigation of Indoor and Outdoor Air Quality at Elementary Schools in Hanoi, Vietnam. *VNU Journal of Science: Earth and Environmental Sciences*, 36(1), 30-37.
- [16] Marques, G., Ferreira C.R., Pitarma, R. (2019). Indoor Air Quality Assessment Using a CO2 Monitoring System Based on Internet of Things. *Journal of Medical Systems*, 43(67), 1-10.
- [17] Sung, W.T., Hsiao, S.J., Shih, J.A. (2019). Construction of Indoor Thermal Comfort Environmental Monitoring System Based on the IoT Architecture. *Journal of Sensors*, 2019, Article ID 2639787, 1-16.

- [18] Tiele, A., Esfahani, S., Covington, J. (2018). Design and Development of a Low-Cost, Portable Monitoring Device for Indoor Environment Quality. *Journal of Sensors*, 2018, Article ID 5353816, 1-14.
- [19] Salamone, F., Belussi, L., Danza, L., Ghellere, M., Meroni, I. (2015). Design and development of nEMoS, an all-in-one, low-cost, web connected and 3D-printed device for environmental analysis. *Sensors*, 15(6), 13012–13027.
- [20] Zhao, Z., Wang, J., Fu, C., Liu, Z. Liu, D., Li, B. (2018). Design of a Smart Sensor Network System for Real-Time Air Quality Monitoring on Green Roof. *Journal of Sensors*, 2018, Article ID 1987931, 1-13.
- [21] Zhao, L., Wu, W., Li., S. (2019). Design and Implementation of an IoT-Based Indoor Air Quality Detector with Multiple Communication Interfaces. *IEEE Internet of Things*, 6(6), 9621-9632.
- [22] Chen, P.H., Cross, N. (2018). IoT in Radiology: Using Raspberry Pi to Automatically Log Telephone Calls in the Reading Room. *Journal of Digital Imaging*, 31, 371-378.
- [23] Divya, M., Subhash, N., Vishnu, P., Tejesh, P. (2020). Smart Health Care Monitoring Based on Internet of Things (IoT). *International Journal of Scientific Research and Engineering Development*, 3(1), 409 - 414.
- [24] Nowshin, N., Mazumder, P., Soikot, M.A., Probal, M., Qadir, M.U. (2019). Designing and Implementation of Microcontroller Based Non-Invasive Health Monitoring System. 2019 International Conference on Robotics, Electrical and Signal Processing Techniques (ICREST), 10-12 January, Dhaka, Bangladesh, pp. 134-139.
- [25] Dheena, P. P. F., Raj, G.S., Dutt, G., Jinny, S.V. (2017). IOT based smart street light management system. 2017 IEEE International Conference on Circuits and Systems (ICCS), 20-21 December, Thiruvananthapuram, India, pp. 368-371.
- [26] Light Dependent Resistor Datasheet. (1997). http://www.bilimteknik.tubitak.gov.tr/sites/default/files/gelisim/elektronik/dosyalar/40/LDR_NSL19_M51.pdf, (11.16.2020)
- [27] Hanwei Electronics. (2020). Technical Data MQ-2 Gas Sensor Datasheet, <http://www.haoyuelectronics.com/Attachment/MQ-2/MQ-2.pdf>, (11.16.2020)
- [28] Olesen, B.W. (2000). Guidelines for Comfort. *ASHRAE Journal*, 40-45.
- [29] Perera, I. E., Litton, C. D. (2014). Evaluation of Smoke and Gas Sensor Responses for Fires of Common Mine Combustibles. *Transactions of Society for Mining, Metallurgy, and Exploration, Inc*, 336(1), 381–390.