



## AKILLI ŞEHİR HAVA TAKİP SİSTEMİ VE ASTIM HASTALARI İÇİN PM<sub>2.5</sub> KONSANTRASYONU ÖLÇÜM ARACININ GELİŞTİRİLMESİ

Abdulkadir KARACI\*

<sup>1</sup> Kastamonu Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Kastamonu, Türkiye

### Anahtar Kelimeler

Arduino,  
Toz sensörü,  
Nesnelerin İnterneti,  
Kablosuz ağ

### Öz

Son zamanlarda, hava kirliliği insan sağlığında ve çevrede ciddi etkilere yol açtığından dolayı gerçek zamanlı hava kalitesi ölçümü konusunda kamu bilinci artmaktadır. Çeşitli boyutlarda, genellikle toz olarak sınıflandırılan partikül madde varlığı, açık hava ve kapalı alan senaryolarında hava kalitesini etkileyen önemli bir faktördür. Şehirlerin iç ve dış ortamlarındaki hava kirleticilerinin izlenmesi teknik açıdan zahmetli ve çok pahalı bir iştir. Bu çalışmada dış ortamlardaki PM<sub>2.5</sub> yoğunluğunu, nemi ve sıcaklığı ölçen düşük maliyetli bir araç geliştirilmiştir. Geliştirilen araç PM<sub>2.5</sub>, ısı ve nem verilerini ölçerek Wi-Fi üzerinden Thing Speak IoT platformuna göndermektedir. Ayrıca astım hastaları ve diğer risk grupları için PM<sub>2.5</sub> oranı eşik değerini aştığında hem sesli hem de görsel uyarı verilmektedir. Geliştirilen sistem farklı deneysel tasarımlar gerçekleştirilerek test edilmiştir. Test sonuçlarına göre, geliştirilen aracın PM<sub>2.5</sub> yoğunluğunu doğru bir şekilde ölçtüğü, ölçüm verilerini anlık olarak IoT platformuna gönderdiği ve eşik değeri aşıldığında hem LCD ekran üzerinde mesaj olarak hem de sesli olarak uyarı verdiği görülmüştür.

## DEVELOPMENT OF PM<sub>2.5</sub> CONCENTRATION MEASUREMENT DEVICE FOR INTELLIGENT CITY AIR TRACKING SYSTEM AND ASTHMA DISEASES

### Keywords

Arduino,  
Dust sensor,  
Internet of Things,  
Wi-Fi

### Abstract

Recently, there is increasing public awareness of the real time air quality due to air pollution can cause severe effects to human health and environments. The presence of particulate matter, often classified as dust, in various sizes is an important factor affecting air quality in outdoor and indoor scenarios. The monitoring of air pollutants inside and outside the cities is technically troublesome and very expensive. In this study, a low-cost tool was developed to measure the PM<sub>2.5</sub> densities, humidity and temperature of outdoor environments. The developed vehicle measures PM<sub>2.5</sub>, temperature and humidity data and sends it to the Thing Speak IoT platform via Wi-Fi. In addition, both asthma and other risk groups receive both audible and visual warning when the PM<sub>2.5</sub> density exceeds the threshold value. The developed system was tested by performing different experimental designs. According to the test results, it was seen that the developed vehicle accurately measures the PM<sub>2.5</sub> densities, sends the measurement data momentarily to the IoT platform, and alerts with a message and a sound when the threshold is exceeded.

### Alıntı / Cite

Karacı, A., (2018). Akıllı Şehir Hava Takip Sistemi ve Astım Hastaları İçin Pm<sub>2.5</sub> Konsantrasyonu Ölçüm Aracının Geliştirilmesi, *Journal of Engineering Sciences and Design*, 6(3), 418-425.

\* İlgili yazar / Corresponding author: akaraci@gmail.com, +90-553-180-2880

Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)	Makale Süreci / Article Process	
A. Karacı, 0000-0002-2430-1372	Başvuru Tarihi / Submission Date	04.04.2018
	Revizyon Tarihi / Revision Date	15.05.2018
	Kabul Tarihi / Accepted Date	26.07.2018
	Yayın Tarihi / Published Date	11.09.2018

## 1. Giriş

Son 20 yılda fosil yakıt tüketiminin ivme kazanması şehirlerdeki hava kalitesinin azalmasına neden olmuştur. Hava kalitesinde yaşanan bu azalma, özellikle büyük şehirlerde yaşayan insanların sağlığını tehdit etmeye ve büyük ekonomik kayıplara neden olmaya başlamış, bunun sonucunda hava kalitesi 21. yy'nin en büyük çevre sorunu haline gelmiştir (Öztaner vd., 2014). Çeşitli boyutlarda, genellikle toz olarak sınıflandırılan partikül madde varlığı, açık hava ve kapalı alan senaryolarında hava kalitesini etkileyen önemli bir faktördür (Khadem vd., 2012). En önemli kirleticiler arasında yer alan ve Amerika Birleşik Devletleri Çevre Koruma Ajansı (USA EPA)'nın altı yaygın kirleticisinden bir tanesi olan Partikül Maddenin (PM<sub>2.5</sub> ve PM<sub>10</sub>) kimyasal kompozisyonu, reaksiyon özellikleri, kısa ve uzun aralıkta difüze olma özellikleri farklıdır. Toz, polen, küf gibi 10 mikron ve daha küçük parçacıklar PM<sub>10</sub> (partiküler madde) olarak ve yanma sonucu oluşan parçacıkları, organik bileşikler veya dizel yakıtların yanması gibi 2.5 mikron ve daha küçük parçacıklar ise PM<sub>2.5</sub> olarak adlandırılır. PM<sub>2.5</sub> 2.5 µm ve altındaki partikül madde konsantrasyonunu ifade etmektedir. PM konsantrasyonu, endüstriyel ortamlarda µg/m<sup>3</sup> veya mg/m<sup>3</sup> olarak, ofis binalarında ve endüstriyel temiz odalarda ise adet/m<sup>3</sup> olarak ifade edilir (Karakas, 2015). Küresel tahminlere göre, nüfusun %70-90'ı Dünya Sağlık Örgütü Hava Kalitesi Yönergesinde belirtilen yıllık ortalama 10 µg/m<sup>3</sup> aşan PM<sub>2.5</sub> konsantrasyonlarına maruz kalmaktadır (Olivares ve Edwards, 2015).

Dünya Sağlık Örgütü yönergesine göre PM<sub>2.5</sub> ortalama konsantrasyonu yıllık 10 µg/m<sup>3</sup>, 24 saatlik 25 µg/m<sup>3</sup>; PM<sub>10</sub> ortalama konsantrasyonu ise yıllık 20 µg/m<sup>3</sup>, 24 saatlik 50 µg/m<sup>3</sup> şeklinde belirlenmiştir (Who, 2012). PM<sub>2.5</sub> solunum sistemindeki bronşçuklarda birikerek kardiyovasküler ve üst solunum yolu hastalıklarına sebep olabilir, hatta ölümle sonuçlanan sağlık sorunları oluşturabilirler (Öztaner vd., 2014). Ayrıca, son yıllarda hava kalitesi ve çevre koruma kamuoyunda giderek daha fazla ilgi çekmekte ve çoğu insan, çevrelerindeki hava kalitesine dikkat etmektedir. Bir hava kirliliği çeşidi olan PM<sub>2.5</sub> insan vücudunu doğrudan etkilemekte ve çıplak gözle görülmemektedir. Birçok epidemiyolojik araştırmada PM<sub>2.5</sub>'un, erken ölüm, bronşit, astım, kardiyovasküler hastalıklar, akciğer kanseri gibi sağlıkla ilgili birçok tehlikeye yol açtığı gösterilmiştir (Lin vd., 2016).

Şehirlerin iç ve dış ortamlarındaki hava kirleticilerinin izlenmesi teknik açıdan zahmetli ve çok pahalı bir iştir

(Tasić vd., 2016). Bu çalışmada dış ortamlardaki PM<sub>2.5</sub> yoğunluğunu, nemi ve sıcaklığı ölçen düşük maliyetli bir araç geliştirilmiştir. Bu araç iki amaçla kullanılabilir. Birincisi her hangi bir şehrin belirli lokasyonundaki PM<sub>2.5</sub>, ısı ve nem verilerinin ölçülerek web üzerinden izlenilmesinin ve kayıt altına alınmasının sağlanmasıdır. İkincisi ise astım hastaları ve diğer risk grupları için PM<sub>2.5</sub> konsantrasyonu eşik değerini aştığında hem sesli hem de görsel uyarı verilmesidir. Böylece hem bir şehrin havası PM<sub>2.5</sub>, sıcaklık ve nem açısından düşük maliyetli takip edilmiş olacak hem de belirli risk grupları için uyarıcı bir sistem geliştirilmiş olacaktır. Eşik değeri olarak Dünya Sağlık Örgütü tarafından PM<sub>2.5</sub> için belirlenen 24 saatlik sınır değeri kullanılmıştır. Yani uyarı için 25 µg/m<sup>3</sup>, eşik değeri olarak kabul edilmiştir.

Çalışmanın diğer bölümlerinde geliştirilen sistemin elektronik ve yazılımsal ayrıntıları, elde edilen test sonuçları sunulmaktadır.

## 2. Bilimsel Yazın Taraması

Bilimsel yazın incelendiğinde PM konsantrasyonu ölçümü konusunda çeşitli çalışmalar mevcuttur. Alvarado vd. (2015), havadaki PM<sub>2.5</sub> yoğunluğunu ölçmek için ölçüm sensörünü hava aracı üzerine entegre ederek farklı noktalardan veri alabilecek bir araç geliştirmiştir. Elde edilen veriler XBee Pro modülü vasıtasıyla sadece bir bilgisayara gönderilmektedir. Veri gönderilen bilgisayar ile XBee Pro modülü arasındaki mesafe veri gönderimi açısından sınırlılık oluşturmaktadır. Olivares ve Edwards (2015), ODIN adını verdikleri optik toz sensörüne dayanan küçük ve düşük maliyetli bir araç geliştirmişlerdir. ODIN'de ölçüm verileri lokal olarak bellek kartına kaydedilip değerlendirilmektedir. Lin vd. (2016) PM<sub>2.5</sub> ölçümü yapan mobil bir cihaz geliştirmişlerdir. Cihaz Bluetooth modülü ile cep telefonuna bağlanarak toplanan verileri bulut sunucusuna göndermektedir. Tasić vd. (2016) iç ortamda PM<sub>2.5</sub> konsantrasyonu ölçümü için 2 farklı toz sensörünü karşılaştırmışlar ve sonuçları değerlendirmişlerdir. Chiang (2018) PM<sub>2.5</sub> konsantrasyonunu ölçmek için ticari bir toz sensörünü ve tamamlayıcı bir metal-oksit yarı iletken dönüştürücüyü bir araya getiren yeni bir sensör geliştirmiştir. Bu sensör, ölçüm hassasiyetini önceki teknolojilere göre artırmıştır. Sensörün tüm fonksiyonları ve performansı ölçümler yoluyla doğrulanmıştır. Guanting vd. (2018) iç mekanlardaki PM<sub>2.5</sub> konsantrasyonunu izleyen ve LCD ekran üzerinde, konsantrasyonlara göre farklı renk

desenleri gösteren bir araç geliştirmişlerdir. Elde edilen veriler Bluetooth aracılığıyla, gerçek zamanlı olarak cep telefonuna gönderilmekte ve eşik aşıldığında, hava temizleyicinin fanı cep telefonuyla uzaktan kontrol edilebilmektedir. Ayrıca literatürdeki çalışmalara göre PM<sub>2.5</sub> ölçüm değerleri Tablo 1'deki gibi kategorize edilmiştir (Guanting vd., 2018; Chen vd., 2015).

**Tablo 1.** PM<sub>2.5</sub> ölçüm sonuçlarının kategorize edilmesi

24 saatlik Ortalama PM <sub>2.5</sub> Konsantrasyonu (µg/m <sup>3</sup> )	Hava Kalitesi İndeksi Seviyesi	Kategori	Renk Kodu
0-35	1. sınıf	Mükemmel	Yeşil
36-75	2. sınıf	İyi	Sarı
76-115	3. sınıf	Hafif Kirli	Turuncu
116-150	4. sınıf	Orta Kirli	Kırmızı
151-250	5. sınıf	Ağır Kirli	Mor
251-350	6. sınıf	Aşırı Kirli	Koyu Kırmızı
351-500			

Tahat vd. (2018) hareketli araçlara monte edilerek PM<sub>2.5</sub>, sıcaklık ve nem bilgilerini ölçen bir cihaz geliştirmişlerdir. Cihazdan elde edilen veriler bluetooth vasıtasıyla mobil telefona ve mobil telefon üzerinden de buluta gönderilmektedir. Bu büyük veriler, kümeleme ve Naive Bayes sınıflandırma algoritması ile işlenmekte ve anlamlı sonuçlar çıkarılmaktadır. Diputra vd. (2018), güç santrallerinde yanan kömürlerden çıkan partikülleri ölçmek ve kontrol altına alabilmek için prototip bir cihaz geliştirmişlerdir. Gunawan vd. (2018) havadaki partikülleri, karbon monoksit ve ozon seviyesini ölçen düşük maliyetli bir araç geliştirmişlerdir. Bu araçtan elde edilen bilgiler sd karta kaydedilmektedir.

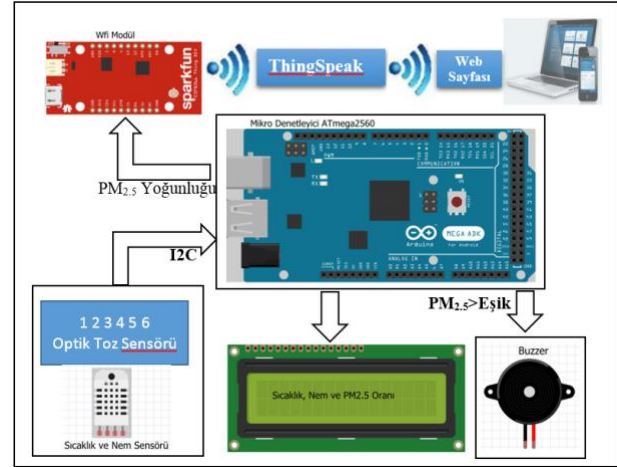
### 3. Materyal ve Yöntem

PM<sub>2.5</sub> yoğunluğunu ölçmek için geliştirilen araç, yazılım ve elektronik tasarım olmak üzere iki kısımda incelenebilir. Elektronik tasarımda arduino uno mikro denetleyici kartı, optik toz sensörü, wifi modül, ısı ve nem sensörü, potansiyometre, LCD ekran, direnç, kondansatör ve buzzer kullanılmıştır. Yazılım kısmı; toz sensöründen gelen veriyi okuma, PM<sub>2.5</sub> konsantrasyonu eşik değerini aşarsa sesli ve yazılı olarak uyarı verme, şehir hava takip sistemi için kullanılacaksa wifi modül vasıtasıyla internete bağlanarak ölçüm değerlerini thingspeak IoT platformuna gönderme işlemlerini içermektedir.

#### 3.1. Geliştirilen PM<sub>2.5</sub> Ölçüm Aracının Genel Tasarımı

Geliştirilen PM<sub>2.5</sub> ölçüm aracının öncelikle elektronik tasarımı gerçekleştirilmiştir. PM<sub>2.5</sub> toz yoğunluğunun ölçümü için toz sensörü mikro denetleyici üzerine bağlanmıştır. Bunun yanı sıra wifi modülü, ısı ve nem sensörü, LCD ekran ve buzzer'ın bağlantıları da

gerçekleştirilmiştir. Son olarak geliştirilen aracın istenen fonksiyonları yerine getirebilmesi için programlanması yapılmış ve test edilmiştir. Tasarlanan sistemin genel diyagramı şekil 1'de gösterilmektedir.

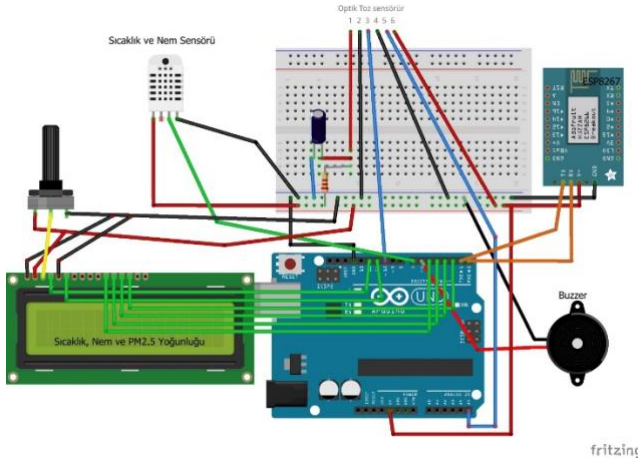


**Şekil 1.** PM<sub>2.5</sub> ölçüm aracının basitleştirilmiş genel diyagramı

Şekil 1'de de görüldüğü gibi toz sensöründen elde edilen PM<sub>2.5</sub> yoğunluğu belirlenen eşik değerine ulaştığında buzzer vasıtasıyla sesli uyarı verilmektedir. LCD ekran üzerinde sıcaklık, nem ve PM<sub>2.5</sub> yoğunluğu izlenebilmektedir. Ayrıca ölçülen tüm değerler wifi modülü vasıtasıyla ThingSpeak IoT (Internet of Things) analitik platformuna gönderilmektedir. Gönderilen bilgiler bu platform üzerinden hem grafik olarak hem de değer olarak web üzerinden izlenebilmektedir.

#### 3.2. Elektronik Tasarım

Bu bölümde PM<sub>2.5</sub> yoğunluğunu ölçmek için geliştirilen araçta kullanılan elektronik modüller, özellikleri ve üstlendikleri görevler açıklanmaktadır. Deprem uyarı sisteminin elektronik tasarımında Arduino Uno mikro denetleyici kartı, Sharp GP2Y10 Optik Toz Sensörü, ESP8266 wifi modülü, DHT11 Isı ve Nem Sensörü Kartı, 2x16 LCD ekran, buzzer, 150 ohm direnç, 220uF'lık kondansatör ve 10 K potansiyometre kullanılmıştır. Sisteme ait elektronik tasarım şekil 2'de gösterilmektedir.



Şekil 2. PM<sub>2.5</sub> ölçüm aracının elektronik tasarımı

PM<sub>2.5</sub> ölçüm aracında kullanılan elektronik elemanlar, teknik özellikleri ve sistemdeki görevleri aşağıdaki başlıklarda açıklanmaktadır.

**Arduino Uno Kontrol Kartı:** Arduino uno, açık kaynaklı tek yongalı ATmega328P mikro denetleyicisine dayanan bir mikro denetleyici karttır. Basit bir G / Ç arabirimi oluşturmak için açık kaynak donanım ve yazılım platformundan yararlanır. Yazılım geliştirme aracı olarak Java ve C diline benzeyen processing/Wiring dili kullanılmaktadır (Ya'acob vd., 2016; Tasić vd., 2016; Lin vd., 2016). Geliştirilen araçta, arduino uno vasıtasıyla toz sensörü, sıcaklık ve nem sensöründen gelen veriler değerlendirilmektedir. Değerlendirilen bilgiler wifi modülüne yönlendirilmektedir. Ayrıca veriler eşik değeri ile karşılaştırılıp buzzer'ın tetiklenmesi sağlanmaktadır.

**Wifi Modül:** Wifi modülleri herhangi bir wifi hattı üzerinden internete bağlanılarak veri yükleme ya da veri almak için kullanılan modüldür. Bu modüller, Arduino'dan web sunucularına standart HTTP protokolünü kullanarak veri aktarımı yapılmasına imkan sağlar (Djajadi ve Wijanarko, 2016; Karacı ve Erdemir, 2017).

Geliştirilen araçta ESP-8266 wifi modülü kullanılmıştır. Wifi üzerinden İnternete bağlanmak için kullanılan en yetenekli modüllerden biri ESP-8266'dır. Esp-8266 herhangi bir mikro denetleyiciye ihtiyaç duymadan bağımsız olarak da çalışabilir. Bu modülün farklı versiyonları vardır. Bu çalışmada ESP-8266-01 sürümü kullanılmıştır. Bu sürüm, genel amaçlı küçük uygulamalar için yaygın olarak kullanılan ucuz bir sürümdür (Jalamkar ve Selvakumar, 2016).

ESP-8266 modülleri kullanılmadan önce genellikle güncellemelidir. Bu nedenle elektronik devre kurulmadan önce ESP-8266'nın güncelleme işlemi gerçekleştirilmiştir. ESP-8266, mikro denetleyici içinde belirlenen wifi ağına, yine mikro denetleyici içinde belirlenen kullanıcı adı ve şifreyi kullanarak bağlanır. Bağlanma işlemi başarılı bir şekilde

gerçekleştikten sonra; toz, sıcaklık ve nem sensörlerinden gelen bilgiler Thingspeak analitik IoT platformuna bu modül vasıtasıyla gönderilir.

**Toz Senörü Ünitesi:** Bu çalışmada PM<sub>2.5</sub> yoğunluğunu ölçmek için Sharp PM<sub>2.5</sub> (GP2Y1010AU0F) ışık yayan diyot (LED) tabanlı optik toz sensörü ünitesi kullanılmıştır. Bu sensöre kızıl ötesi sinyal yayan bir diyot ve bir fototransistör çapraz olarak yerleştirilmiştir. Yayılan kızılötesi ışının toz partiküllerinden yansımaları ölçerek çalışmaktadır (Lin vd., 2016). Çok düşük akım tüketimine (20mA max.) sahip ve 7 V'a kadar besleme gerilimi ile çalışabilen toz sensörü, 0.5V/1mg/m<sup>3</sup> 'lük hassasiyete sahiptir. Bu sensör bir çok mikrodenetleyeci platformu ile yalnızca 150 ohm'luk bir direnç ve 220uF'lık kondansatör bağlantısıyla kullanılmaktadır (Sharp, 2018). Bu sensör sayısallaştırma kolaylığı, hızlı yanıt vermesi, hafif olması, düşük güç tüketimi, yüksek dayanıklılık ve uygun boyutta olması nedeniyle tercih edilmiştir. Özellikle, sigara dumanı gibi çok ince parçacıkların tespitinde etkilidir. Kirletici gaz veya toz emisyonlarını ölçmek için kullanılan sensörlerin tipi ve türü, emisyonun türüne, ilgili konsantrasyon aralığına ve gerekli tepki süresine göre değişmektedir. Kirletici gaz veya toz emisyonlarını ölçmek için kullanılan sensörler genellikle ultrason, optik ve elektrokimyasal algılama elemanları üzerine kurulmuştur (Alvarado vd., 2015; Khadem vd., 2012).

Bu sensör toz yoğunluğu ile orantılı olarak analog voltaj çıkışı vermektedir. Bu çıkış 0-1024 arası bir değerdir. Bu değer Eşitlik(1) kullanılarak 0-3.7 V arasında bir voltaj değerine dönüştürülmektedir.

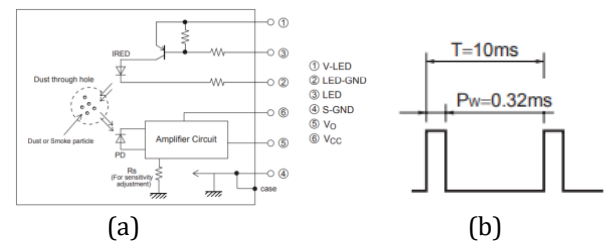
$$\text{Hes.Volt.} = \text{Ölçülen analog değ.} * (5.0 / 1024); \quad (1)$$

Hesaplanan bu voltaj değeri PM<sub>2.5</sub> toz yoğunluğu değerine mg/m<sup>3</sup> ya da µg/m<sup>3</sup> biriminde dönüştürülmelidir. Bunun için Eşitlik(2) veya Eşitlik(3) kullanılmaktadır.

$$\text{PM}_{2.5} \text{ Yoğ.} = 0.17 * \text{Hes. Voltaj} - 0.1 \text{ mg/m}^3 \quad (2)$$

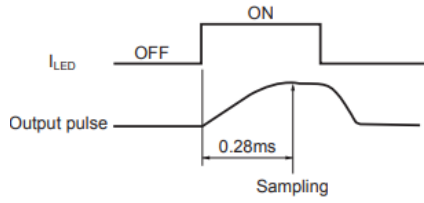
$$\text{PM}_{2.5} \text{ Yoğ.} = (0.17 * \text{Hes. Voltaj} - 0.1) * 1000 \text{ µg/m}^3 \quad (3)$$

Sharp optik toz sensöründen toz yoğunluğuyla ilgili analog çıkış alabilmek için şekil 3(b)'deki modele göre darbe dalga modeli elde edilmelidir. Temel olarak toz sensörünün ledini kontrol eden dijital çıkış 10 ms'de bir 0.32 ms süreyle low (0) olarak ayarlanmalıdır. Yani 10 ms'de bir toz sensöründen toz yoğunluğu değeri okunabilir (Khadem vd., 2012).



**Şekil 3.** Optik Toz Sensörü (a) İç şeması (b) PWM Uyarımı (Sharp, 2018)

Ayrıca çıkış darbesinin örnekleme zamanı da şekil 4'e göre gerçekleştirilmelidir. Yani Led 0.32 ms 0 (low) konumunda tutulmalıdır. Ancak 0.28 ms sonra toz yoğunluğu değeri analog çıkıştan okunmalıdır. Daha sonrasında 0.4 ms beklenmeli ve Led 1 (high) konumuna getirilmelidir. Led 1 (high) konumuna geldikten sonra tekrar toz yoğunluğunu okumak için 9.68 ms sonra 0 (low) konumuna getirilmelidir. Böyle 10 ms'lik bir döngü tamamlanmış olur. Yazılım gerçekleştirilirken toz sensöründen veri okumak için bu ilkelere uyulmalıdır.



**Şekil 4.** Çıkış Darbesinin Örnekleme Zamanı

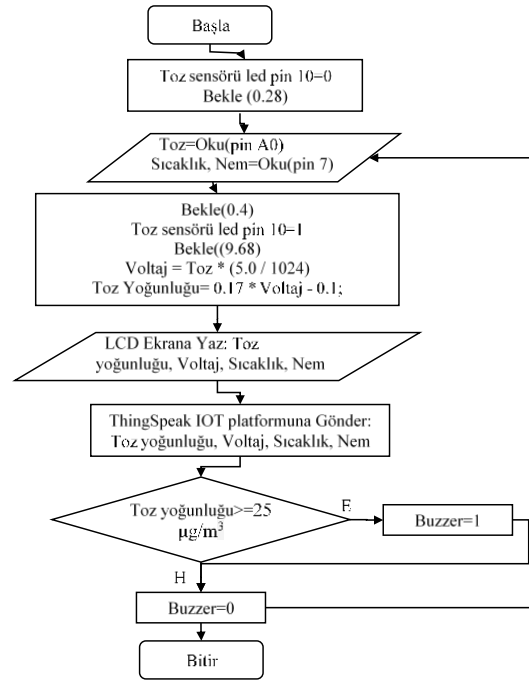
**Buzzer:** Buzzer mikro denetleyici kontrolünde ses çıkarmak için kullanılan bir elemandır. PM<sub>2.5</sub> yoğunluğu 25 µg/m<sup>3</sup> değerini aştığında astım hastalarını ve risk gruplarını sesli olarak uyararak için kullanılmaktadır.

**LCD Ekran:** Geliştirilen araçta kullanılan LCD ekran 2X16 tipinde bir ekrandır. Mikro denetleyiciye gelen toz, sıcaklık ve nem verilerinin kullanıcıya gösterilmesi için kullanılmaktadır. Toz verisi hem yoğunluk hem de voltaj olarak gösterilmektedir. LCD ekranın kontrast oranını ayarlamak için 10K potansiyometre kullanılmaktadır.

**Sıcaklık ve Nem Sensörü:** Sıcaklık ve nem sensörü olarak piyasada pek çok farklı tipte nem sensörü bulmak mümkündür. Ancak DHT11 sensörünün hazır kütüphanesi Arduino ortamında tanımlıdır (Karacı ve Erdemir, 2017). Bu nedenle geliştirilen robotta DHT11 olarak bilinen sıcaklık ve nem sensörü tercih edilmiştir.

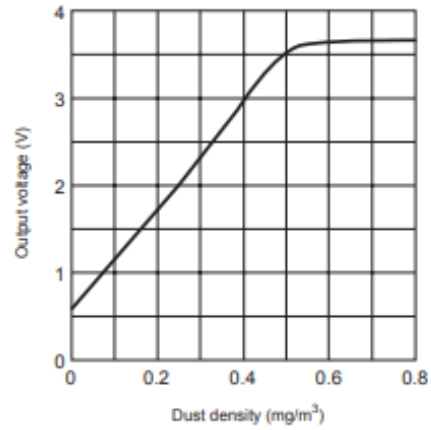
### 3.3. PM<sub>2.5</sub> Yoğunluğunu Ölçme Aracı İçin Gerçekleştirilen Yazılım

PM<sub>2.5</sub> yoğunluğunu ölçme aracı için gerçekleştirilen yazılım Arduino IDE ortamında Processing programlama dili kullanılarak geliştirilmiştir. Yazılımın akış şeması şekil 5'de gösterilmektedir.



**Şekil 5.** PM<sub>2.5</sub> yoğunluğunu ölçme yazılımının akış şeması

Sistem çalışmaya başladığında toz sensöründen değer okunur ve [0-3.7] aralığında voltaj değerine dönüştürülür. Bu değer aralığı sensör üretici firması tarafından belirtilen değerlerle uyumludur. Sensör üretici firmasının toz yoğunluğuna karşı voltaj çıkışı grafiği şekil 6'da gösterilmektedir.



**Şekil 6.** Toz yoğunluğuna karşı voltaj çıkışı

Elde edilen voltaj değeri daha anlaşılır olması açısından bu grafik kullanılarak elde edilen Eşitlik(2)'ye göre PM<sub>2.5</sub> toz yoğunluğu değerine dönüştürülmektedir. Ayrıca DHT11 sensörünün bağlı olduğu pin 7'den sıcaklık ve nem değerleri de okunmaktadır. Okunan bu değerler ESP8266 wifi modülü vasıtasıyla wifi ağına bağlanılarak thingspeak IoT platformuna gönderilmektedir. Ayrıca LCD ekran üzerine de bu bilgiler aktarılmaktadır. Thingspeak IoT platformuna veri gönderme işlemi dakikada bir defa gerçekleştirilmektedir. Bunun için yazılımda long

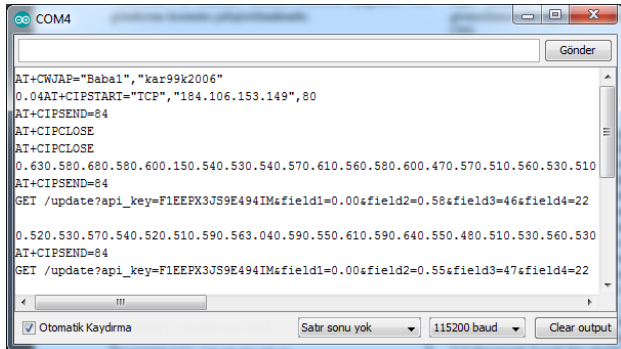
zaman=millis()/1000; komutuyla robotun çalışma zamanı saniye cinsinden hesaplanmaktadır. Daha sonra zaman%60 işleminin sonucu 0 ise gönderme işlemi gerçekleştirilmektedir.

ESP8-266 wifi modülü vasıtasıyla her hangi bir wifi ağına bağlanmak için AT+CWJAP="ağ adı","parola" komut satırı kullanılmaktadır. Ağa bağlandıktan sonra thingspeak IoT platformunun sunucusuna bağlanmak için AT+CIPSTART="TCP","184.106.153.149",80 komut satırı kullanılmalıdır.

AT+CIPSEND=84 komut satırıyla 84 baytlık veri gönderileceği ESP8266 wifi modülüne bildirilmektedir. Modül boştaysa geriye ">" karakterini döndürmektedir. Yazılımda bu karakter (>) kontrol edilerek aşağıdaki veri gönderme komutu çalıştırılmaktadır.

```
GET /update?api_key = F1EEPX3JS9E494IM&field1 = 0.13 & field2=0.49&field3=45&field4=21
```

Bu komuttaki field1 PM<sub>2.5</sub> yoğunluğunu, field2 PM<sub>2.5</sub> voltaj değerini, field 3 nem, ve field4 ise sıcaklık değerlerini temsil etmektedir. Bu değerler sensörlerden gelen bilgilere göre program içinde dinamik olarak hesaplanmaktadır. Veri gönderme işleminin gerçekleştirilmesi şekil 7'deki seri port ekranında gösterilmektedir.



Şekil 7. ESP-8266 üzerinden veri gönderme işleminin seri port üzerinden izlenmesi

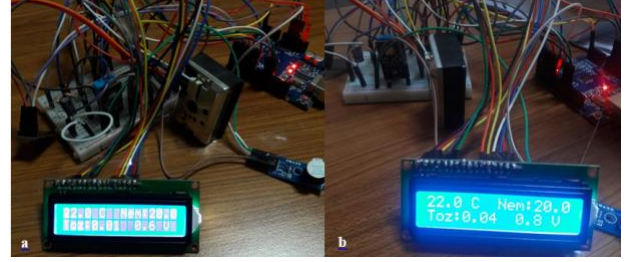
Bunun yanı sıra astım hastaları için dakikalık olarak ortalama PM<sub>2.5</sub> konsantrasyonu ölçülmektedir. Bu hesaplama için zaman=millis()/60; komutundan elde edilen değer 0 oluncaya kadar ölçüm sonuçları toplanmakta ve her dakikada bir ölçüm sayısına bölünerek ortalama değer hesaplanmaktadır. Ölçülen bu ortalama değer 25 µg/m<sup>3</sup> değerinden büyükse LCD ekran üzerinde mesaj olarak ve buzzer vasıtasıyla sesli olarak uyarı verilmektedir.

## 4. Sonuçlar ve Tartışma

### 4.1. Sistemin Uygulanması

Sistemin gerçek zamanlı uygulaması Şekil 8'de gösterilmektedir. Şekil 8.a'da ölçülen PM<sub>2.5</sub>

konsantrasyonu 0.01 mg/m<sup>3</sup> iken şekil 8.b'deki 0.04 mg/m<sup>3</sup>'tür. Bu veriler sigara içilen ve içilmeyen ortamlarda ayrı, ayrı ölçülmüştür.



Şekil 8. Sistemin gerçek zamanlı uygulaması

### 4.2. Deneysel Tasarım

Sistemi test etmek amacıyla farklı deneysel tasarımlar gerçekleştirilmiş ve sistem 3 farklı açıdan test edilmiştir. Bunlardan birincisi ölçüm sonuçlarının doğruluğu, ikincisi PM<sub>2.5</sub> yoğunluğunun 25 µg/m<sup>3</sup> değerini aşması durumunda alarm verilmesi ve uyarı mesajı gösterilmesi, üçüncüsü ise wi-fi üzerinden verilerin doğru bir şekilde thingspeak IoT platformuna gönderilmesidir.

İlk olarak, geliştirilen araç sigara dumanıyla ve dış ortamda test edilmiştir. Dış ortam testinde özellikle havanın kirli olduğu akşam saatlerinde 10-20 µg/m<sup>3</sup> aralığında değer ölçümü yapılmıştır. Ayrıca sigara dumanı ile yapılan testlerde sigara dumanı direkt sensör üzerine üflendiğinde en üst sınır olan 3.7 volt yani ortalama 500 µg/m<sup>3</sup> PM<sub>2.5</sub> konsantrasyonuna ulaşılmıştır. Daha sonra değer düşmeye başlamıştır. Odada sigara dumanı olduğu sürece PM<sub>2.5</sub> yoğunluğu 60 µg/m<sup>3</sup> ve üstünde ölçülmüştür. Test sonuçlarından da görüldüğü gibi sistem doğru ve dengeli bir şekilde çalışmaktadır. Ayrıca elde edilen bilgiler LCD ekrana aktarılmakta ve ölçüm sonuçları izlenebilmektedir.

İkinci test işlemi geliştirilen aracın astım hastaları için sesli ve görüntülü olarak uyarı vermesi konusunda yapılmış ve PM<sub>2.5</sub> yoğunluğu 25 µg/m<sup>3</sup> aştığında hem sesli hem de LCD ekran üzerinde görüntülü olarak uyarı verdiği tespit edilmiştir. Ayrıca astım hastaları LCD ekran vasıtasıyla bütün ölçüm değerlerini izleyebilmektedir. Test işleminde 63 m<sup>3</sup> büyüklüğündeki odanın sol bölgesinde 1 adet sigara içilmiştir. Geliştirilen ölçüm aracı ise sigara içilen bölgeden 7 m uzaklıktaki sağ bölgeye yerleştirilmiştir. Ölçüm işlemine sigara içimi bittikten sonra başlanmıştır ve 21 dakika süre ile ölçüm yapılmıştır. Ölçüm sonuçları, geliştirilen araç tarafından 1 dakikalık ortalama PM<sub>2.5</sub> konsantrasyonu olarak hesaplanmıştır. Test işleminin başından sonuna kadar elde edilen bu ortalamalar tablo 2'de gösterilmektedir. Beşinci dakikadan onaltıncı dakikaya kadar PM<sub>2.5</sub> konsantrasyonu 30 µg/m<sup>3</sup> seviyesinde sabit kalmıştır. Bu seviyeden sonra odanın penceresi açılmıştır ve PM<sub>2.5</sub> konsantrasyonu önce 20 µg/m<sup>3</sup> sonrada 10 µg/m<sup>3</sup> değerine düşmüştür.

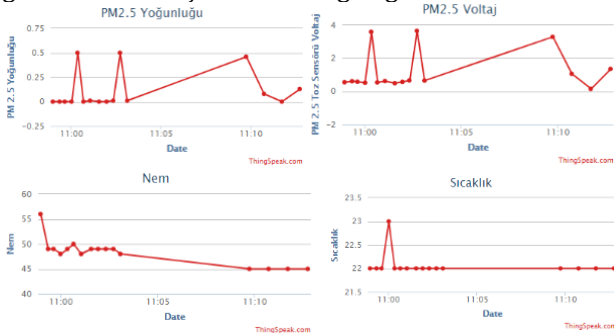
**Tablo 2.** Dakikalık ortalama PM<sub>2.5</sub> ölçüm değerleri

Süre	PM <sub>2.5</sub> Ölçüm Değeri (µg/m <sup>3</sup> )
1.dakika	70
2. dakika	60
3. dakika	40
4. dakika	40
5-16.dakika	30
17.dakika	20
18-21.dakika	10

Ayrıca geliştirilen araç dakikalık ortalama PM<sub>2.5</sub> konsantrasyonunu değerlendirerek 25 µg/m<sup>3</sup> değerinden büyük olduğunda Şekil 9'da gösterildiği gibi LCD ekranda "Tehlikeli Bölge" mesajı ve buzzer vasıtasıyla sesli uyarı verdiği tespit edilmiştir.

**Şekil 9.** PM<sub>2.5</sub> değerinin eşik değerini aşması durumunda uyarı verilmesi

Üçüncü test işlemi, ölçüm sonuçlarının ESP-8266 ile thingspeak IoT platformuna gönderilmesi konusunda gerçekleştirilmiştir. Test sonuçlarına göre ölçüm verilerinin doğru bir şekilde gönderildiği görülmüştür. Thingspeak IoT platformuna gönderilen PM<sub>2.5</sub> yoğunluğu, PM<sub>2.5</sub> voltajı, sıcaklık ve nem ölçüm verileri grafiksel olarak Şekil 10'daki gibi gösterilmektedir.

**Şekil 10.** Thingspeak IoT platformunda gösterilen ölçüm sonuçları

## 5. Sonuç ve Öneriler

Şehirlerin iç ve dış ortamlarındaki hava kirleticilerinin izlenmesi teknik açıdan zahmetli ve çok pahalı bir iştir. Bu çalışmada dış ortamlardaki PM<sub>2.5</sub> yoğunluğunu, nemi ve sıcaklığı ölçen düşük maliyetli bir araç geliştirilmiştir. Çalışma sonucunda elde edilen bulgulara göre PM<sub>2.5</sub> konsantrasyonunu ölçen araç başarılı ve doğru bir şekilde çalışmaktadır. Geliştirilen bu araç akıllı şehir projelerinde şehrin belirli noktalarındaki PM<sub>2.5</sub> yoğunluk bilgilerini ölçmek için etkili ve ucuz bir şekilde kullanılabilir. PM<sub>2.5</sub> yoğunluğunun yanı sıra sıcaklık ve nem bilgilerinin belirli lokasyonlarda ölçülmesi de mümkündür. PM<sub>2.5</sub> yoğunluğunu ölçen araçların bir çoğu lokal olarak ölçme işlemini gerçekleştirmektedir ve fiyat aralığı yapılan araştırmaya göre 1000-5000 TL aralığındadır. Ancak bu çalışma kapsamında geliştirilen araç maliyeti 45 TL'dir. Bunun yanı sıra bu araç baskı devre haline getirilip bir kutu içinde birleştirildiğinde sağlık problemi olan astım hastaları için uyarıcı bir araç olarak kullanılabilir düzeydedir.

Geliştirilen sistem bir kutu içinde birleştirilerek cihaz haline getirilebilir. Eşik değerinin ayarlanabilmesi için tuş takımı ve ayar butonu eklenebilir. Ayrıca GPS modül eklenerek akıllı şehir projelerinde konum bilgisi de IoT platformuna gönderilebilir. Ayrıca geliştirilen araç Arduino Lilypad mikro denetleyici kullanılarak daha küçük giyilebilir bir cihaz haline getirilebilir.

## Conflict of Interest / Çıkar Çatışması

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir.

No conflict of interest was declared by the authors.

## Kaynaklar

Alvarado, M., Gonzalez, F., Fletcher, A. & Doshi, A., 2015. Towards the Development of a Low Cost Airborne Sensing System to Monitor Dust Particles after Blasting at Open-Pit Mine Sites, Sensors 15, 19667-19687. doi:10.3390/s150819667

Chen W, Wang F, Xiao G, Wu K and Zhang S, 2015. Air quality of Beijing and impacts of the new ambient air quality standard, Atmosphere, 6, 1243-1258.

Chiang, C-T., 2018. Design of a High-Sensitivity Ambient Particulate Matter 2.5 Particle Detector for Personal Exposure Monitoring Devices, IEEE Sensors Journal, 18(1), 165 - 169.

Diputra, Y. R., Marwanto, A., Alifah, S., 2018. Coal Dust Controller On Indramayu Power Plants Conveyor

- Lane Based IoT, Journal of Telematics and Informatics, doi:10.12928/jti.v6i1.
- Djajadi, A., Wijanarko, M., 2016. Ambient Environmental Quality Monitoring Using IoT Sensor Network, Internetworking Indonesia Journal, 8:1.
- Guanting L., Rong, Z., Jiangwei, G., Yongqing W., 2018. Development of intelligent monitoring purifier for indoor PM 2.5, IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 127(1), 1-6.
- Gunawan, T. S., Munir, Y.M. S., Kartiwi, M., Mansor, H., 2018. Design and Implementation of Portable Outdoor Air Quality Measurement System using Arduino, International Journal of Electrical and Computer Engineering (IJECE), 8(1), 280-290.
- Jalamkar, D., Selvakumar, A.A., 2016. Use of Internet of Things in a Humanoid Robot - A Review, Advances in Robotics & Automation, 5(2), 2-5.
- Karacı, A., Erdemir, M., 2017. Arduino ve Wifi Temelli Çok Sensörlü Robot Tasarımı ve Denetimi, Bilişim Teknolojileri Dergisi, 10(4), 435-442.
- Karakaş, B., İç Ve Dış Hava Ortamlarında Partiküler Madde (Pm10, Pm2.5 Ve Pm1) Konsantrasyonlarının Değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2015.
- Khadem, M: I., Stamatescu, G., Sgarciu, V., 2012. Wireless Measurement Node for Dust Sensor Integration, The Sixth International Conference on Sensor Technologies and Applications, 159-162.
- Lin, Y-S, Chang, Y-H, Chang, Y-S, 2016. Constructing PM2.5 Map based on Mobile PM2.5 Sensor and Cloud platform, The 6th IEEE International Symposium on Cloud and Service Computing, Nadi, Fiji, December 7-10. DOI: 10.1109/CIT.2016.82
- Olivares, G. & Edwards, S., 2015. The Outdoor Dust Information Node (ODIN) – development and performance assessment of a low cost ambient dust sensor. Atmospheric Measurement Techniques Discussions. 8. 7511-7533. 10.5194/amtd-8-7511-2015.
- Öztaner, Y. B., Güney, B., Kalkan, K., Kahya, C., Balçık, F.B., Çakır, S., Pm2.5 Dağılımının Belirlenmesi İçin Enterpolasyon Yöntemlerinin Karşılaştırılması : Marmara Bölgesi Örneği, 25. Uzaktan Algılama-Cbs Sempozyumu (Uzal-Cbs 2014), 14-17 Ekim 2014, İstanbul.
- Sharp, [http://www.sharp-world.com/products/device/lineup/data/pdf/datasheet/gp2y1010au\\_e.pdf](http://www.sharp-world.com/products/device/lineup/data/pdf/datasheet/gp2y1010au_e.pdf). Son erişim tarihi: 17.05.2018.
- Tahat, A., Aburub, R., Al-Zyoude, A., Talhi, C., 2018. A Smart City Environmental Monitoring Network and Analysis Relying on Big Data Techniques, ICSIM2018 Proceedings of the 2018 International Conference on Software Engineering and Information Management, 82-86.
- Tasić, V., Jovašević-Stojanović, M., Topalović, D., Davidović, M., 2016. Measurement of PM 2.5 Concentrations in Indoor Air Using Low-Cost Sensors and Arduino Platforms, Proceedings of the 6 th Scientific Meeting EuNetAir, pp. 69-72, Czech Academy of Sciences, Prague.
- WHO, Dünya Sağlık Örgütü, <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs313/en/>. Erişim Tarihi: 12.02.2017.
- Ya'acob, N., Adnan, S. F. S., Yusof, A. L., Azhar, A. E., Naim, N. F., Nur, N. M., Mahmon A., 2016. RFID lab management system using Arduino microcontroller approach associate with webpage, Journal of Scientific Research and Development, 3 (2): 92-97.