

**KAPALI MEKÂNLARDA UYGUNSUZ SİGARA  
KULLANIMININ TESPİTİ İÇİN E-BURUN  
TASARIMI VE GERÇEKLEŞTİRMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Yasin Can BAĞANA**

**Danışman**

**Doç. Dr. Uçman ERĐÜN**

**BİYOMEDİKAL MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**Temmuz 2021**

**AFYON KOCATEPE ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**KAPALI MEKÂNLARDA UYGUNSUZ SİGARA KULLANIMININ  
TESPİTİ İÇİN E-BURUN TASARIMI VE GERÇEKLEŞTİRMESİ**

**Yasin Can BAĞANA**

**Danışman**

**Doç. Dr. Uçman ERGÜN**

**BİYOMEDİKAL MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**Temmuz 2021**

## TEZ ONAY SAYFASI

Yasin Can BAĞANA tarafından hazırlanan “Kapalı Mekanlarda Uygunuz Sigara Kullanımının Tespiti için E-Burun Tasarımı ve Gerçekleştirilmesi” adlı tez çalışması lisansüstü eğitim ve öğretim yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca 13 / 07 / 2021 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından **oy birliği** ile Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Biyomedikal Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

**Danışman** : Doç. Dr. Uçman ERGÜN

**Başkan** : Prof. Dr. Sabri KOÇER  
Necmettin Erbakan Üniversitesi  
Mühendislik Fakültesi



**Üye** : Dr. Öğr. Üyesi Ahmet Haşim YURTTAKAL  
Afyon Kocatepe Üniversitesi  
Mühendislik Fakültesi



**Üye** : Doç. Dr. Uçman ERGÜN  
Afyon Kocatepe Üniversitesi  
Mühendislik Fakültesi



Afyon Kocatepe Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu’nun  
..... /..... /..... tarih ve  
..... sayılı kararıyla onaylanmıştır.

.....  
Prof. Dr. İbrahim EROL  
Enstitü Müdürü

## BİLİMSEL ETİK BİLDİRİM SAYFASI

Afyon Kocatepe Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- Atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- Ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı

beyan ederim.

13 / 07 /2021

Yasin Can BAĞANA



## ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

### KAPALI MEKANLARDA UYGUNSUZ SİGARA KULLANIMININ TESPİTİ İÇİN E-BURUN TASARIMI VE GERÇEKLEŞTİRMESİ

Yasin Can BAĞANA

Afyon Kocatepe Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Biyomedikal Mühendisliği Anabilim Dalı

**Danışman:** Doç. Dr. Uçman ERGÜN

Bu çalışmada, insan sağlığını olumsuz etkileyen sigaranın kapalı alanlarda uygunsuz kullanımının tespitinde kullanılmak üzere elektronik burun geliştirilmesi hedeflenmiştir. Sigaranın içerdiği kimyasallar ve sigara kullanımında havaya karışan gazlar sonucunda, pnömonik hastalıklar başta olmak üzere, kronik hastalıklara, akciğer kanseri ve diğer kanser türlerine sebep olmaktadır. Kronik solunum yolu enfeksiyonlarına ve KOAH hastalığına yakalanan bireylerin büyük bir çoğunluğunun hasta geçmişi incelendiğinde sigara kullandıkları gözlemlenmiştir. Sigara dumanı ile ortaya çıkan insan sağlığına zararlı gazların tespitinde kullanılmak üzere elektronik burun çalışması araştırmamızın temel konusudur. Sigara dumanının içerdiği gazların tespiti aşamasından sonra, bu gazları algılayacak sensörlere karar verilmiş ve temini sağlanmıştır. Devre kartı tasarımı sırasında EASYEDA programı kullanılarak kart basım öncesinde entegre simüle edilmiştir. Sensörler ve diğer komponentlerin kartın üzerinde yerleşimlerinde sorun olmadığı görüldüğünde PCB devre basımı yöntemi ile kartın basımı gerçekleştirilmiştir. Kart basım işlemi gerçekleştirildikten sonra gerekli devre elemanları ve sensörler yerleştirilmiştir. Son olarak cihazın aldığı verileri son kullanıcıya göstermesi için ekran bağlantıları kartın gerekli pinlerine yapılmıştır. Üretimi gerçekleştirilen elektronik burun cihazı için piyasadaki yazılım çözümleri yetersiz kaldığı için algoritması kendine özgü farklı bir yazılım geliştirme ihtiyacı duyulmuştur. Sigara dumanının içerdiği gazların ayrı ayrı tespiti ve ölçüm alınacak sensörün sistem üzerinden seçiminin yapılabildiği “Sensor Data Log and Visual Software “ yazılımı geliştirilmiştir. Elektronik burunda

kullanılan farklı sensörler sayesinde sigara dumanın içerdiği farklı gazların analizleri yapılabilmektedir. Tüm sensörlerde ortak olarak karbon monoksit gazı incelenmiştir. Diğer gazlarla alınan ölçümlere ise araştırma içerisinde yer verilmiştir. Zehirli gazların doğru tespiti ve alınan ölçümlerin daha kararlı hale gelmesi için devre kartının tamamen kapatacak bir kutu tasarımı Solidworks yazılımı kullanılarak yapılmıştır. Son olarak elektronik burun projemizde sensörlerden gelen veriler doğruluğu için uygun laboratuvar şartlarında ölçümler alınmıştır. Alınan ölçüm sonuçları kaydedilerek, anlamlı bir sonuç elde etmek için grafiklere ihtiyaç duyulmuştur. Bu grafikler cihazdan alınan verilerin 'Origin 8' programına aktarılması ile oluşturulmuştur. Laboratuvar ortamında yapılan testler sırasında farklı sensörlerin gaz tepkileri kıyaslanarak ölçüm değerlerinin tutarlılığı kontrol edilmiştir.

**2021, x + 87 sayfa**

**Anahtar Kelimeler:** Sensör, Gaz analizleri, Elektronik burun, Sigara kullanımı

## **ABSTRACT**

M.Sc. Thesis

### **E-NOSE DESIGN, AND IMPLEMENTATION FOR DETECTING INAPPROPRIATE SMOKING IN INDOOR SPACES**

Yasin Can BAGANA

Afyon Kocatepe University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Biomedical Engineering

**Supervisor:** Assoc. Prof. Uçman ERGUN

In this study, it is aimed to develop an electronic nose to be used in the detection of inappropriate use of cigarettes in indoor areas, which negatively affects human health. As a result of the chemicals contained in cigarettes and the gases mixed with the air during cigarette use, it causes chronic diseases, especially pneumonic diseases, lung cancer and other types of cancer. When the patient history of the majority of individuals with chronic respiratory tract infections and COPD disease is examined, it has been observed that they smoke. The main subject of our research is the electronic nose study to be used in the detection of harmful gases to human health, which are produced by cigarette smoke. After the determination of the gases contained in cigarette smoke, sensors to detect these gases were decided and supplied. During the circuit board design, the board was simulated before printing by using the EASYEDA program. When it was seen that there was no problem in the placement of the sensors and other components on the card, the card was printed with the PCB circuit printing method. After the card is printed, the necessary circuit elements and sensors are placed. Finally, the display connections are made to the required pins of the card in order to show the data received by the device to the end user. Since the software solutions in the market for the electronic nose device produced were insufficient, a different software development was needed with its own algorithm. The "Sensor Data Log and Visual Software" has been developed, which allows the separate detection of the gases

contained in cigarette smoke and the selection of the sensor to be measured through the system. Thanks to the different sensors used in the electronic nose, different gases contained in cigarette smoke can be analyzed. Carbon monoxide gas was examined in common in all sensors. Measurements taken with other gases are included in the research. In order to detect toxic gases correctly and to make the measurements more stable, a box design that will completely close the circuit board was made using Solidworks software. Finally, in our electronic nose project, measurements were taken under appropriate laboratory conditions for the accuracy of the data coming from the sensors. The measurement results were recorded and graphics were needed to obtain a meaningful result. These graphs were created by transferring the data from the device to the 'Origin 8' program. During the tests carried out in the laboratory environment, the gas response of different sensors was compared and the consistency of the measurement values was checked.

**2021, x + 87 pages**

**Keywords:** Sensors, Gas analysis, Electronic nose, Smoking

## TEŞEKKÜR

Bu araştırmanın konusu, deneysel alışmaların yönlendirilmesi, sonuçların değerlendirilmesi ve yazımı aşamasında yapmış olduğu büyük katkılarında dolay tez danışmanım Sayın Doç. Dr. Uçman ERGÜN, araştırma ve yazım süresince yardımlarını esirgemeyen Sayın Doç. Dr. Sadullah ÖZTÜRK'e her konuda öneri ve eleştirileriyle yardımlarını gördüğüm hocalarıma ve arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Bu araştırma boyunca maddi ve manevi desteklerinden dolay aileme teşekkür ederim.

Yasin Can BAĞANA

Afyonkarahisar 2021

## İÇİNDEKİLER DİZİNİ

	<b>Sayfa</b>
ÖZET .....	i
ABSTRACT .....	iv
TEŞEKKÜR .....	vi
İÇİNDEKİLER DİZİNİ.....	vii
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ .....	viii
ŞEKİLLER DİZİNİ .....	ix
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	x
RESİMLER DİZİNİ .....	xi
1. GİRİŞ.....	1
2. LİTERATÜR BİLGİLERİ .....	5
2.1 Sigara ve Toplum Sağlığı .....	5
2.2 Gaz Sensörleri.....	12
2.3 Elektronik Burun Çalışmalarında Veri Sınıflandırması.....	18
3. MATERYAL ve METOT .....	20
3.1 Elektronik Burun Devresi .....	20
3.2 Gaz Testleri.....	24
3.3 Elektronik Burun ile Elde Edilen Verilerin Oluşturulan Algoritmalar ile İşlenmesi .....	32
4. BULGULAR .....	34
4.1 Elektronik Burun Devresi Kurulumu ve Veri Alımı .....	34
4.2 Elektronik Burun ile Elde Edilen Grafiklerin Analizi .....	51
5. TARTIŞMA ve SONUÇ .....	53
6. KAYNAKLAR.....	56
ÖZGEÇMİŞ.....	59
EKLER .....	60

## SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

### Simgeler

---

NO <sub>2</sub>	Azot dioksit
CO	Karbon monoksit
H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	Hidrojen peroksit
CH <sub>4</sub>	Metan
NH <sub>3</sub>	Amonyak
H <sub>2</sub> S	Hidrojen sülfür
O <sub>2</sub>	Oksijen
VOC <sub>s</sub>	Uçucu organik bileşikler
CO <sub>2</sub>	Karbon dioksit
ZnO	Çinko oksit
WO <sub>3</sub>	Tungsten oksit
C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	Propan
KB	Kilobit
L	Litre
mA	Mili amper
mg	Mili gram
MHz	Mega Hertz

### Kısaltmalar

---

DSÖ	Dünya sağlık örgütü
EASYEDA	Bulut tabanlı tasarım yazılımı
MATLAB	Matrix laboratuvar yazılımı
PCA	Temel bileşen analizi
ppm	Milyonda bir parçacık
SOLIDWORKS	Katı modelleme yazılımı

## ŞEKİLLER DİZİNİ

	<b>Sayfa</b>
Şekil 2.1 Gaz sensör çalışma mekanizması.....	14
Şekil 2.2 Elektrokimyasal sensörler .....	16
Şekil 3.1 MICS 6814 devre şeması .....	22
Şekil 3.2 Hidrojen atomu .....	31
Şekil 4.1 Sistem elektrik besleme şeması.....	35
Şekil 4.2 SGP 30 sensörü devre şeması .....	37
Şekil 4.3 SGP 30 sensörü CO grafiği.....	38
Şekil 4.4 SGP 30 sensörü (II) CO grafiği.....	39
Şekil 4.5 SGP 40 sensörü devre şeması .....	40
Şekil 4.6 SGP 40 sensörü CO grafiği.....	41
Şekil 4.7 BME 680 sensörü devre şeması .....	41
Şekil 4.8 BME 680 sensörü CO grafiği.....	42
Şekil 4.9 MICS sensörleri devre şeması.....	43
Şekil 4.10 MICS 4514 sensörü CO grafiği .....	44
Şekil 4.11 MICS 4514 sensörü NH3 grafiği .....	45
Şekil 4.12 MICS 4514 NO2 grafiği .....	46
Şekil 4.13 MLV sensörü devre şeması.....	47
Şekil 4.14 MLV sensörü CO grafiği .....	48



## ÇİZELGELER DİZİNİ

	<b>Sayfa</b>
<b>Çizelge 2. 1</b> Nanoyapılı metal oksit gaz sensörleri ve sensör özellikleri .....	18

## RESİMLER DİZİNİ

	<b>Sayfa</b>
<b>Resim 2.1</b> Elektronik burun devresi prototipi .....	19
<b>Resim 3.1</b> Elektronik burun devresi prototipi .....	20
<b>Resim 3.2</b> Elektronik burun 3 boyutlu görseli .....	23
<b>Resim 3.3</b> Elektronik burun iç tasarımı.....	23
<b>Resim 3.4</b> Elektronik burun kutu tasarımı yandan görünümü .....	24
<b>Resim 3.5</b> Gaz testi düzeneği .....	25
<b>Resim 3.6</b> Kapalı alanda gaz ölçümü testi .....	26
<b>Resim 3.7</b> Devre kartı üzerinde sensör dizilimi .....	27
<b>Resim 3.8</b> Sensor Data Log and Visualize Software üzerinden alınan gaz ölçüm değerleri .....	28
<b>Resim 3.9</b> Gaz ölçüm laboratuvarında bulunan gaz tankları .....	30
<b>Resim 3.10</b> Elektronik burun MATLAB yazılımı grafikleri .....	33
<b>Resim 3.11</b> Elektronik burun ara yüz yazılımı .....	33
<b>Resim 4.1</b> Elektronik burun ölçüm değerlendirme.....	34
<b>Resim 4.2</b> Elektronik burun sigara dumanı testi .....	50
<b>Resim 4.3</b> Elektronik burun sigara dumanı testi cihaz ekran grafik değerleri .....	51

## 1. GİRİŞ

Türkiye, Dünya Sağlık Örgütü Tütün Kontrolü Çerçeve Sözleşmesini 28/4/2004 tarihinde imzalamış, uluslararası sözleşmenin gereği olarak 2006 yılında Ulusal Tütün Kontrolü Programını (UTKP) hazırlamış, söz konusu program 7/10/2006 tarihli ve 26312 sayılı Resmî Gazete’de yayımlanmıştır. Ülkemizde kapalı mekanlarda sigara içilmesinin kısıtlanması 2006 yılından yürürlüğe girmiştir.

Günümüzde kapalı mekanlarda kurallara dikkat edilmeksizin sigara tüketiminin artarak devam ettiği görülmektedir. Toplumda sigaraya bağlı olarak artan başta akciğer kanseri olmak başta üzere pek çok solunum yolu hastalığı raporlanmıştır. Sigara kullanımı ile bireylerin sağlık hizmetlerine olan ihtiyaçları artmakta olup ülkelerin sağlık politikalarını düzenlemeleri gerekmiştir. Artan popülasyon ile birlikte yeni hastane ve personel ihtiyaçları ortaya çıkmaktadır. Veriler incelendiğinde sigara toplum sağlığının bozulması ve sağlıkta harcanan kalemler arasında ilk sıralarda gösterilmektedir.

Kapalı alanlarında sigara kullanımı sonrası ortamda bulunan kişilerin yoğun karbon monoksit ve zehirli gazlara maruz kalması sonucunda nefes darlığı, baş ağrısı, astım ve ilerleyen evrelerde, kronik obstrüktif akciğer hastalığı (KOAH) hastalıklarına yakalanma durumları artmaktadır. 0-6 yaş grubunda solunum sisteminde akciğer parankimin de ilerleyen yaşlarda nodül oluşumuna sebebiyet vermektedir.

Yaşanılan Covid-19 pandemisi ile birlikte insanların dünya çapında solunum yolu bulaş riskleri hakkında bilinçlendiği görülmektedir. Aktif olarak maske kullanımı ile solunum yolu ile bulaşacak bakteri ve virüslerden korunmaya çalışılmıştır. Virüslerin ve bakterilerin aktif olarak havalandırma sistemleri ile farklı kapalı mekanlara taşındığı bilimsel olarak ispatlanmıştır (Addeo vd. 2020).

Maske kullanımı ve ortamların yeterince havalandırılmaması farklı hastalıklara da sebebiyet vermektedir. Hastalıkların yanı sıra bireylerin evlerde kafelerde veya kamusal alanlarda kapalı mekanlarda kullandıkları sigara hem pandemi döneminde bulaş riskini hem de bireylerin bağışıklık sistemini zayıflatmaktadır. Günümüzde pek çok ülke sigara

kullanımı hakkında bireylerin bilinçlendirilmesi için kamu spotları, sigarayı bırakmaya yardımcı sağlık hizmetleri sunmaktadır. Bilinçlendirmenin yeterli olmadığı görülen durumlar da ise yasalar ile sigara kullanımının denetlenmesi hatta mümkünse belirli şartlarda kullanımının yasaklanmasını hedeflemektedirler. Alınan bu tedbirlerin değeri Covid-19'a yakalanan hastalar üzerinde yapılan araştırmalar ile gösterilmiştir. Aktif olarak sigara içen bireylerin hastaneye yatma oranları ve solunum desteğine ihtiyaç oranları sigara kullanmayan bireylere göre oldukça fazladır.

Pek çok zehirli madde içeren tütün bileşenlerinin kullanımı yalnızca tüketen kimseye değil aynı ortamı paylaştığı kişilerinde hayatlarını tehlikeye atmaktadır. Ortam hava kalitesini düşüren sigara dumanı ile birlikte geçirilen zor pandemi şartlarının daha da ağırlaştığı görülmektedir. Bu nedenle özellikle penceresi bulunmayan alanlardaki hava kalitesinin azalması insan sağlığını olumsuz etkilemektedir. Ortamda oluşan zararlı gazların pek çoğu ne yazık ki kokusuz ve renksizdirler. Örneğin kiş aylarında sıklıkla duyduğumuz soba gazı zehirlenmesi olarak da bilinen yoğun karbon monoksit gazına maruz kalan kimseler yaşamını yitirebilmektedir. Aynı karbon monoksit gazına gün içerisinde sigara dumanın bulunduğu ortamlarda bulunarak veya sigara kullanarak maruz kalınmaktadır.

Gelişen teknolojik şartlar ile birlikte elektronik burun hayatımızın her alanında aktif olarak kullanılabilir hale gelmesi için yürütülen pek çok araştırma geliştirme çalışmaları devam etmektedir. Elektronik burun kullanımının yaygın olduğu alanlar başta kimyasal gazların tespiti ve analizi, çevresel kirliliği ve sağlık alanında yürütülen diagnostik çalışmalar olmak üzere ağır sanayi üretim tesislerinde zehirli gaz kaçakları için yürütülen projeler mevcuttur.

Pandemi şartları ve sağlık alanında insanların ihtiyaçları sonucunda son kullanıcının isteklerini karşılayacak yeni kapalı mekn hava kalitesini ölçen cihazların araştırmalarına hız verilmiştir. Sensör maliyetlerinin son on yılda düşmesi ile birlikte evlerde şirketlerde sıklıkla bu cihazlara yer vermeye başlanmıştır. Ortam hava temizliği yapılabilmesi için o alandaki havada bulunan gazlar iyi tespit edilmelidir. Bu anlamda geliştirilen elektronik burun sistemleri ile kişinin hangi gaza maruz kaldığını

tespit etme imkânı oluşur. İnsan sağlığına zararlı olan gazlarının her biri farklı hastalıklara sebebiyet vermektedir. Zehirlenme gibi durumlarda hangi gaza maruz kalındığının bilinmesi tedavi için önem arz etmektedir.

Bireylerin bilinçlendirilmesi ve sigara tüketiminin azaltılması için elektronik burun çalışmaları yapılmaktadır. Gelişen teknolojinin imkanları kullanılarak yapay koku algılaması yapılabilmesi için geliştirilen e-burun projesi bu alanda insan burnunun algılayamadığı düzeydeki gazların algılanmasını sağlamıştır. e-burun projesi ile birlikte elde edilen verilerin bilgisayar ortamında analizi yapılarak sayısal verilerin işlenmesi hedeflenmektedir. Özellikle kapalı alanlarda sigara tüketimi ile ortam hava kalitesinin düşmesi ve insan yaşamını olumsuz etkileyecek gazların ortama salınmasının verdiği tahribatın analiz olarak verilerinin elde edilmesi bu soruna çözüm bulunması açısından çok önemlidir.

Elektronik burun sistemlerinde az sayıda sensör kullanmak yerine birbirinden farklı sensörler kullanarak bir sistem oluşturulmuştur. Yaptığımız çalışma ile farklı gazların tespitinde kullanılan SGP 30, SGP 40, BME 680, MICS 6814, MICS 4514 ve MLV sensörlerin bir devre şeması içerisinde bir arada kullanarak kapalı mekanlarda havada bulunan gazların daha doğru analiz edilmesi hedeflenmiştir. Her sensörden gelen veri incelenip diğer sensörden alınan veriler ile karşılaştırılmıştır. Seçilen sensörler ve elde edilen verilerin işlenmesi sürecinde oluşturulan algoritması ile birlikte ortamda bulunan karbon monoksit, hidrojen, hidrojen sülfür ve metan gazlarına ait veriler elde edilmiştir.

Ortam gazlarının tespiti sırasında sensörlerin ısı, sıcaklık, nem, basınç gibi farklı değişkenlerden en az seviyede etkilenmeleri için cihaz tasarımına ihtiyaç duyulmuştur. Geliştirilen kutu tasarımının avantajlarından biri de sensörlerin düşme, kopma gibi kullanıcıdan kaynaklanacak aksaklıklardan korunmasıdır. Sahip olduğu tümleşik ekran ile cihazı çalıştırdığı takdirde sensörler veya arka planda çalışan algoritma ile ilgilenmeden ortamda hangi gazdan ne miktarda olacağı tespit edilebilecektir. Bu özelliğiyle elektronik burun kullanıcı dostu bir cihazdır. Cihaz üzerinde sahip olduğu usb bağlantısı ile veya bulut sistemi ile veri transferi gerçekleştirmek mümkündür.

Ortam hava kalitesinin izlenebilirliğini kolaylaştıracaktır. Elde edilen veriler ışığında sigara dumanın veya farklı zehirli gazlara maruziyetin insan sağlığına verdiği zararlar nitel olarak gözlemlenebilecektir.

## 2. LİTERATÜR BİLGİLERİ

### 2.1 Sigara ve Toplum Sağlığı

Dünya çapında 1.3 milyar insanın tütün ürünü ve sigara kullandığı tahmin edilmektedir. Başta sigara kullanımı olarak dünya çapında her yıl 4.9 milyon insan hayatını kaybetmektedir. Bu hızda sigara ve tütün kullanımı devam etmesi halinde 2020 ve daha sonraki yılların tahmini verilerine göre %70'ini geliştirmekte olan ülkelerde yaşayan insanların oluşturduğu yaklaşık 10 milyon insanın farklı solunum yolu hastalıkları nedeniyle hayatını kaybedeceği öngörülmektedir. İnsanlar hayatlarını kaybetmeden bilinçlendirilmesi ve yasal düzenlemeler ile sigara ve tütün kullanımları kısıtlanmalıdır. Toplumun bu alanlarda bilinçlendirilmesi yasalardan daha etkili bir yöntemdir (Dünya Sağlık Örgütü 2008).

Tütün ürünlerine dair en eski kaynaklar Amerika da bulunan yerli halkın kutlamalarda, bir araya toplandıkları etkinliklerde ve tedavi amacıyla tütün bitkisini kullandıkları bilinmektedir. Tütün bitkisini yakarak çıkan dumanlarını soluduklarında şifa bulacaklarına veya psikolojik olarak rahatladıklarına inandıklarını Kristof Kolomb'un not defterinde yer verilmiştir. Avrupa kıtasında o güne kadar bu bitkiye rastlanmamıştır. Tüccarlar tarafından tohumunun Avrupa'ya taşınması ile birlikte başta Fransa olmak üzere diğer Avrupa ülkelerinde üretime başlanıldığı görülmektedir. 1556 yılına gelindiğinde Fransa'da bulunan Jean Nicot tarafından büyük kitlelere tütün kullanmaya teşvik ettiği görülmüştür. 19. Yüzyıla gelindiğinde ise bilim insanları sigaranın içeriğinde bulunan kimyasal maddeye nikotin ismini vermişlerdir (Marom 2016).

Avrupa hızlı bir şekilde artış gösteren tütün kullanımı soylu ailelerinde kullanması ile bir sınıfın ayrıcalığı olarak görülmüştür. Artan tütün kullanımı sonrasında Amerika ve pek çok Avrupa ülkesinde tütün üretimi ticarileşmeye gittiği görülür. Bilim insanları tütüne olan ilginin artması ile birlikte kullanılan kimyasalların araştırılmasına hız vermiştir. John Hill adındaki İngiliz doktor tarafından 1761 yılında yayınlanan "Cautions Against the Immoderate Use of Snuff" (Aşırı Enfiye Kullanımına Dikkat) adını verdiği ve tarihte bilinen ilk kanser-tütün ilişkisinin kurulduğu araştırma sonuçlarını içeren raporunu yayınladı. Tütün ve tütün ürünlerine karşı halkın bağımlılığı

ise günden güne artmaktadır. Avrupa kıtasındaki devletler tütün üretimini kontrol altına almak için tekelleşen devlet sigara fabrikaları kurarak kendi himayesi altında üretim ve satışına izin vermeye başlamıştır. Aynı yıllarda, Japonya, Rusya gibi bazı devletlerde ise tütün ve tütün ürünlerinin yasaklanması kararı alınmıştır.

Osmanlı Devleti'nde de aynı yıllarda devlet kontrolü altında üretim yapılması için devlet tekeline alması ile birlikte sigara üretimiyle geçimini sağlayan rum tüccarlar İngiliz himayesinde bulunan Mısır'a göç etmişlerdir. Mısır'da yapılan tütün ve sigara ticareti ile birlikte İngiltere başta olmak üzere tüm Avrupa'ya yayılan sigara endüstrisinin temeli atılmıştır.

Dünya çapında bu kadar hızlı yayılması daha büyük sağlık sorunlarını beraberinde getirmeye başlamıştır. Tütün bitkisinin çevre koşullarından olumsuz etkilenen narin bir bitki olduğu bilinmektedir. Çürümemesi veya bozulmaması için kullanılan kimyasal maddeler gün geçtikçe artmaktadır. Bağımlılığa sebep olan içerisinde ki etken maddelerin başında gelen nikotin kokusuz, renksiz ve insan sağlığına çok zararlıdır. Zirai ilaçlama ve böcek ilaçlarında etkin madde olarak nikotin kullanılmaktadır. Güçlü bir uyuşturucu özelliğe sahiptir. Kana karışma süresinin yavaş olması nedeniyle insan sağlığında direk görülür bir etkisi yoktur. Kana karışan nikotin başlangıçta tolere edilebilir seviyelerdedir. Fakat bireyin düzenli olarak sigara tüketimine ara vermeden devam etmesi halinde kanda nikotin miktarı artış gösterip çeşitli hastalıklar ve ilerleyen vakalarda ölümle sonuçlanabilir (Johnston 1956).

Dünya çapında farkındalık düzeyi artıp yasaklar başladığı dönemde I. ve II. Dünya Savaşı başlamıştır. Cephe savaşan askerler erzak yardımlarının yanında gönderilen sigara ve tütün ürünleri ile birlikte dünya çapında yeniden sigara kullanımı artış göstermektedir. Savaş sona erdiğinde ise dünya nüfusunun yaklaşık %65 bölümü sigara kullanıyordu. Bu tüketim artışında büyük sigara endüstrisi oluşması ile birlikte devletler ihtiyaç duydukları nakit akışını tütün ürünlerinden sağlamaya devam etmekteydiler. 1965 yılına kadar ekonomik kaygılar ile halk sigara tüketimine teşvik edilmiş sigaranın zararsız olduğuna dair reklamlar çekilip basın açıklamaları yapılmıştır (Carroll vd. 2020).



1965 yılından sonra ise insanların daha bilinçli hareket etmesi, klinik ve laboratuvar ortamlarında sigara kullanımına bağlı olarak artış gösteren hastalıkların bilimsel veriler ile raporlanması sonucunda hükümetler sigaraya verdikleri desteği çekmeye başlamışlardır. Sigara kullanan kimselerin sağlık sistemine daha fazla ihtiyaç duyması ile birlikte sağlık altyapısının geliştirilme ihtiyacı meydana gelmiştir. Tedavi için hastaneler kurulmasının maliyeti çok yüksektir. Toplumun bilinçlenip sigara kullanımını azaltması ise koruyucu sağlık hizmetleri arasında yer alır. Koruyucu sağlık hizmetlerinin maliyetleri tedavi için oluşturulan sağlık hizmetlerine oranla çok düşüktür. Sağlıklı bir toplum için hastalığa yakalanılmadan tütün ve sigara kullanım alışkanlıkları bırakılmalıdır.

Gençlik çağına gelmemiş çocukların kapalı alanlarda tütün ürünleri ve sigara dumanına maruz kalmaları sonucunda küçük yaşlarına rağmen pek çok kronik hastalığa yakalanma oranları yükselmektedir. Yapılan araştırmalar gösteriyor ki tütün ürünlerini tüketen kişiler kadar tütün ürünlerinin dumanındaki zehirli gazlara maruz kalan pasif içiciler diye adlandırdığımız grupta yer alan insanlarda risk grubunda yer almaktadırlar. Toplumsal bilinç oluşmadan yalnızca kendimizin tütün ürünleri kullanmaması yeterli değildir. Ölümün ve kronik hastalıkların önüne geçilebilmesi için toplumsal bilincin oluşması ve zararlı madde kullanıp alışkanlıklarının bırakılması gerekmektedir (Zeng vd. 2017).

### **2.1.1 Sigara Dumanının İçerdiği Gazlar ve Akciğer Kanserine Etkileri**

Tütün ürünlerinin kullanımı ile açığa çıkan dumanla birlikte ortama pek çok gaz salınmaktadır. Bu maddelerin sigaranın yanan kısmından direk kişinin nefes borusundan vücuduna alınabileceği gibi ortamda farklı insanların kullandığı sigaranın hava akımı nedeniyle diğer kişilerinde ciğerlerine dolması şeklinde gerçekleşebilir.

Yapılan araştırmalar gösteriyor ki dört binden fazla zararlı etken madde tütün dumanında gaz veya partikül olarak serbest halde ortama salınmaktadır. Benzen, vinil klörür, arsenik ve benzeri yaklaşık yüz yirmi adet farklı kanserojen kimyasal karışımlar içermektedir.

Katran benzeri partiküllü yapıya sahip maddelerin solunum yolu ile alınması halinde kişilerin solunum yetmezliği ve kronik hastalıklara yakalanma oranı artmaktadır. Ham tütünün sigaraya dönüşümü sırasında uzun süre çürümeye karşı dayanması ve farklı kimyasal süreçler nedeni ile daha zararlı hale gelmektedir. Nikotin miktarının özellikle artırılarak bireylerin sigaraya olan bağımlılıklarının artırılması ise toplum sağlığını ciddi düzeyde riske atmaktadır. Tütün ürünü kullanan kimseler nikotin nedeniyle sigaranın onları sakinleştirdiğini ve streslerini azalttığını düşünmektedirler (Carroll vd. 2020).

Sigara dumanının içinde yoğun olarak karbon monoksit gazı bulunmaktadır. Karbon monoksit gazı vücuda alındığında alyuvarlardaki hemoglobine bağlanarak hemoglobinlerin oksijen taşımaya engel olur. Sigara kullanan kişilerde hemoglobinlerin oksijen taşıma kapasitesi %2.5 ile %20 oranında azalır. Yaş ve sigara dumanına maruz kalma süresi dikkate alındığında bireyin organlarına yeterli düzeyde oksijen gitmediği gözlenmektedir. Yeterli oksijen alınmaması halinde damarlarda kolesterol depolanması görülmektedir. Hayati organlar arasında en çok oksijen yoksunluğu çekecek organ olarak beyin fonksiyonlarını yerine getirememesi sonucunda işitme kaybı, halüsinasyon, görme bozuklukları, iştahsızlık gözlemlenir. Bireyin uzun süre karbon monoksit maruz kalması sonucunda organ yetmezliği veya kronik hastalık görülme sıklığı artacaktır.

Özellikle bebeklerin bulunduğu ortamlardaki hava kalitesi daha büyük önem arz etmektedir. Solunum sistemleri ve bağışıklık sistemleri gelişmesini tamamlamadığı için metan gazı gibi zararlı gazlara maruz kalmaları halinde kronik rahatsızlıklara yakalanma oranları artacaktır.

Sigara kullanımında yaş cinsiyet gibi faktörler dışında, erken yaşta kullanıma başlanması, uzun süreli sigara kullanımı, günlük tüketilen sigara miktarına göre bireyin risk faktörü hesaplanır. Günlük bir adet bile tüketen kimseler bu alışkanlıklarını devam ettirdikleri için tıbbi olarak sigara bağımlısı olarak kabul edilmektedirler. Günlük az sigara kullanımı veya aralıklı olarak sigara kullanan kimselerde risk grubunda yer almaktadır. Sigara üreticilerinin halkın dikkatini çekmek için ve ürün yelpazesini

geliştirmek adına ürettikleri puro, nargile, mentollü sigara, light sigara gibi tütün ürünü tüketimi teşvik etmektedir. Bu ürünleri tüketen kimselerde başta akciğer kanseri olmak üzere pek çok hastalıkta risk grubunda yer almaktadırlar (Osibogun vd. 2020).

Günümüzde kanser türleri arasında kadın ve erkeklerde en sık görülen kanser türü olan akciğer kanserinin en temel sebebi olarak sigara kullanımı gösterilmektedir. Bireyin sigara kullanması ve ailesinde sigara kullanımı geçmişı olması kanserin ilerleyişini olumsuz yönde etkilemektedir. Akciğer kanseri bulguları kişiden kişiye değişiklik gösterebilir. Eğer kanser, ana hava yolları veya akciğer üst dokusunda yer almıyorsa belirti vermeden uzun süre büyüyebilmektedir. Akciğer kanserinin en temel belirtisi olarak görülen öksürük ne yazık ki önemsenmemektedir. Sigara bağımlısı kimselerde gündelik yaşamlarında balgamlı veya balgamsız olarak gelen öksürük mevcuttur. Akciğer kanserine bağlı olan öksürüğün ayırımını yapamadıkları için hastaneye başvurmada geç kalınmaktadır. Her kanser türünde olduğu gibi erken tedavi akciğer kanserinde de çok önemlidir. Fakat sigara kullanımına bağlı olarak görülen yan etkiler ile akciğer kanserinin sebep olduğu belirtiler birbirine benzedikleri için medikal görüntüleme ve biyopsi yapılmadan teşhis koyma imkânı çok düşüktür. Akciğer kanserinin başlıca incelendiğinde sıklıkla, nefes darlığı, ses kısıklığı, tekrarlayan üst solunum yolu enfeksiyonları, yutmada güçlük, tekrarlayan öksürük, göğüs ve sırt ağrıları, nefes alırken hırıltılı bir ses çıkarılması gibi belirtiler görülmektedir (Komagata ve Yoneda 2004).

Akciğer kanserini önleme amacıyla yapılacak çalışmaların maliyetleri akciğer kanseri tedavisinin maliyetlerine oranla çok düşüktür. Bu nedenle daha fazla insanın bilinçlendirilip akciğer kanserine sebep olacak tütün ürünlerinden uzak durması amaçlanmalıdır. Pek çok ülkede yapılarda ve endüstride kullanılan karsinojenlerin kullanımına kısıtlama getirilmiştir. Benzer karsinojenlere sahip sigara ne kullanımını düzenleyen yasalar getirilmemiştir (Toyooka vd. 2011).

Gelişen ülkelerde akciğer kanseri ile en etkin mücadele yöntemi olarak tütün ürünlerinin kullanımının azaltılması görülmektedir. Genç yaşta bireylerin özenerek veya rol model olarak sigara içen kimselerden etkilenmemeleri için okullarda ve kamu spotları ile

bilinçlendirilmeleri çok önemlidir. Sigara tüketiminde azalma ile birlikte akciğer kanseri teşhisi almış kişi sayısında ciddi bir azalma görülmektedir. Kamusal alanlarda işyerleri, toplu taşıma araçları gibi yerlerde kısıtla veya yasakların gelmesi ile birlikte pasif içici kategorisinde yer alan kişi sayısının azaldığı görülmüştür.

ABD'nin Kaliforniya eyaletinde uygulamaya konulan ilk kamusal alanlarda sigara içme yasağı 1998 yılında yürürlüğe koyulmuştur. Alınan bu karar ile birlikte dünyada pek çok ülkede sigara kullanımına kısıtlama veya yasaklar getirilmiştir. Ülkemizde ise devlet dairelerinde sigara içme yasağı 1997 yılında uygulanmaya başlamıştır. 2008 yılında revize edilmesi ile birlikte tüm kapalı mekanlarda, okul bahçeleri, hastane bahçeleri, stadyumlarda sigara içilmesi yasaklanmıştır.

Dünya sağlık örgütü ise, gençlerin sigaradan uzak durması için tütün içerikli reklam ve sponsorlukların dünya çapında yasaklanmasını teklif olarak sunmuştur. Bu çağrısının uygulandığı ülkelerde ise genç nüfusta sigara kullanımının % 16 azaldığı görülmüştür. Sigara kullanan insanların sağlık hizmetlerine duydukları ihtiyaçların artması üzerine başta akciğer kanseri tedavisi için kullanılacak fonlamaya ihtiyaç duyulmaktadır. Tütün ürünlerine uygulanan vergiler artırılarak ihtiyaç duydukları sağlık hizmetlerinin bedelinin karşılanması için sigara fiyatlarına zam yapılmaktadır.

Akciğer kanserleri temelde iki gruba ayrılmaktadır. Bu grupların ilki, küçük hücreli akciğer kanserleridir. Diğer akciğer kanseri türü ise küçük hücreli olmayan akciğer kanserleridir. Tedaviye başlanılmadan önce hücre tipinin belirlenmesi hasta pragnozu açısından oldukça önemlidir. Tedavi planlaması hücre tipine karar verildikten sonra yapılmaktadır. Akciğer kanserinde erken dönemde hastalığın fark edilmesi ile birlikte uygulanan cerrahi müdahale sonucunda sağ kalım oranı %85 gibi yüksek bir orandadır. İlk evrelerinde kanser yayılım yapmaması ve komşu dokulara, lenf bezlerine sıçramamış oluşu cerrahi müdahale için imkân tanımaktadır. Kanser hastalarının büyük bir bölümü şikayetlerinin arttığı III ve IV evrelerde sağlık kuruluşlarına başvurumaktadırlar. Kanser metastaz yaptığı çevre organlar ve lenf nodülleri olduğu için tedavi şansı azalmaktadır. Hastanın yaş, kilo, cinsiyet kanser evrelemesine göre tedavi seçenekleri değerlendirilmektedir (de Groot vd. 2018).

Erken evrede ve ameliyata engel bulunmaması halinde cerrahi müdahale gerçekleştirilir sonrasında koruyucu kemoterapi uygulanır. Eğer hastanın durumu ameliyata uygun değilse kanser yayılımının durdurulması ve geriletilmesi için kemoterapi ve radyoterapi seçenekleri uzman onkolog tarafından değerlendirilip karar verilir. Sigara kullanan hastaların tedaviye cevabı istenilen seviyede gerçekleşmeyebilir. Her hasta üzerinde kemoterapinin yan etkileri ve tedavi ilerleme hızı farklılık gösterebilir. Kemoterapi öncesi hastanın vital değerleri ve o tedaviyi kaldırıp kaldıramayacağı değerlendirilir. Tedavinin başarıya ulaşip ulaşmamasının incelenmesi için hastanın belirli dönemlerde kan tahlilleri ve medikal görüntüleme raporlarının incelenmesi gerekmektedir (Chabner ve Roberts 2005).

Radyoterapi tedavisi alan hastalarda ise önceden belirlenen aralıklarla belirli günlerde hastaya yüksek enerjili ışın verilerek kanser hücrelerinin öldürülmesi hedeflenmektedir. Lokal olarak hedef kanser hücresinin bulunduğu bölgeye uygulanmaktadır. Radyoterapi bir kansere hücresini küçülmek için veya cerrahi müdahale sonrası kanser hücresi kalmış olma ihtimaline karşı uygulanabilir. Kemoterapi ile birlikte uygulanan radyoterapi ise genellikle metastaz yapmadan akciğer hücrelerinde gelişmiş kanser hücrelerinde kullanılmaktadır. İleri evre hastalarda ağrı ve nefes darlığının giderilmesi için stand uygulaması yanı sıra radyoterapi tedavisi de uygulanabilmektedir.

Hastalar sağlıklarına kavuştuklarında da kanserin tekrardan nüks etmemesi için sağlıklı yaşamaya özen göstermeleri gerekmektedir. Beslenmeye dikkat edilmelidir. Yeniden sigara ve tütün kullanımına başlamaları halinde yeniden kansere yakalanma ihtimalleri çok yüksektir. Bağışıklık sistemleri baskılandığı için vücut bağışıklıkları düşüktür. Sıklıkla temiz havaya çıkmaları tedavi sürecini hızlandıracaktır. Kapalı alanlarda bulunmaları gerektiği hallerde ortam hava kalitesini düzenli olarak takip ederek sık sık havalandırmaları gerekmektedir. Geliştirilen elektronik burun projemiz sayesinde hastaların buldukları ortam hava kalitesini kolaylıkla izlemesi sağlanmıştır. Küçük çocukların ve sigara kullanmadı halde buldukları ortamda sigara dumanına maruz kalan kişilerin kapalı alan hava kalitesine dikkat ederek akciğer kanseri ve kronik rahatsızlıklara yakalanma hallerinin azaltılması projenin bir diğer amacıdır.

## 2.2 Gaz Sensörleri

Gazların algılanmasında farklı teknikler kullanılır, bu teknikler nicel ve nitel olmak üzere iki gruba ayrılır. Ortamdaki gazın gözle görülmesi veya kokusunun burnumuz tarafından algılanabilmesi dışında kokusuz ve görülemeyen gazlarda mevcuttur. Farklı özelliklere sahip gazların tespitinde kullanılmak üzere

- Metal oksit gaz sensörleri,
- Optik gaz sensörleri,
- Kimyasal gaz sensörleri,
- Akustik gaz sensörleri bulunmaktadır.

Günümüzde yeni sensör yapılarının geliştirilmesi için teknolojinin imkanlarından faydalanılmaktadır. Teknolojideki gelişmeler sayesinde sensörlerin üretim maliyetleri düşürülmüştür. Maliyetleri düşen sensörlerin teknolojik gelişmelerinden takibi neticesinde çözünürlüğü ve devamlılığı günden güne artmaktadır. Düşen üretim maliyetlerinin sonucu olarak son kullanıcıya sunulan ürünlerde daha fazla sensör kullanma imkânı sağlanmıştır. Akademik çalışmalar ve araştırma merkezlerinde sensörlere ulaşımın kolaylaşması sayesinde sensörler hakkında akademik çalışmalar artmıştır. Sensörlerin hala geliştirilmesi gereken konuların başında sıcaklık, titreşim, nem, basınç gibi çevresel faktörlerden olumsuz etkilenmeleri gelmektedir. Çevresel faktörler nedeni ile ölçüm hatalarının en aza indirilmesi amacı ile sensör çalışmaları devam etmektedir. Farklı firmaların yürüttüğü araştırma ve geliştirme çalışmaları sayesinde sensör boyutları günden güne küçülmektedir. Daha hızlı ve daha doğru sonuçlar elde edilmesi için nano yapılardan ve farklı kimyasal yapılardan faydalanılan sensörler üretilmektedir. Disiplinler arası çalışılarak yeni sensör fikirleri ortaya atılmaktadır (Cui vd. 2019).

Sensörler de meydana gelen gelişmeler sensörlerin kullanıldığı pek çok alanda da yeniliklere sebep olmuştur. İklim değişikliği farkındalığı ile birlikte insanlar yaşadıkları şehrin hava kalitesini öğrenme imkanına sahip olmuşlardır. İlerleyen teknoloji sayesinde ortam hava kalitesine yönelik geliştirilen küçük elektronik burunlar ve dedektörler hızlı bir şekilde ortam hava kalitesi analizi yapabilmektedir.

Geçmişte yaşanan pek çok maden faciası bulunmaktadır. Maden sahalarında yer altında biriken grizu olarak adlandırılan metan gazı sıkışmaları sonucunda patlamalar meydana gelmektedir. Metan gazı renksiz ve kokusuz olduğu için önlem alınmadığından patlamalara engel olunamamıştır. Gelişen sensör teknolojileri sayesinde insan burnunun algılayamadığı metan gazının elektronik burun tarafından algılanması ve uyarı vermesi sonucunda madenlerdeki patlamaların önüne geçilmesi hedeflenmektedir. Geliştirilen elektronik burun sistemleri ile ortamda artan karbon monoksit, metan, hidrojen sülfür gibi zehirli gazların anlık takibi ile uzun süreler bu gazlara maruziyetin önüne geçilmesi planlanmaktadır. Bu gazlardaki parametrelerin yükselmesi halinde havalandırma sistemleri otomatik olarak devreye girmesi hedeflenmektedir (Taştan ve Gökozan 2019).

Kapalı otoparklarda da benzer sistemler kullanılmaktadır. Araçların egzoz gazı olarak kapalı alanda dışarı saldıkları karbon monoksit ve diğer zehirli gazların insan sağlığı için düzenli olarak takibi gerekmektedir. Zehirli gazların tespiti halinde havalandırma sistemlerine uyarı gitmekte ve otomatik olarak çalıştırılmaktadır. Bu sayede kapalı otoparkta bulunan kişilerin solunum yolu ile bu zehirli gazları solumamaları hedeflenir.

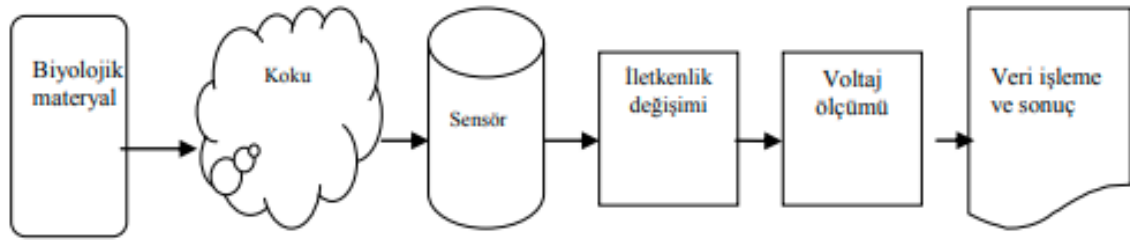
### **2.2.1 Gaz Sensör Parametreleri**

Dönüştürücü, algılayıcı katman ve diğer komponent içeriklerinden oluşan bir gaz sensörünün verimliliği farklı parametreler incelenerek tanımlanabilmektedir. Dönüştürücüden gelen tepki süresi, kararlılığı ve sinyalin oluşturduğu şiddet gibi karakteristik özelliklerine göre incelenir.

Ortamda algılanması istenilen gazın sensör içerisine gönderilmesi ile sensörde oluşan tepkinin en yüksek seviyeye ulaştığı an sensör tepkisi olarak tanımlanmaktadır. Sensör yüzeyine tutunan gaz molekülleri ile birlikte yüzeyin gaz molekülleri tarafından tamamen kaplanması halinde sinyal değişimi sabitlenir farklı bir deyişle doyuma erişmiş olur.

#### **2.2.1.1 Gaz Sensör Çalışma Mekanizmaları**

Gaz sensörlerinin temel çalışma prensibi spesifik olarak yoğunlaştırılmış olan gazın sensör devresine gelmesi halinde elektro kimyasal, optik veya metal oksit sensörler tarafından algılanarak sinyal oluşturması prensibine dayanmaktadır. Bu tez çalışmasında metal oksit sensörler ve elektro kimyasal sensörler kullanılmaktadır. Şekil 2.1’de görüldüğü gibi biyolojik materyal ve kokular sensöre ulaşır ve iletkenlik değişimine bağlı olarak voltaj elektron birikme bölgesine geçer ve sensör tepkisini oluştururlar. Elde edilen veriler ilerleyen çalışmalarda işlenebilir.



Şekil 2.1 Gaz sensör çalışma mekanizması.

### 2.2.1.2 Optik Sensörler

Hacmi önceden belirli olan hazne içerisindeki gaz örneğine şiddeti ve dalga boyu bilinen bir ışık gönderilir. Belirli bir hacimde bulunan gaz ışık ile etkileşime girerek saçılmaya uğrar ve şiddeti azalır. Kaba uygulanan ilk ışık şiddeti ile son ışık şiddeti arasında dalga boyundaki fark sensör sinyalini oluşturur. Optik sensörlerin sağladıkları avantajlar kabın içerisindeki her gazın algılanmasında doğruluk oranı yüksek sonuçlar sağlamasıdır. Boyutlarının büyük olması nedeni ile taşınabilir cihazlarda kullanımı zorlaşmaktadır. Bir diğer olumsuz yönü ise maliyetlerinin yüksek olmasıdır.

Optik sensörler, sağlık çalışmalarında, çevresel değerlendirme çalışmalarında, ulusal güvenlik ve savunma sanayi alanlarında aktif olarak kullanılmaktadır. Optik biyosensörlerin geliştirilmesi ile birlikte biyomedikal araştırmalarında da sıklıkla kullanımı görülmektedir. Elektromanyetik etkilerden etkilenmedikleri için hassas laboratuvar alanlarında da kullanılmaktadırlar. Gelişen teknoloji sayesinde bir cihaz ile çoklu gaz algılaması ve uzak mesafelerden algılama imkânı sağlamaktadır.



Optik biyosensörlerin hızlı sonuç vermeleri manyetik elektriksel ve çevresel faktörlere karşı dayanıklı olmaları büyük avantaj sağlamaktadır. Optik dönüştürücüler; ışık soğurucuların, aydınlatıcıların, yansıtıcıların, ışık saçılımı veya kırılma indisindeki değişikliklerini belirleyebilmektedirler (Kim Hong ve Jang 2020).

### **2.2.1.3 Metal Oksit Sensörler**

1960 yılında ilk olarak kalay oksit ( $\text{SnO}_2$ ) kullanılmış olup, oluşturulan yarı iletken metal oksit sensör geliştirilerek günümüze kadar gelmiştir. Ticari uygulamaların artması ile birlikte sensörlerdeki gelişmeler hızlanmıştır. Çinko oksit ( $\text{ZnO}$ ), tungsten oksit ( $\text{WO}_3$ ), kalay oksit ( $\text{SnO}_2$ ) günümüzde aktif olarak sıklıkla kullanılan yarı iletken metal oksitleridir. Yarı iletken metal oksit gaz sensörleri yüksek duyarlılıkta algılama yeteneğine sahiptirler. Özellikle egzoz gazları ( $\text{CO}$  vb.), amonyak, hidrojenin tespitinde sıklıkla kullanılmaktadırlar. Çevresel faktörler ve darbe, titreşim gibi durumlara karşı dayanıklı olmaları endüstriyel kullanımını yaygınlaştırmıştır. Bir diğer özelliği ise üretim maliyetlerinin düşük olmasıdır. Bu nedenle ticari ürün olarak kullanılan pek çok yapının içerisinde sensör olarak metal oksitler yer almaktadır (Rasch vd. 2020).

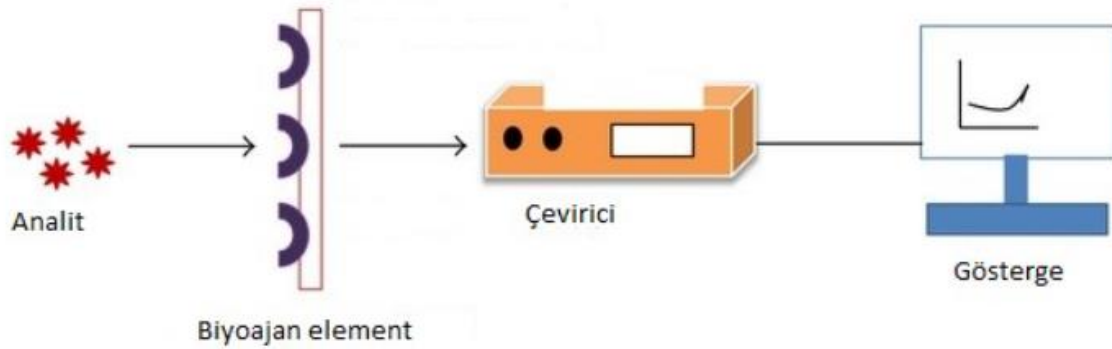
Yarı iletken metal oksit malzeme içerikli gaz sensörlerinin çalışma mekanizması incelenecek olursa, yüzeyinde bulunan iyonik oksijen ile hedef gazın oluşturduğu kimyasal gazın reaksiyonu sonucunda gerçekleşir. Bu sensörler kimyasal tepkime nedeniyle yüksek sıcaklıkta çalışmaktadırlar. Birden fazla gazla tepkimeye girebildikleri ve yüksek sıcaklıkta çalıştıkları bilinen metal oksit sensörlerin seçicilik özellikleri zayıftır. Metal oksit yüzeyde yapılan modifikasyonlar sayesinde sensörün seçiciliği artırılması hedeflenmektedir.

### **2.2.1.4 Elektrokimyasal Sensörler**

Elektrokimyasal sensörler genellikle biyosensör olarak kullanılmaktadırlar. Biyosensör alanında diğer sensörlerden önce keşfedilmesi ve elektro kimyasal alanında çalışmaların günümüze kadar devam etmesiyle birlikte biyosensör alanında en gelişmiş sensörler olarak karşımıza çıkmaktadırlar. İlk dönemlerinde glikoz analizinde kullanılması için

geliştirilmiş enzim elektrotları şeklinde üretilmişti sonrasında ise enzim bağlantılı imünoelektrokimyasal (IEC) bilim insanları olan Heinemann ve arkadaşları tarafından geliştirildi. Elektro kimyasal sensörlerin seçiciliğini ve hassasiyetini artırmak için farklı teknikler kullanılmaktadır. Tampon çözeltiler kullanılarak elektro kimyasal sensörler geliştirildiği gibi yeni yapılan araştırmalarda elektrot tasarımları geliştirilerek sensör boyutları küçültülüp sensör hassasiyeti iyileştirilmiştir. Voltmetrik, empedans, potansiyometrik olmak üzere farklı türlerde sensör yapıları mevcuttur (Günay vd. 2018).

Temel olarak, elektrokimyasal sensörler ve elektro kimyasal biyosensörler elektronları üreten ya da tüketen enzim kataliz reaksiyonuna dayanmaktadır. Bu yapıya benzer enzimler ise redoks enzimler olarak adlandırılır. Bu yapıdaki elektrokimyasal biyosensörlerin substratları genellikle bir çalışma tipi sayaç veya referans tipinde elektrot içermektedirler (Öztürk vd. 2013). Şekil 2.2’de görüldüğü gibi elektrokimyasal sensörler farklı mekanizmalardan oluşmaktadır.



Şekil 2.2 Elektrokimyasal sensörler.

### 2.2.2 Gaz Sensörleri Uygulamaları

Gaz sensör uygulamalarında, nanoyapılı malzemeler (1 ile 100 nm) günümüzde çok fazla kullanılmaya başlanmıştır. Ticari kullanımlarında artış olmasının sebebi fiziksel ve kimyasal olarak sağladıkları avantajlardır. Nanoyapılar üzerinde araştırma çalışmalarına günümüzde hız verilmiştir. Nanoyapılı malzemeler farklı sektörlerde de aktif olarak kullanılmaya başlanmıştır. Boyutlarına göre sınıflandırılmaya tabi tutulan nano yapıları

malzemeler; sıfır boyutlu nanoyapılara kuantum noktalar, bir boyutlu yapılara ise nanotüpler ve nano teller denir. İnce filmlere örnek olarak ince film yüzeyler verilebilir. Bir boyutlu nanotüpler, nanoteller, fiber yapılar ve nanoçubukların avantajları ise sahip oldukları yüksek yüzey hacim oranları sayesinde gaz sensör çalışmalarında sıklıkla kullanılmaktadırlar. Bir boyutlu yapılar gaz sensörü dışında diğer pek çok araştırma ve geliştirme alanlarında aktif olarak kullanılmaktadır.

Nano malzemeler çağımızda gelişmeye en açık olan alanlardan biridir. Nanoyapılar istenilen kristal yapısı, ölçüleri ve yönelimlerine göre farklı üretim prosesleri geliştirmek için araştırmacılar yeni yöntemler denemektedirler. Nanomalzemelerin üretim süreçlerindeki yapılan araştırmalar sayesinde ilerleyen zamanlarda pek çok sektörde daha aktif olarak nanomalzeme kullanımı beklenmektedir. Gaz sensörlerinde yüzey alanına yönelik iyileştirme çalışmaları sayesinde nanomalzemelerin kullanımı artmıştır. Yeni nesil geliştirilen gaz sensörlerinde kullanılan bu yapılar sayesinde sensörlerden elde edilen verilerde kararlılık, sensör hassasiyeti gibi alanlarda iyileşmeler görülmektedir. Nanoyapılı metal oksit malzemelerin kullanıldığı gaz sensörleri ve sensör özelliklerini içeren veriler Çizelge 2.1’de verilmiştir.

### **2.2.3 Ticari Gaz Sensör Elemanları**

Enzim temelli biyoreseptörler, spesifik substratları katalitik transformasyonlarına göre trozinaz fenol belirleyici olarak kullanılarak oluşturulabilir. Hedef analit tarafından enzim aktivitesinin spesifik inhibasyonu organofosfatlar tarafından inhibe edilen asetilkolin esteraz oluşturularak elde edilir. Kofaktör enziminin HPR (Holding Period Return) için Mn (II) Modülatör olarak davranan analiti tarafından enzim aktivitesinin etkilemesi sonucu oluşur.

Tüm hücre temelli biyoreseptörler de ise hücre sel solunumun genel inhibasyonu ve spesifik katalitik proteinin indükleyici olarak davranan analiti kullanılır. Afinitive biyomolekül temelli biyoreseptörler de ise antikörler nükleik asitler kullanılmaktadır (Tiele vd. 2020).

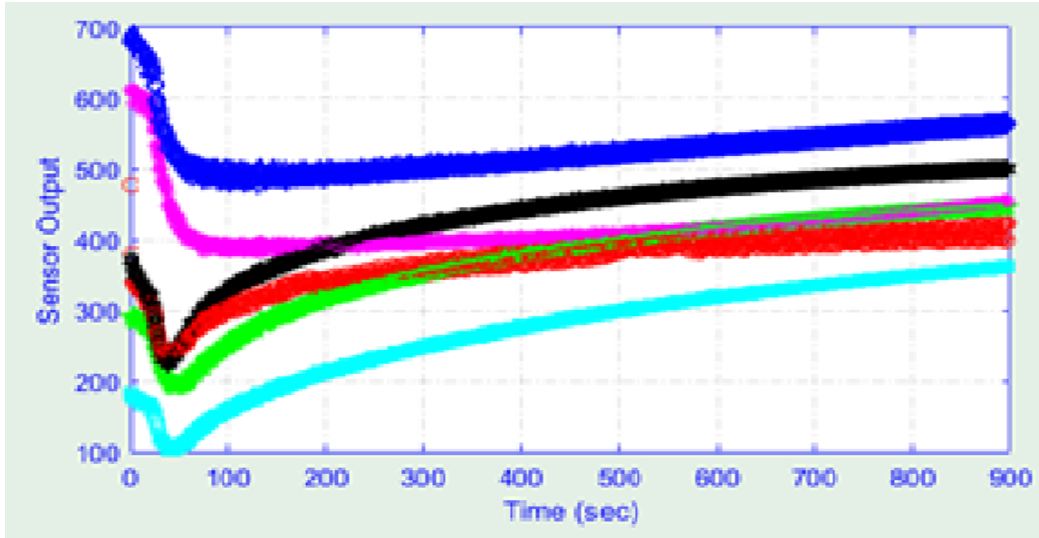
**Çizelge 2. 1** Nanoyapılı metal oksit gaz sensörleri ve sensör özellikleri.

Metal Oksit	Test Gazı	Algılama Sınırı (Sıcaklık)	Duyarlılık (Konsantrasyon)	Cevap Süresi
SnO <sub>2</sub>	NO <sub>2</sub>	2 ppm (25 °C)	7 (100 ppm)	1 dk
	H <sub>2</sub>	1 ppm (200°C)	4 (1 ppm)	50s
	CO	100 ppm (25°C)	15 (500 ppm)	10 dk
	H <sub>2</sub> S	1 ppm (150°C)	6 x 10 <sup>6</sup> (50 ppm)	10 s
In <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	NO <sub>2</sub>	0.5 ppm (25°C)	1x10 <sup>6</sup> (100 ppm)	5 s
	H <sub>2</sub> S	1 ppm (25°C)	1 (20 ppm)	48 s
ZnO	H <sub>2</sub>	200 ppm (25°C)	0.04 (200 ppm)	30s
	CO	50 ppm (275°C)	3200 (400 ppm)	50 dk
WO <sub>3</sub>	H <sub>2</sub>	100 ppm (25°C)	22 (1000 ppm)	40 s
CeO <sub>2</sub>	CO	10 ppm (25°C)	2 (200 ppm)	10 s
Ga <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	O <sub>2</sub>	50 ppm (25°C)	20 (50 ppm)	1s

Fiziksel Trenduserlerine göre biyosensörler 4 grupta incelenebilir. Elektro kimyasal tranduserlar, optik/optoelektronik, piezoelektrik ve termal sensörler olarak gruplandırılmışlardır.

### 2.3 Elektronik Burun Çalışmalarında Veri Sınıflandırması

Chothe ve arkadaşları ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada sensör gruplarından elde edilen verilerden oluşturulan veri kümesi kategorilere göre ayrılmıştır. Elde edilen CO, NH<sub>3</sub>, NO<sub>2</sub> gazlarının verileri alınmıştır. Alınan veriler farklı grup sensörlerin yardımıyla elde edilmiş. Farklı grup sensörlerden elde edilen veriler karşılaştırarak hedef grubu gazın kapalı mekanlarda dağılımı incelenmiştir (Chothe & Ugale, 2012). Microsoft Excel dosyasında toplanan çalışmalar MATLAB Simulink programına aktırılarak sisteme uygun algoritmaları çıkarılmıştır (Luo vd. 2004). Oluşturulan kullanıcı ara yüzü Resim 2.1’de görülmektedir.

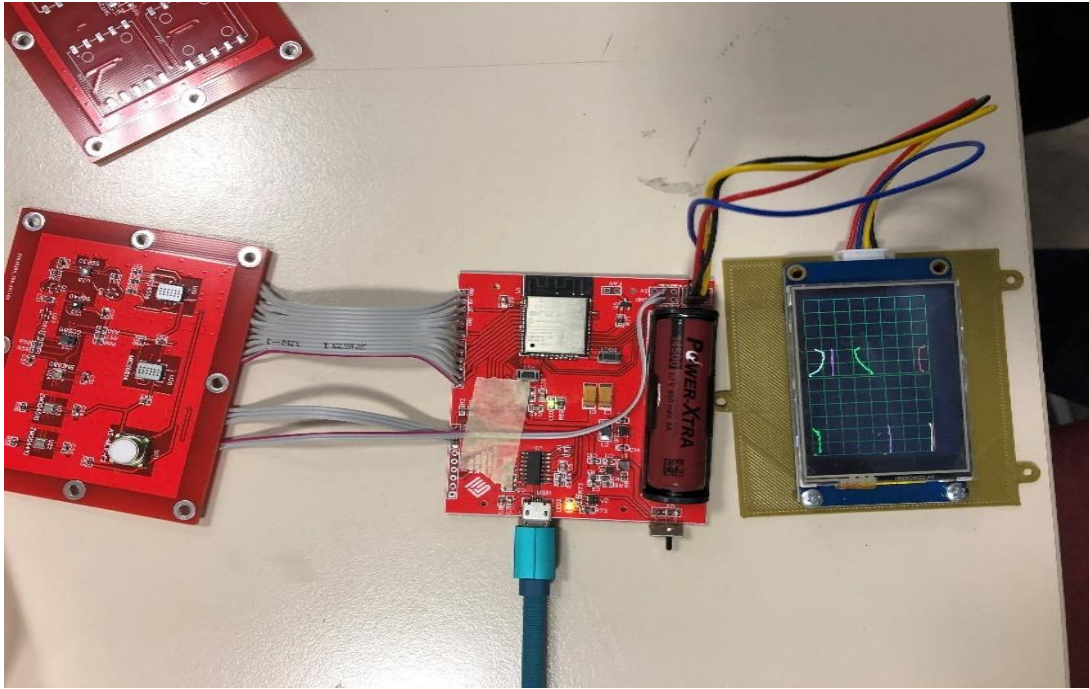


**Resim 2.1** Elektronik burun devresi prototipi.

### 3. MATERYAL ve METOT

#### 3.1 Elektronik Burun Devresi

Kapalı alanlarda sigara kullanımı sonucunda ortamda biriken karbon monoksit, amonyak, metan, hidrojen sülfür zararlı gazların tespitinde kullanılmak üzere elektronik burun geliştirilecektir. Bu tez çalışmasında yukarıda belirtilen gazların tespitinde kullanılmak üzere SGP30, SGP40, BME 680, MICS 6814, MICS 4514 ve MLV sensörlerin bir devre şeması içerisinde bir arada kullanarak kapalı mekanlarda havada bulunan gazların daha doğru analiz edilmesi hedeflenmiştir. Kullanılan sensörlerin kullanıcı kılavuzlarında yer verilen ölçüm parametreleri dikkate alınarak gerekli devre şemaları çıkarılmış uygun kart tasarımına karar verildikten sonra devre şeması çizilerek PCB kart basımı gerçekleştirilmiştir. Devre şemalarına uygun olarak toprak ve voltaj beslemelerinin bağlanması ve işlemci ile bağlantıları sağlanmıştır. İşlemci içerisinde özel olarak geliştirilmiş yazılım eklenilerek sensörlerin kapalı ortamdaki gazlara verdikleri elektronik sinyal verileri toplanmıştır. Elde edilen veriler ise sonrasında geliştirilen algoritmaların desteği ile anlamlı sonuçlar elde edebilmek için işlenmiştir. Resim 3.1’de elektronik burun devresi prototipi görülmektedir.



Resim 3.1 Elektronik burun devresi prototipi.

### **3.1.1 Elektronik Burun Devresinde Kullanılan Komponentler**

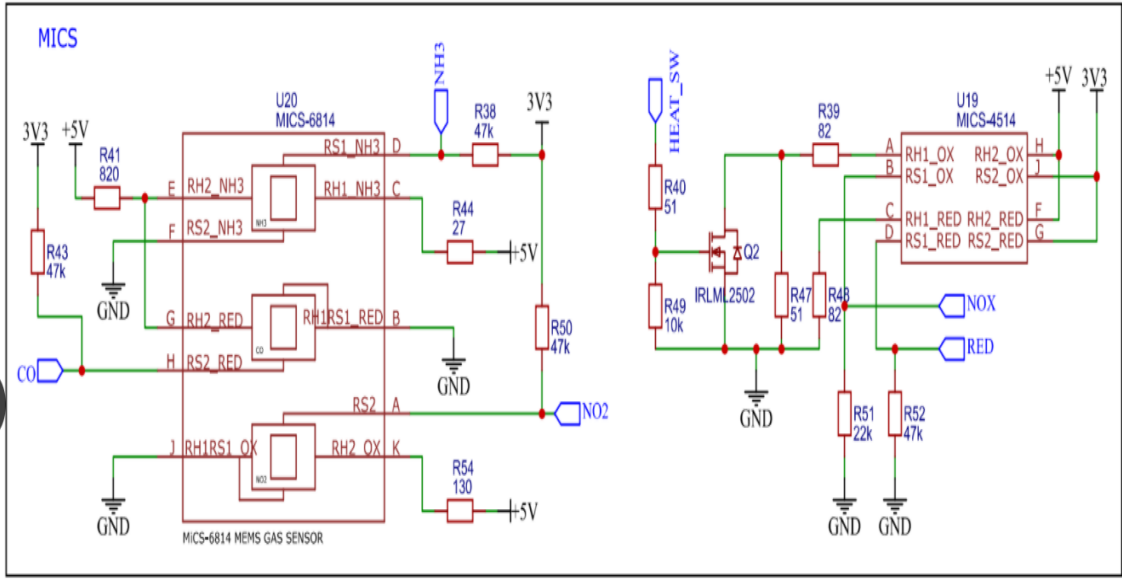
Elektronik burun devresinde bir adet işlemci, altı adet sensör (SGP30, SGP40, BME 680, MICS 6814, MICS 4514 ve MLV) , devreyi beslemek için batarya ve bilgisayar bağlantısı yapılması için gerekli diğer komponentlere yer verilmiştir. Tez çalışması sonrasında projenin geliştirilip farklı amaçlara uygun elektronik burun uygulamalarına uygun hale getirilebilmesi için modüler sistemde sensörlerin takılıp çıkarılabildiği kart tasarımına yer verilmiştir. Bu sayede ilerleyen zamanlarda spesifik olarak incelenmek istenen farklı bir gaz olması halinde uygun sensörün devre üzerine takılması halinde elektronik burundan o gazın ölçümü alınabilecektir.

### **3.1.2 Elektronik Burun Devresi Tasarım Süreçleri**

Elektronik burun devresinde kullanılacak sensörlere karar verildikten sonra altı farklı sensörün bir arada kullanılacağı kart tasarımına ihtiyaç duyulduğu görülmüştür. Sensörlerin ilerleyen zamanlarda da revize edilebilmesi açısından kart devresi sensör pinlerine uyumlu soketler ile tasarlanmıştır. Sensörlerden alınan verilerin son kullanıcıya gösterilmesi için yer verilen bir adet yerleşik ekran bulunmaktadır. Sistemin taşınabilir olması ve elektrik olmayan alanlarda kullanabilme kolaylığı sağlaması için şebeke beslemesi yerine içerisinde batarya kullanılmıştır. Temel bileşenlere karar verildikten sonra proje içerisinde yer verilecek sensörlerin ve diğer komponentlerin devre şeması çizilmiştir. Kart basımı için gerekli olan gerber dosyasının oluşturulması ve gerekli test simülasyonun kart basım işlemi öncesi görülmesi için EASYEDA programı kullanılmıştır.

#### **3.1.2.1 Elektronik Burun EASYEDA Programı Kullanılarak Devre Tasarımı**

Bulut tabanlı çalışmaya imkan sağlayan ücretsiz bir yazılım olarak EASYEDA Devre Tasarım programı kullanılmıştır. EASYEDA programı sayesinde tüm sensörlerin elektronik devre şemaları ve sonrasında kart devre şeması oluşturulup PCB baskı için gerekli olan gerber dosyası hazırlanmıştır. EASYEDA yazılımı sayesinde hazırlanan çizimlerin farklı bilgisayarlar ve projeye dahil olan kişiler tarafından sürecin her anında takibi kolaylaşmıştır. Şekil 3.1’de MICS 6814 devre şeması görülmektedir.



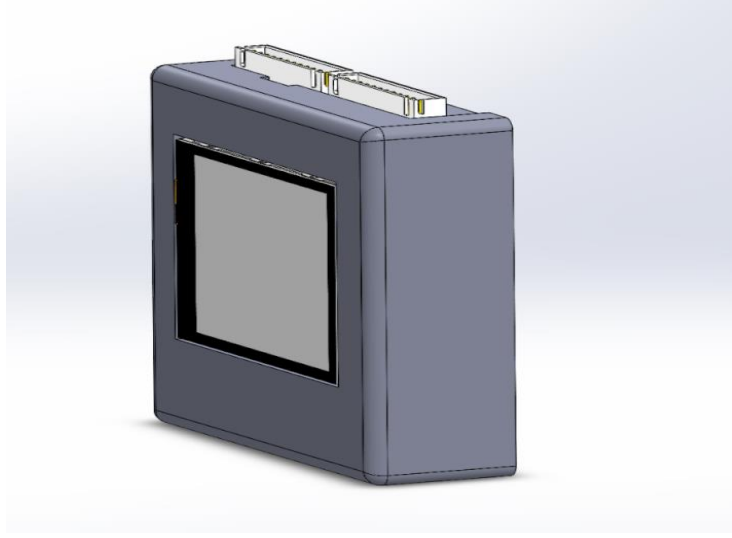
Şekil 3.1 MICS 6814 devre şeması.

### 3.1.2.2 Elektronik Burun 3 Boyutlu Tasarımı

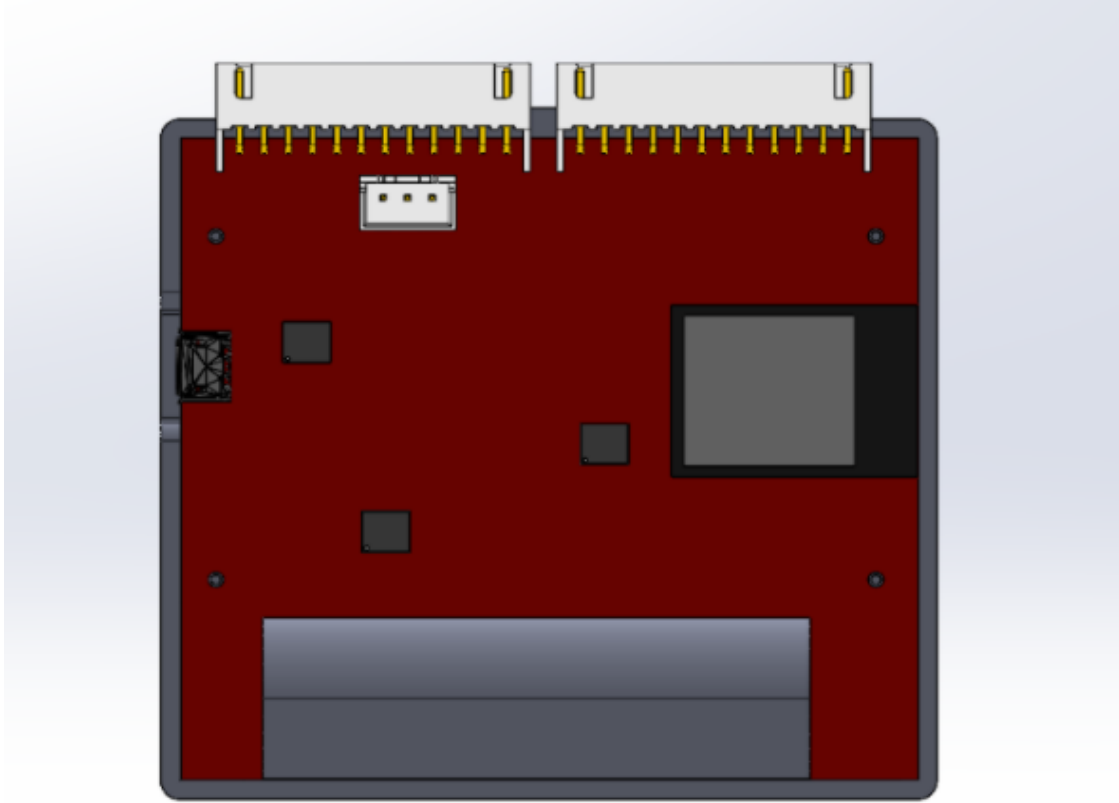
Cihaz üç boyutlu tasarımı için Solidworks yazılımı kullanılmıştır. Elektronik burun cihazının ihtiyaçlarına yönelik tasarlanan kapalı kutu modül çizimi sayesinde fiziki ortam şartlarından sensörlerin ve devrenin korunması hedeflenmiştir. Son kullanıcının bilgisayar veya farklı bir yazılıma ihtiyaç duymadan sensör sonuçlarını görebilmesi için ön yüzeye bir ekran paneli yerleştirilmiştir (Ünal vd. 2011). Resim 3.2’de elektronik burun kutu tasarımına yer verilmektedir.

Bataryasının değiştirilebilmesi için kutunun açılabilir bir yapıda tasarımı gereklidir. Kutu modülünün farklı sensörler ve devre elemanlarından oluşan yapının bütün halinde korunması için tasarlanan modülün içine tam uyumlumu gelecek şekilde sabitlenmiştir. İhtiyaç duyulması halinde bilgisayar bağlantısı için gerekli görülen çıkışlar ve gazların sensörlere ulaşacağı özel yapı kutu modüle eklenmiştir. Kutu modül tasarımında gerekli kontroller yapıldıktan sonra 3 boyutlu yazıcı yardımı ile kutu modülü basılmıştır. Resim 3.3’te elektronik burun kutu tasarımının iç tasarımının görüntüsü verilmektedir.





**Resim 3.2** Elektronik burun 3 boyutlu görseli.

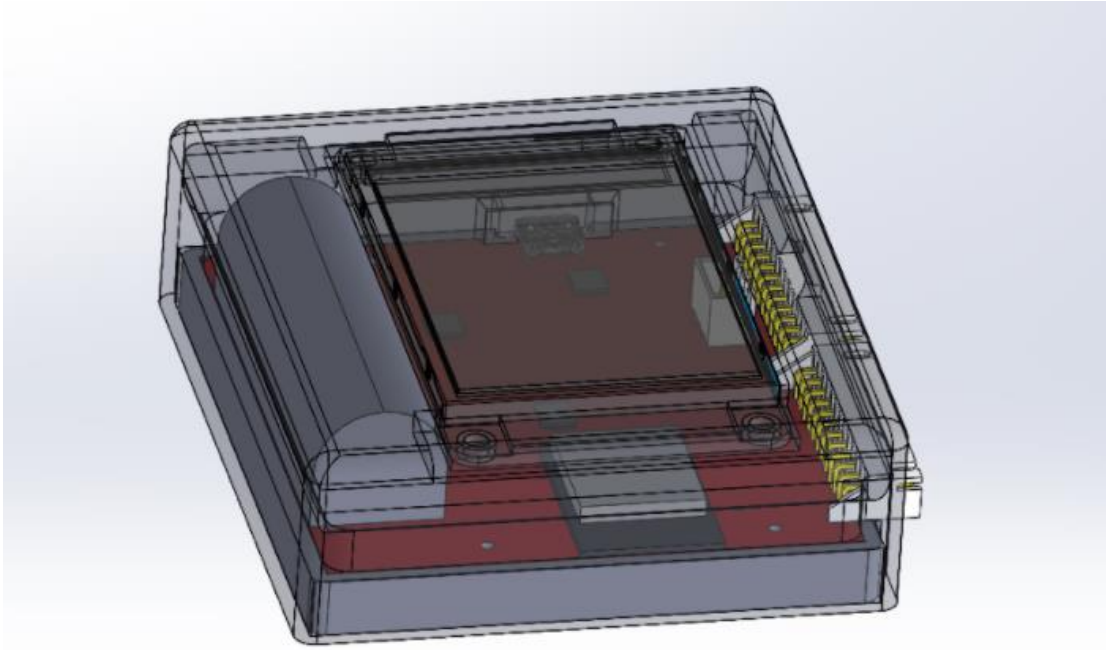


**Resim 3.3** Elektronik burun iç tasarımı.

### **3.1.2.3 Elektronik Burun Kapalı Hazne Tasarımı**

Elektronik burun uygulamasında gaz moleküllerinin yüzey alanına tutunabilmesi için

gerekli kapalı hazne tasarımına ihtiyaç duyulmaktadır. Ortam sıcaklığı, nem, basınç gibi değişkenlerden en az düzeyde sensörün etkilenmesi için kapalı hazneye ihtiyaç duyulmaktadır (Jaeschke vd. 2019). Cihaz üç boyutlu tasarımında sensörlerin algılaması için gazın gerekli hacme ulaşması ve çevre faktörlerinden az etkilenerek doğru sonuçlar vermesi hedeflenmiştir. Resim 3.4'te elektronik burun kutu tasarımının yandan görüntüsü verilmektedir.



**Resim 3.4** Elektronik burun kutu tasarımı yandan görünümü.

### 3.2 Gaz Testleri

Cihaz tasarımı, devre basımı ve yazılımı oluşturulduktan sonra alınan verilerin doğruluğunun testinin yapılabilmesi için test analiz düzeneğine ihtiyaç duyulmuştur. Uygun düzenek ancak test gazları alanında akredite olmuş laboratuvar şartlarında yapılabilmektedir. Karbon monoksit gazı için 1.000 ppm, hidrojen sülfür gazı için 100 ppm, metan gazı için 35.000 ppm ve hidrojen gazı için 35.000 ppm değerlerinde özel gaz tüpleri hazırlanmıştır. Sistemde yer verilen yıkama gazı ve kontrol gazları mevcuttur. Bu gazlarından sisteme akışı sağlanan gaz borularının başında ise elektronik mekanik solenoid valfler bulunmaktadır. Valfler yardımıyla sisteme verilen gaz miktarı

kontrol edilebilmektedir. Kontrol gazının ml/dk değişimi ve yıkama gazının ml/dk değişimleri izlenilerek sensör tepkileri incelenmiştir. Yıkama gazı kullanılmasının amacı sensör yüzeyinde yapışan moleküllerin temizlenerek ortam kontaminasyonunun temizlenmesi hedeflenir. Sensör yüzeyi temizlendikten sonra verilen kontrol gazına göre istenilen gaz sensör yüzeyine tutunabilir ve doğru ölçümler alınabilir. Her bir kontrol gazının verildiği boru ayrıdır ve sistemde gerçekleştirdikleri sensör tepkisi farklıdır. Resim 3.5 de görüldüğü gibi bir test firmasında yapılacak işlemler için bir test düzeneği oluşturulmuştur. Farklı gazların sensörlere uygulanabilmesi için sekiz mekanik üç elektronik valf test firması tarafından sağlanmıştır.



**Resim 3.5** Gaz testi düzeneği.

### **3.2.1 Kapalı Mekanlarda Bulunan Gazların Analizi**

Kapalı mekanlarda pek çok zararlı gaza maruz kalınmaktadır. Bu gazlar insan sağlığına zarar verdiği gibi diğer canlılar ve doğaya (sera gazı etkisi) zarar vermektedir. Çalışmamızda ağırlık verilen karbon monoksit gazı araç egzoz dumanlarında, sigarada veya ağır sanayi çalışma alanlarında yoğun miktarda bulunmaktadır. Karbon monoksit yoğunluğunun fazla olduğu ortamlarda uzun süre bulunması halinde baş ağrısı, kandaki

oksijen miktarında düşüşüne bağlı olarak halsizlik gözlemlenmektedir (Jaeschke et al., 2019). Geçmiş yıllarda sıkça karşılaşılan soba gazı zehirlenmelerinin sebebi de karbon monoksit gazının ortamda çok fazla birikmesidir.

Eğer ortam yeterince havalandırılmaz ve zararlı gazlara maruziyet düzenli olarak devam ederse ölüm veya ağır kronik rahatsızlıklara sebebiyet verecektir. Günümüzde toplumsal alanların hastane, okul, toplu taşıma araçlarının hava kalitesinin artırılması için mevcut hava kalitesi düzenli olarak izlenmelidir(Taştan ve Gökozan 2019).

Benzer diğer bir proje ise kapalı otoparklara yerleştirilen sensörler sayesinde ortamda karbon monoksit seviyesinin yükselmesi halinde havalandırma jet motorlarına gönderilen sinyal yardımı ile otomatik çalışmaya başladığı gözlemlenmiştir. Kapalı alan gaz testlerine benzer ortam oluşturulmak için sensörlerin bulunduğu alanın üstü örtülerek ölçüm alınmış ve sonuçlar değerlendirilmiştir. Resim 3.6 da kapalı ortamları simüle edebilmek için sensörlere uygulanan gazın belirli bir kapalı hacimde yoğunlaşması sağlanmıştır.

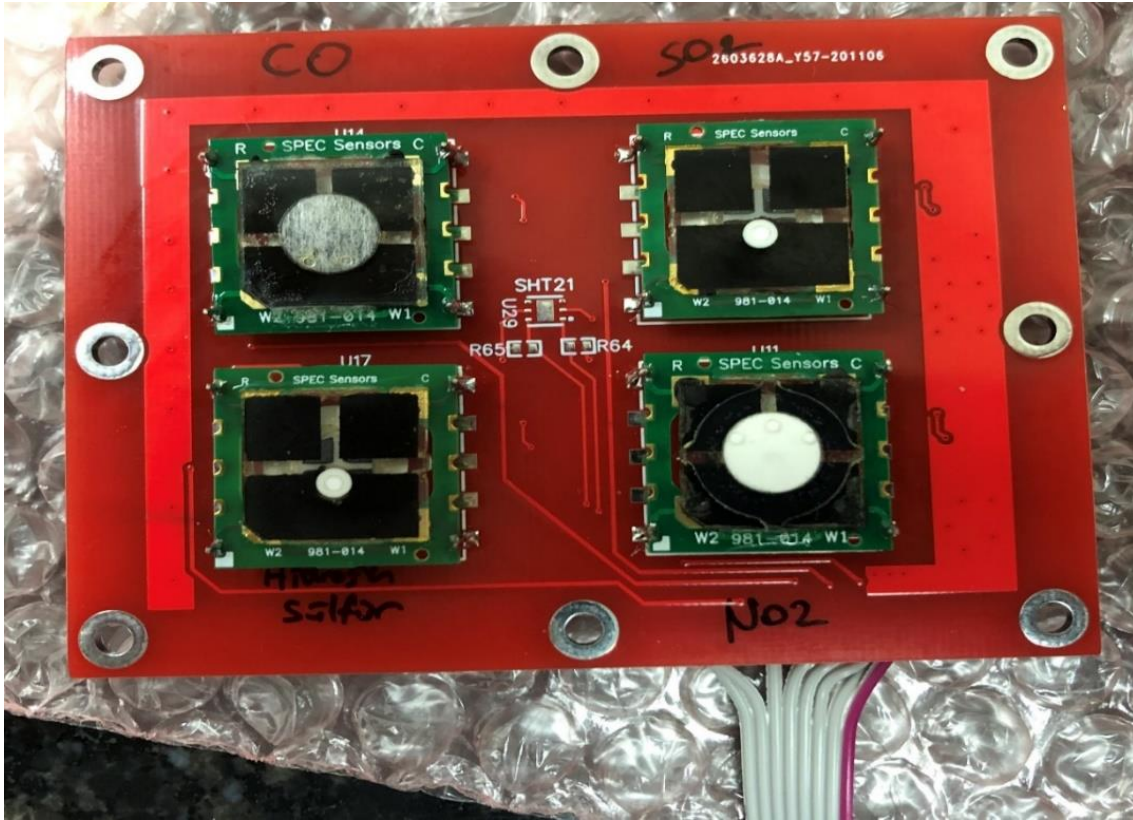


**Resim 3.6** Kapalı alanda gaz ölçümü testi.

### 3.3.2 Elektronik Burun ile Algılanan Gazlar

Toplum sağlığı, gıda analizi, çevrenin korunması gibi pek çok alanda elektronik burun çalışmaları yürütülmektedir. Yapılan çalışmalar ile insan sağlığına zararlı olduğu tespit

edilen gazların tespitinde kullanılmak üzere geliştirilen elektronik burun sistemleri geliştirilen yeni sensörler yardımıyla pek çok gazın karakteristik analizini yapabilir hale gelmiştir. Çalışmamızda ağırlık verilen Karbon monoksit gazı bireyin sağlığını olumsuz etkilediği gibi ortam hava kalitesini düşürmektedir. Genellikle aktif olarak ortamda tespiti istenen gazlar ise, karbon monoksit, metan, hidrojen sülfür, hidrojen, nitrik oksit vb. sağlığa zararlı gazlardır (Öztürk vd. 2012). Resim 3.7 Devre kartı üzerindeki sensör dizilimi görülmektedir.



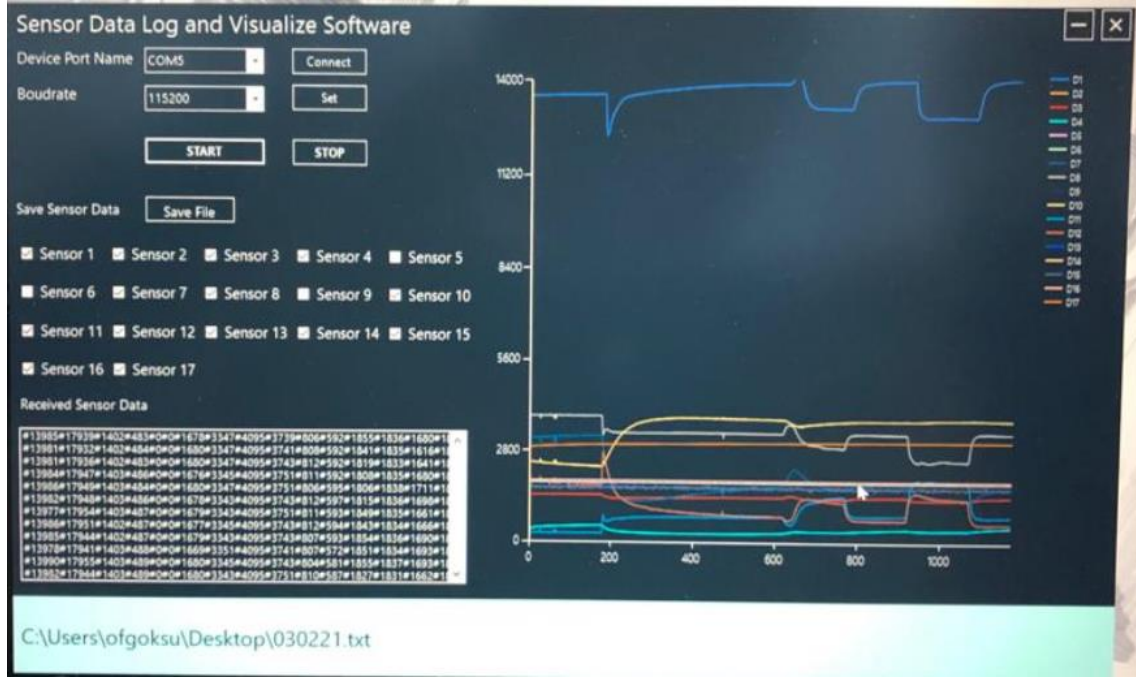
Resim 3.7 Devre kartı üzerinde sensör dizilimi.

### 3.3.2.1 Karbon Monoksit (CO) Gazı ile Yapılan Testler

Sigara dumanında yoğun olarak bulunan karbon monoksit gazının karakterizasyonun yapılabilmesi için kullanılan sensörlerden (SGP30, SGP40, BME 680, MICS 6814, MICS 4514 ve MLV) veriler toplanmıştır. Alınan veriler Excel dosyası olarak kaydedildikten sonra grafikleri Origin-8 programı kullanılarak çizilmiştir. Bulgular kısmında grafiklerine yer verilmiştir.



Laboratuvar ortamında kurulan test düzeneği sayesinde 1000 ppm olarak önceden hazırlanmış test gazı elektronik burun sistemine uygulanmıştır. Farklı hacimlerde uygulanan gaza karşı sensör tepkileri kayıt altına alabilmek için bu tez çalışması kapsamında geliştirilen Sensor Data Log and Visual Software yazılımında sonuçlar incelenmiştir. Resim 3.8’de geliştirilen yazılımın arayüzü görülmektedir.



**Resim 3.8** Sensor Data Log and Visualize Software üzerinden alınan gaz ölçüm değerleri.

### 3.3.2.2 Metan (CH<sub>4</sub>) Gazı ile Yapılan Testler

Metan gazı çok etkili bir sera gazıdır. Normal basınç ve sıcaklık değerlerinde gaz halinde bulunmaktadır. Doğalgaz bileşenlerinden olan metan gazı kokusuzdur. Doğal metan kaynakları olarak deniz tabanları ve yer altı doğalgaz kaynaklarında bulunabilir. Doğal metan gazları atmosfere zarar vermezken tepkimeye girmeleri halinde veya doğal olmayan yollarla atmosfere salınan metan gazları son yetmiş yıllık süreçte atmosferdeki metan gazı konsantrasyonunu yüzde yüz elli düzeyinde artırmıştır.

Atmosferde gün geçtikçe artan metan gazı konsantrasyonu nedeni ile küresel ısınma ve iklim değişikliği olmak üzere canlıların hayatını olumsuz etkileyecek pek çok olay meydana gelmektedir. Atmosfere salınan metan gazının hızla artması sonucunda yapılan araştırmalar sonrasında; çeltik tarımı, büyük baş hayvan yetiştiriciliği, petrol

sanayi ve madencilik işletmeleri, atık maddelerin doğaya bırakılması başlıca sebepler arasında gösterilmiştir. Gün geçtikçe çevreyi kirleten atık maddelerin artışı ve onların organik yapıları bozulması sonucunda daha fazla metan gazı atmosfere yayılmaktadır.

Metan gazının reaksiyon formülünü inceleyecek olursak, Denklem (3.1)'de görüldüğü gibi oksijen ile tepkimeye giren bir mol metanın yanması sonucunda karbon monoksit, enerji ve iki mol su açığa çıkmaktadır.



Metan gazının kokusuz olması ve insan burnu tarafından algılanamıyor oluşu sebebiyle ortamda metan gazı varlığının tespitinde kullanılmak üzere sensörler ve detektörler geliştirilmeye devam etmektedir. Küresel ısınma ile birlikte atmosferdeki gazların tespiti önem kazanmıştır. Son yıllarda toplumsal bilincin oluşması ile birlikte önce kapalı alanlarda ki hava kalitesinin artırılmasına sonrasında kentlerde ki hava kalitesinin incelenmesine yönelik pek çok cihaz üretilmektedir. Sensör maliyetlerinin ucuzlaması ve bu alanda teknolojik gelişmelerin hızlanması hava kalitesine yönelik çalışmalarını kolaylaştırmıştır.

Laboratuvar ortamında gerçekleştirilen testler ile birlikte cihazın kapalı alanlarda metan gazının tespitinde kullanılabileceği gözlemlenmiştir. Sigara kullanımı ile birlikte 5.2 milyar kilogram metan gazı havaya salınmaktadır. Bireylerin bu hususta bilinçlendirilmesi için elektronik burun sistemleri ile buldukları ortamın hava kalitesinin değerlerini görmeleri büyük oranda etkili olacaktır.

Metan gazının tespitine yönelik yapılacak testler için oluşturulan özel test düzeneği sayesinde önceden hazırlanmış 35.000 ppm değerine sahip tüp ve yıkama gazı (kuru hava) borulardan geçirilerek valfler yardımı ile elektronik buruna bağlanmıştır. Elektronik burun çalışmamızda metan gazının tespiti için MICS 4514 ve MICS 6814 sensörleri ile ölçümler alınmıştır. Elektronik burun tarafından kaydedilen değerler arka planda bir algoritmadan geçirilerek cihaz ekranına yansıtılmıştır. Sonuçlar grafik değerleri ve cihaz ekranından alındıktan sonra doğruluğunu değerlendirmek için

kıyaslanmıştır. Resim 3.9’da görüldüğü gibi kuru hava, azot, oksijen, hidrojen, metan, bütan gazları test firması tarafından temin edilmiştir.



**Resim 3.9** Gaz ölçüm laboratuvarında bulunan gaz tankları.

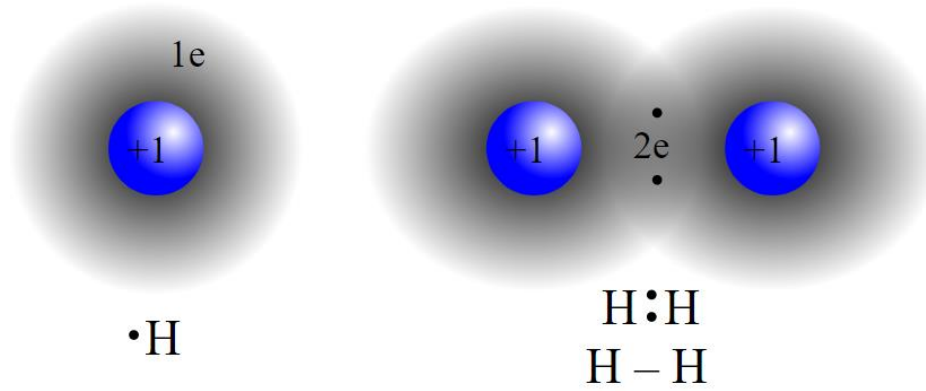
### 3.3.2.3 Hidrojen (H<sub>2</sub>) Gazı ile Yapılan Testler

Periyodik cetvelde atom sayısı 1 olan elementtir. Ametal olan hidrojen standart basınç ve sıcaklık altında H<sub>2</sub> olarak bulunan diatomik gazdır. Karakteristik özelliklerine bakılacak olunursa, normal şartlarda oldukça yanıcı, kokusuz, renk içermeyen, tadı olmayan bir gazdır. Atomik kütlesi diğer elementlere göre en küçüktür (1.00794 g/mol).

Evrende bulunan elementler arasında en çok hidrojen mevcuttur. Yıldızların pek çoğunda yapıtaşı olarak hidrojen vardır. Elementel yapıda hidrojen dünyada oldukça az bulunmaktadır. Suyun elektrolizi sonucunda hidrojen elde edilebilir ancak bu yöntem pahalı olduğu için yalnızca özel amaçlar için üretilmektedir. Şekil 3.2’de hidrojen



atomuna yer verilmiştir.



**Şekil 3.2** Hidrojen atomu.

Su ve diğer pek çok organik molekülde hidrojen bulunmaktadır. Pek çok element ile bileşik oluşturabilme özelliğine sahip olan hidrojen hayatımızda önemli bir yere sahiptir. Doğal izotopu olarak nötronsuz protiyum bulunmaktadır. Kuantum mekaniğinin gelişmesinde ise çözülebilen tek nötröl molekül olma özelliği ile önemli bir yere sahiptir. Bağ özellikleri ve enerji başmaklarının değerleri kuantum mekaniğinde aktif olarak kullanılmaktadır.

Hidrojen gazının tespitine yönelik yapılacak testler için oluşturulan özel test düzeneği sayesinde önceden hazırlanmış 35.000 ppm değerine sahip tüp ve yıkama gazı ( kuru hava) borulardan geçirilerek valfler yardımı ile elektronik buruna bağlanmıştır. Elektronik burun çalışmamızda metan gazının tespiti için MICS 4514, MICS 6814, BME 680 ve MLV sensörleri ile ölçümler alınmıştır. Elektronik burun tarafından kaydedilen değerler arka planda bir algoritmadan geçirilerek cihaz ekranına yansıtılmıştır. Sonuçlar grafik değerleri ve cihaz ekranından alındıktan sonra doğruluğunu değerlendirmek için kıyaslanmıştır.

### 3.3.2.4 Hidrojen Sülfür (H<sub>2</sub>S) Gazı ile Yapılan Testler

Hidrojen sülfür gazı normal şartlarda renksiz olmasına karşın çürümüş yumurta kokusu nedeni ile ortamda tespiti hidrojen ve metan gazına göre daha kolaydır. Kapalı ortamda

uzun süre maruz kalınmaması gereken zehirli gazlar arasında yer almaktadır ve çok ağır toksik içeriğe sahiptir. Alkolde ve suda doğal yollarla çözünebilmektedir. Yakın zamanda yüksek basınç altında (150 GPa) hidrojen sülfürün -70 C'de süper iletken özelliği gösterdiği keşfedilmiştir. Hidrojen sülfür günümüzde dönüşüm sıcaklıkları incelendiğinde en yüksek süper iletkenidir. Hidrojen sülfür gazına yönelik araştırmalar bu keşif sonrasında hızlanmıştır.

Hidrojen sülfür düşük oranda, termal sularda, petrolde ve gaz kuyularında bulunmaktadır. Ortamda yüksek yoğunlukta hidrojen bulunması halinde patlama riski oluşmaktadır. Bu nedenle statik elektrik, alev, kıvılcım gibi tutuşma ve ısı kaynaklarının yanında hidrojen sülfür tüpleri yer almamalıdır. Hidrojen sülfür tüpleri özellikle serin, iyi havalandırılmış, doğrudan güneş ışığına maruz kalmayacak, kuru , tutuşma ve ısı kaynaklarından uzakta , yangın ve patlamalara dayanıklı bir alanda muhafaza edilmelidir.

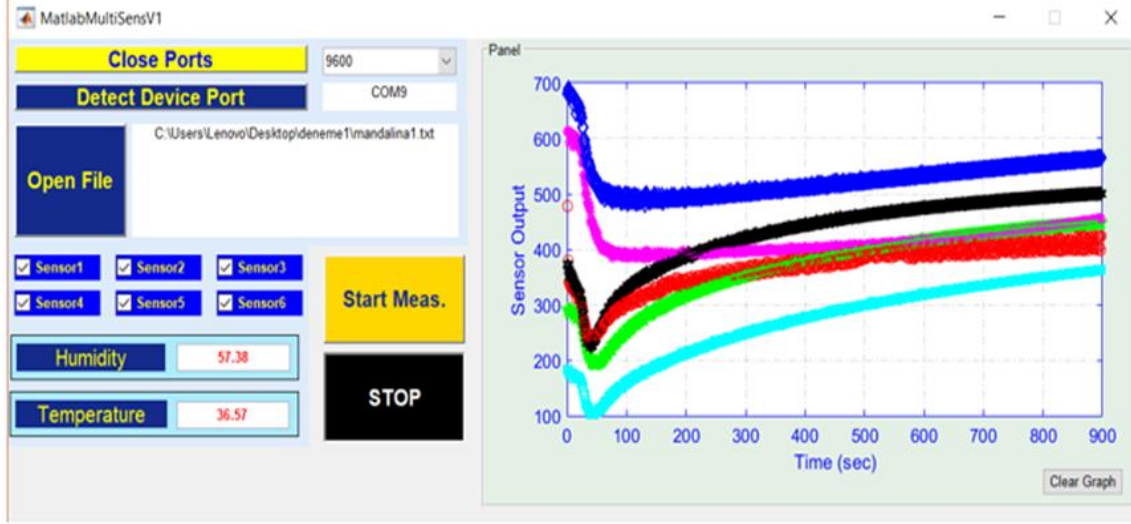
Hidrojen sülfür yalnızca solunduğu takdirde solunum yollarına değil sigara tüketimi ile birlikte kişinin ağız florasının bozulması sonucunda sülfür içerikli bileşikler ağız kokusuna da sebep olmaktadır. Yararlı bakterilerin ölmesi, diş eti çekilmeleri, çürüklere sebep olan sülfür bileşenlerinden korunmak için sigara tüketilmemelidir.

Hidrojen sülfür gazının tespitine yönelik yapılacak testler için oluşturulan özel test düzeneği sayesinde önceden hazırlanmış 100 ppm değerine sahip tüp ve yıkama gazı (kuru hava) borulardan geçirilerek valfler yardımı ile elektronik buruna bağlanmıştır. Elektronik burun çalışmamızda metan gazının tespiti için MICS 4514, MICS 6814 sensörleri ile ölçümler alınmıştır. Elektronik burun tarafından kaydedilen değerler arka planda bir algoritmadan geçirilerek cihaz ekranına yansıtılmıştır. Sonuçlar grafik değerleri ve cihaz ekranından alındıktan sonra doğruluğunu değerlendirmek için kıyaslanmıştır.

### **3.3 Elektronik Burun ile Elde Edilen Verilerin Oluşturulan Algoritmalar ile İşlenmesi**

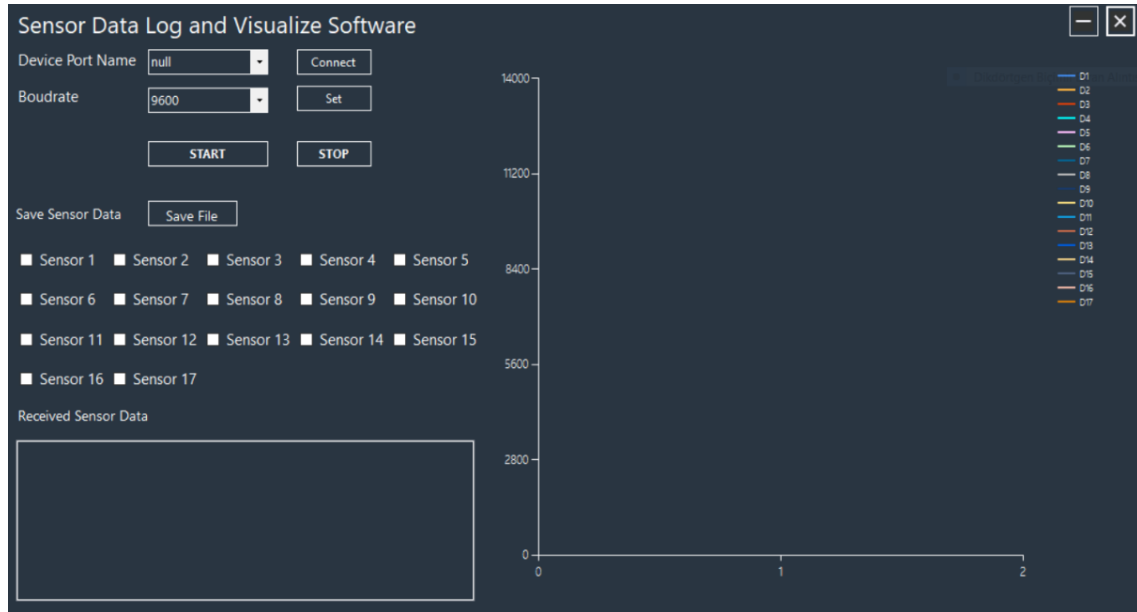
Toplanan verilerin özellikle elektronik burun için geliştirilmiş olan Sensor Data Log and Visual Software yazılımı haricinde MATLAB toolbox içerisinde uzman sistem olarak

geliştirilmiştir. Elde edilen grafiklerdeki ppm değişiklikleri baz alınarak oluşturulan algoritma sayesinde. Başta karbon monoksit gazı olmak üzere diğer gazların karakterizasyonu yapılmıştır. Elde edilen veriler veri analizi yöntemi ile yorumlanması planlanmıştır.



**Resim 3.10** Elektronik burun MATLAB yazılımı grafikleri.

Bu tez çalışmasında tespit edilen sensörler ve gaz analiz teknikleri temel alınarak FSMVÜ BETAM ARGE Merkezi tarafından çeşitli amaçlarla ticari olarak kullanılmak üzere Resim 3.11’de görülen ara yüz tasarlanmıştır.

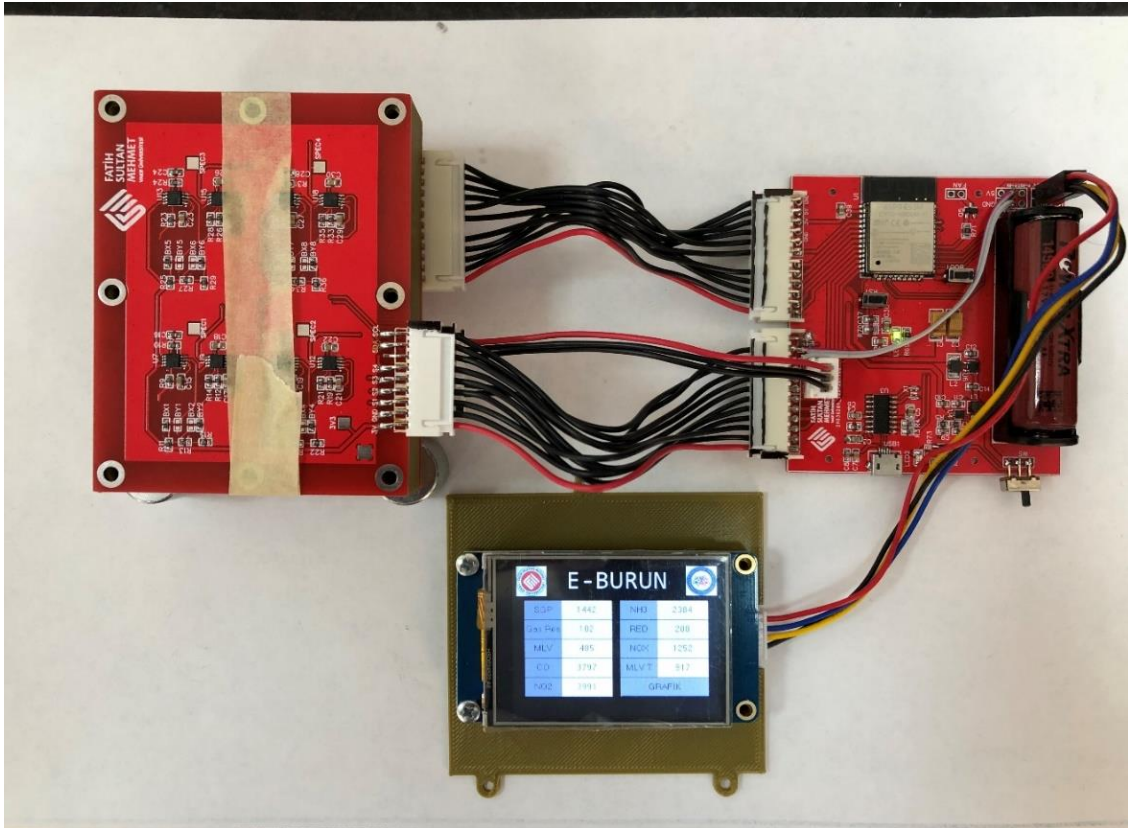


**Resim 3.11** Elektronik burun ara yüz yazılımı.

## 4. BULGULAR

### 4.1 Elektronik Burun Devresi Kurulumu ve Veri Alımı

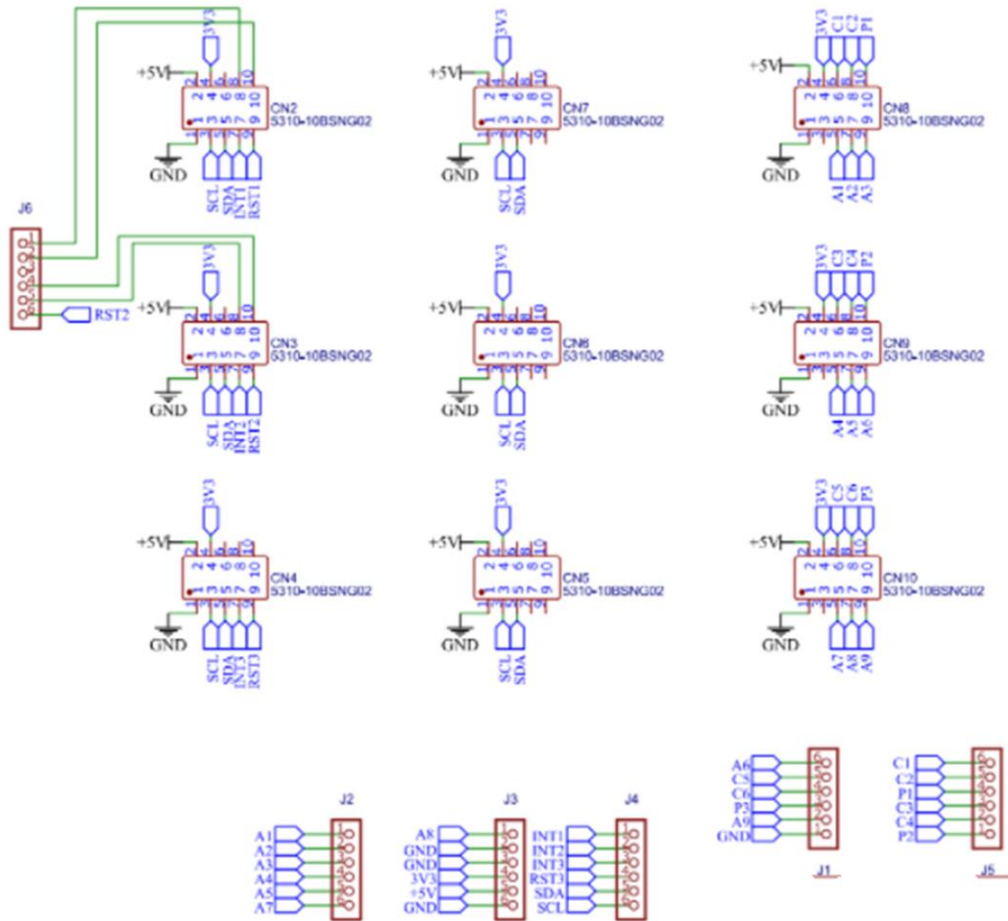
Elektronik burun devresi gerekli sensörlerin tespiti, PCB kart basımı, sensör veri analiz ve testlerinden sonra son aşama olarak kendi ekranında ortamda bulunan amonyak, karbon monoksit, azot dioksit gazlarını ve hangi sensörden ölçüm alındığını göstermektedir. Aynı zamanda alınan verileri istenmesi halinde bulut sistemi ile bilgisayara aktarımı veya harici bir veri depolama cihazına kaydetme imkânı tanımaktadır. Aktarılan veri akışı istenmesi halinde ölçüm aralıkları değiştirilerek daha fazla veri veya daha az veri akışı sağlanabilmektedir. Son kullanıcının kullanım kolaylığı sağlaması açısından ekranda alınan veriler gösterilmektedir. İstemesi halinde alınan değerlerin ham veri halini kullanarak bilimsel araştırmalar için grafik çıkartma imkânı sağlayacaktır. Elde edilen grafikler bize o gazın ppm değerlerini hesaplama imkânı sağlayacaktır. Gazlara ait ppm değerlerinin incelenmesine imkân sağlayacaktır. Resim 4.1’de elektronik burun ölçüm değerleri gösterilmektedir.



Resim 4.1 Elektronik burun ölçüm değerlendirme.

#### 4.1.1 Sistemin Enerji Beslemesi

Sistemde kullanılan 6 adet sensör ve ekranın elektrik beslemesine ihtiyaç duymaktadır. Cihazın taşınabilir olması için şebeke hattına bağlamak yerine şarj edilebilir pil kullanımına karar verilmiştir. Cihazda pil ünitesi kullanılmasının avantajları yanı sıra düzenli şarja ihtiyaç duyması ve cihazın toplan ağırlığını artırması gibi olumsuz yönleride mevcuttur. Pilin şarj edilebilmesi için cihaza micro usb çıkışı eklenmiştir. Bu sayede kullanıcı kolayca cihazı açmadan bir kablo yardımı ile cihazı şarj edebilme imkânı sağlamıştır. Aşağıda Şekil 4.2’de gösterildiği gibi her sensör için toprak hatları ve elektrik besleme hatları ayrı ayrı devre tasarımında çizilmiş ve güç devresine bağlanmıştır. Şekil 4.1’de sistem elektronik besleme şeması görülmektedir.



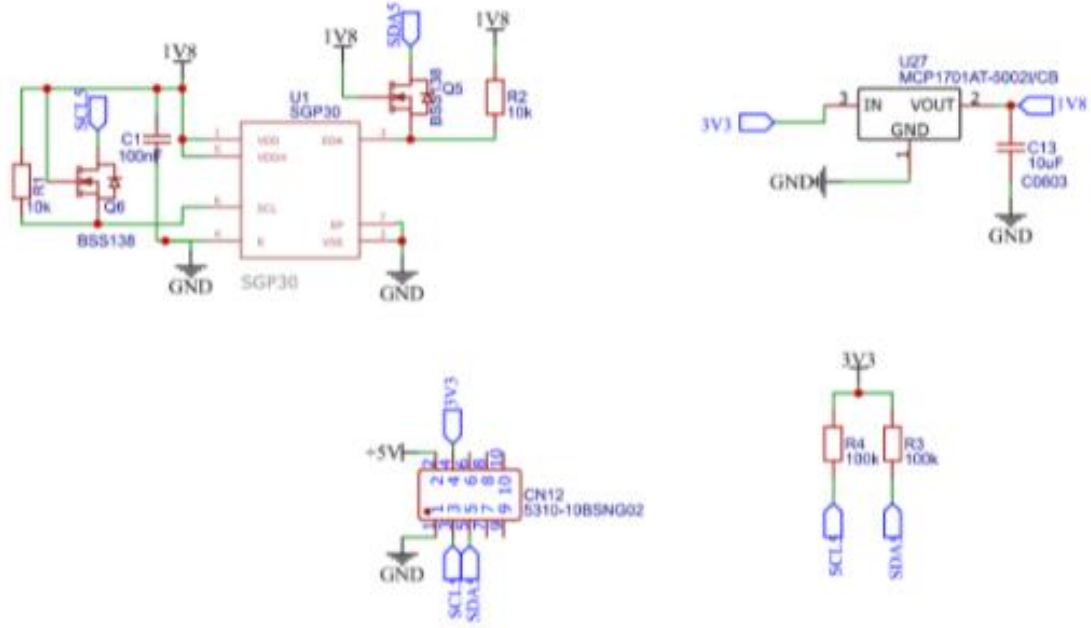
Şekil 4.1 Sistem elektrik besleme şeması.

#### **4.1.2 Kullanılan Sensörler ve Grafikleri**

Elektronik burun projemizde altı adet sensör kullanılmıştır. Her sensörün karakteristik özellikleri farklı olduğu bilinmektedir. Alınan verilerin kıyaslanabilmesi ve insan sağlığına çok zararlı olduğu bilinen karbon monoksit gazı testi her sensöre uygulanmaktadır. Birbirinden farklı SGP30, SGP40, BME 680, MICS 6814, MICS 4514 ve MLV sensörleri elektronik devremizde bir arada kullanılmıştır. Elde edilen grafiklerin değerlendirilmesi için bir arayüz geliştirilmiştir. Farklı sensörlerin kullanılmasının amacı sonuçlarımızı zenginleştirmektir. Seçilen sensörlerin maliyetlerinde farklılıklar gözlemlenmektedir. Günümüzde cihazlarla sıklıkla kullanılan SGP30, SGP40 sensörlerinin yanı sıra yeni geliştirilen MICS 6814 ve MICS 4514 sensörlerine yer verilmiştir. Her bir sensörün hassasiyeti farklıdır. Bu bağlamda elde edilen grafikler ile farklar incelenmiştir. Sensörlerin sigara dumanının tespitinde kullanılıp kullanılmayacağına karar vermek adına farklı sensörler ile çalışılmıştır. Birden fazla sensör kullanılarak oluşturulan cihazımızın tek sensör ile yapılan çalışmalara göre daha kararlı ve hassas sonuçlar verdiği görülmüştür. Gaz tespitinin yanı sıra seçilen sensörlerin ortam sıcaklığını, nemi ve farklı gazların tespitine yapması ile birlikte projemizi geliştirme imkanı sağlayacaktır. Sigara dumanının tespiti ile başlanılan projede ihtiyaç doğrultusunda spor salonlarında ortam sıcaklığı, nem, karbondioksit miktarı gibi farklı parametrelerin incelenmesi mümkündür.

##### **4.1.2.1 SGP 30**

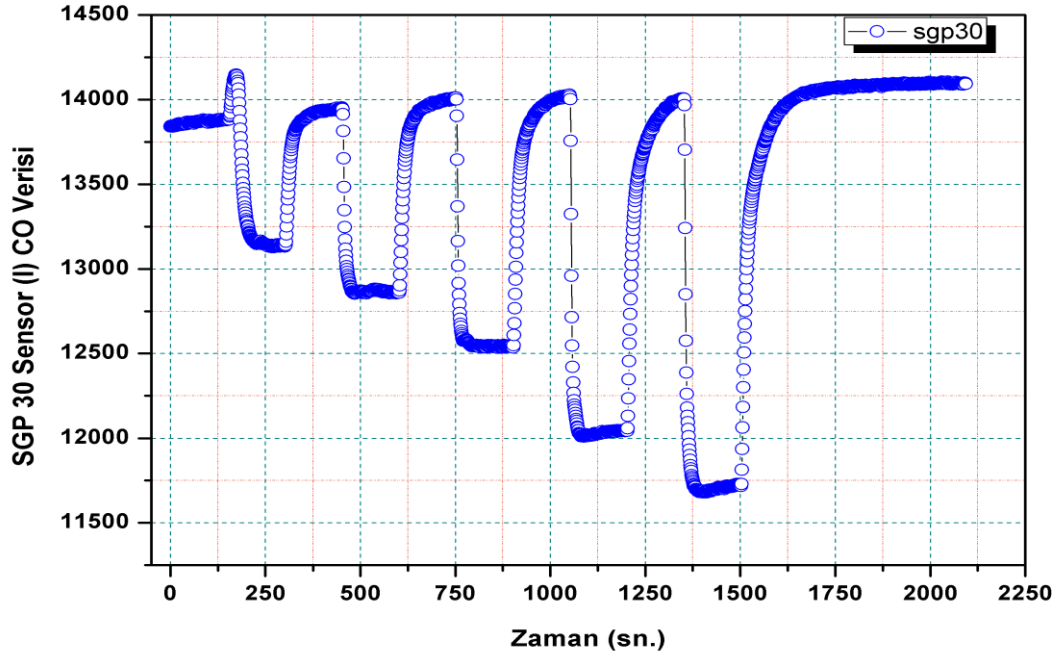
SGP 30 sensör devre şeması çizimi için kullanıcı kılavuzundan faydalanılmıştır. Sensör manuelinde yer verildiği gibi entegrenin elektrik beslemesi veri akışı bağlantıları ve topraklama hattı devre tasarımı programı sayesinde hazırlanmıştır. Öncelikle sadece sensörün devre şeması hazırlanmış olup sonrasında basılacak PCB kartta diğer bileşenleri ile birlikte çizimine yer verilmiştir. Şekil 4.2'de SGP 30 sensörüne ait devre şeması verilmiştir.



Şekil 4.2 SGP 30 sensörü devre şeması.

SGP 30 sensörü sistemimiz için önemli bir sensördür. Karbon monoksit ölçümlerinde önemli bir yere sahiptir. Bu nedenle SGP 30 sensörü sistemimizde iki adet kullanılmıştır. Her iki sensörden elde edilen verilerin grafikleri incelenerek sensör tepkileri analiz edilebilmektedir. İki adet aynı sensör farklı konumlara yerleştirilerek alınan verilerin kıyaslanmıştır. Elde edilen karbon monoksit verilerinde yakın ölçüm değerleri elde edilmiştir.

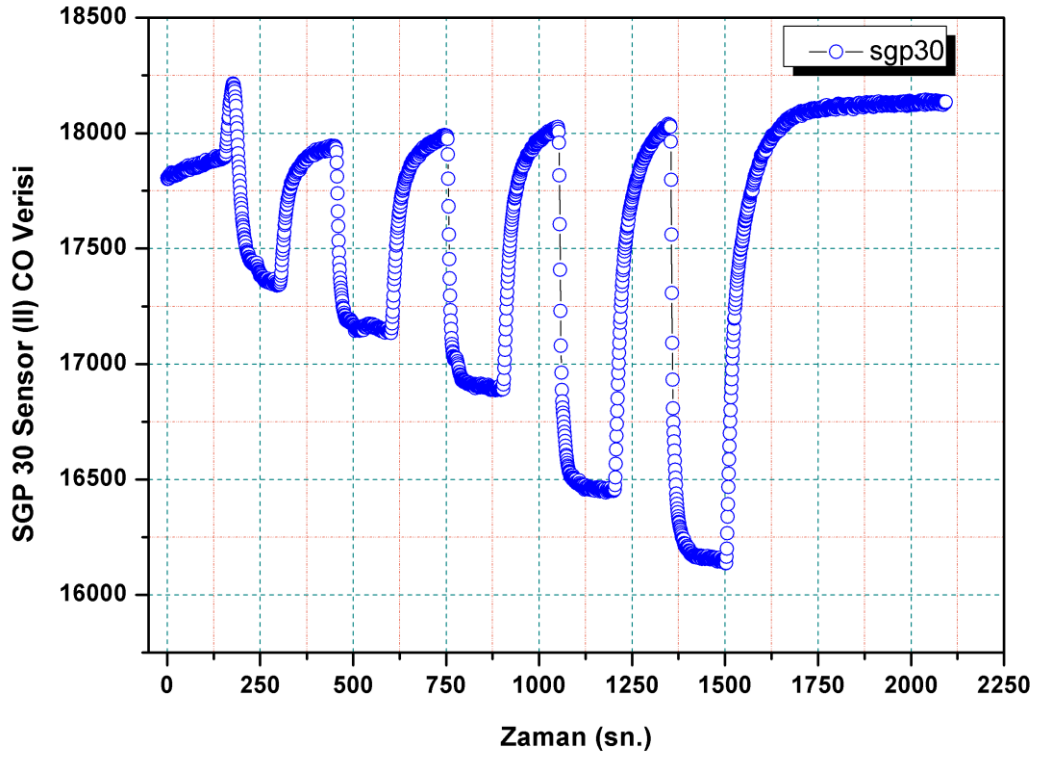
SGP 30 Sensör (I) aşağıdaki şekilde görüldüğü gibi öncelikle sensörümüze yıkama gazı verilmektedir. Yıkama gazı verildiğinde sensör yüzeyine önceden yapışmış olan gaz moleküllerinin sensör yüzeyinden temizlenmesi hedeflenmektedir. Sensöre zaman içerisinde verilen kontrol gazı hacminin değişmesi ile birlikte sensör tepkisindeki değişim görülmektedir. Ppm değerlerindeki değişim incelendiği takdirde SGP 30 sensöründen elde edilen verilerin birbiri ile uyumlu olduğu görülmüştür. Şekil 4.3’de SGP 30 sensörünün karbon monoksit grafiği verilmiştir.



Şekil 4.3 SGP 30 sensörü CO grafiği.

SGP 30 Sensörü (II) ile alınan ölçümlerinde (I) sensörde olduğu gibi stabil olduğu görülmüştür. Zaman aralıklarına göre verilen yıkama gazı ve kontrol gazındaki değişimlerin net olarak gözlemlendiği grafiklerde sensör tepkisinin ilk sensörümüzle uyumlu çıkması bizlere ölçümümüzün güvenilirliğini göstermektedir. Karbon monoksit gazı (kontrol gazı) ve temizleme gazı (kuru hava) farklı hacimlerde test sistemine verilmesi halinde sensör tepkilerindeki uyumlu değişim grafikte gözlemlenmiştir. Daha fazla kontrol gazı verilmesi halinde sensör yüzeyindeki yapışan molekül miktarı artacak ve dolayısıyla sensörden aldığımız karbon monoksit sensör tepki değerleri yükselecektir. Şekil 4.4’de diğer SGP 30 sensöründen karbon monoksit değeri ölçülmüştür.

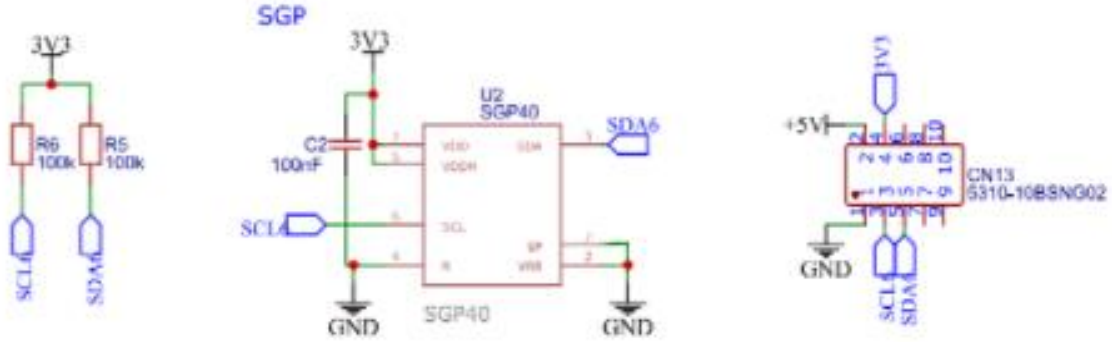




Şekil 4.4 SGP 30 sensörü (II) CO grafiği.

#### 4.1.2.2 SGP 40 Sensörü

SGP 40 Sensör devre şeması çizimi için kullanıcı kılavuzundan faydalanılmıştır. Sensör manuelinde yer verildiği gibi entegrenin elektrik beslemesi veri akışı bağlantıları ve topraklama hattı devre tasarımı programı sayesinde hazırlanmıştır. Öncelikle sadece sensörün devre şeması hazırlanmış olup sonrasında basılacak PCB kartta diğer bileşenleri ile birlikte çizimine yer verilmiştir. Her sensöre ait devre şeması sensörün yapısına ve çalışma şekline göre tasarlanmıştır. Şekil 4.5’de SGP 40 sensörüne ait devre şeması görülmektedir.

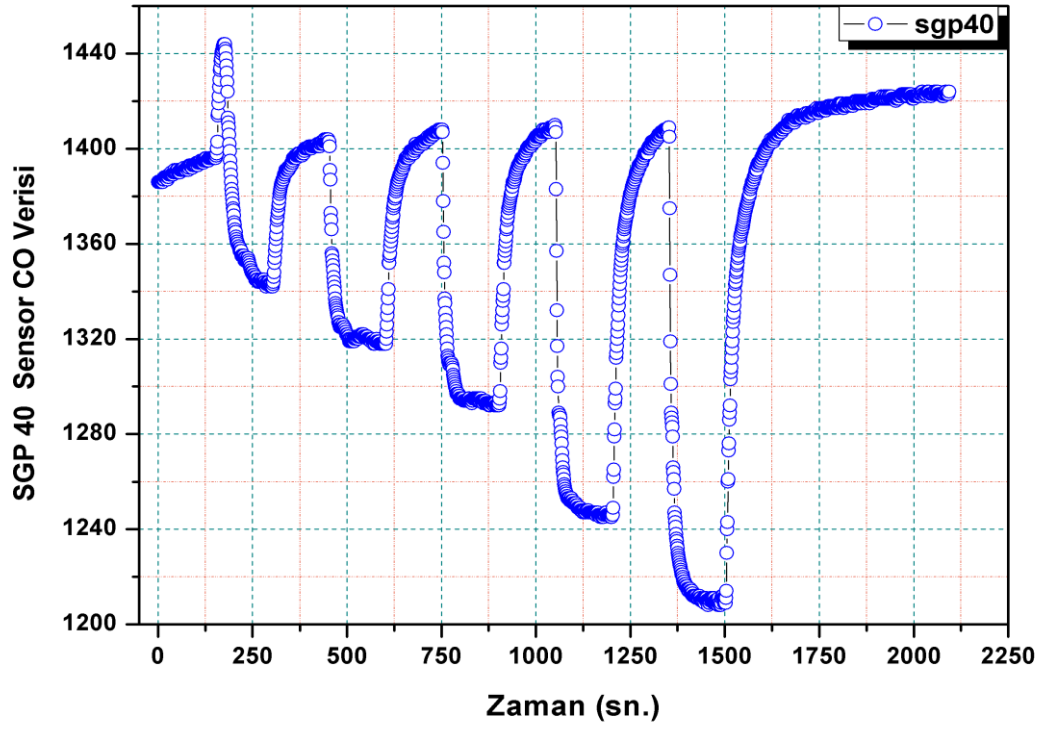


**Şekil 4.5** SGP 40 sensörü devre şeması.

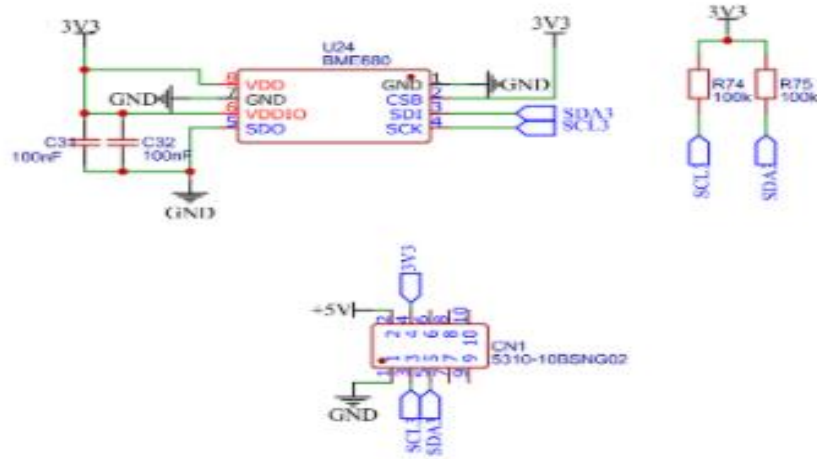
SGP 40 sensörü karbon monoksit verileride SGP 30 sensör verileri gibi stabil sonuçlar vermiştir. Alınan grafik sonuçları incelendiğinde yıkama gazı (kuru hava) uygulaması sonrası sensör tepkileri incelenmiştir. Öncelikle sensöre hiç kontrol gazı olan karbon monoksit verilmemiş ve SGP 40 sensör yüzeyi diğer gaz moleküllerinden temizlenmiştir. Temizleme işlemi sonrası kontrollü olarak farklı hacimlerde verilen karbon monoksit gazına karşı sensörde oluşan tepki grafikte yer almaktadır. Oluşan tepkide ki dalgalanmalar incelendiğinde yüksek oranda verilen karbon monoksit gazının sensör yüzeyine daha fazla tutunarak sensör tepkisini artırdığı gözlemlenmiştir. Şekil 4.6'da SGP 40 sensörünün karbon monoksit grafiği görülmektedir.

#### 4.1.2.3 BME 680 Sensörü

BME 680 yüksek veri doğruluğuna ve elde edilen verilerin doğruluğunu sağlayan elektronik sensördür. Basınç, nem, sıcaklık ve gaz değerlerini bir arada sunabilme yeteneğine sahiptir. Güç tüketiminin düşük olması nedeni ile taşınabilir ve giyilebilir cihazların kullanımına uygundur. Kişisel sağlık ve ortam hava kalitesindeki değişimlerin izlenmesinde kullanıma uygundur. İçinde barındırdığı uçucu organik bileşikler( VOC) benzeri pek çok gazı algılayabilme yeteneğine sahiptir. BME 680 sensörünün devre şeması aşağıda şekilde belirtilmiştir. Şekil 4.7'de BME 680 sensörü devre şeması görülmektedir.



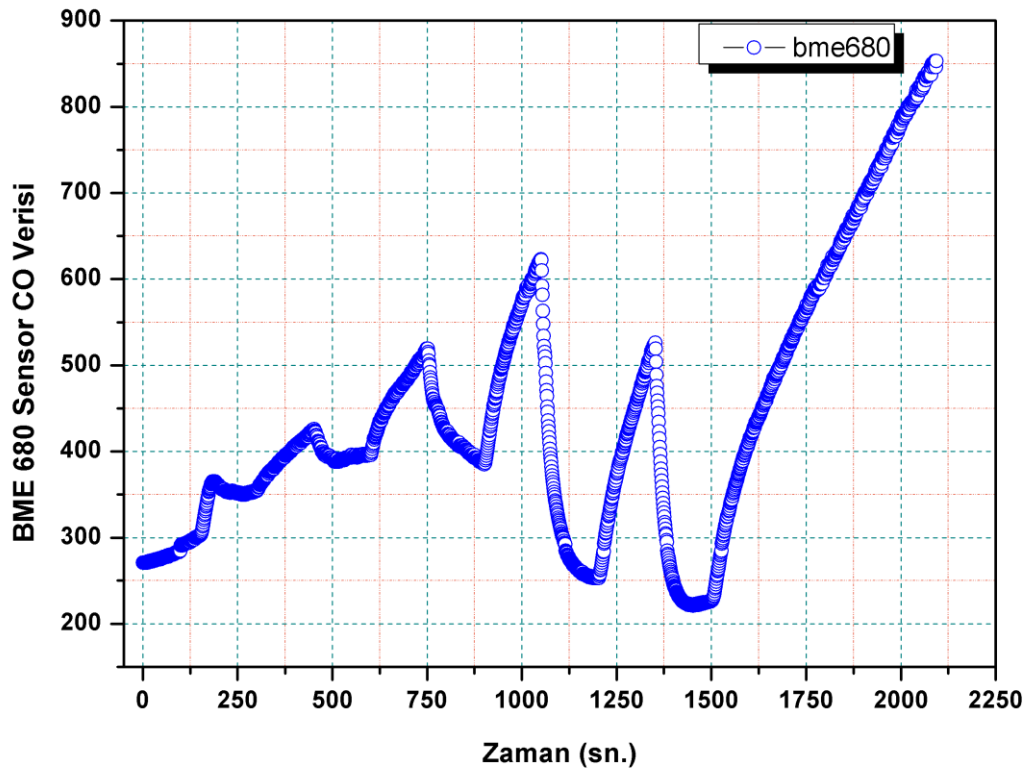
Şekil 4.6 SGP 40 sensörü CO grafiği.



Şekil 4.7 BME 680 sensörü devre şeması.

BME 680 sensörü kullanılarak alınan karbon monoksit gazı grafiklerinde istenilen başarıya ulaşılamamıştır. Sensöre ait devre tasarımı ve deney düzeneğindeki olası hatalar nedeniyle bu sensörden istenilen sonuçlar elde edilememiştir. Gelecek çalışmalarda bu sonuca dikkat edilmesi gerekir.

Referans olarak aldığımız karbon monoksit gazına karşı sensörden alınan verilerde kararlılık görülmediği için ölçüm değerlerinin anlamlı olduğu söylenemez. Sensörden beklenen tepkilerdeki kararsızlık devrede bağlanma şemasında yapılan hatalardan veya çevresel faktörlerden etkilenmiş olabileceği düşünülmektedir. Şekil 4.8’de BME 680 sensörünün karbon monoksit gazına tepkisinin grafiği görülmektedir.

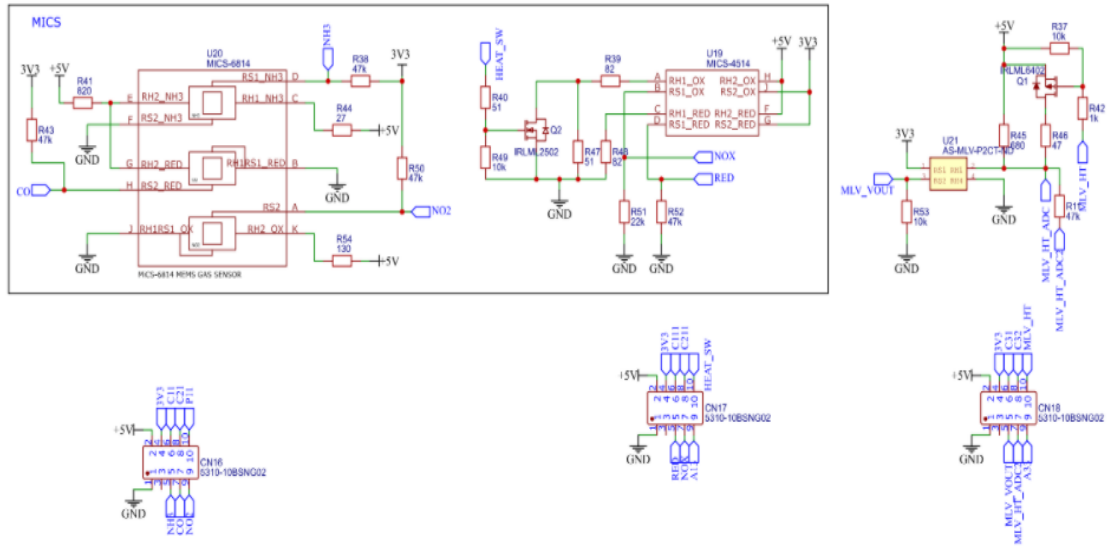


Şekil 4.8 BME 680 sensörü CO grafiği.

#### 4.1.2.4 MICS 4514 – MICS 6814 Sensörü

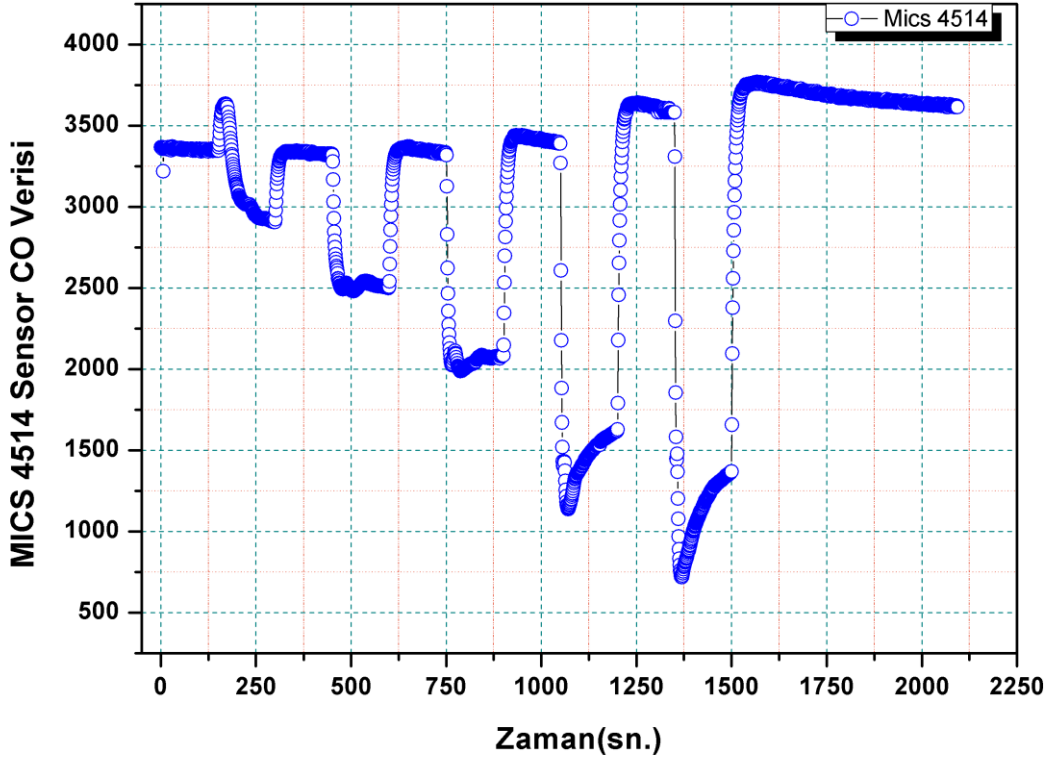
Karbon monoksit, azot, oksijen, metan, amonyak gazlarının tespitinde kullanılan MICS 4514 ve MICS 6814 sensör modüllerinin sahip olduğu mikro mekanik diyaframları

oldukça hassastır. Üst kısmında yer alan algılama tabakası ısıtma resistörlerine sahiptir. Farklı gazların algılanmasını sağlayacak şekilde entegreye sahiptir. Zorlu ortamlarda nem, sıcaklık, basınç gibi çevresel faktörlerden en az şekilde etkilenecek şekilde tasarlanmıştır. Sigara dumanı, otomobil egzozundan çıkan zararlı gazlar, tarımda kullanılan atık gazlar ve endüstriyel gazların tespitinde sıklıkla kullanılmaktadır. Devre şemaları aşağıda gösterilmiştir. Şekil 4.9’da MICS sensörü devre şeması verilmektedir.



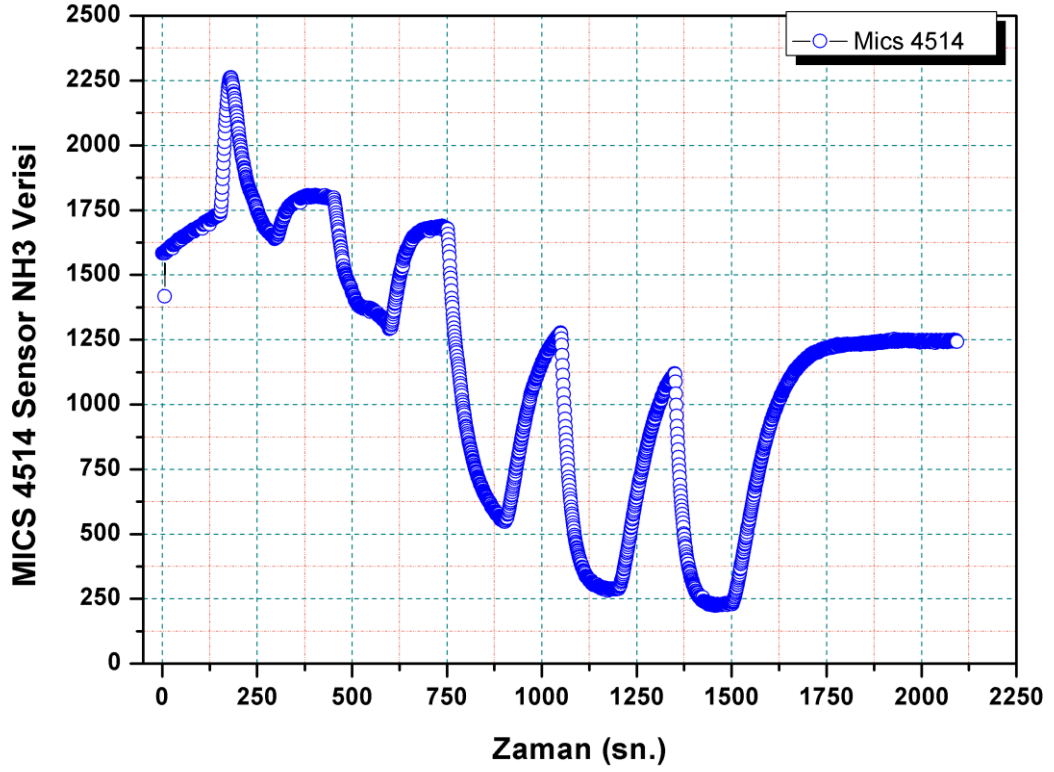
Şekil 4.9 MICS sensörleri devre şeması.

MICS 4514 sensörünün karbon monoksit tepkileri aşağıdaki grafikte incelenmiştir. Grafığe detaylı bakılması halinde sensör tepkilerinin oldukça kararlı olduğu görülmüştür. Beklendiği üzere verilen karbon monoksit gazı miktarıyla doğru orantılı olarak sensör yüzeyine yapışan karbon monoksit molekül sayısı artmış ve sensör duyarlılığını yükseltmiştir. Sensör yüzeyi tamamen karbon monoksitle kaplanması halinden sonra sabit kalmış veya bir miktar sensör tepkisinde azalmalar görülmüştür. Sensör yüzeyindeki bir miktar molekülün koparak havaya karışması bu durumu etkilemiştir. Şekil 4.10’da MICS 4514 sensörüne ait karbon monoksit gazı grafığı verilmektedir.



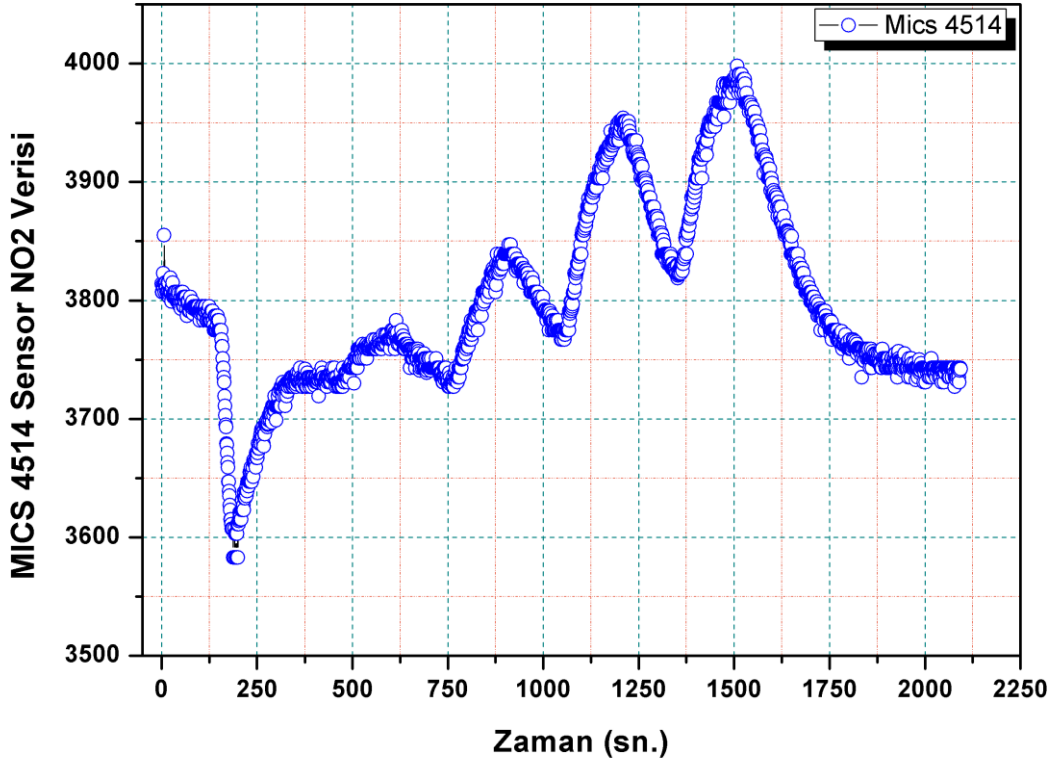
Şekil 4.10 MICS 4514 sensörü CO grafiği.

MICS 4514 sensörünün amonyak gazı verilerine dayanarak oluşturulan grafik aşağıda paylaşılmıştır. Grafik detaylı olarak incelendiğinde sensörün kararlı bir biçimde amonyak gazını algılayamadığı görülmüştür. Yıkama gazı ile yüzeyin tamamen temizlenmediği ve ortamda oluşan kirliliğin ölçümleri olumsuz etkilediği veya kurulan test düzeneğinin amonyak ölçümünde yetersiz kalmış olabilir. Şekil 4.11’de MICS 4514 sensörüne ait amonyak gazına ait grafiği verilmektedir.



Şekil 4.11 MICS 4514 sensörü NH3 grafiği.

MICS 4514 sensörünün azot dioksit verilerine dayanarak oluşturulan grafik aşağıda paylaşılmıştır. Grafik detaylı olarak incelendiğinde sensörün kararlı bir biçimde azot dioksit gazını algılayamadığı görülmüştür. Yıkama gazı ile yüzeyin tamamen temizlenmediği ve ortamda oluşan kirliliğin ölçümleri olumsuz etkilemiş olduğunu düşünülmüştür. Bir diğer olumsuzluk olarak sensörün azot dioksit gazını algılamasında çevresel faktörler (nem, sıcaklık, basınç) değerlerinin etkili olduğunu düşünülmüştür. Devre kartı üzerinde bulunan MICS sensörü çalışmanın temelini oluşturan karbon monoksit gazının algılanmasında başarılı olup amonyak ve azot dioksit ölçümleri için cihazın kalibre edilmesi gerekmektedir. Şekil 4.12’de MICS 4514 sensörünün azot dioksit grafiği verilmektedir.

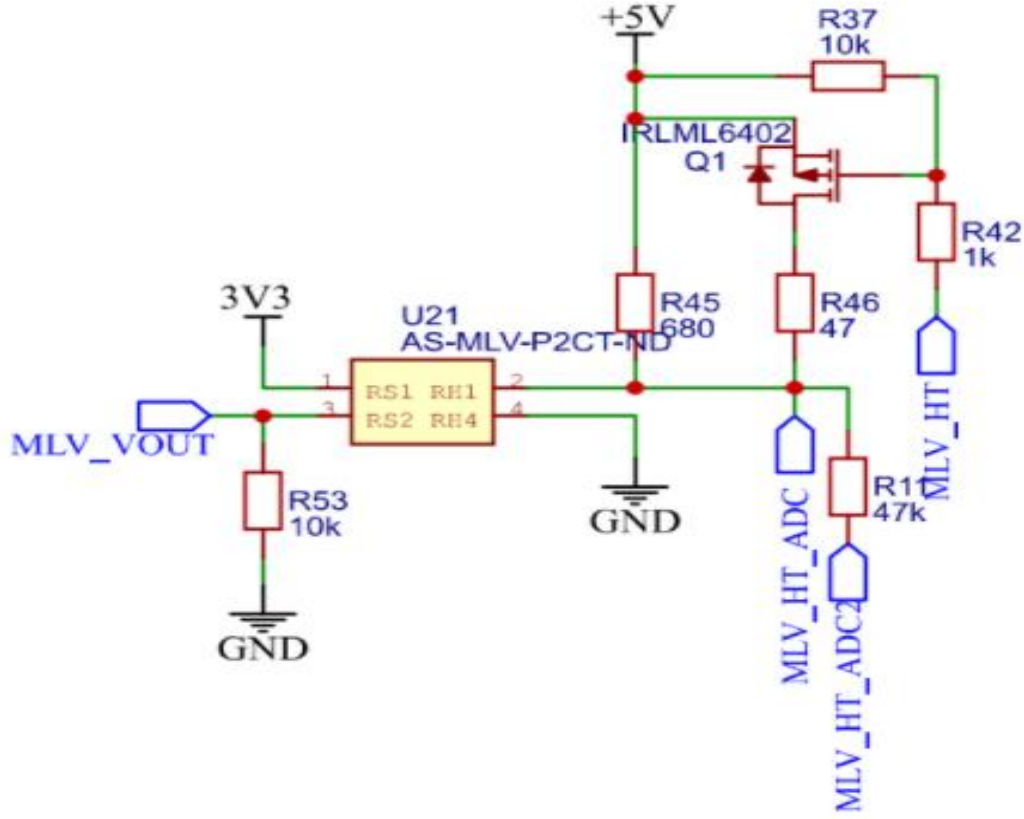


Şekil 4.12 MICS 4514 NO2 grafiği.

#### 4.1.2.5 MLV Sensörü

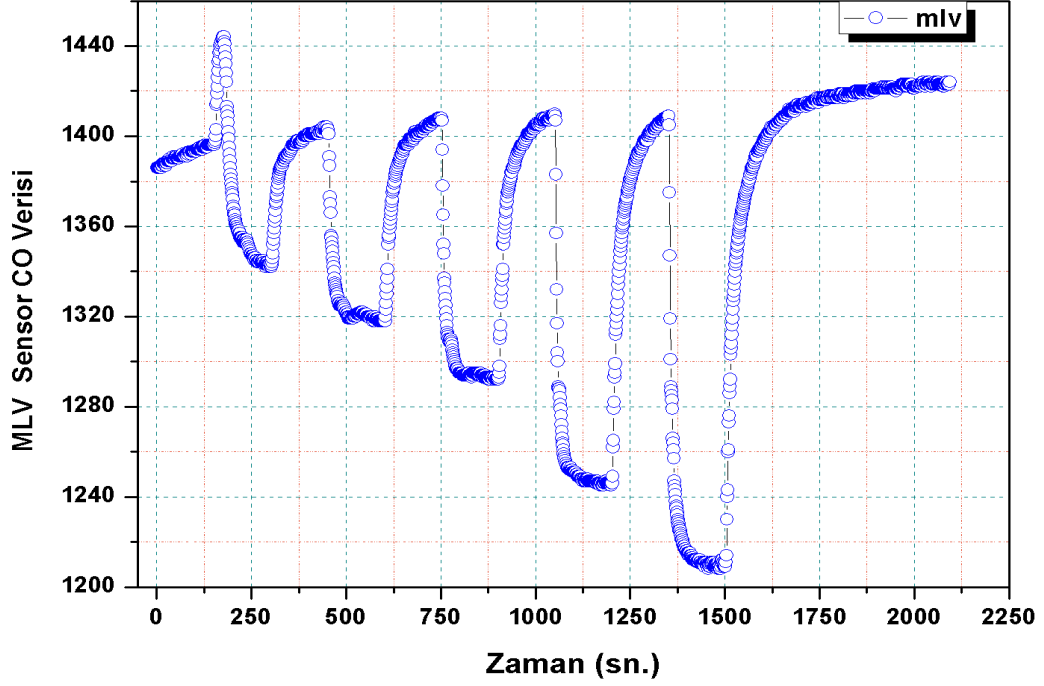
MLV sensörleri temelde ortam hava kalitesini ölçmek için özel olarak geliştirilmiş sensörlerdir. Kapalı alanlarda karbon monoksit gazının tespitinde kullanılan MLV sensörleri yüksek hassasiyete sahiptirler. Hava kalitesinin değerlendirilmesi için gerekli olan ortamda uçucu organik bileşiklerinin tespitinde aktif olarak kullanılmaktadır. MLV sensör şeması ise aşağıda gösterildiği üzere devre simülasyonu için kart basımı öncesinde hazırlanmıştır. Şekil 4.13'te MLV sensörünün devre şeması görülmektedir.





Şekil 4.13 MLV sensörü devre şeması.

MLV gaz sensöründen alınan verilerin alınarak grafik çizimi gerçekleştirilmiştir. SGP 30, Sgp 40, BME 680, MICS sensörlere benzer şekilde MLV sensöründe de karbon monoksit ölçümünde başarıya ulaşılmıştır. Alınan değerlere bakıldığında sensör tam olarak istenildiği gibi pik değerlerine ulaşmıştır. Sensörün karbon monoksit gazına verdiği tepkiler stabil olarak ilerlemiştir. Sensörün karbon monoksit gazına maruziyeti arttıkça alınan sensör cevabı daha şiddetli olmaktadır. Kapalı alanlarda sigara tüketiminin tespitinde önemli yere sahip olan karbon monoksit gazının tespitinde başarılı olan sensörlerimiz ile yüksek doğruluk oranlarında hava kalitesi ve sigara kullanımı tespiti yapılabilmektedir. Şekil 4.14'te MLV sensörünün karbon monoksit grafiği verilmektedir.



Şekil 4.14 MLV sensörü CO grafiği.

MLV sensöründen alınan veriler ile diğer sensörlerden alınan veriler kıyaslanmıştır. SGP 30, SGP 40 sensörlerine benzer grafikler oluşturmuştur. Sensör tepkileri beklenildiği gibi karbon monoksit gazına karşı duyarlı ve tutarlı sonuçlar vermiştir.

#### 4.1.3 Kullanılan Sensörler ile Sigara Dumanı Ölçümü

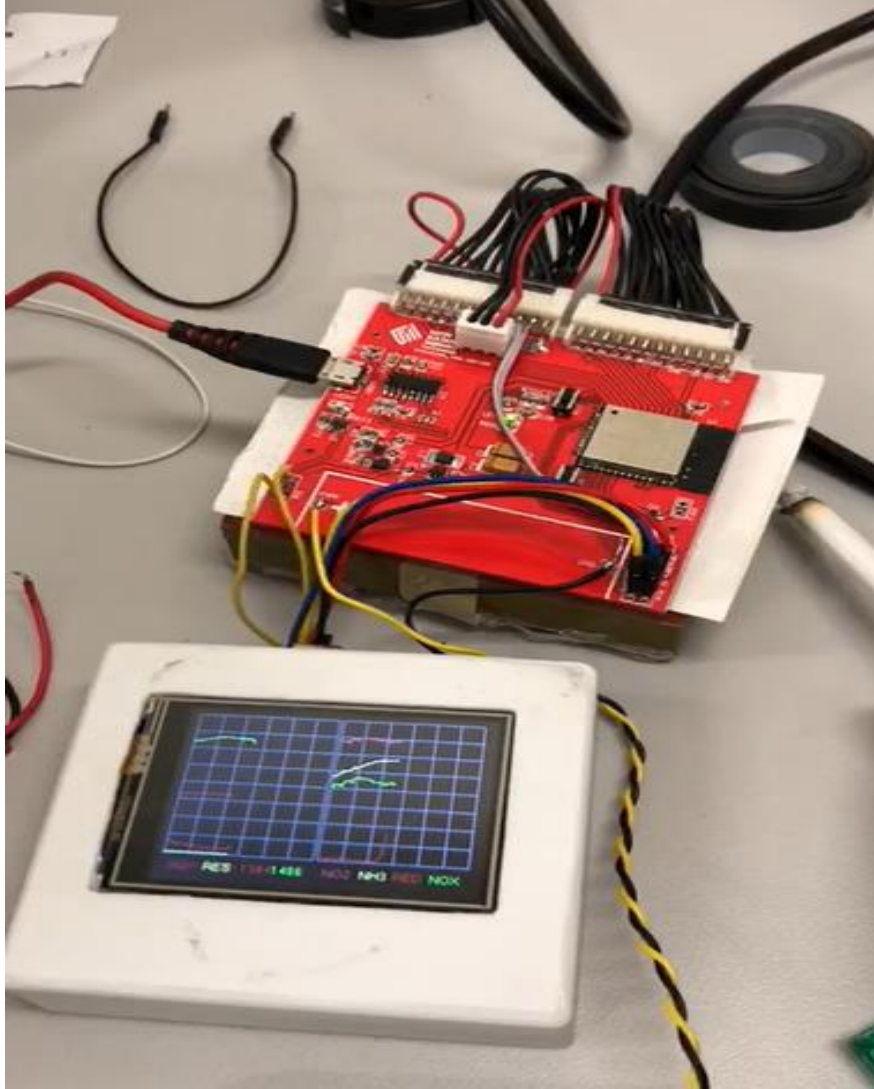
Hazırlanan test düzeneği kullanılarak sigara ölçümleri ve analizleri laboratuvar ortamında gerçekleştirilmiştir. Hazırlanan düzenek yardımıyla ortamda sigara kullanımına karşı sensör tepkileri incelenmiştir. Kapalı mekanlarda sigara kullanımının analizi için gerekli olan düzenek kurulurken çevresel faktörler en aza indirilebilmesi hedeflenmiştir. Teorik ve pratik sigara dumanı ölçümünün kıyaslanması için iki farklı test düzeneğine ihtiyaç duyulmuştur. Laboratuvar ortamında yapılan testlerde ve kapalı bir mekânda yapılan testler arasında benzerlik görülmesi cihazın hastaneler, laboratuvar hava analizlerinde, kamu kuruluşları ve hava kalitesinin önem arz ettiği alanlarda kullanımına uygun olduğunu göstermektedir.

Laboratuvar ortamında elde edilen veriler incelenip grafikleri çıkarıldıktan sonra bilgisayar öğrenme algoritmaları kullanılarak veriler işlenmiştir. Kapalı alanlarda ki sigara kullanımının incelenmesi için düzenlenen ikinci test düzeneği ile birlikte cihaz kapalı bir alanda çalıştığında sensör tepkilerinin kararlılığı incelenmiştir. Testlerin başarıya ulaşması için öncelikle kapalı alanda bir adet sigara içildiğinde sensörden alınan sonuçlar kaydedilmiştir. Ortam kısa bir süre havalandırılıp sigara dumanı kokusu ortamdaki uzaklaştırılmıştır. Burun ile sigara dumanı kokusu alınmamasına karşın sensörler sayesinde ortamda karbon monoksit miktarındaki artış elektronik burun ile tespit edilmiştir. Karbon monoksit gazı dışında sensör sayesinde destekleyici olarak hidrojen sülfür, azot dioksit gazlarının da değerleri ölçülmüştür. Test sonuçlarının doğruluğunun ölçülmesi için ortamda aynı anda birden fazla sigara içilmiştir ve ölçüm alınmıştır. Sonrasında ortam havalandırılıp yeniden ölçümler alınmıştır. Ortamda zararlı gaz yoğunluğu azalmasına karşın cihaz tarafından ortamda kalan zararlı gaz moleküllerinin tespiti gerçekleştirilmiştir.

Tekrar edilen testler sonucunda ortamda içilen sigara miktarı artışı ile birlikte cihaz tarafından ölçülen zararlı gaz miktarının artışı görülmüştür. Sigara içilen ortamların kısa süre havalandırılması ile zararlı gazların ortamdaki uzaklaşmadığı ve hava kalitesinin hemen düzelmediği görülmüştür. Ortamda bulunan sigara kullanan veya pasif içici olarak tanımlanan kişilerin sigara dumanına maruziyeti sonucunda ortamda içilen sigaraya miktarına bağlı olarak kanlarındaki oksijen saturasyon değerleri zaman içerisinde düşmektedir. Eğer ortamda birden fazla sigara içiliyor ve yeterince ortam havalandırılmıyor ise kişilerin zararlı gazlara maruziyetine bağlı olarak akut ve/veya kronik hastalıkların görülme sıklığı artmaktadır.

Uzun süreli yapılan testlerde şu sonuçlara varılmıştır. Ortamda eser miktarda bulunan sigara dumanının içerdiği gazların tespiti cihaz tarafından yapılabilmektedir. Ortamda içilen sigara miktarı arttıkça cihaz ile ölçülen zararlı gaz miktarında artış gözlemlenmiştir. Sigara kullanılan ortamın kısa süreli havalandırılması veya ortamda sigara tüketimi bırakılmasına bağlı olarak zararlı gaz miktarında azalma görülmektedir. Zararlı gaz miktarında azalma olmasına karşın ortamdaki zararlı gazların tamamen uzaklaştırılması için uzun süreli havalandırma veya hava temizleyici filtre sistemlerine

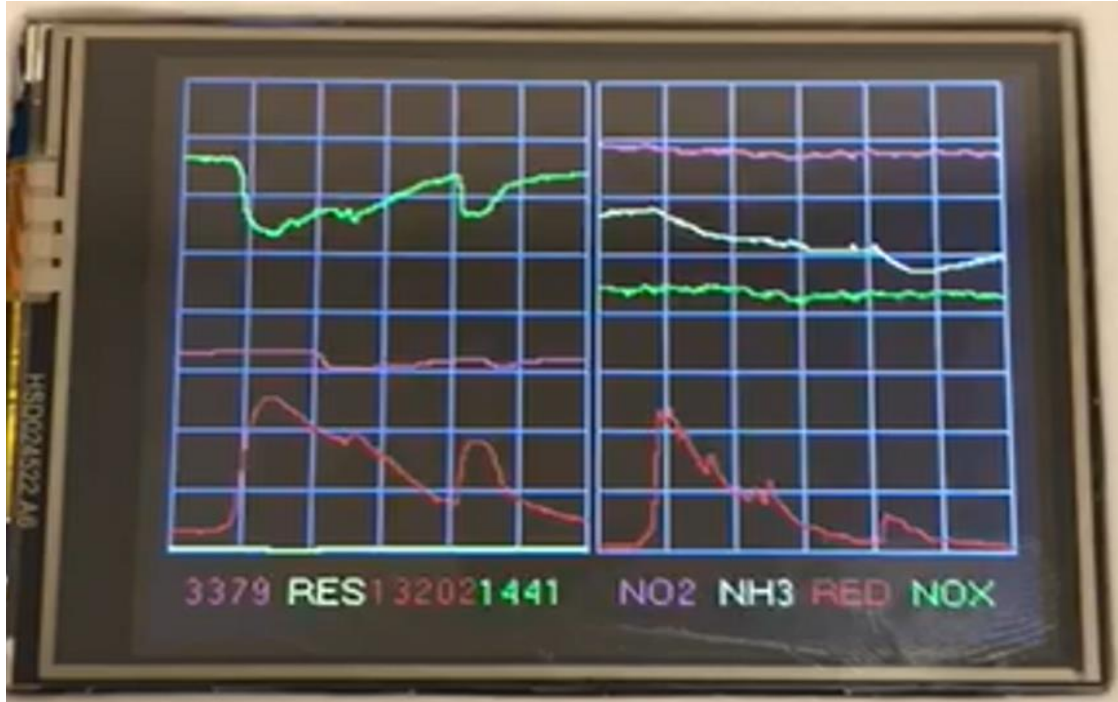
ihtiyaç duyulduğu gözlemlenmiştir. Resim 4.2’de elektronik burun sigara dumanı testi verilmektedir.



**Resim 4.2** Elektronik burun sigara dumanı testi.

Pandemi ile birlikte hastanelerde artan insan yoğunluğuna bağlı olarak bu alanlarda zararlı gaz miktarında artış görülmektedir. Hasta ve hasta yakınlarının sağlığını korumak için ortamda da bulunan zararlı gazların tespiti önem arz etmektedir. Maske kullanımı ve kapalı alanda kalabalık insan toplulukları olması bireylerin solunum yolu rahatsızlıklarını artırmaktadır. Aynı zamanda kapalı alanlarda bakteri ve virüslerin solunum yolu ile yayılımının çok daha hızlı olduğu bilinmektedir. Elektronik burun yardımı ile belirli zaman aralıklarında alınan ölçümler ile birlikte hastanelerde kapalı

alanların havalandırma sistemleri veya pencereler yardımı ile havalandırılması için ortam hava kalitesini düzenli olarak ölçebilmesi projenin diğer hedeflerindedir. Resim 4.3'te elektronik burun sigara dumanı testi cihaz ekran grafik değerleri verilmektedir.



**Resim 4.3** Elektronik burun sigara dumanı testi cihaz ekran grafik değerleri.

Ortamda içilen sigara miktarına göre oluşturulan modeller yardımı ile kişinin belirli sürede, belirli miktarda sigaranın kullanıldığı ortamda bulunması sonucunda maruz kaldığı zararlı gaz hacmi modellenebilecektir. Kamusal alanlarda pek çok insanın bulunması pandemi şartlarında maske kullanımı ile birlikte bireylerin oksijen yoksunluğu çektiği süreçte farklı modellemeler tasarlamaya ihtiyaç duyulmaktadır. Modellemelerin geliştirilmesi sayesinde bireylerin insan sağlığına zararlı gazlara maruz kalma sürelerine göre cihaz tarafından uyarı verilerek ortam hava kalitesinin düştüğü ve bulunan ortamın havalandırılmaya ihtiyaç duyulduğuna dair sesli veya görsel uyarı verilmesi ilerleyen çalışmalarda hedeflenmektedir.

#### **4.2 Elektronik Burun ile Elde Edilen Grafiklerin Analizi**

Sigara dumanının analizi sonrasında, tespitinin önemi yapılan literatür araştırması ile görülen karbon monoksit gazı üzerine çalışmamızda yoğunlaşmıştır. Bu çalışmada

seçilen sensörlerin karbon monoksit gazına farklı tepkiler verdiği sonuçlar elde edilmiştir. SGP 30, SGP 40, MICS 4514 ve MLV sensörlerinden alınan karbon monoksit tepkileri daha kararlıdır. Sensörlere önceden hazırlanan tüplerde ki gazlar verildiği ilk zaman aralığında sensör tepkisinin ani yükselmesi beklenmektedir. Grafikte alınan bu yükseliş dikkate alınmamaktadır. Sonrasında verilen yıkama gazı ile birlikte grafikte düşüş görülmektedir bu süreçte sensör yüzeyi temizlenir. Yeniden karbon monoksit gazı verilmeye başlanması ile birlikte sensör yüzeyine gaz molekülleri tutunmaya başlar ve anlamlı sensör tepkileri izlenmeye başlar. Bu süreç periyot halinde karbon monoksit gazı ve sonrasında yıkama gazı (kuru hava) verilmesi ile tekrarlanır. Elde edilen grafiklerde sensörün tepkileri gazın verilmesi ile gazın kesildiği andaki değerler ile toplam geçen süreye göre bir değerlendirmeye tabi tutulur. Eğer sensör verileri kararsız ise o sensör gazın tespitinde başarısız olur ve o gazın tespitinde kullanılması halinde doğru sonuçlar elde edilemez.

## 5. TARTIŞMA ve SONUÇ

Kapalı alanlarda sigara kullanımı ve günümüzde yaşanan pandemi kuralları nedeniyle toplum sağlığı açısından ölçüm sistemi tasarımı ve geliştirilmesine ihtiyaç vardır. Sanayileşmenin günden güne arttığı çağımızda atmosfere salınan zehirli gazlarında etkisiyle hava kalitesi günden güne düşmektedir. Solunum yolu enfeksiyonları ve bu gazlara bağlı olarak gelişen diğer hastalıklar günden güne artmaktadır. Bireylerin gün içerisinde egzoz dumanları, fabrikaların gaz atıkları ve sigara ile birlikte akciğerlerinde biriken toksit miktarı artmaktadır. Toplum olarak önlemler alınmaması halinde KOAH, akciğer kanseri başta olmak üzere pek çok hastalığın görülme oranlarının artmasından endişe edilmektedir.

Yaşanılan pandemi dönemi ile birlikte insanlar hava kalitesinin ve rahat nefes almanın önemini bir kez daha anlamışlardır. Zorunlu olarak takılması gereken maske kullanımında bile zorluklar yaşayan bireyler sigara tüketimine devam etmeleri halinde daha ağır nefes darlığı ve oksijen yetersizliği çekeceklerdir.

Kovid 19 pandemisinde olduğu gibi gözle görülemeyen virüs ve bakteriler burun ve ağız yolunu takip ederek solunum yolu ile ciğerlerimize ve diğer hayati organlarımıza ulaşmaktadır. Kuluçka süresini geçirip tüm vücuda yayılması halinde iyileşme süresi uzamakta veya hasta hayatını kaybetmektedir. Gelişen sağlık uygulamalarında tedavi öncesi bilinçlendirme ve hastalığa yakalanmadan korunma yöntemlerine ağırlık verilmektedir. Bu sayede tedavi için harcanan insan gücü ve maddi kaynaklar daha farklı alanlarda kullanılabilir. Korunmaya yönelik geliştirilen uygulamalar için harcanan maliyet tedavi için gerekli maliyetlerle kıyaslandığı takdirde çok küçüktür.

Sağlık sorunlarından korunmak için öncelikle ortam hava kalitesinin tespiti gereklidir. Eğer ortam hava kalitesi düzenli olarak izlenebilirse vücuda solunum yolu ile daha az zehirli gaz alınacaktır veya o ortamdan uzaklaşılarak zehirli gaz maruziyetinden kaçınma imkânı bulunacaktır.

Akciğer kanseri başta olmak üzere pek çok kanser türüne sebep olan gazların tespitinde

geliştirilen elektronik burun sistemleri ile ortam hava kalitesinin artırılmasına yönelik çalışmaların önümüzdeki yıllarda daha da önem kazanacağı düşünülmektedir.

Yapılan çalışma da elde edilen veriler incelendiğinde, kapalı alanlar da insan burnunun algılayamadığı gazların tespitinde kullanılmak üzere geliştirilen elektronik burun cihazı boyutları ve kolay kullanımı sayesinde kapalı alanlarda hava kalitesinin tespitinde kullanılabileceği görülmüştür.

Farklı sensörlerin bir arada kullanılması ile elde edilen veriler ile farklı sensör tepkilerinin görülmesi ve elde edilen verilerin daha doğru işlenmesi sağlanmıştır. Sensörlerden elde edilen sinyaller direk gazın tespitine imkan tanımadığı için elde edilen verilerin işlenmesi gerekmiştir. Elde edilen veriler farklı sinyal işleme ve değerlendirme süreçlerine tabi tutulmuştur. İnsan burnuna benzer şekilde algılayıcı olarak birden fazla sensör dizilerinin oluşturulması ve sensör sinyallerinin işlenerek gaz analiz sistemi kurulması hedeflenmiştir. Kullanım alanına uygun olarak geliştirilen algoritmalar yardımı ile kapalı alanlarda insan sağlığı için zararlı olabilecek gazların tespiti yapılması için projenin ilerleyen zamanlarda genişletilerek hastane, ağır sanayi kuruluşları, toplu taşıma araçları gibi günümüzde insan popülasyonunun fazla olduğu her ortam için elektronik burun çözümleri getirilmesi hedeflenmektedir.

Karbon monoksit gazı sigara dumanında yoğun olarak bulunmaktadır. Uzun süre yoğun karbon monoksit gazına maruz kalma zehirlenmelere sebep olduğu bilinmektedir. Karbon monoksit gazı vücuda alındığında alyuvarlardaki hemoglobine bağlanarak hemoglobinlerin oksijen taşımaya engeli olur. Sigara kullanan kişilerde hemoglobinlerin oksijen taşıma kapasitesi %2,5 ile %20 oranında azalır. Yaş ve sigara dumanına maruz kalma süresi dikkate alındığında bireyin organlarına yeterli düzeyde oksijen gitmediği gözlenmektedir. Yeterli oksijen alınmaması halinde damarlarda kolesterol depolanması görülmektedir. Hayati organlar arasında en çok oksijen yoksunluğu çekecek organ olarak beynin fonksiyonlarını yerine getirememesi sonucunda işitme kaybı, halüsinasyon, görme bozuklukları, iştahsızlık gözlemlenir. Bireyin uzun süre karbon monoksit maruz kalması sonucunda organ yetmezliği veya kronik hastalık görülme sıklığı artacaktır.



Bu alışma sonucunda elde edilen bir diğer veri ise atmosfere salınan iklim değişikliğine sebep olan ağır sanayi tesislerinin doğaya saldığı sera gazı etkisinin kontrol altına alınmaması halinde şehirlerde canlıların yaşamını sürdürebilecekleri hava kalitesinin günden güne düşerek farklı solunum yolu hastalıklarında artış olabileceği görülmüştür.

Elektronik burun ile elde edilen sensör verileri ham haliyle anlamsızdır. Elde edilen verilerin farklı algoritmalar ve farklı programlar kullanarak işlenmesi gerekmektedir. Yapay sinir ağı veya farklı algoritmalar oluşturulurken elde edilen gaz verilerinin fazla olması algoritmanın başarı oranını artırmaktadır. Bir diğer avantajı ise bir sensörden gelen verilerde uyumsuzluk olması halinde diğer sensörler referans alınarak sisteme müdahale imkânı tanınmasıdır. Projenin ilerleyen aşamalarında sensör dizini ve algoritmalar geliştirilecektir.

## 6. KAYNAKLAR

- Addeo A, Obeid M, Friedlaender A, 2020, COVID-19 and lung cancer: Risks, mechanisms and treatment interactions, *Journal for ImmunoTherapy of Cancer*, 8, Online basım.
- Carroll A J, Huffman M D, Zhao L, Jacobs D R, Stewart J C, vd., 2020, Associations between depressive symptoms, cigarette smoking, and cardiovascular health: Longitudinal results from CARDIA, *Journal of Affective Disorders*, 260, 583–591.
- Chabner B A, Roberts T G, 2005, Chemotherapy and the war on cancer, *Nature Reviews Cancer*, 5, 65–72.
- Chothe R V, Ugale S P, 2012, E-Nose for gas detection at vehicle exhaust Using supervised learning algorithm, *International Journal of Emerging Trends & Technology in Computer Science*, 1, 145–149.
- Cui S, Inocente E A A, Acosta N, Keener H M, Zhu H, Ling, P P, 2019, Development of fast e-nose system for early-stage diagnosis of aphid-stressed tomato plants. *Sensors (Switzerland)*, 19, 1–14.
- de Groot P M, Wu C C, Carter B W, Munden R F, 2018, The epidemiology of lung cancer, *Translational Lung Cancer Research*, 7, 220–233.
- Dünya Sağlık Örgütü, 2008, DSÖ Küresel Tütün Salgını Raporu, 2008: MPOWER paketi, *Who* 2008, 1–73.
- Günay M E, Türker L, Tapan N A, 2018, Decision tree analysis for efficient CO<sub>2</sub> utilization in electrochemical systems, *Journal of CO<sub>2</sub> Utilization*, 28, 83–95.
- Jaeschke C, Glöckler J, El Azizi O, Gonzalez O, Padilla M, Mitrovics J, vd., 2019, An Innovative Modular eNose System Based on a Unique Combination of Analog and Digital Metal Oxide Sensor, *ACS Sensors*, 4, 2277–2281.
- Johnston L, 1956, Cigarette Smoking, *British Medical Journal*, 2, 605.
- Kim Hong P T, Jang C H, 2020, Sensitive and label-free liquid crystal-based optical sensor for the detection of malathion, *Analytical Biochemistry*, 593, 113589.
- Komagata H, Yoneda S, 2004, Lung cancer. *Gan to Kagaku Ryoho, Cancer & Chemotherapy*, 31, 1609–1613.
- Luo D, Hosseini H G, Stewart J R, 2004, Application of ANN with extracted parameters from an electronic nose in cigarette brand identification, *Sensors and*

- Actuators, B: Chemical, 99, 253–257.
- Marom, 2016, Cigarette smoking and hormones, *Curr Opin Obstet Gynecol*, 28, 230-5.
- Osibogun O, Bursac Z, Maziak W, 2020, E-Cigarette Use and Regular Cigarette Smoking Among Youth: Population Assessment of Tobacco and Health Study (2013–2016), *American Journal of Preventive Medicine*, 58, 657–665.
- Öztürk S, Kiliç N, Öztürk Z Z, 2013, Fabrication of ZnO nanorods for NO<sub>2</sub> sensor applications: Effect of dimensions and electrode position, *Journal of Alloys and Compounds*, 581, 196–201.
- Öztürk S, Kiliç N, Taşaltın N, Öztürk Z Z, 2012, Fabrication of ZnO nanowires and nanorods, *Physica E: Low-Dimensional Systems and Nanostructures*, 44, 1062–1065.
- Rasch F, Postica V, Schütt F, Mishra Y K, Nia A S, vd., 2020,. Highly selective and ultra-low power consumption metal oxide based hydrogen gas sensor employing graphene oxide as molecular sieve, *Sensors and Actuators, B: Chemical*, 320, 128363.
- Taştan M, Gökozan H, 2019, Real-time monitoring of indoor air quality with internet of things-based e-nose, *Applied Sciences (Switzerland)*, 9, 3435.
- Tiele A, Wicaksono A, Ayyala S K, Covington J A, 2020, Development of a compact, iot-enabled electronic nose for breath analysis, *Electronics (Switzerland)*, 9, 84.
- Toyooka S, Mitsudomi T, Soh J, Aokage K, Yamane M, vd., 2011, Molecular oncology of lung cancer, *General Thoracic and Cardiovascular Surgery*, 59, 527–537.
- Ünal K, Genç L, Saçan M, 2011, Elektronik Burun Sistemlerinin Tasarım İlkeleri. 118, 109–118.
- Zeng Y Q, Hou S, Huang S, Lai X, Dai Z, 2017, Impacts of cigarette smoking on immune responsiveness: Up and down or upside down, *Oncotarget*, 8, 268–284.

## İnternet Kaynakları

- 1- <https://www.who.int/en/news-room/fact-sheets/detail/tobacco>, 06.07.2021
- 2- <https://hsgm.saglik.gov.tr/tr/kanser-turleri/kanser-turleri/akci%C4%9Fer->

[kanseri.html](#), 06.07.2021

3- [https://www.solunum.org.tr/TusadData/doc/Akciger\\_Kanser\\_](https://www.solunum.org.tr/TusadData/doc/Akciger_Kanser_), 06.07.2021

4- <https://www.nature.com/articles/nrc1529>, 06.07.2021

5- [www.researchgate.net](http://www.researchgate.net), 06.07.2021

6- <https://dergipark.org.tr/tr/>, 06.07.2021

7- <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/>, 06.07.2021

8- <https://acikerisim.aku.edu.tr/> , 06.07.2021

## ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Yasin Can BAĞANA  
Doğum Yeri ve Tarihi : Afyonkarahisar/1993  
Yabancı Dili : İngilizce  
İletişim (Telefon / e-posta) :0 536 200 72 07 / yasinbagana@gmail.com

### Eğitim Durumu (Kurum ve Yıl)

Lise : Mustafa Hüsnü Gemici AÖL (2007 – 2011)  
Lisans : Yeditepe Üniversitesi, Biyomedikal Mühendisliği  
(2011– 2017)  
Yüksek Lisans : Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri  
Enstitüsü, Biyomedikal Mühendisliği Ana Bilim  
Dalı, (2019-2021)

### Çalıştığı Kurum/Kurumlar ve Yıl:

Acıbadem Kadıköy Hastanesi (2017)  
: Pera Medikal Biyomedikal Mühendisi  
(2017-2018)  
: Fatih Sultan Mehmet Vakıf Üniversitesi BETAM  
ARGE Merkezi (2019 – Devam Ediyor)

# EKLER

## Ek 1. SGP30 Sensörü Kullanıcı Kılavuzu



### Datasheet SGP30 Sensirion Gas Platform

- Multi-pixel gas sensor for indoor air quality applications
- Outstanding long-term stability
- I<sup>2</sup>C interface with TVOC and CO<sub>2</sub>eq output signals
- Very small 6-pin DFN package: 2.45 x 2.45 x 0.9 mm<sup>3</sup>
- Low power consumption: 48 mA at 1.8V
- Tape and reel packaged, reflow solderable



#### Product Summary

The SGP30 is a digital multi-pixel gas sensor designed for easy integration into air purifier, demand-controlled ventilation, and IoT applications. Sensirion's CMOSens<sup>®</sup> technology offers a complete sensor system on a single chip featuring a digital I<sup>2</sup>C interface, a temperature controlled micro hotplate, and two preprocessed indoor air quality signals. As the first metal-oxide gas sensor featuring multiple sensing elements on one chip, the SGP30 provides more detailed information about the air quality.

The sensing element features an unmatched robustness against contaminating gases present in real-world applications enabling a unique long-term stability and low drift. The very small 2.45 x 2.45 x 0.9 mm<sup>3</sup> DFN package enables applications in limited spaces. Sensirion's state-of-the-art production process guarantees high reproducibility and reliability. Tape and reel packaging, together with suitability for standard SMD assembly processes make the SGP30 predestined for high-volume applications.

#### Block Diagram

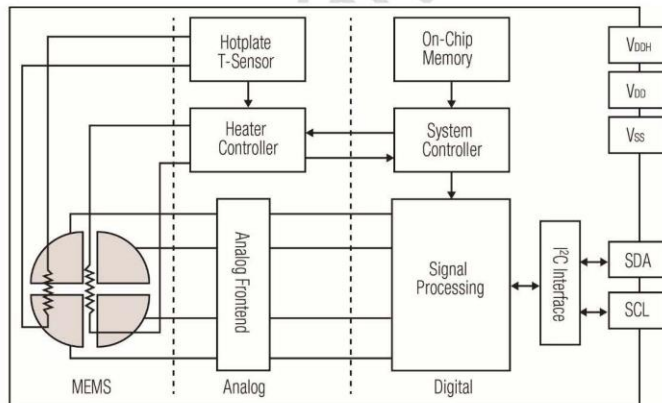


Figure 1 Functional block diagram of the SGP30.

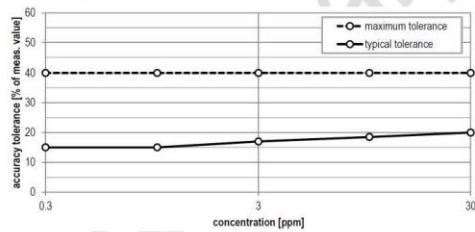
**1 Sensor Performance**

**1.1 Gas Sensing Performance**

Parameter	Signal	Values	Comments
Measurement range <sup>1</sup>	Ethanol signal	0 ppm to 1000 ppm	
	H <sub>2</sub> signal	0 ppm to 1000 ppm	
Specified measurement range	Ethanol signal	0.3 ppm to 30 ppm	The specifications below are defined for this measurement range <sup>2</sup> . The specified measurement range covers the gas concentrations expected in indoor air quality applications.
	H <sub>2</sub> signal	0.5 ppm to 10 ppm	
Accuracy <sup>3</sup>	Ethanol signal	see <b>Figure 2</b> typ.: 15% of meas. value	Accuracy of the concentration <i>c</i> determined by $\ln\left(\frac{c}{c_{ref}}\right) = \frac{(s_{ref} - s_{out})}{a}$ $a = 512$ $s_{out}$ : EthOH/H <sub>2</sub> signal output at concentration <i>c</i> $s_{ref}$ : EthOH/H <sub>2</sub> signal output at 0.5 ppm H <sub>2</sub>
	H <sub>2</sub> signal	see <b>Figure 3</b> typ.: 10% of meas. value	
Long-term drift <sup>3,4</sup>	Ethanol signal	see <b>Figure 4</b> typ.: 1.3% of meas. value	Change of accuracy over time: Siloxane accelerated lifetime test <sup>5</sup>
	H <sub>2</sub> signal	see <b>Figure 5</b> typ.: 1.3% of meas. value	
Resolution	Ethanol signal H <sub>2</sub> signal	0.2 % of meas. value	Resolution of Ethanol and H <sub>2</sub> signal outputs in relative change of the measured concentration
Sampling frequency	Ethanol signal H <sub>2</sub> signal	Max. 40 Hz	Compare with minimum measurement duration in <b>Table 10</b>

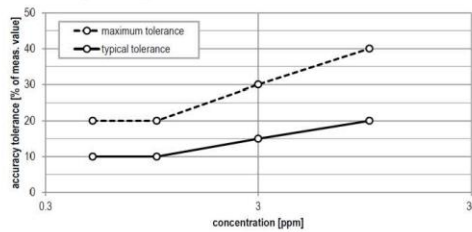
**Table 1** Gas sensing performance. Specifications are at 25°C, 50% RH and typical VDD.

**Accuracy ethanol signal**



**Figure 2** Typical and maximum accuracy tolerance in % of measured value at 25°C, 50% RH and typical VDD. The sensors have been operated for at least 24h before the characterization.

**Accuracy H<sub>2</sub> signal**



**Figure 3** Typical and maximum accuracy tolerance in % of measured value at 25°C, 50% RH and typical VDD. The sensors have been operated for at least 60h before the characterization.

<sup>1</sup> Exposure to ethanol and H<sub>2</sub> concentrations up to 1000 ppm have been tested. For applications requiring the measurement of higher gas concentrations please contact Sensirion.

<sup>2</sup> ppm: parts per million. 1 ppm = 1000 ppb (parts per billion)

<sup>3</sup> 90% of the sensors will be within the typical accuracy tolerance, >99% are within the maximum tolerance.

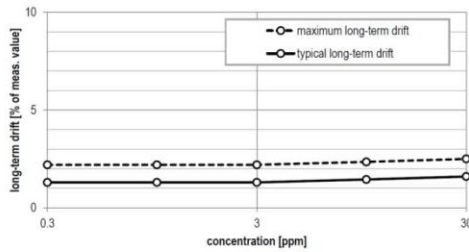
<sup>4</sup> The long-term drift is stated as change of accuracy per year of operation.

<sup>5</sup> Test conditions: operation in 250 ppm Decamethylcyclopentasiloxane (D5) for 200h simulating 10 years of operation in an indoor environment.

# Ek 1. (Devam) SGP30 Sensörü Kullanıcı Kılavuzu

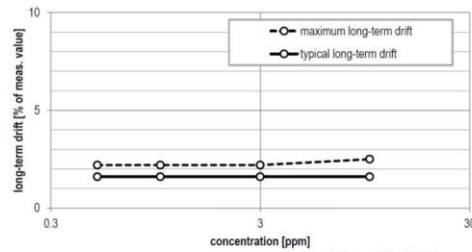


**Long-term drift Ethanol signal**



**Figure 4** Typical and maximum long-term drift in % of measured value at 25°C, 50% RH and typical VDD. The sensors have been operated for at least 24h before the first characterization.

**Long-term drift H<sub>2</sub> signal**

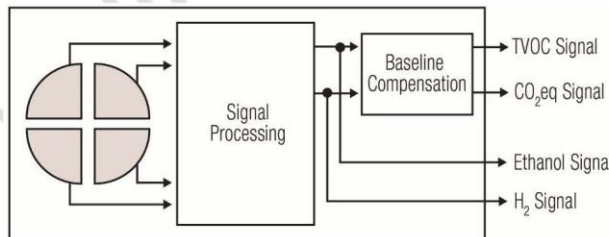


**Figure 5** Typical and maximum long-term drift in % of measured value at 25°C, 50% RH and typical VDD. The sensors have been operated for at least 60h before the first characterization.

## 1.2 Air Quality Signals

Parameter	Signal	Values		Comments
Output range	TVOC signal	0 ppb to 60000 ppb		Maximum possible output range. The gas sensing performance is specified for the measurement range as defined in <b>Table 1</b>
	CO <sub>2</sub> eq signal	400 ppm to 60000 ppm		
Resolution	TVOC signal	0 ppb - 2008 ppb	1 ppb	
		2008 ppb - 11110 ppb	6 ppb	
		11110 ppb - 60000 ppb	32 ppb	
	CO <sub>2</sub> eq signal	400 ppm - 1479 ppm	1 ppm	
		1479 ppm - 5144 ppm	3 ppm	
		5144 ppm - 17597 ppm	9 ppm	
17597 ppm - 60000 ppm	31 ppm			
Sampling rate	TVOC signal	1 Hz		The on-chip baseline compensation algorithm has been optimized for this sampling rate. The sensor shows best performance when used with this sampling rate.
	CO <sub>2</sub> eq signal	1 Hz		

**Table 2** Air quality signal specifications.



**Figure 6** Simplified version of the functional block diagram (compare **Figure 1**) showing the signal paths of the SGP30.

## 1.3 Recommended Operating Conditions

The sensor shows best performance when operated within recommended normal temperature and humidity range of 5 – 55 °C and 4 –20 g/m<sup>3</sup>, respectively. Long-term exposure (operated and not operated) to conditions outside the



## Ek 1. (Devam) SGP30 Sensörü Kullanıcı Kılavuzu



recommended range, especially at high humidity, may affect the sensor performance. Prolonged exposure to extreme conditions may accelerate aging. To ensure stable operation of the gas sensor, the conditions described in the document *SGP Handling and Assembly Instructions* regarding exposure to exceptionally high concentrations of some organic or inorganic compounds have to be met, particularly during operation. Please also refer to the *Design-in Guide* for optimal integration of the SGP30.

### 2 Electrical Specifications

Parameter	Min.	Typ.	Max.	Unit	Comments
Supply voltage $V_{DD}$	1.62	1.8	1.98	V	Minimal voltage must be guaranteed also for the maximum supply current specified in this table.
Hotplate supply voltage $V_{DDH}$	1.62	1.8	1.98	V	
Supply current in measurement mode <sup>6</sup>		48.2		mA	The measurement mode is activated by sending an "Init_air_quality" or "Measure_raw_signal" command. Specified at 25°C and typical VDD.
Sleep current		2	10	µA	The sleep mode is activated after power-up or after a soft reset. Specified at 25°C and typical VDD.
LOW-level input voltage	-0.5		0.3*VDD	V	
HIGH-level input voltage	0.7*VDD		VDD+0.5	V	
Vhys hysteresis of Schmitt trigger inputs			0.05*VDD	V	
LOW-level output voltage			0.2*VDD	V	(open-drain) at 2mA sink current
Communication	Digital 2-wire interface, I <sup>2</sup> C fast mode.				

Table 3 Electrical specifications.

### 3 Interface Specifications

The SGP30 comes in a 6-pin DFN package, see Table 4.

Pin	Name	Comments
1	$V_{DD}$	Supply voltage
2	$V_{SS}$	Ground
3	SDA	Serial data, bidirectional
4	R	Connect to ground (no electrical function)
5	$V_{DDH}$	Supply voltage, hotplate
6	SCL	Serial clock, bidirectional

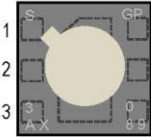
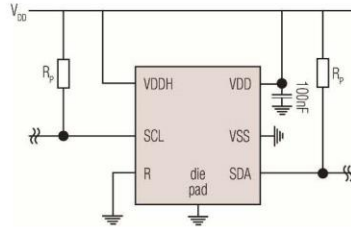


Table 4 Pin assignment (transparent top view). Dashed lines are only visible from the bottom.

<sup>6</sup> A 20% higher current is drawn during 5ms on  $V_{DDH}$  after entering the measurement mode.

## Ek 1. (Devam) SGP30 Sensörü Kullanıcı Kılavuzu

**SENSIRION**  
THE SENSOR COMPANY



**Figure 7** Typical application circuit (for better clarity in the image, the positioning of the pins does not reflect the positions on the real sensor).

The electrical specifications of the SGP30 are shown in **Table 3**. The power supply pins must be decoupled with a 100 nF capacitor that shall be placed as close as possible to pin VDD – see **Figure 7**. The required decoupling depends on the power supply network connected to the sensor. We also recommend VDD and VDDH pins to be shorted<sup>7</sup>.

SCL is used to synchronize the communication between the microcontroller and the sensor. The SDA pin is used to transfer data to and from the sensor. For safe communication, the timing specifications defined in the I<sup>2</sup>C manual<sup>8</sup> must be met. Both SCL and SDA lines are open-drain I/Os with diodes to VDD and VSS. They should be connected to external pull-up resistors. To avoid signal contention, the microcontroller must only drive SDA and SCL low. The external pull-up resistors (e.g.  $R_p = 10\text{ k}\Omega$ ) are required to pull the signal high. For dimensioning resistor sizes please take bus capacity and communication frequency into account (see for example Section 7.1 of NXP's I<sup>2</sup>C Manual for more details<sup>9</sup>). It should be noted that pull-up resistors may be included in I/O circuits of microcontrollers.

The die pad or center pad is electrically connected to GND. Hence, electrical considerations do not impose constraints on the wiring of the die pad. However, for mechanical stability it is recommended to solder the center pad to the PCB.

### 4 Absolute Minimum and Maximum Ratings

Stress levels beyond those listed in **Table 5** may cause permanent damage to the device. These are stress ratings only and functional operation of the device at these conditions cannot be guaranteed. Exposure to the absolute maximum rating conditions for extended periods may affect the reliability of the device.

Parameter	Rating
Supply voltage $V_{DD}$	-0.3 V to +2.16 V
Supply voltage $V_{DDH}$	-0.3 V to +2.16 V
Storage temperature range	-40 to +125°C
Operating temperature range	-40 to +85°C
Humidity Range	10% - 95% (non-condensing)
ESD HBM	2 kV
ESD CDM	500 V
Latch up, JESD78 Class II, 125°C	100 mA

**Table 5** Absolute minimum and maximum ratings.

Please contact Sensirion for storage, handling and assembly instructions.

<sup>7</sup> If VDD and VDDH are not shorted, it is required that VDD is always powered when VDDH is powered. Otherwise, the sensor might be damaged.

<sup>8</sup> [http://www.nxp.com/documents/user\\_manual/UM10204.pdf](http://www.nxp.com/documents/user_manual/UM10204.pdf)

## Ek 2. SGP40 Sensörü Kullanıcı Kılavuzu



### Preliminary Datasheet SGP40

#### Indoor Air Quality Sensor for VOC Measurements

- MOx based gas sensor for indoor air quality applications
- Outstanding long-term stability and lifetime
- I<sup>2</sup>C interface with digital output signal
- Very small 6-pin DFN package: 2.44 x 2.44 x 0.85 mm<sup>3</sup>
- Low power consumption: 2.6 mA at 3.3 V
- Tape and reel packaged, reflow solderable



#### Product Summary

The SGP40 is a digital gas sensor designed for easy integration into air purifiers or demand-controlled ventilation systems. Sensirion's CMOSens<sup>®</sup> technology offers a complete, easy-to-use sensor system on a single chip featuring a digital I<sup>2</sup>C interface and a temperature-controlled micro hotplate, providing a humidity-compensated VOC based indoor air quality signal. The output signal can be directly processed by Sensirion's powerful VOC Algorithm to translate the raw signal into a VOC Index as a robust measure for indoor air quality. The VOC Algorithm automatically adapts to the environment the sensor is exposed to. Both sensing element and

VOC Algorithm feature an unmatched robustness against contaminating gases present in real-world applications enabling a unique long-term stability as well as low drift and device-to-device variation. The very small 2.44 x 2.44 x 0.85 mm<sup>3</sup> DFN package enables applications in limited spaces. Sensirion's state-of-the-art production process guarantees high reproducibility and reliability. Tape and reel packaging together with suitability for standard SMD assembly processes make the SGP40 predestined for high-volume applications.

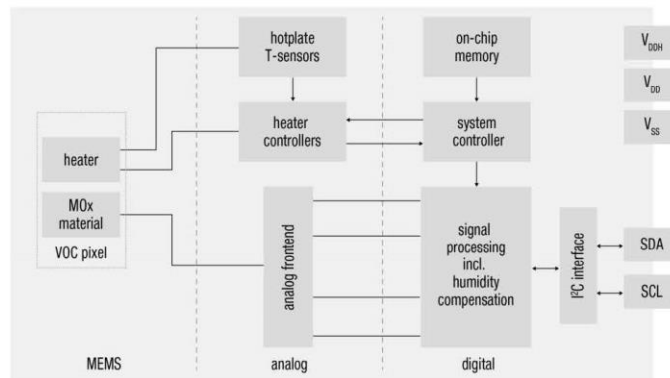


Figure 1 Functional block diagram of the SGP40.

## Ek 2. (Devam) SGP40 Sensörü Kullanıcı Kılavuzu



### 1 Sensor Performance

**Table 1** lists specifications characterizing the gas sensing performance. The SGP40 chip provides a digital raw signal (SRAW) which is sensitive to all VOC gases typically present in indoor environments and which is proportional to the logarithm of the resistance of the MOx material. This signal is intended for further processing by an algorithm providing quantitative information about the VOC based indoor air quality. For this purpose, Sensirion offers its robust VOC Algorithm, which is included in the VOC Index driver package available on Sensirion's webpage.<sup>1</sup> The algorithm maps all VOC and fresh air events to a VOC Index scale (see application note *SGP40 – VOC Index for Experts* for more details). For the specifications given below, ethanol in clean air has been used as proxy gas for typical indoor air events.

Parameter	Comments	Values <sup>2</sup>			Units	
		Min.	Typ.	Max.		
Output signals <sup>3</sup>	Digital processed value (VOC Index)	0	–	500	VOC Index points	
	Digital raw value (SRAW)	0	–	65'535	ticks <sup>4</sup>	
Measurement range	Ethanol in clean air	0	–	1'000	ppm	
Specified range	Ethanol in clear air	0.3	–	30	ppm	
Device-to-device variation	VOC Index <sup>5</sup>	–	<± 15 <± 15	–	VOC Index points or % VOC Index m.v. (the larger)	
Repeatability	VOC Index <sup>5</sup>	–	<± 5 <± 5	–	VOC Index points or % VOC Index m.v. (the larger)	
Limit of detection <sup>6,7</sup>	Ethanol in specified range	–	–	<50 <10	ppb or % of concentration setpoint (the larger)	
Response time	Changing concentration from 5 to 10 ppm of ethanol, at sampling interval of 1 s	$T_{63}$	–	<10	–	s
		$T_{90}$	–	<30	–	s
Switch-on behavior	Time until reliably detecting VOC events <sup>8</sup>	–	<60	–	s	
	Time until specifications in this table are met	–	<1	–	h	
Sensitivity <sup>7</sup>	SRAW, doubling VOC concentration	Ethanol in specified range	–	–870	–	ticks
		5 to 10 ppm of ethanol	–710	–870	–1'030	ticks
Recommended sampling interval	VOC Index	–	1	–	s	
	SRAW	10	1	0.5	s	

**Table 1** Gas sensing specifications at 25 °C and 50 % RH in zero air (considered as clean air for indoor air quality applications) and a power supply of  $V_{DD}$  of 3.3 V. All concentrations refer to ethanol as test gas.

<sup>1</sup> Download the *VOC Index Driver Package SGP40* on <https://www.sensirion.com/en/download-center/gas-sensors/multi-pixel-gas-sensors/>.

<sup>2</sup> 99.99 % of the sensors will be within the minimum–maximum tolerance corresponding to 4 $\sigma$  assuming a normal distribution. Typical tolerance refers to the mean of the distribution for  $\geq 100$  sensors.

<sup>3</sup> Humidity compensated when actual humidity value is provided as input to the sensor (see section 3.1 Raw Signal Measurement).

<sup>4</sup> Signal in ticks is proportional to the logarithm of the resistance of the sensing layer.

<sup>5</sup> Evaluated using the calibration and test sequence according to the application note *SGP40 – Testing Guide*.

<sup>6</sup> Limit of detection is defined as the minimum change of concentration required to obtain a raw signal change 3 times higher than the noise at the given concentration setpoint.

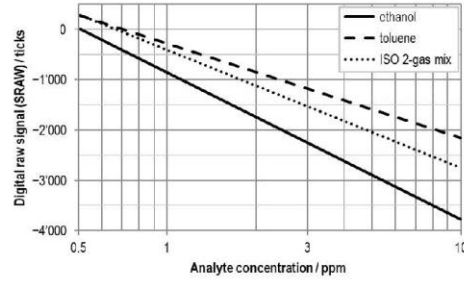
<sup>7</sup> Parameter tested over simulated lifetime of 10 years in an indoor environment. Test conditions: continuous operation in 250 ppm of Decamethylcyclopentasiloxane (D5).

<sup>8</sup> Signal increase during 60-s event of 5 to 10 ppm of ethanol is three times larger than signal drift without this event during the same duration.

## Ek 2. (Devam) SGP40 Sensörü Kullanıcı Kılavuzu



**Figure 2** displays the typical response of the raw signal of SGP40 to various VOCs as a function of their concentrations in otherwise clean air.



**Figure 2** Typical sensor response to various VOCs normalized to 500 ppb of ethanol. Data were recorded at 25 °C and 50 % RH and a power supply of  $V_{DD}$  of 3.3 V.



## BME680

Low power gas, pressure, temperature & humidity sensor



### BME680 – Datasheet

Document revision	1.0
Document release date	July 2017
Document number	BST-BME680-DS001-00
Technical reference code(s)	1 277 340 511
Notes	Data and descriptions in this document are subject to change without notice. Product photos and pictures are for illustration purposes only and may differ from the real product appearance.





### **BME680**

#### **Low power gas, pressure, temperature & humidity sensor**

The BME680 is a digital 4-in-1 sensor with gas, humidity, pressure and temperature measurement based on proven sensing principles. The sensor module is housed in an extremely compact metal-lid LGA package with a footprint of only  $3.0 \times 3.0 \text{ mm}^2$  with a maximum height of 1.00 mm ( $0.93 \pm 0.07 \text{ mm}$ ). Its small dimensions and its low power consumption enable the integration in battery-powered or frequency-coupled devices, such as handsets or wearables.

#### Typical applications

- Indoor air quality
- Home automation and control
- Internet of things
- Weather forecast
- GPS enhancement (e.g. time-to-first-fix improvement, dead reckoning, slope detection)
- Indoor navigation (change of floor detection, elevator detection)
- Outdoor navigation, leisure and sports applications
- Vertical velocity indication (rise/sink speed)

#### Target Devices

- Handsets such as mobile phones, tablet PCs, GPS devices
- Wearables
- Home weather stations
- Smart watches
- Navigation systems
- Gaming, e.g. flying toys
- IOT devices

## Ek 3. (Devam) BME680 Sensörü Kullanıcı Kılavuzu

### Key features

- Package 3.0 mm x 3.0 mm x 0.93 mm metal lid LGA
- Digital interface I<sup>2</sup>C (up to 3.4 MHz) and SPI (3 and 4 wire, up to 10 MHz)
- Supply voltage V<sub>DD</sub> main supply voltage range: 1.71 V to 3.6 V  
V<sub>DDIO</sub> interface voltage range: 1.2 V to 3.6 V
- Current consumption 2.1  $\mu$ A at 1 Hz humidity and temperature  
3.1  $\mu$ A at 1 Hz pressure and temperature  
3.7  $\mu$ A at 1 Hz humidity, pressure and temperature  
0.09–12 mA for p/h/T/gas depending on operation mode  
0.15  $\mu$ A in sleep mode
- Operating range -40–+85 °C, 0–100% r.H., 300–1100 hPa
- Individual humidity, pressure and gas sensors can be independently enabled/disabled
- The product is RoHS compliant, halogen-free, MSL1

### Key parameters for gas sensor

- Response time ( $\tau_{33-63\%}$ ) < 1 s (for new sensors)
- Power consumption < 0.1 mA in ultra-low power mode
- Output data processing direct indoor air quality (IAQ) index output

### Key parameters for humidity sensor

- Response time ( $\tau_{0-63\%}$ ) ~8 s
- Accuracy tolerance  $\pm 3\%$  r.H.
- Hysteresis  $\pm 1.5\%$  r.H.

### Key parameters for pressure sensor

- RMS Noise 0.12 Pa, equiv. to 1.7 cm
- Offset temperature coefficient  $\pm 1.3$  Pa/K, equiv. to  $\pm 10.9$  cm at 1 °C temperature change



## Ek 3. (Devam) BME680 Sensörü Kullanıcı Kılavuzu

### 1. Specification

If not stated otherwise,

- all values are valid over the full voltage range,
- all minimum/maximum values are given for the full accuracy temperature range
- minimum/maximum values of drifts, offsets and temperature coefficients are  $\pm 3\sigma$  values over lifetime,
- typical values of currents and state machine timings are determined at 25 °C,
- minimum/maximum values of currents are determined using corner lots over complete temperature range, and
- minimum/maximum values of state-machine timings are determined using corner lots over 0–+65 °C temperature range.

Besides the general electrical specifications, the following tables are separated for the gas, pressure, humidity and temperature functions of the BME680.

#### 1.1 General Electrical Specification

Table 1: Electrical parameter specification

OPERATING CONDITIONS BME680						
Parameter	Symbol	Condition	Min	Typ	Max	Unit
Supply Voltage Internal Domains <sup>1</sup>	V <sub>DD</sub>	ripple max. 50 mVpp	1.71	1.8	3.6	V
Supply Voltage I/O Domain	V <sub>DDIO</sub>		1.2	1.6	3.6	V
Sleep current	I <sub>DDSL</sub>			0.15	1	μA
Standby current (inactive period of normal mode)	I <sub>DDSB</sub>			0.29	0.8	μA
Current during humidity measurement	I <sub>DDH</sub>	Max value at 85 °C		340	450	μA
Current during pressure measurement	I <sub>DDP</sub>	Max value at -40 °C		714	849	μA
Current during temperature measurement	I <sub>DDT</sub>	Max value at 85 °C		350		μA
Start-up time	t <sub>startup</sub>	Time to first communication after both V <sub>DD</sub> > 1.58 V and V <sub>DDIO</sub> > 0.65 V			2	ms
Power supply rejection ratio (DC)	PSRR	full V <sub>DD</sub> range			±0.01 ±5	%r.H./V Pa/V
Standby time accuracy	Δt <sub>standby</sub>			±5	±25	%

<sup>1</sup> The power efficiency, performance and heat dissipation scales with the applied supply voltage. The BME680 is optimized for 1.8 V.

## Ek 3. (Devam) BME680 Sensörü Kullanıcı Kılavuzu

### 1.2 Gas sensor specification

Table 2 lists the gas sensor specification. All the parameters are deduced from lab measurements under controlled environmental conditions, which are compliant to the ISO16000-29 standard "Test methods for VOC detectors". Detailed procedure to measure the gas sensor is available in the Application Note: Measurement Instructions for Lab Environment.

Referring to Chapter 4, a software solution (BSEC: Bosch Software Environmental Cluster) is available for the BME680. The software is carefully engineered to seamlessly work with the 4-in-1 integrated sensors inside the BME680. Based on an intelligent algorithm, the BSEC provides an indoor air quality (IAQ) output. In principle, this output is in an index that can have values between 0 and 500 with a resolution of 1 to indicate or quantify the quality of the air available in the surrounding. Table 4 lists the IAQ system specification. The detailed classification and color coding of the IAQ index is described in Table 4. Furthermore, the BSEC solution supports different operation modes for the gas sensor to address the necessary power budget and update rate requirements of the end-application.

Unless mentioned otherwise, the specifications are deduced from new sensors that have been operated for at least five days mainly in ambient air and consequently have the same history (i.e. same power mode and exposed to the same environment).

Besides ethanol (EtOH) as a target test gas, the sensors are also tested with breath-VOC (b-VOC). The b-VOC mixture, as listed in Table 5, represents the most important compounds in an exhaled breath of healthy humans. The values are derived from several publications on breath analysis studies. The composition does not contain species which would chemically react to ensure that the mixture is stable for at least 6 months. Furthermore, the composition is also limited to species which can be manufactured in one mixture.

Table 2: Gas sensor parameter specification

Parameter	Symbol	Condition	Min	Typ	Max	Unit
Operational range <sup>1</sup>			-40		85	°C
			10		95	% r.H.
Supply Current during heater operation	I <sub>DD</sub>	Heater target temperature 320 °C, constant operation (V <sub>DD</sub> ≤ 1.8 V, 25°C)	9	12	13	mA
Peak Supply Current	I <sub>Peak</sub>	Occurs within first ms of switching on the hotplate	15	17	18	mA
Average Supply Current (V <sub>DD</sub> ≤ 1.8 V, 25°C)	I <sub>DD,IAQ</sub>	Ultra-low power mode		0.09		mA
		Low power mode		0.9		mA
		Continuous mode		12		mA
Response time <sup>2</sup> (brand-new sensors)	τ <sub>33-63%</sub>	Ultra-low power mode		92		s
	τ <sub>33-63%</sub>	Low power mode		1.4		s
	τ <sub>33-63%</sub>	Continuous mode		0.75		s
Resolution of gas sensor resistance measurement			0.05	0.08	0.11	%
Noise in gas sensor resistance (RMS)	N <sub>R</sub>			1.5		%

<sup>1</sup> The sensors are electrically operable within this range. Actual performance may vary

<sup>2</sup> Response time of unsoldered, brand-new sensors extracted from the sensors' resistance change in response to a 0.6–60 ppm step of EtOH and a 0.5–15 ppm step of b-VOC at 20 °C, 50% r.H. and atmospheric pressure.

### Ek 3. (Devam) BME680 Sensörü Kullanıcı Kılavuzu

Table 3: IAQ system parameter specification<sup>3</sup>

Parameter	Symbol	Condition	Min	Typ	Max	Unit
Accuracy status <sup>4</sup>	AX <sub>IAQ</sub>	Android compatible	0		3	
IAQ Resolution	IAQ <sub>RS</sub>			1		
IAQ Range	IAQ <sub>Rg</sub>		0		500	
Sensor-to-sensor deviation <sup>5</sup>	IAQ <sub>S2S</sub>	All operation modes		±15% ±15		
Durability to siloxanes <sup>6,7,8</sup>	IAQ <sub>S2S</sub>	Sensor-to-sensor deviation		±15% ±15		
	IAQ <sub>drift</sub>	Drift at low & high concentrations		±1% ±4		

Table 4: Indoor air quality (IAQ) classification and color-coding<sup>9</sup>

IAQ Index	Air Quality
0 – 50	good <sup>10</sup>
51 – 100	average
101 – 150	little bad
151 – 200	bad
201 – 300	worse <sup>2</sup>
301 – 500	very bad

Table 5: bVOC mixture with Nitrogen as carrier gas

Molar fraction	Compound	Production tolerance	Certified accuracy
5 ppm	Ethane	20 %	5 %
10 ppm	Isoprene /2-methyl-1,3 Butadiene	20 %	5 %
10 ppm	Ethanol	20 %	5 %
50 ppm	Acetone	20 %	5 %
15 ppm	Carbon Monoxide	10 %	2 %

<sup>3</sup> IAQ parameters only apply for the combination of BME680 together with the Bosch Software Environmental Cluster (BSEC) solution (available separately, see Chapter 4)

<sup>4</sup> The accuracy status is equal to zero during the power-on stabilization times of the sensor and is equal to 3 when the sensor achieves best performance

<sup>5</sup> Tested with 0.6–90 ppm of EtOH at 5–40 °C, 20–80% r.H. and atmospheric pressure. Condition is valid after the calibration period of the BSEC algorithm.

<sup>6</sup> Siloxanes are present in a typical indoor environment and can in principle perturb the metal-oxide-based gas sensor performance.

<sup>7</sup> 220 hours of 700 mg/m<sup>3</sup> of octamethylcyclotetrasiloxane (D4) in ambient conditions (i.e. 20 °C and 50% r.H.) simulates the amount of siloxanes in a typical indoor environment over more than 10 years.

<sup>8</sup> Tested with 0.5–15 ppm of b-VOC at 20 °C and 50% r.H. using continuous operation mode for 220 hours of 700 mg/m<sup>3</sup> of octamethylcyclotetrasiloxane (D4).

<sup>9</sup> According to the guidelines issued by the German Federal Environmental Agency, exceeding 25 mg/m<sup>3</sup> of total VOC leads to headaches and further neurotoxic impact on health.

<sup>10</sup> The BSEC software auto-calibrates the low and high concentrations applied during testing to IAQ of 25 and 250, respectively.

## Ek 3. (Devam) BME680 Sensörü Kullanıcı Kılavuzu

### 1.3 Humidity sensor specification

Table 6: Humidity parameter specification

Parameter	Symbol	Condition	Min	Typ	Max	Unit
Operating Range <sup>11</sup>			-40	25	85	°C
			0		100	% r.H.
Full accuracy range			0		65	°C
			10		90	% r.H.
Supply Current	I <sub>DD,H</sub>	1 Hz forced mode, temperature and humidity measurement		2.1	2.8	µA
Absolute Accuracy	A <sub>H</sub>	20–80 % r.H., 25 °C, including hysteresis		±3		% r.H.
Hysteresis <sup>12</sup>	H <sub>H</sub>	10→90→10 % r.H., 25°C		±1.5		% r.H.
Nonlinearity <sup>13</sup>	NL <sub>H</sub>	10→90 % r.H., 25°C		1.7		% r.H.
Response time to complete 63% of step <sup>14</sup>	τ <sub>0.63%</sub>	N <sub>2</sub> (dry) → 90 % r.H., 25°C		8		s
Resolution	R <sub>H</sub>			0.008		% r.H.
Noise in humidity (RMS)	N <sub>H</sub>	Highest oversampling		0.01		% r.H.
Long-term stability	ΔH <sub>stab</sub>	10–90 % r.H., 25°C		0.5		% r.H./year

<sup>11</sup> When exceeding the operating range (e.g. for soldering), humidity sensing performance is temporarily degraded and reconditioning is recommended as described in Section 7.7. Operating range only for non-condensing environment.

<sup>12</sup> For hysteresis measurement the sequence 0→10→30→50→70→90→70→50→30→10 % r.H. is used. The hysteresis is defined as the maximum difference between measurements at of the same humidity up / down branch and the averaged curve of both branches.

<sup>13</sup> Non-linear contributions to the sensor data are corrected during the calculation of the relative humidity by the compensation formulas described in Section 3.5.

<sup>14</sup> The air-flow in direction to the vent-hole of the device has to be dimensioned in a way that a sufficient air exchange inside to outside will be possible. To observe effects on the response time-scale of the device an air-flow velocity of approximately 1 m/s is needed.

## Ek 4. MICS 4514 Sensörü Kullanıcı Kılavuzu

Data Sheet

MICS-4514  
0278 rev 16

### Performance RED sensor

Characteristic RED sensor	Symbol	Typ	Min	Max	Unit
Sensing resistance in air (see note 1)	$R_0$	-	100	1500	k $\Omega$
Typical CO detection range	FS		1	1000	ppm
Sensitivity factor (see note 2)	$S_{60}$	-	1.2	50	-

### Performance OX sensor

Characteristic OX sensor	Symbol	Typ	Min	Max	Unit
Sensing resistance in air (see note 1)	$R_0$	-	0.8	20	k $\Omega$
Typical NO <sub>2</sub> detection range	FS		0.05	10	ppm
Sensitivity factor (see note 3)	$S_R$	-	2	-	-

#### Notes:

1. Sensing resistance in air  $R_0$  is measured under controlled ambient conditions, i.e. synthetic air at 23  $\pm$ 5°C and 50  $\pm$  10% RH for RED sensor and synthetic air at 23  $\pm$ 5°C and  $\leq$  5% RH for OX sensor. Sampling test.
2. Sensitivity factor is defined as  $R_s$  in air divided by  $R_s$  at 60 ppm CO. Test conditions are 23  $\pm$  5°C and 50  $\pm$  10% RH. Indicative values only. Sampling test.
3. Sensitivity factor is defined as  $R_s$  at 0.25 ppm NO<sub>2</sub>, divided by  $R_s$  in air. Test conditions are 23  $\pm$  5°C and  $\leq$  5% RH . Indicative values only. Sampling test.

#### IMPORTANT PRECAUTIONS:

Read the following instructions carefully before using the MICS-4514 described here to avoid erroneous readings and to prevent the device from permanent damage.

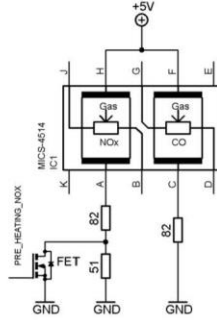
- The sensor must be reflow soldered in a neutral atmosphere, without soldering flux vapours.
- The sensor must not be exposed to high concentrations of organic solvents, silicone vapours or cigarette-smoke in order to avoid poisoning the sensitive layer.
- Heater voltage above the specified maximum rating will destroy the sensor due to overheating.
- This sensor is to be placed in a filtered package that protects it against water and dust projections.
- SGX sensortech strongly recommends using ESD protection equipment to handle the sensor.



## Ek 4. (Devam) MICS 4514 Sensörü Kullanıcı Kılavuzu

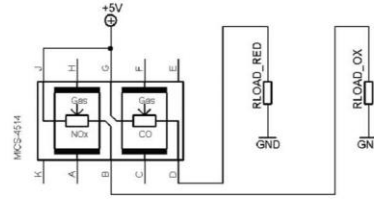
Data Sheet

MICS-4514  
0278 rev 16



MICS-4514 with recommended supply circuit (top view)

RDRED is a  $82\ \Omega$  and RDOX is a  $133\ \Omega$ . These resistors are necessary to obtain the right temperatures on the two independent heaters while using a single 5V power supply. The resulting voltages are typically  $V_{HRED} = 2.4V$  and  $V_{HOX} = 1.7V$ .



MiCS-4514 with measurement circuit (top view)

The two voltages measured on the load resistors are directly linked to the resistances of the RED and OX sensors respectively. RLOAD must be  $820\ \Omega$  at the lowest in order not to damage the sensitive layer.

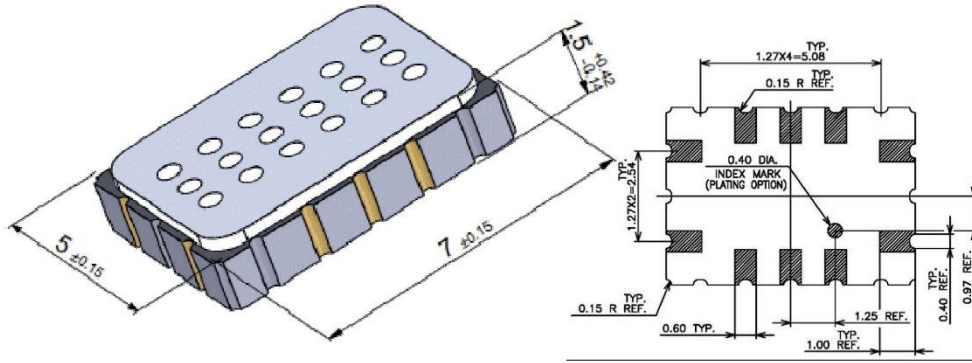
Parameter RED sensor/OX sensor	Symbol	Typ	Min	Max	Unit
Heating power	$P_H$	76/43	71/30	81/50	mW
Heating voltage	$V_H$	2.4/1.7	-	-	V
Heating current	$I_H$	32/26	-	-	mA
Heating resistance at nominal power	$R_H$	74/66	66/59	82/73	$\Omega$

Rating	Symbol	Value / Range	Unit
Maximum heater power dissipation	$P_H$	88 (RED sensor)/50 (OX sensor)	mW
Maximum sensitive layer power dissipation	$P_s$	8	mW
Voltage supplyHeating current	$V_{supply}$	4.9 – 5.1	V
Relative humidity range	RH	5 – 95	%RH
Ambient operating temperature	$T_{amb}$	-30 – 85	$^{\circ}C$
Storage temperature range	$T_{sto}$	-40 – 120	$^{\circ}C$
Storage humidity range	RHsto	5 - 95	%RH

## Ek 4. (Devam) MiCS 4514 Sensörü Kullanıcı Kılavuzu

Data Sheet

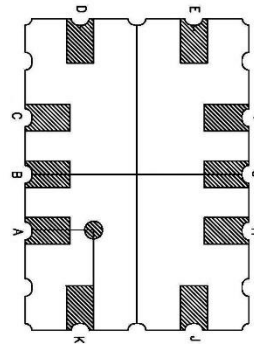
MiCS-4514  
0278 rev 16



### Package outline dimensions

The package is compatible with SMD assembly process.

Pin	Connection
A	Rh1 OX
B	Rs1 OX
C	Rh1 RED
D	Rs1 RED
E	NC
F	Rh2 RED
G	Rs2 RED
H	Rh2 OX
J	Rs2 OX
K	NC



MiCS-4514 configuration (bottom view)

### Sensor configuration

The silicon gas sensor structure consists of an accurately micro machined diaphragm with an embedded heating resistor and the sensing layer on top.

The MiCS-4514 includes two sensor chips with independent heaters and sensitive layers. One sensor chip detects oxidising gases (OX) and the other sensor detects reducing gases (RED). The internal connections are shown above.

## Ek 5. MiCS 6814 Sensörü Kullanıcı Kılavuzu

Data Sheet

MiCS-6814  
1143 rev 8



The MiCS-6814 is a compact MOS sensor with three fully independent sensing elements on one package.

The MiCS-6814 is a robust MEMS sensor for the detection of pollution from automobile exhausts and for agricultural/industrial odors.



### Features

- Smallest footprint for compact designs (5 x 7 x 1.55 mm)
- Robust MEMS sensor for harsh environments
- High-volume manufacturing for low-cost applications
- Short lead-times

### Detectable gases

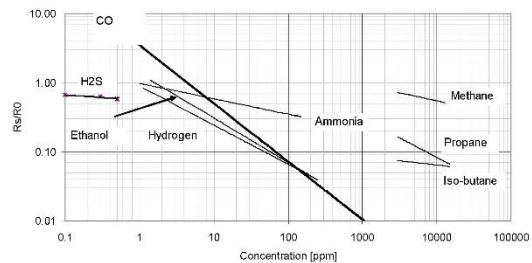
• Carbon monoxide	CO	1 – 1000ppm
• Nitrogen dioxide	NO <sub>2</sub>	0.05 – 10ppm
• Ethanol	C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> OH	10 – 500ppm
• Hydrogen	H <sub>2</sub>	1 – 1000ppm
• Ammonia	NH <sub>3</sub>	1 – 500ppm
• Methane	CH <sub>4</sub>	>1000ppm
• Propane	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	>1000ppm
• Iso-butane	C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	>1000ppm

For more information please contact:

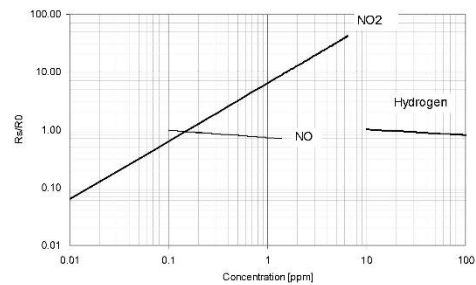
info.em@sgxsensortech.com

SGX Sensortech, Courtils 1  
CH-2035 Corcelles-Cormondrèche  
Switzerland

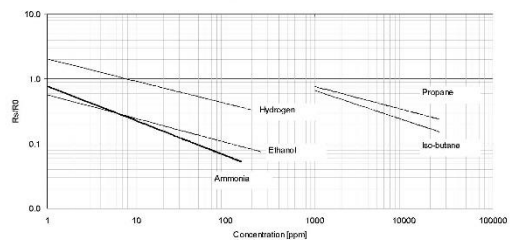
www.sgxsensortech.com



RED sensor, continuous power ON, 25°C, 50% RH



OX sensor, continuous power ON, 25°C, 50% RH



NH3 sensor, continuous power ON, 25°C, 50% RH



## Ek 5. (Devam) MICS 6814 Sensörü Kullanıcı Kılavuzu

Data Sheet

MICS-6814  
1143 rev 8

### Performance RED sensor

Characteristic RED sensor	Symbol	Typ	Min	Max	Unit
Sensing resistance in air (see note 1)	$R_0$	-	100	1500	k $\Omega$
Typical CO detection range	FS		1	1000	ppm
Sensitivity factor (see note 2)	$S_{60}$	-	1.2	50	-

### Performance OX sensor

Characteristic OX sensor	Symbol	Typ	Min	Max	Unit
Sensing resistance in air (see note 1)	$R_0$	-	0.8	20	k $\Omega$
Typical NO <sub>2</sub> detection range	FS		0.05	10	ppm
Sensitivity factor (see note 3)	$S_R$	-	2	-	-

### Performance NH3 sensor

Characteristic OX sensor	Symbol	Typ	Min	Max	Unit
Sensing resistance in air (see note 1)	$R_0$	-	10	1500	k $\Omega$
Typical NH <sub>3</sub> detection range	FS		1	300	ppm
Sensitivity factor (see note 4)	$S_R$	-	1.5	15	-

#### Notes:

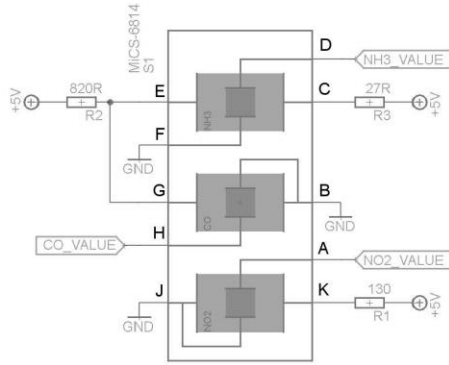
1. Sensing resistance in air  $R_0$  is measured under controlled ambient conditions, i.e. synthetic air at 23  $\pm$  5°C and 50  $\pm$  10% RH for RED sensor and synthetic air at 23  $\pm$  5°C and  $\leq$  5% RH for OX sensor. Sampling test.
2. Sensitivity factor is defined as  $R_s$  in air divided by  $R_s$  at 60 ppm CO. Test conditions are 23  $\pm$  5°C and 50  $\pm$  10% RH. Indicative values only. Sampling test.
3. Sensitivity factor is defined as  $R_s$  at 0.25 ppm NO<sub>2</sub>, divided by  $R_s$  in air. Test conditions are 23  $\pm$  5°C and  $\leq$  5% RH. Indicative values only. Sampling test.
4. Sensitivity factor is defined as  $R_s$  in air divided by  $R_s$  at 1 ppm of NH<sub>3</sub>. Test conditions are 23  $\pm$  5°C and 50  $\pm$  10% RH. Indicative values only. Sampling test.

Page 2 of 5

## Ek 5. (Devam) MiCS 6814 Sensörü Kullanıcı Kılavuzu

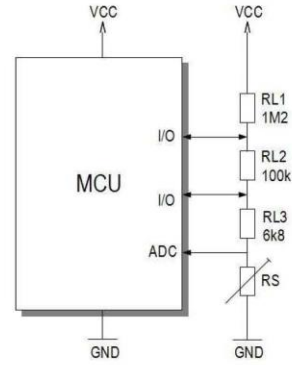
Data Sheet

MiCS-6814  
1143 rev 8



MiCS-6814 with recommended supply circuit (top view)

R1 is 130 Ohms, R2 is 820 Ohms and R3 is 27 Ohms. These resistors are necessary to obtain the right temperatures on the three independent heaters while using a single 5 V power supply. The resulting voltages are typically  $V_{hRED} = 2.4$  V,  $V_{hOX} = 1.7$  V and  $V_{hNH3} = 2.2$  V.



MiCS-6814 with measurement circuit (top view)

The example above shows the principle to read a resistance between 1 kOhms and 2MOhms with a 8bit A/D converter. Depending on the application and on the precision of the A/D converter, a single load resistor of 56 kOhms may be sufficient. Rload must be 820 Ohms at the lowest in order not to damage the sensitive layer.

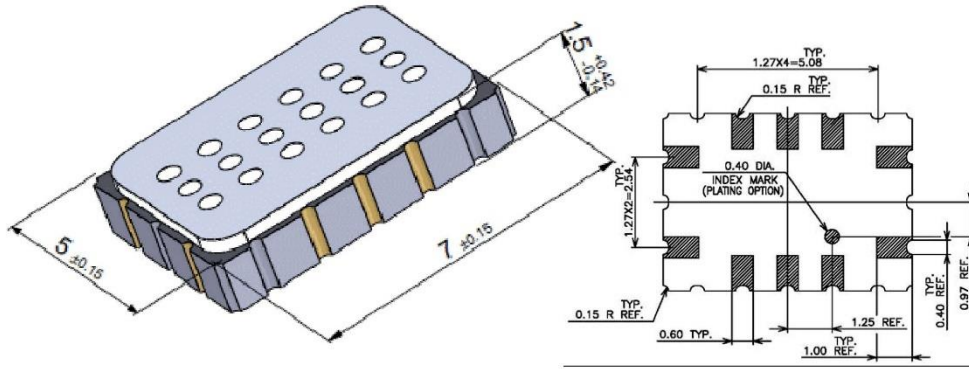
Parameter RED sensor/OX sensor/NH3 sensor	Symbol	Typ	Min	Max	Unit
Heating power	$P_H$	76/43/66	71/30/60	81/50/73	mW
Heating voltage	$V_H$	2.4/1.7/2.2	-	-	V
Heating current	$I_H$	32/26/30	-	-	mA
Heating resistance at nominal power	$R_H$	74/66/72	66/59/64	82/73/80	$\Omega$

Rating	Symbol	Value / Range	Unit
Maximum heater power dissipation	$P_H$	88	mW
Maximum sensitive layer power dissipation	$P_s$	8	mW
Voltage supply/Heating current	$V_{supply}$	4.9 – 5.1	V
Relative humidity range	RH	5 – 95	%RH
Ambient operating temperature	$T_{amb}$	-30 – 85	$^{\circ}C$
Storage temperature range	$T_{sto}$	-40 – 120	$^{\circ}C$
Storage humidity range	$RH_{sto}$	5 - 95	%RH

## Ek 5. (Devam) MiCS 6814 Sensörü Kullanıcı Kılavuzu

Data Sheet

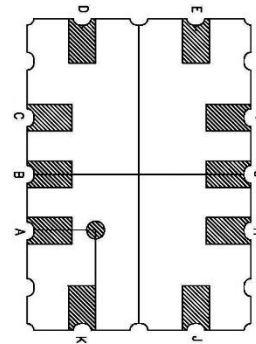
MiCS-6814  
1143 rev 8



### Package outline dimensions

The package is compatible with SMD assembly process.

Pin	Connection
A	Rs2
B	Rh1 RED, Rs1 RED
C	Rh1 NH <sub>3</sub>
D	Rs1 NH <sub>3</sub>
E	Rh2 NH <sub>3</sub>
F	Rs2 NH <sub>3</sub>
G	Rh2 RED
H	Rs2 RED
J	Rh1 OX, Rs1 OX
K	Rh2 OX



MiCS-6814 configuration (bottom view)

### Sensor configuration

The silicon gas sensor structure consists of an accurately micro machined diaphragm with an embedded heating resistor and the sensing layer on top.

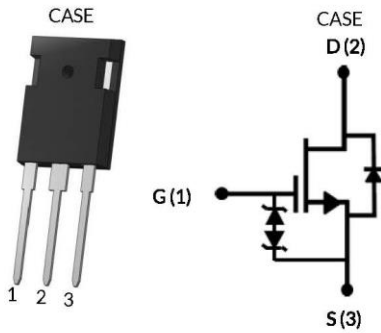
The MiCS-6814 includes three sensor chips with independent heaters and sensitive layers. One sensor chip detects oxidising gases (OX), the other sensor detects reducing gases (RED) and the other detects NH<sub>3</sub>. The internal connections are shown above.

## Ek 6. MLV Sensörü Kullanıcı Kılavuzu



DATASHEET

# UJ4C075060K3S



## 750V-58mΩ SiC FET

Rev. A, October 2020

### Description

The UJ4C075060K3S is a 750V, 58mΩ G4 SiC FET. It is based on a unique 'cascode' circuit configuration, in which a normally-on SiC JFET is co-packaged with a Si MOSFET to produce a normally-off SiC FET device. The device's standard gate-drive characteristics allows for a true "drop-in replacement" to Si IGBTs, Si FETs, SiC MOSFETs or Si superjunction devices. Available in the TO-247-3L package, this device exhibits ultra-low gate charge and exceptional reverse recovery characteristics, making it ideal for switching inductive loads and any application requiring standard gate drive.

### Features

- On-resistance  $R_{DS(on)}$ : 58mΩ (typ)
- Operating temperature: 175°C (max)
- Excellent reverse recovery:  $Q_{rr} = 52nC$
- Low body diode  $V_{FSD}$ : 1.31V
- Low gate charge:  $Q_G = 37.8nC$
- Threshold voltage  $V_{G(th)}$ : 4.8V (typ) allowing 0 to 15V drive
- Low intrinsic capacitance
- ESD protected, HBM class 2

Part Number	Package	Marking
UJ4C075060K3S	TO-247-3L	UJ4C075060K3S

### Typical applications

- EV charging
- PV inverters
- Switch mode power supplies
- Power factor correction modules
- Motor drives
- Induction heating



## Ek 6. (Devam) MLV Sensörü Kullanıcı Kılavuzu



### Maximum Ratings

Parameter	Symbol	Test Conditions	Value	Units
Drain-source voltage	$V_{DS}$		750	V
Gate-source voltage	$V_{GS}$	DC	-20 to +20	V
Continuous drain current <sup>1</sup>	$I_D$	$T_C = 25^\circ\text{C}$	28	A
		$T_C = 100^\circ\text{C}$	20.6	A
Pulsed drain current <sup>2</sup>	$I_{DM}$	$T_C = 25^\circ\text{C}$	62	A
Single pulsed avalanche energy <sup>3</sup>	$E_{AS}$	$L=15\text{mH}, I_{AS}=1.8\text{A}$	24.3	mJ
Power dissipation	$P_{tot}$	$T_C = 25^\circ\text{C}$	155	W
Maximum junction temperature	$T_{J,max}$		175	$^\circ\text{C}$
Operating and storage temperature	$T_J, T_{STG}$		-55 to 175	$^\circ\text{C}$
Max. lead temperature for soldering, 1/8" from case for 5 seconds	$T_L$		250	$^\circ\text{C}$

1. Limited by  $T_{J,max}$

2. Pulse width  $t_p$  limited by  $T_{J,max}$

3. Starting  $T_J = 25^\circ\text{C}$

### Thermal Characteristics

Parameter	Symbol	Test Conditions	Value			Units
			Min	Typ	Max	
Thermal resistance, junction-to-case	$R_{\theta JC}$			0.75	0.97	$^\circ\text{C}/\text{W}$

## Ek 6. (Devam) MLV Sensörü Kullanıcı Kılavuzu



Electrical Characteristics ( $T_J = +25^\circ\text{C}$  unless otherwise specified)

### Typical Performance - Static

Parameter	Symbol	Test Conditions	Value			Units
			Min	Typ	Max	
Drain-source breakdown voltage	$BV_{DS}$	$V_{GS}=0V, I_D=1mA$	750			V
Total drain leakage current	$I_{DSS}$	$V_{DS}=750V, V_{GS}=0V, T_J=25^\circ\text{C}$		0.7	40	$\mu\text{A}$
		$V_{DS}=750V, V_{GS}=0V, T_J=175^\circ\text{C}$		15		
Total gate leakage current	$I_{CSS}$	$V_{DS}=0V, T_J=25^\circ\text{C}, V_{GS}=-20V/+20V$		4.7	$\pm 20$	$\mu\text{A}$
Drain-source on-resistance	$R_{DS(on)}$	$V_{GS}=12V, I_D=20A, T_J=25^\circ\text{C}$		58	74	m $\Omega$
		$V_{GS}=12V, I_D=20A, T_J=125^\circ\text{C}$		106		
		$V_{GS}=12V, I_D=20A, T_J=175^\circ\text{C}$		147		
Gate threshold voltage	$V_{G(th)}$	$V_{DS}=5V, I_D=10mA$	4	4.8	6	V
Gate resistance	$R_G$	$f=1\text{MHz}$ , open drain		4.5		$\Omega$

### Typical Performance - Reverse Diode

Parameter	Symbol	Test Conditions	Value			Units
			Min	Typ	Max	
Diode continuous forward current <sup>1</sup>	$I_S$	$T_C=25^\circ\text{C}$			28	A
Diode pulse current <sup>2</sup>	$I_{S,pulse}$	$T_C=25^\circ\text{C}$			62	A
Forward voltage	$V_{FSD}$	$V_{GS}=0V, I_F=10A, T_J=25^\circ\text{C}$		1.31	1.75	V
		$V_{GS}=0V, I_F=10A, T_J=175^\circ\text{C}$		1.8		
Reverse recovery charge	$Q_{rr}$	$V_R=400V, I_F=20A, V_{GS}=0V, R_{G,EXT}=20\Omega$		52		nC
Reverse recovery time	$t_{rr}$	$di/dt=1060A/\mu\text{s}, T_J=25^\circ\text{C}$		16		ns
Reverse recovery charge	$Q_{rr}$	$V_R=400V, I_F=20A, V_{GS}=0V, R_{G,EXT}=20\Omega$		58		nC
Reverse recovery time	$t_{rr}$	$di/dt=1060A/\mu\text{s}, T_J=150^\circ\text{C}$		19		ns

## Ek 6. (Devam) MLV Sensörü Kullanıcı Kılavuzu



### Typical Performance - Dynamic

Parameter	Symbol	Test Conditions	Value			Units
			Min	Typ	Max	
Input capacitance	$C_{iss}$	$V_{DS}=100V, V_{GS}=0V$ $f=100kHz$		1422		pF
Output capacitance	$C_{oss}$			68		
Reverse transfer capacitance	$C_{rss}$			2.7		
Effective output capacitance, energy related	$C_{oss(er)}$	$V_{DS}=0V$ to 400V, $V_{GS}=0V$		50		pF
Effective output capacitance, time related	$C_{oss(tr)}$	$V_{DS}=0V$ to 400V, $V_{GS}=0V$		94		pF
$C_{oss}$ stored energy	$E_{oss}$	$V_{DS}=400V, V_{GS}=0V$		4		$\mu J$
Total gate charge	$Q_G$	$V_{DS}=400V, I_D=20A,$ $V_{GS}=0V$ to 15V		37.8		nC
Gate-drain charge	$Q_{GD}$			8		
Gate-source charge	$Q_{GS}$			11.8		
Turn-on delay time	$t_{d(on)}$	Note 4, $V_{DS}=400V, I_D=20A,$ Gate Driver =0V to +15V, Turn-on $R_{G,EXT}=1\Omega,$ Turn-off $R_{G,EXT}=20\Omega$ Inductive Load, FWD: same device with $V_{GS}=0V, R_G=20\Omega,$ $T_J=25^\circ C$		13		ns
Rise time	$t_r$			29		
Turn-off delay time	$t_{d(off)}$			78		
Fall time	$t_f$			13		
Turn-on energy	$E_{ON}$			168		
Turn-off energy	$E_{OFF}$		58		$\mu J$	
Total switching energy	$E_{TOTAL}$		226			
Turn-on delay time	$t_{d(on)}$	Note 4, $V_{DS}=400V, I_D=20A,$ Gate Driver =0V to +15V, Turn-on $R_{G,EXT}=1\Omega,$ Turn-off $R_{G,EXT}=20\Omega$ Inductive Load, FWD: same device with $V_{GS}=0V, R_G=20\Omega,$ $T_J=150^\circ C$		13		ns
Rise time	$t_r$			31		
Turn-off delay time	$t_{d(off)}$			84		
Fall time	$t_f$			14		
Turn-on energy	$E_{ON}$			189		
Turn-off energy	$E_{OFF}$		70		$\mu J$	
Total switching energy	$E_{TOTAL}$		259			

4. Measured with the half-bridge mode switching test circuit in Figure 28.



## Ek 6. (Devam) MLV Sensörü Kullanıcı Kılavuzu



### Typical Performance Diagrams

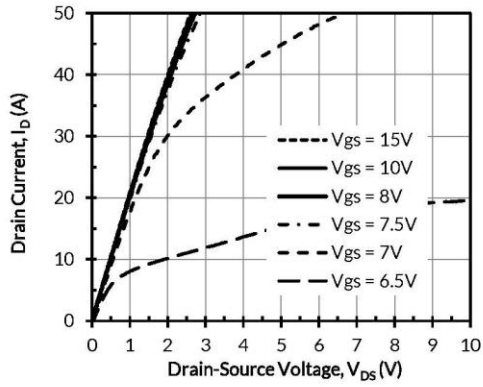


Figure 1. Typical output characteristics at  $T_j = -55^\circ\text{C}$ ,  $t_p < 250\mu\text{s}$

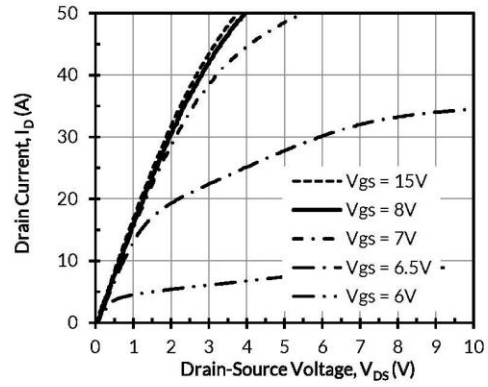


Figure 2. Typical output characteristics at  $T_j = 25^\circ\text{C}$ ,  $t_p < 250\mu\text{s}$

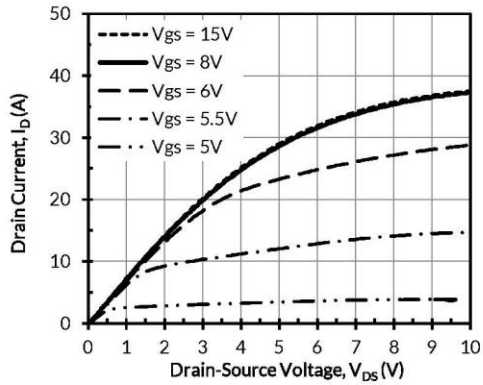


Figure 3. Typical output characteristics at  $T_j = 175^\circ\text{C}$ ,  $t_p < 250\mu\text{s}$

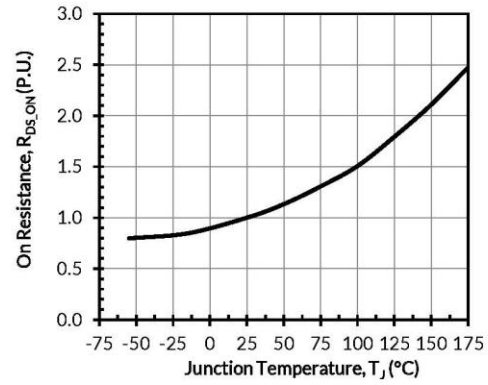


Figure 4. Normalized on-resistance vs. temperature at  $V_{GS} = 12\text{V}$  and  $I_D = 20\text{A}$



## Ek 6. (Devam) MLV Sensörü Kullanıcı Kılavuzu

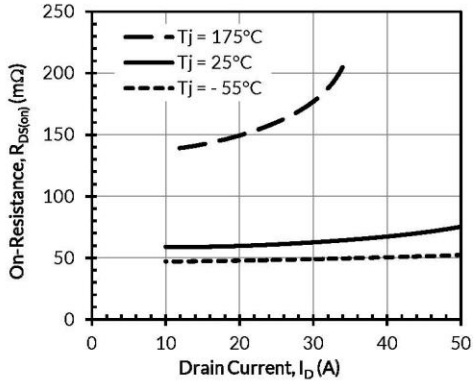


Figure 5. Typical drain-source on-resistances at  $V_{GS} = 12\text{V}$

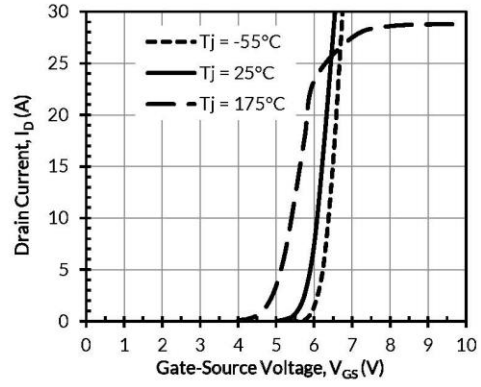


Figure 6. Typical transfer characteristics at  $V_{DS} = 5\text{V}$

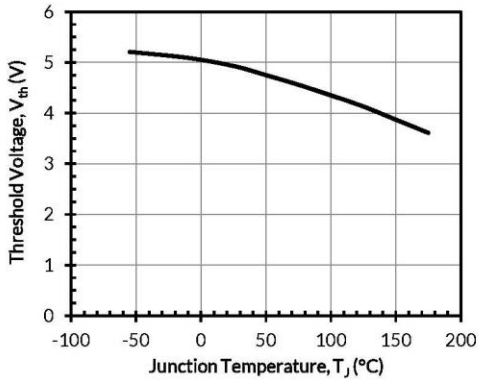


Figure 7. Threshold voltage vs. junction temperature at  $V_{DS} = 5\text{V}$  and  $I_D = 10\text{mA}$

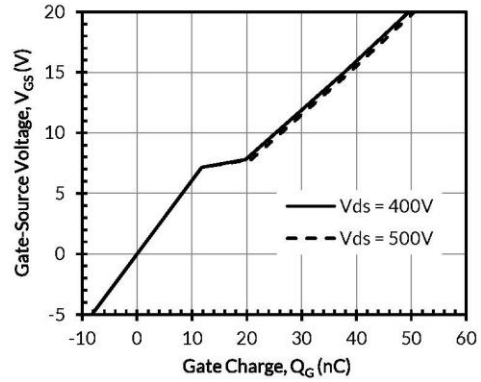


Figure 8. Typical gate charge at  $I_D = 20\text{A}$