

# Elektronik Burun Teknolojisi ve Uygulama Alanları

**Hamdi Melih SARAÖĞLU**

Dumlupınar Üniversitesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, 43100, Kütahya  
saraoglu@dpu.edu.tr

**Özet:** Elektronik Burun, yapısında kimyasal sensör dizisi bulunduran ve insan burnunun algılayamadığı seviyelerdeki kokular üzerinde hassas ölçüm yapabilen cihazdır. Elektronik Burun, bir kokuyu algılayıp tanımlayabilmenin yanı sıra ölçüm yapılan madde içinde her bir kokudan ne oranda bulunduğunu, aynı zamanda kokuların hangi sınıflara dahil olduğunu da algılayabilen cihazdır. Bu çalışmada, TÜBİTAK projesi kapsamında Dumlupınar Üniversitesi Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümünde kurulan “koku tanı sistemi” sunulmuştur.

**Anahtar Kelimeler:** Elektronik Burun, QCM Sensör.

## Electronic Nose Technology and Application Fields

**Abstract:** Electronic Nose is a device which has a sensor array in its chemical structure and can measure sensitively in the degree that man could not sense. As well as Electronic Nose could sense and define an odor, it can define the concentrations of different odors in a mixture and also it can classify different odors. In this study, an “odor diagnosis system” is presented which is established in Dumlupınar University, Department of Electrical and Electronics Engineering within a TUBITAK project.

**Keywords:** Electronic Nose, QCM Sensor.

### 1. Giriş

İnsan burnu karbon monoksit ve karbondioksit gibi gazları algılamamakta ya da bir süre sonra yorgunluk durumu (fatigue) oluşmakta ve ortamdaki gazları tanıyamamaktadır. Bunun dışında insan burnu “kişiye bağımlılık” göstermektedir. Elektronik Burun’lar ise tekrarlanabilen sonuçlar verir. Hassasiyetleri, insan burnuna göre oldukça yüksektir. Yıllarca aynı işi görebilmekte ve insan burnunun algılayamadığı gazları kullandıkları sensör dizisine bağlı olarak rahatlıkla algılayabilmektedir [1]

Elektronik Burun’u oluşturan kimyasal sensör dizisi, n tane sensörden oluşmuş bir guruptur. Bir sensör dizisi farklı algılama özelliklerine sahip sensörlerden oluşmaktadır. Bu sensörler farklı birçok kimyasal bileşenleri ve kokuyu

elektriksel niceliklere dönüştürerek tanımlayabilmektedir. Elektrokimyasal temelli sensörler, yarıiletken temelli sensörler (MOSFET, IDT, MOS vb. yapıdaki), osilasyonlu kütle algılayıcı sensörler (QCM, SAW vb.), optik temelli sensörler, iyonizasyon temelli sensörler ve katalitik veya kalorimetrik temelli sensörler kimyasal sensör çeşitleridir [2].

Sensör dizisinin çeşitliliğine göre; frekans, direnç, ısı ve kütle değişimi şeklinde veri sinyalleri üretilmekte ve her sensörde bu tepkiler farklı olmaktadır. Bu sensör tepkileri; sensör dizisine, gaz akışı hızına, kokunun kimyasal özelliğine, aktif sensör maddeleriyle kokunun reaksiyonuna, basıncına, ısı ve nem gibi birçok fiziksel parametreye bağlı olmaktadır. Bu tür kompleks bilgilerin işlenmesi ve sınıflandırılması için özel bir yazılım gerekmektedir.

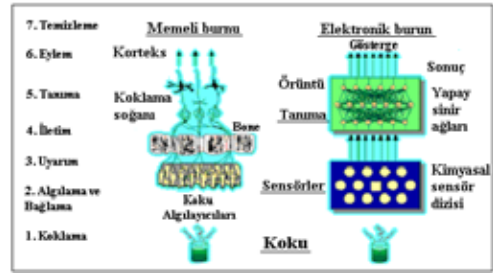
Yazılımda kullanılan yaklaşımlar ise; Temel Bileşen Analizi (TBA) [3] ve Yapay Sinir Ağlarıdır (YSA). [4-5]

Bu çalışmada, Elektronik Burun teknolojisi hakkında bilgi verilmiş ve TÜBİTAK projesi kapsamında Dumlupınar Üniversitesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümünde kurulan koku tanı sistemi ve TÜBİTAK-MAM tarafından geliştirilen phthalocyanine kaplı QCM sensör dizili Elektronik Burun sistemi tanıtılmıştır.

## 2. Elektronik Burun

Endüstrinin birçok kolunda, nitel ve nicel araştırmalarda geniş çaplı uygulama alanlarına sahip olan ve kullanıcıya büyük avantajlar sağlayan Elektronik Burunlar; koku, buhar ve gaz analizlerinde kullanılmaktadır. Elektronik Burun'la ilgili ilk araştırmalar 1970 yılında İngiltere'de Warwick Üniversitesi'nde başlamıştır. Bu üniversitede başlayan araştırma ve bir burun taklidi makine icadı çalışmaları tüm dünyada devam etmiş ve Elektronik Burun terimi literatüre ilk olarak 1990'da girmiştir. İlk prototip sistemler 1993'de, ilk ticari sistemler ise 1994'de piyasaya sürülmüştür. Elektronik Burun'lar, insan beynindeki algılama yöntemine benzer bir yöntem kullanılarak tasarlanmaktadır. Memeliler bir kokuyu kokladığında, nefesle çekilen havayla birlikte burna giren koku molekülleri, koku algılayıcıları (receptors) tarafından tutulmakta ve bağlanmaktadır. Koku algılayıcıların tepkileri paralel olarak iletilmekte ve bu kombinasyonel olarak kodlanmaktadır. Bu uyarım sonucu oluşan sinyal, koklama soğanına iletilmekte ve tanıma işlemi beyin koku merkezinde bir eğitim ile öğrenmeye bağlı olarak gerçekleşmektedir. Uyarım sinyali daha önce rastlanmış ve bilinen bir uyarım sinyali ise beyinde tanıma gerçekleşir. Eğer ilk defa karşılaşılan bir uyarım ise bir "ilk" olarak beyne kaydedilir. Uyarım sinyali sonucu bir eylem gerekiyorsa beyinde o eylem kararı verilir [6].

Elektronik Burun'da, koku algılayıcılarının yerini kimyasal sensörler, koklama soğanının yerini yapay sinir ağları almaktadır. Koku molekülleri muhtelif yöntemlerle kimyasal sensör dizisine gönderilir. Bu alıcıların her biri değişik kokuları algılayacak şekilde tasarlanmaktadır. Sensörlerin çevreden topladıkları sinyaller, elektronik sistemler yoluyla ikili kodlara dönüştürülmekte ve oradan bilgisayara gönderilmektedir. Gönderilen bu elektriksel sinyaller muhtelif örüntü tanıma yöntemleriyle işlenerek koku tanısı gerçekleştirilmektedir. Şekil 1'de memeli burnu ile Elektronik Burun arasındaki benzerlik gösterilmektedir.



Şekil 1. Memeli burnu ve Elektronik Burun benzerlikleri

Bilgisayar, insan beyninin bir taklidi olarak düşünülebilir. Burada da bir eğitime gerekmektedir. Eğer koku ilk defa verilmişse oluşan sinyal tepkileri bu koku adına kaydedilmekte, ikinci bir koklatmada sistem bu kokuyu tanımaktadır. Tablo 1, insandaki koku sistemi ve buna karşılık gelen Elektronik Burun parametrelerini göstermektedir.

İnsan Burnu	Elektronik Burun
10.000.000 reseptör	6-30 sensör(dizi)
Alıcı nöron	Sensör / transducer
Beyin	Tanımlama modülü
Glomeruli	Sinyal işleme modülü
Koku alma genleri	Kaplama

Tablo 1. İnsan burun sistemi ve buna karşılık gelen Elektronik Burun parametreleri

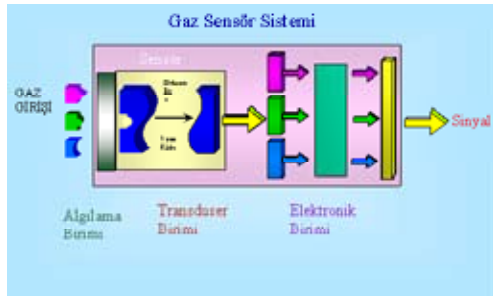
Bir kimyasal sensör sistemi dört birimden oluşmaktadır. Bunlar; Algılama Birimi, Transduser Birimi, Elektronik Birim ve Örüntü Tanıma Birimidir.

**Algılama Birimi:** Ortamda bulunan ve algılanmak istenen kimyasal maddeyle etkileşerek gerekli sinyalin oluşmasına neden olan “kimyasal arayüzey” olarak tanımlanmaktadır. Bu birimin seçici ve kararlı olması son derece önemlidir.

**Dönüştürücü (Transduser) Birimi:** Kimyasal sensör tasarımında algılama biriminin niteliklerine göre dönüştürücü teknolojisini üretmek gerekmektedir. Bu teknolojiler, iletkenlik, potansiyel, kapasite, ısı, kütle ve optik gibi özelliklerin kimyasal etkileşim sonucu değişimine uygun olarak seçilmektedir.

**Elektronik Birim:** Dönüştürücülerin elektrik sinyal üretmesi için gerekli osilatör, fark devresi, yükselteç devresi, besleme devresi gibi devrelerdir.

**Örüntü Tanıma Birimi:** Bir mikrokontrolör ünitesi ve bilgisayar ile algılanan kokuların sinyal seviyeleri ve değerler topluluğunu yapay sinir ağları (artificial neural network), temel bileşen analizi (principal component analysis) gibi muhtelif örüntü tanıma teknikleriyle işleyen birimdir. Şekil 2 kimyasal sensör sisteminin yapısını göstermektedir.



Şekil 2. Kimyasal Sensör Sistemi

Sensör dizisinin çeşitliliğine göre; frekans, direnç, ısı ve kütle değişimi şeklinde veri sinyalleri üretilmekte ve her sensörde bu tepkiler farklı olmaktadır. Bu sensör tepkileri; sensör dizisine, kaynaktan kokuyu taşıyan akışın hızına, kokunun kimyasal özelliğine, aktif sensör maddeleriyle kokunun reaksiyonuna, difüzyonu ve basıncına, ısı, nem gibi birçok fiziksel parametreye bağlı olmaktadır. Bu tür kompleks bilgilerin işlenmesi bilgisayar sınıflandırması bölümünde olmakta, bunun için de karmaşık bir yazılım gerekmektedir. Bu tür yazılımlar da, örneği tanımlaması için güçlü bir algoritmaya dayanmaktadır.

## 2.1 Elektronik Burun Uygulama Alanları

Elektronik Burun kullanılarak yapılan denetim sistemleri, askeri alandan uzay araştırmalarına, vücudumuzu tanımadan çevremizi gözlemlemeye kadar geniş bir alanda artan bir yoğunlukta hayatımıza girmektedir. Elektronik Burun ile yapılan çalışmalar kısaca:

•**Tıbbi Alanlarda:** İnsan vücudunun ürettiği parametreler hastalıkların teşhisine ışık tutmaktadır. Bunların başında ise organlar tarafından üretilen ve nefesle vücut dışına atılan gazlar gelmektedir. Bu gazların oranları, hastalık olması durumunda farklılıklar göstermektedir. Tıp alanında Elektronik Burun uygulamalarından biri, bu farklılıkları tespit etme çalışmalarıdır. Bu kapsamda nefes kokusundan ön tanı yapılarak muhtemel hayati olumsuzluklar tespit edilmeye çalışılmaktadır. Nefes analizi; uçucu organik bileşikler analiz çalışmaları (Quartz Kristal Rezonatör yöntemiyle Uçucu organik Bileşiklerin Dedeksiyonu. Marmara Üniversitesi Araştırma Fonu Projesi (99FE-20)), bu uçucu organik bileşikler analiz edilerek akciğer kanseri teşhisinde [7-8], meme kanserinin teşhisinde [9], şeker hastalığının aseton ile kan şekeri arasındaki ilişkiye bakılarak teşhisinde [10-12], insan papilloma virüsünün bulunmasında [13], böbrek yetmezliğindeki hemodiyalizden önce ve

sonra nefes kokusunun incelenmesi, gazların analiz edilmesi ve arasındaki farklılıkların teşhisinde [14], halitosis hastalığının (ağız boşluğunda yaşayan bakterilerin yol açtığı, kötü ağız kokusu hastalığı) boyutlarının tespitinde [15-16], kalp hastalığı ve zihinsel hastalıklarda [17], astımlı hastaların nefesleri üzerinde [17], karaciğer siroz hastalığı teşhisi çalışmalarında [9], mide bağırsak hastalıklarının teşhisi gibi çalışmalarda kullanılmaktadır.

Bunun yanında; Anestesi gazı seviye belirleme uygulamalarında [18-20], insan ter kokusunun analizinde [21] ve bileşimlerinin incelenmesinde, idrardaki öz hücrelerin incelenmesinde, çoklu sensör dizisi ile nefes-alkol analizinde [22], serum içerisindeki troponema pallidumun teşhisi ve konsantrasyonunun belirlenmesi [23] gibi tıbbi uygulamalarda kullanılmaktadır.

•**Gıda Kontrolü:** Gıda, kozmetik ve ilaç sektöründe, fiziksel, kimyasal ve mikrobiyolojik kalite kriterlerinin hızlı, ucuz ve objektif yöntemlerle analizi için Elektronik Burun tekniğine dayanan tahribatsız analiz metodları geliştirilmektedir. Elektronik Burun, insan tarafından duyuşal olarak gıda analizi yapılmasının tehlikeli veya imkansız olduğu durumlardaki gıda analizlerinde başarıyla kullanılmaktadır. Örneğin, küf veya bakteri üremesi olan gıdalardaki analizler çok hassas ve güvenli bir şekilde yapılabilir. Bununla beraber, ürünlerin gözenek yapısının görüntü analiz yöntemiyle incelenmesinde, gıda kalitesinin belirlenmesinde, benzer ürün sağlamada, katkı miktarının belirlenmesi ve bozulmanın belirlenmesinde, gıda aroma bileşenlerinin tayini ve gıda analizlerinde, özellikle şarap gibi fermente ürünlerdeki aroma maddelerini tespit ederek gıda kalite kontrol analizlerinde kullanılmaktadır [24].

Meyvelerin kokularının incelenmesi, olgunlaşmış olgunlaşmadığının belirlenmesi ve gıdaların tazeliğinin kontrolü, meyve ile ilgilenen

endüstrinin veya doğrudan satıcıların en büyük problemi olup Elektronik Burun ile başarılı sonuçlar elde edilmektedir [25]. Ayrıca pektik jellerinin tat analizi [26], bitkilerde koku emisyon ölçümleri [27], hücre kültürlerindeki aromalarının analizi [28] yine Elektronik Burun'la yapılan çalışmalardır.

•**Çevresel Denetleme:** Yangın sistemlerinde ortamdaki gaz konsantrasyonunun analizi, asit yağmurlarına sebep olan gazları inceleyen Elektronik Burun geliştirme çalışmaları [27] ulusal havacılık ve uzay çalışmaları, modern mayın tespit sistemlerinin geliştirilmesi, su kirliliğini ölçmek için yapılan analiz çalışmaları [25], sularda uçucu klorlu organiklerin ölçülmesi için sensör geliştirilmesi (TÜBİTAK-MAM MKTAE (İç Destekli Proje) Proje No:59 85 504, (1999-2000)), toprak gazları içerisinde nitro aromatiklerin bulunması [28], güvenlik için havaalanlarında yasa dışı ilaç ve patlayıcıların belirlenmesi, atık sularda koku denetimi gibi çalışmalar çevresel denetimde Elektronik Burun kullanılarak yapılan ve geliştirilmekte olan çalışmalardır.

•**Kimyasal Analizlerde:** Zehirli gazların belirlenmesinde, değişik kaplamalar kullanılarak gaz karışımlarındaki bileşenlerin belirlenmesinde [5], insan davranışlarını belirleyebilmek ve günlük halsizliklerini tanımlamak için kimyasal maddelerin analiz edilmesinde ve bu hareketleri tanıyabilen robotların geliştirilmesinde [29], hedef kokuları ayırt etme çalışmasında ve hedeflenen kokunun dahili olarak tekrar üretilmesinde, kimya alanında alkollerin ketonların aromaların esterlerin ve parfümlerin QCM gaz duyu tepkimeleri tahmin edilmesinde, kokudaki dinamik değişimlerin incelenmesinde, koku kaydeden ve herhangi bir zamanda üreten koku kaydedicisi çalışmalarında, fotoiletken minerallerin elektriksel özelliklerinin incelenmesi (DÜAP-85 FF-19) gibi çalışmalar Elektronik Burun kullanılarak yapılan çalışmalardır.

## 2.2. Elektronik Burun'da Kullanılan Sensörler ve Sensör Dizileri

Sensörler, çeşitli fiziksel ve kimyasal büyüklükleri algılayıp bunlardan ölçülebilir çıktılar üreten elemanlardır. Algılanan fiziksel büyüklükler uzunluk, kütle, zaman, sıcaklık, ışık gibi temel büyüklükler olabileceği gibi, hız, debi, ivme, kuvvet, basınç, ısı, yoğunluk gibi türetilmiş büyüklükler de olabilir [30]. Sensörler, ölçüm yaptığı fiziksel özelliğe göre adlandırılırlar (Mekanik, Optik, Manyetik, Termal sensörler vb.). Bir kimyasal sensörde aranan nitelikler ise duyarlılık, seçicilik, dayanıklılık, güç ve ucuz olmasıdır.

Kimyasal sensör dizileri, n (birden fazla) tane sensörden oluşmuş bir gurubtur. Uçucu kimyasal bileşen, sensör dizisiyle temasa geçince elektriksel niceliği değişmektedir. Bir sensör dizisi, farklı birçok kimyasal ve kokuyu elektriksel niceliklere dönüştürerek tanımlayabilmektedir. Bir denetim sistemi, denetlenecek ortamı algılayabilmek için çok farklı yapıda veya aynı tipte farklı algılama özelliklerine sahip sensörleri kullanmaktadır. Güncel sistemlerde algılama tek bir sensör kullanımının yerine sensör dizileri tercih edilmektedir.

Elektronik Burun'da kullanılan sensör çeşitleri:

- Kuartz Kristal Mikrobalans Sensörler (QCM)
- Yüzey Akustik Dalga Sensörleri (Surface Acoustic Wave Devices) (SAW)
- Metal Oksit Yarıiletkenleri (Metal Oxide Semiconductors) (MeOX)
- IDT (Inter Digital Transducer)
- Optik Sensörler (optical sensors)

## 3. Koku Tanı Sistemi

Dumlupınar Üniversitesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümünde yürütülmekte olan “QCM-SSC Gaz Sensör Dizisi Kullanarak

Tıbbi Uygulamalar için Tanı Sistemi Tasarımı” isimli TÜBİTAK projesi kapsamında oluşturulan tanı sistemi Şekil 3’de gösterilmektedir. Bu sistem Gaz akış kontrol sistemi, sirkülatörlü soğutucu cihazı, ısıtıcı ve Elektronik Burun’dan oluşmaktadır.



(a) (b) (c) (d)

**Şekil 3** Koku Tanı sistemi (a) Gaz akış kontrol sistemi (b) Sirkülatörlü soğutucu cihazı (c) Isıtıcı (d) Elektronik Burun

## 3.1. Gaz Akış Kontrol Sistemi

Sensör tepkileri; sensör dizisine, kokunun kimyasal özelliğine, aktif sensör maddeleriyle kokunun reaksiyonuna, ısı, nem, gibi fiziksel parametrelere bağlıdır. Bunların yanında, basınç ve kaynaktan kokuyu taşıyan akışın hızı sensör tepkisini etkileyen parametrelerdir. Sensörlere uygulanan gaz karışımlarında, algılanması istenen gazın karışımdaki miktarı düşük ise sensörlere sabit gaz akışının sağlanması gerekmektedir. Gaz Akış Kontrol Sistemi, QCM sensör dizisine uygulanacak gazı, istenilen akış değerine ayarlayarak, bu değerde sabit gaz akışını sağlayan sistemdir.

Gaz akış kontrol sistemi, bir adet akış kontrol cihazı ve dört adet farklı debide gaz verebilen akış elemanına sahiptir (flow metre). Sistemde kullanılan akış elemanları 100, 100, 500 ve 1000 sccm debiye sahiptir. Dört tane akış elemanına sahip olan gaz akış kontrol sistemi, üç farklı gaz karışımının test edilebilmesine imkan tanımaktadır. Sistemde bulunan dört tane hava akış kanalından üçü buharlaştırma şişele-

rinde sıvı halde bulunan algılanması istenilen kimyasal maddelere bağlanmıştır. Diğer kanal ise, bu üç kanaldan çıkan taşıyıcı gazlara istenilen konsantrasyonun sağlanması için  $N_2O_2$  gazını taşımaktadır. Ayrıca bu kanal, sensörlere, algılanması istenilen gaz uygulanmadan önce ve sonra  $N_2O_2$  gazını taşıyarak, sensörlerin yıkanmasını sağlamaktadır.

### 3.2. Elektronik Burun

Gerçekleştirilen tanı sisteminde kullanılan ve Şekil 4'te gösterilen Elektronik Burun'da, algılayıcı eleman olarak birbirinden farklı 9 adet QCM sensörü kullanılmaktadır. Bu sensörler, 10 MHz de salınımlarını gerçekleştirmektedir. QCM sensörler, AT-kesim ( $35^\circ 15'$ ), her iki yüzeyinde eşit çaplı (4mm), dairesel, simetrik, metal (Au) elektrotlar bulunan ince piezoelektrik kuvars kristallerden oluşmaktadır. AT kesim QCM'lerin seçilmesinin nedeni, sıcaklık ve nem karşısında kararlı olmalarıdır. Ayrıca, AT-kesim QCM'ler, yüzeylerindeki kütle değişimlerine oldukça duyarlıdır. Oluşturulan sensör dizisindeki QCM'ler, temel rezonans frekanslarında salınımlarını sağlayan ve her 7 sn'de bir frekans farklarından oluşan veri setlerini mikrodenetleyici vasıtasıyla RS-232 seri haberleşme protokolü kullanarak bilgisayar ortamına aktaran devreye bağlanmaktadır. Şekil 5'de Elektronik Burun yapısındaki QCM sensörleri görülmektedir.



Şekil 4. Tanı sisteminde kullanılan Elektronik Burun

### 3.3. QCM Sensör Tepki Örneği

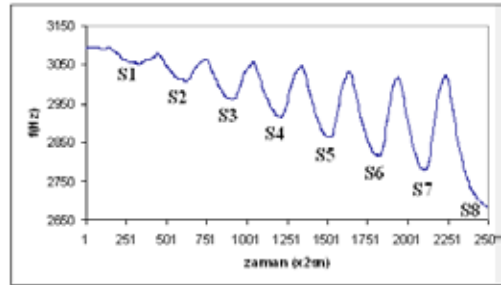
Hastalara ameliyatlarda uyutulmaları için verilen gaz karışımı;  $O_2$  ve  $N_2O$  ve anestezi ajan-

dan oluşmaktadır.  $O_2$  ve  $N_2O$  farklı kaynaklardan gelerek anestezi cihazına girmektedir. Hastaya dakikada verilecek  $O_2$  ve  $N_2O$  gazlarının litre miktarları anestezi cihazı üzerinde ayrı ayrı ayarlandıktan sonra buharlaştırma ünitesine birleştirilerek alınır. Buharlaştırma ünitesinde gaz fazına geçen anestezi ajan ile karışım halindeki  $O_2$  ve  $N_2O$  gazı tekrar karışarak yeni bir karışım elde edilir ve hastaya bu gaz uygulanır [31]



Şekil 5. Elektronik Burun'da kullanılan QCM sensörler

Şekil 6'da QCM sensörün sevoflurane anestezi gazının mevcut 8 seviyesine verdiği tepki görülmektedir. S1, S2, S3, S4, S5, S6, S7 ve S8 anestezi seviyelerini göstermektedir. Şekil 6'da dokuz QCM sensörün anestezi gazına verdiği tepkilerden bir tanesi görülmektedir. Elektronik Burun içinde yer alan farklı kimyasallarla kaplanmış QCM sensörlerin bir kokuya verdiği tepkiler ilgili kokunun parmak izi olarak adlandırılmaktadır. Kokuların parmak izleri ilgili maddeyi tanımlamak için kullanılmaktadır.



Şekil 6. QCM sensörün algıladığı gaz ile frekans değişimi (S: Anestezi seviyesi)

#### 4. Sonuç

Günümüz teknolojisinde koku büyük önem taşımaktadır. Elektronik Burun teknolojisi, askeri alandan gıda kontrol uygulamalarına; kimyasal gazların belirlenmesinden hastalıkların belirlenmesi çalışmalarına kadar pek çok alanda kullanılmaktadır.

Elektronik Burun, yapısında kimyasal sensör dizisi bulunduran ve insan burnunun algılayamadığı seviyelerdeki kokular üzerinde hassas ölçüm yapabilen cihazdır. Hassasiyeti, yapısında bulunan, algılanacak maddeye göre seçilmiş sensör dizisiyle belirlenmektedir. Elektronik Burun bir kokuyu algılayıp, tanımlayabilmenin yanı sıra ölçüm yapılan madde içinde her bir kokudan ne oranda bulunduğunu, aynı zamanda kokuların hangi sınıflara dahil olduğunu ve ne kalitede olduklarını da algılayabilen cihazdır. Bu çalışmada, TÜBİTAK projesi kapsamında Dumlupınar Üniversitesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümünde kurulan “koku tanı sistemi” ve QCM sensörün sevoflurane anestezi gazına olan tepkisi verilmiştir.

#### Teşekkür

Bu çalışma için gerekli olan anestezi gaz ölçümlerinin elde edilmesindeki yardımlarından dolayı “Evliya Çelebi Devlet Hastanesi Başhekimliği’ne ve anestezi servisi çalışanlarına; ayrıca, QCM sensörleri üreten “TÜBİTAK Marmara Araştırma Merkezi Malzeme Enstitüsü Sensör Grubu’na teşekkür ederiz.

#### 5. Kaynaklar

- [1] Öztürk, Z. Z., Haziran 2005, “Yeni Bir Bilim Dalı: Koku Ölçümü”, Gyte E-bülten Sayı 9.
- [2] Abe, S., and Hosoya, T., 1934, Proc. World Hydrogen Energy Conf., Sth, Toronto, 1984, Vol. 4, p. 1393.

- [3] Sasaki, I., Tsuchiya, H., Nishioka, M., Sadakata, M., Okubo, T., 2002, “Gas Sensing with Zeolite-Coated Quartz Crystal Microbalances-Principal Component Analysis Approach”, Sensors and Actuators, B 86, 26-33.

- [4] Nakatomo, T., Hiramatsu, H., 2002, “Study of Odor Recorder for Dynamical Change of Odor Using QCM Sensors and Neural Network”, Sensors and Actuators, B 85, 263-269.

- [5] Özmen, A., Ebeoğlu, M.A., Tekce F., Taşaltın, C., Öztürk, Z.Z., “Finding the Composition of Gas Mixtures by a Phthalocyanine Coated QCM Sensor Array and an Artificial Neural Network”, Sensors and Actuators B, Vol:115, Issue:1 pp: 450-454.

- [6] Pardo, M., Niederjaufner, G., Comini, E., Faglia, G., ve Sberveglieri, G., 1999, Use A Electronic Nose To Classify Different Types Of Italian Cheeses, Proceedings Of The 5 Th International Symposium An Olfactionand The Electronic Nose, Technomic Publishing Company Inc., 43-50.

- [7] Di Natale, C., Macagnano, A., Martinelli, E., Paolesse, R., D’arcangelo, G., Roscioni, C., Agro, A. F., D’amico, A., 1 November 2002, “Lung Cancer Identification by the Analysis of Breath by means of an Array of Non-Selective Gas Sensors”, Biosensors and Bioelectronics, 18 1209-1218.

- [8] Phillips, M., Gleeson, K., Hughes, J. M., Greenberg, J., Catoneo, N. R., Baker, L., June 5 1999, “Volatile Organic Compounds in Breath as Markers of Lung Cancer: a Cross-Sectional Study”, The lancet, vol 353.

- [9] Phillips, M., April.1.2003, “Breath Test for Dedection of Various Diseases”, United States Patent 6,540,691.

- [10] Ping, W., Yi, T., Haibao X., Farong, S., 6.May.1996, "A Novel Method for Diabetes Diagnosis Based on Electronic Nose", *Biosens and Bioelectronics*", Vol.12. No.9-10, pp.1031-1036.
- [11] Zhang, Q., Wang, P., Li, J., Gao, X., 24 March 2000, "Diagnosis of Diabets by Image Dedection of Breath Using Gas-Sensitive Labs", *Biosens and Bioelectronics*", 15 249-256.
- [12] Ryabtsev, S.V., Shaposhnick, A.V., Lukin, A.N., Domashevskaya, E.P., 1999, "Application of Semiconductor Gas Sensors of Medical Diagnostics", *Sensors and Actuators B* 59, 26-29.
- [13] Fu, W., Huang, Q., Wang, J., Liu, M., Huang, J., Chen, B., 2004, "Detection of Human Papilloma Virus with Piezoelectric Quartz Crystal", *Genesensors*, ISSN 1726-5479.
- [14] Fend, R., Bessant, C., Williams, A., J., Woodman, A.C., 12 December 2003, "Monitoring Haemodialysis Using Electronic Nose and Chemometrics", *Biosens and Bioelectronics*, 19 1581-1590.
- [15] Torsi, L., Tanese, M. C., Cioffi, N., Gallazzi, M. C., Sabbatini, L., Zambonin, G. P., 2004, "Alkoxy-Substituted Polyterthiophene Thin-Film-Transistors as Alcohol Sensors", *Sensors and Actuators*, B 98 204-207.
- [16] Karlak , B., Ağustos 2004, "Real Time Bad Breath Diagnosis and Trasmission for Telemedicine", IJSIT lecture note of international conference on intelligent knowledge system, vol.1, no.1.
- [17] Ryabtsev, S.V., Shaposhnick, A.V., Lukin, A.N., Domashevskaya, E.P., 1999, "Application of Semiconductor Gas Sensors of Medical Diagnostics", *Sensors and Actuators B* 59, 26-29.
- [18] Saraoğlu, H. M., Ebeoğlu, M., A., Özmen, A., Edin, B., 25-27 Mayıs 2005, "Sevoflurane Anestesi Gazının Phthalocyanine-QCM Duyarga ile Algılanması", *Biyomut'05 Biyomedikal Mühendisliği Ulusal Toplantısı*, Boğaziçi Üniversitesi, İstanbul.
- [19] Saraoğlu, H.M., Özmen, A., Ebeoğlu, M.A., Edin, B., 25-27 Mayıs 2006, "Sevoflurane Anestezi Seviyesinin Elektronik Burun Kullanılarak Belirlenmesi", *Biyomut'06- Biyomedikal Mühendisliği Ulusal Toplantısı*, Boğaziçi Üniversitesi, İstanbul.
- [20] Saraoğlu H. M., Edin B., E-Nose System for Anesthetic Dose Level Detection using Artificial Neural Network, *Journal of Medical Systems*, 31: 475-482, 2007.
- [21] Nakamoto, T., Iguchi, A., Mariizumi, T., 2000, Vapor Supply Method in Odor Sensing System And Analysis of Transient Sensor Responses, *Sensors and Actuators*, B 71 155-160.
- [22] Paulsson, N. J. P., Winqvist, F., 1999, "Analysis of Breath Alcohol with a Multisensor Array: Instrumental Setup, Charecterization and Evalation", *Forensic Science International*, 105 95-114.
- [23] Aizawa, H., Kurosava, S., Tanaka, M., Yoshimoto, M., Miyake, J., Tanaka, H., 2001, "Rapid Diagnosis of Treponema Pallidum in Serum Using Latex Piezoelectric Immunoassay", *Analytica Chimica Acta*, 437 167-169.
- [24] Pardo, M., Niederjaufner, G., Comini, E., Faglia, G., Sberveglieri, G., 1999, "Use an Electronic Nose to Classify Different Types of Italian Cheeses", *Proceedings Of The 5Th International Symposium an Olfaction and the Electronic Nose*, Technomic Publishing Company Inc., 43-50.

- [25] Spangler, D. B., Wilkinson E. A., Murphy J. T., Tyler, B. J., 2001, "Comparison of the Preeta Surface Plasmon Resonance Sensor and a QCM for Detection of *Escherichia Coli* Heat-Labile Enterotoxin", 444 149-161.
- [26] Monge, M. E., Bulone, D., Giacomazza, D., Bernik, D. L., Negri, R. M., 2004, "Detection of Flavour Release From Pectic Gels Using Electronic Noses", *Sensors and Actuators*, B 101 28-38.
- [27] Boholt, K., Andreasen, K., Berg, F., Hansen, T., 29 April 2005, "A New Method for Measuring Emission of Odour From a Rendering Plant Using the Danish Odor Sensors System Artificial Nose", *Sensors and Actuators*, B: Chemical, P.170-176 Vol./Iss.: 106, 1.
- [28] Bachinger, T., Mandenius C., December 2000, "Searching For Process Information in the Aroma of Cell Cultures", *Tibtech* Vol.18.
- [29] Oyabu, T., Okada, A., Manninen, O., Lee, D-D., 30 May 2003, "Proposition of a Survey Device with Odor Sensors for an Enderly Person", *Sensor and Actuators*, B 96 239-244.
- [30] Singh, S., Hines, L., Gardner, J.W., 1996, "Fuzzy Neural Computing of Coffee and Tainted Water Data from an Electronicnose", *Sensors And Actuators*, B30, 185-190.
- [31] Marshall, B. E., and Lockenfger, D.E., "General Anaesthetics", Goodman And Gilman's, *The Pharmacological Basis of Therapeutics*, 8th Edition, Pergamon Pres, 285-311 p. 1990.