

## Teknoloji İnsan Burnunun Yerini mi Alıyor?

# Elektronik Burun

İnsan burnu bir milyon civarında alıcı (reseptör) hücreye sahiptir ve bu alıcılar sayesinde iki bin civarında kokuyu ayırt edebilir, eğitimle bu rakam on bine ulaşabilir. Köpeklerde ise bu sayı yüz bin civarındadır ve öğretildiğinde köpek insandan yüz kez daha iyi ayırım yapar.



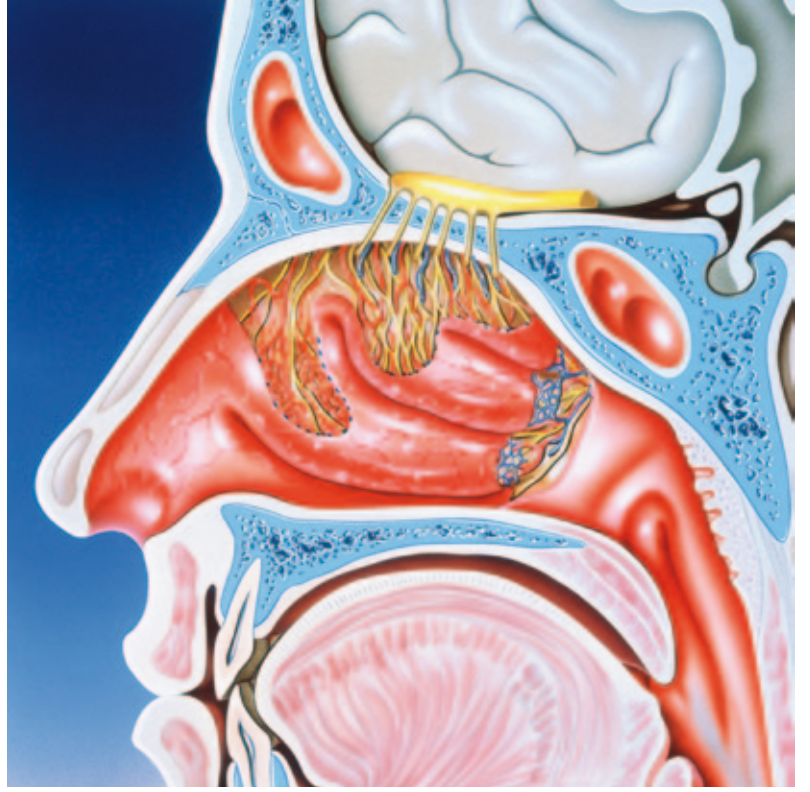
**K**oku kimyasal moleküllerin burnumuz tarafından algılanması ve beynimiz tarafından tanımlanması ile bir anlam kazanır. Bu tanımlamaya esas teşkil eden en önemli unsur ise kimyasal moleküllerin hangi kimyasallardan oluştuğudur. Örneğin, bir İsviçre peynirinin karakteristik kokusu, yüzlerce hatta binlerce farklı molekülün karışımından meydana gelmiştir. Kokuyu oluşturan moleküllerin kendi aralarındaki oranı bile kokunun beynimizce farklı olarak tanımlanması için yeterlidir.

Beynin kimyasal moleküllerden oluşan bu tanımlamayı ayırt edebilme yeteneği, sahip olduğu çok sayıdaki algılayıcı sinirden kaynaklanır. İnsan burnundaki alıcılar, aynı kokuya farklı tepkiler gösterir; bir koku algılandığında koku molekülleri alıcılarla etkileşip beyne sinyal ilettiğinde, deneyime bağlı olarak koku tanınır yorumlanır. İnsan burnu, kokulara çok duyarlı olmasına karşın bir ortamda aynı kokuyla bir süre geçirdiğinde kokuyu algılayamaz hale gelir, yani bu kokuya alışır. Bu durum geçicidir, temiz havaya çıkılıp tekrar o ortama girildiğinde koku hissedilir olur.

İnsan burnundaki bu ilginç özellik, bilim insanlarını kokuların belirlenmesi, değerlendirilmesi ve tanımlanması işlemlerinin tekrarlanabilir ve tarafsız olabilmesi amacıyla bu işe yarayan cihazlar yapmaya yöneltmiştir. İnsan burnu örnek alınarak geliştirilen ve çoğunlukla kimyasal algılayıcı dizilerinden oluşan bu sistemlere “elektronik burun” adı verilir. Farklı kokuların algılanmasına yönelik yeni tasarımlara ihtiyaç duyulsa da bugün dünyada birkaç firma tarafından ticari olarak elektronik burun üretiliyor.

## Kimyasal Algılayıcılar

Gaz algılama, analiz edilecek ortamda gaz halinde bulunan kimyasal bileşiğin tespit edilmesi olarak tanımlanabilir. Bu işlem, kimyasal bir bilgiyi elektriksiz veriye aktaran aygıtlar aracılığıyla gerçekleştirilir. Bu aygıtlar, kısaca algılayıcı (sensör) olarak adlandırılır. Algılayıcıların bu işlevi yerine getirebilmesi için algılanmak istenen gazdan olabildiğince fazla etkilenmesi, diğer gazlardan ise olabildiğince az etkilenmesi gerekir. Yani algılayıcılar seçici olmak zorundadır. Bu özellik algılayıcı karakteristiğini belirleyen en önemli parametrelerden biridir. Öte yandan algılayıcının ömrü, güç tüketimi, kolay üretilebilir olması gibi birçok parametre nedeniyle farklı çalışma prensiplerine dayanan çeşitli algılayıcılar geliştirilmiştir. Algılayıcıların, en bilinen-



leri çalışma prensiplerine göre termal, elektrokimyasal, alan etkili, iletkenlik ve kapasite ve iletkenlik değişimine dayalı, kütle değişimine duyarlı ve optik olarak sınıflandırılabilir.

Algılama, algılayıcı yüzeyinde (ara yüzey) meydana gelen kütle değişimi, sıcaklık değişimi, iş fonksiyonu değişimi, iletkenlik değişimi ve kırılma indisi değişimi gibi parametrelerin ölçülmesi ise belirlenebilir. Bu değişimlerin neler olduğu, hangi tür yapılar ile ölçüldüğü algılayıcının hangi sınıfta yer aldığını belirleyen en önemli özelliktir. Bu değişimler genel olarak algılayıcı üzerindeki fiziksel bir büyüklüğün (akım, gerilim, sıcaklık, frekans vb.) değişimine sebep olur; bu büyüklüğün ölçülmesi ise algılayıcı cevabının oluşturulması anlamına gelmektedir.

## Algılayıcıların Çalışma Prensiplerine Göre Sınıflandırılması:

### a. Termal algılayıcılar

Reaksiyonun oluşumu sırasında ortama verilen sıcaklığın mikrokalorimetrik metotlarla ölçülmesi esasına dayanır. Bu tip algılayıcılar daha çok enzimatik reaksiyonlarda ve yanıcı hidrokarbonların sürekli kontrolü amacı ile kullanılır. Ayrıca bazı gazlara karşı duyarlılıklarının olmaması da bu algılayıcılara bir üstünlük sağlar.





Doç. Dr. Emel Musluoğlu, 1984'te İÜ Mühendislik Fakültesi, Kimya Mühendisliği'nden mezun oldu. Yüksek lisans ve doktorasını İTÜ Fen-Edebiyat Fakültesi Kimyagerlik Anabilim Dalı'nda tamamladı. 1984'ten beri TÜBİTAK Marmara Araştırma Merkezi (MAM) Malzeme Enstitüsü'nde uzman araştırmacı olarak çalışıyor ve 2003 yılından bu yana aynı enstitünün müdür yardımcılığı görevini de yerine getiriyor.



Dr. İlke Gürol, 1990'da İTÜ Kimya-Metalürji Fakültesi Kimya Mühendisliği'nden mezun oldu. Yüksek lisans ve doktorasını GYTE Fen Fakültesi Kimya Anabilim Dalı'nda tamamladı. 1991'den beri TÜBİTAK MAM Malzeme Enstitüsü Sensör Teknolojileri Proje Grubu'nda uzman araştırmacı olarak çalışıyor.



Gülşay Gümüş, 1988'de İTÜ Kimya-Metalürji Fakültesi Kimya Mühendisliği'nden mezun oldu. Yüksek lisansını GYTE Fen Fakültesi Kimya Anabilim Dalı'nda tamamladı. 1990'dan beri TÜBİTAK MAM Malzeme Enstitüsü Sensör Teknolojileri Proje Grubu'nda uzman araştırmacı olarak çalışıyor.

### b. Elektrokimyasal algılayıcılar

Elektrokimyasal algılayıcılar, üzerinde uzun yıllar çalışılmış, en geniş ve en fazla ürün yelpazesi oluşturulmuş kimyasal algılayıcı grubudur. Sıvı veya katı ortamda bir elektrottan diğer elektrotta yük transferi esasına dayanır. Algılama sırasında elektrottan katı ya da sıvı faza yük geçişi sağlanır. Bu yük geçişinin ölçülmesi algılamanın var ya da yok olduğunu ifade eder. Ölçümler tekniklere göre dört grupta sınıflandırılabilir: gerilim, akım, yük, iletkenlik. Algılayıcı özelliği bakımından oldukça seçicidir ve algılama kapasitesi yüksektir. Ancak güç tüketimi diğer algılayıcılara göre oldukça fazladır.

### c. Alan etkili algılayıcılar

Metal oksit yarı iletken alan etkili transistör (MOSFET), alan etkili transistör (FET), iyon duyarlı alan etkili transistör (ISFET) gibi alan etkili algılayıcılar iletken, yalıtkan ve yarı iletkenlerden oluşan bir kondansatör yapısına sahiptirler. İletken ile yarı iletken arasındaki gerilim değiştirilerek, yalıtkanın hemen altındaki yarı iletken bölgesindeki yük taşıyıcılarının işareti ve yoğunluğu değiştirilebilir. Yarı iletken malzemedeki yük taşıyıcıların yoğunluğunun değişmesiyle, iletkenliği de değişir. Bu fark ölçülerek de belirli tür kimyasal uyarıcılara karşı farklılığı gözlemlenebilir.

### d. Kapasite ve iletkenlik değişimine dayalı algılayıcılar

Taban (örneğin cam) malzemesi üzerine fotolitografi tekniği ile oluşturulan iç içe geçmiş ( $\mu\text{m}$  boyutundaki) parmaklı altın elektrotlarla taraksı yapıdaki bir Inter dijital dönüştürücü (IDT) yapının üzeri algılayıcı bir madde ile kaplanılır. Bu yapı algılanmak istenen gaz maruz bırakıldığında, algılayıcı tabakaya yüzeyde tutulan veya içine hapsolan gaz molekülleri iletkenlik, direnç, dielektrik veya kapasite değişimine sebep olur.

Bu yapı yalıtkan taban malzemesi (örneğin Si) üzerinde çeşitli tekniklerle işlenerek çok sayıda üretilebilir.

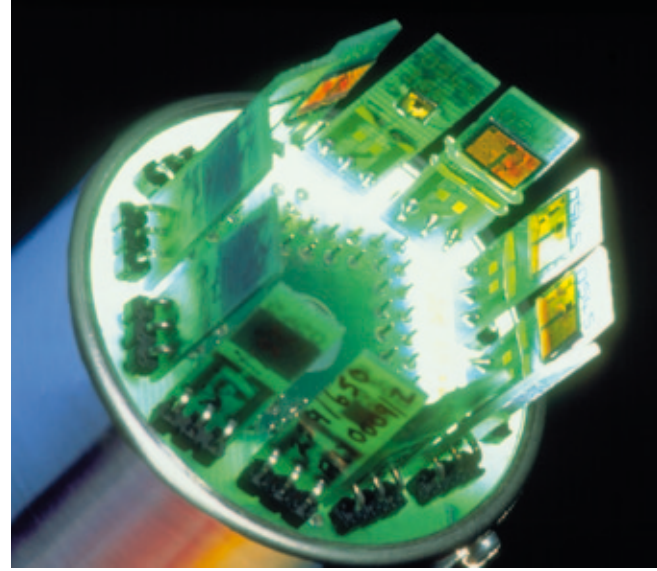
### e. Optik algılayıcılar

Belli dalga boyunda gönderilen ışığın, algılanması istenen gaz ya da gaz grubu tarafından soğurulması, yansıtılması, saçılımındaki değişimlerin ölçülmesi esasına dayanır. Optik yol uzunluğu bu tip algılayıcılar için önemli bir parametredir.

### f. Kütleyle duyarlı algılayıcılar

İki tipi vardır: Kuartz kristal mikrodengeleyici (QCM): Algılayıcı kimyasal film tabakası ile kaplanmış elektrotların oluşturduğu kuartz bir rezanatördür.

Yüzey akustik dalgaları (SAW): Algılayıcı elastik malzemenin yüzeyi boyunca ilerleyen ve genliği altlık malzemesinin içerisine girdikçe üstel olarak azalan bir akustik dalganın yansıtma prensibi-ne göre çalışır.



QCM ve SAW tipi dönüştürücülerin algılayıcı olarak kullanılabilmesi için, algılayıcı yüzeylerinin algılanması istenen gaz ile etkileşimi yüksek ve uygun algılayıcı kimyasalla kaplanması gerekir. Elde edilen algılayıcıların seçiciliği, tamamen ara yüzey malzemesi olarak kullanılan kimyasal malzemenin özelliğine bağlıdır. Başlıca ara yüzey kimyasal malzemeleri özel polimerler, ftalosiyanimler ve oksimiler gibi, makrosiklik moleküllerdir. Bu durum akustik dönüştürücülerden probleme yönelik algılayıcı geliştirilmesine imkân vermektedir. Öte yandan QCM dönüştürücüler SAW dönüştürücülere göre daha düşük algılama yeteneğine sahiptir. Bu nedenle hedeflenen algılama seviyesine bağlı olarak SAW ya da QCM tercih edilir. SAW dönüştürücülerin seçicilikleri daha yüksek olmakla birlikte yüksek frekans- ta çalıştırıldıklarından QCM'e göre daha karmaşık elektronik donanım gerektirirler.

SAW algılayıcıların gaz sensörü olarak kullanılması ilk olarak 1979 yılında Wohltjen ve Dessy tarafından ortaya atılmıştır. Bir piezoelektrik katman (genelde Quartz veya Lityumniobate) ve bu katmanın üzerine optik litografi yöntemi ile yerleştirilen iki inter dijital mikro elektrottan oluşmaktadır. Verici elektrotta bir radyo frekansı uygulandığında piezoelektrik madde katmanı üzerinde elektrotlar arasında bir mekanik yüzey dalgası iletilir. Bu dalga alıcı elektrotta tekrar radyo frekansına dönüştürülür.

TÜBİTAK MAM Malzeme Enstitüsü bünyesinde kütle değişimine duyarlı algılayıcılardan olan QCM ve SAW tabanlı algılayıcılar başarı ile geliştirilmiş ve geliştirilmekte olup çeşitli ürünlere dönüşmüştür.

## Algılamanın Temel Prensipleri

Öte yandan, algılayıcılar sadece tek bir kimyasal maddeyi algılama özelliğine sahip değildir, ortamdaki bazı bozucu maddelere ve benzer özellik gösteren kimyasal maddelere karşı da aynı tepkiyi verebilir. Bu nedenle, çok sayıda farklı seçiciliğe sahip algılayıcılardan oluşan bir algılayıcılar bütünü kullanılması zorunludur. Bu algılayıcıların oluşturduğu sistem elektronik burun olarak adlandırılır. Elektronik burunu oluşturan algılayıcılar, aynı türden olabildiği gibi, farklı türdeki algılayıcıların bir araya getirilmesiyle de oluşturulabilir. Bu algılayıcı dizisinden elde edilen verilerin çeşitli istatistiksel metotlar kullanılarak incelenmesi ile ölçülen gazın kimliği ve ortamda ne kadar olduğuna dair bilgiler elde edilebilir. Ancak bu işlemler öncesinde ortamda aranan gazın çeşitli karışımlarına ait bilgilerin tüm algılayıcılar üzerinde oluşturduğu sinyallerin yani ortamın parmak izinin bilinmesi gerekir.

Elektronik burun olarak tanımlanan sistemlerin en temel yapısının algılayıcılar olması nedeniyle elde edilecek sonucun algılayıcının performansı ile alakalı olduğu gözden kaçırılmamalıdır. Bu nedenle algılayıcılardaki yaşlanma etkileri ve kalibrasyonlarındaki sapmalar gibi olgular, bu sistemlerin en zayıf yönlerini teşkil eder. Elektronik burunun önemli uygulamaları arasında, tıp, gıda sanayi, askeri uygulamalar, farmakoloji sayılabilir. Elektronik burunlar zararlı atıkların denetlenmesi, içecek kalitesinin belirlenmesi, kapalı alanların hava kalitesinin ölçülmesi, mayın ve patlayıcı tespiti, kimyasal savaş gazları tespiti için kullanılır.

TÜBİTAK MAM'da da ilk elektronik burun prototipi 1998 yılında geliştirildi. Bu burun, dört grup zehirli savaş kimyasalını teşhis edebiliyor, bazı bozucu gazları özel yazılım programıyla tanıyabiliyor. Gerçek zehirli gazlara karşı yurtdışındaki sertifikalı laboratuvarlarda test edilmiştir. Ayrıca gerçek gazların benzerleri (simüle gazlar) ve insan sağlığına zararsız olan gazlarla da programlanarak eğitim olanağı da sağlamaktadır. 2150 gramlık cihaz dünyadaki benzerleri içinde en hafiflerinden biridir. Elektronik bileşenleri dışında tüm elemanları Türkiye'de tasarlanmıştır ve dünyada benzeri çok az olan yerli bir üründür.



TÜBİTAK MAM'da geliştirilen elektronik burun sistemi

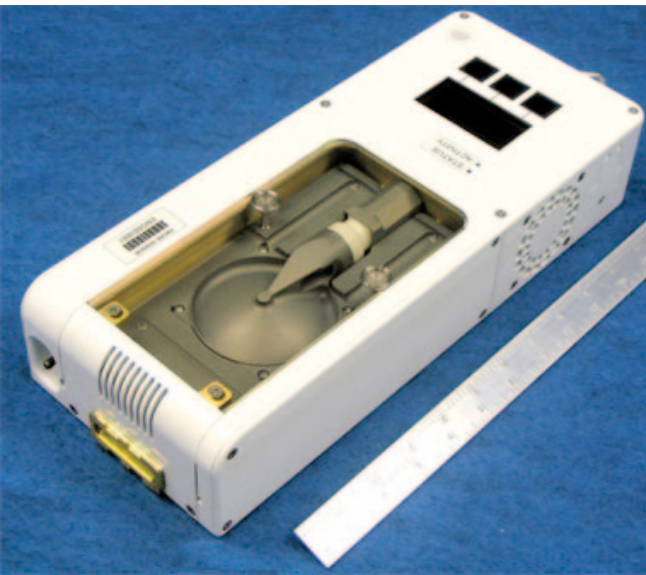
## Gelecekte Elektronik Burun

Devam eden çalışmalar doğrultusunda, algılanması istenilen analitlere (algılanılması istenilen gaz faz) uygun özgün algılayıcı ve algılama kapasitesi yüksek molekül veya moleküller sentezlenebiliyor ve bunlar bozulmadan uzun süre kullanılabilir. En basit hali ile, analit algılanması anahtar-kilit mekanizması şeklinde gerçekleşmektedir. Geleceğe dönük uygulamalar için koklayabilen, tadabilen (elektronik dil) minyatür sistemler ve makineler üzerine çalışılıyor. Böylece insan burnu ya da diliyle elde edilen taraflı sonuçlar ortadan kalkacak. Günümüzde hızla boyut değiştiren elektronik devrelerin küçülmesi sonucunda çok daha küçük, hafif, daha hızlı ve daha duyarlı algılama yapabilecek elektronik burunlar imal edilebilecek.

### Kaynaklar

Karlık, B., Bastaki, Y., "Bad Breath Diagnosis System Using OMX-GR Sensor and Neural Network for Telemedicine", *Clinical Informatics and Telemedicine*, Sayı 2, s. 237-239, 2004.  
Öztürk, Z. Z., Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü, E-Bülten, sayı 9. (<http://www.gyte.edu.tr/ebulten/sayi9/makale1.htm>) Haziran 2005  
Gürol, I., Gümüş, G., Musluoğlu, E., Taşaltın, C., Öztürk, Z. Z., Ahsen, V., Ebeoğlu, M. A., Dündar, D., Şen, Z., Arslan, Y., "Detection of Volatile Organic Compounds with Chemical Sensors", s. 653, Fourth International Conference on Porphyrines and Phthalocyanines (ICPP), 1-7 Temmuz 2006, Roma, İtalya.

Gümüş, G., Gürol, I., E. Musluoğlu, C. Taşaltın, Öztürk, Z. Z., Ahsen, V., Ebeoğlu, M. A., Dündar, D., Şen, Z., Arslan, Y., "Synthesis and Characterization of Alkylamine Substituted Phthalocyanines and Their Gas Sensing Properties", s. 651, Fourth International Conference on Porphyrines and Phthalocyanines (ICPP), 1-7 Temmuz 2006, Roma, İtalya.  
Taşaltın, C., Gürol, I., Harbeck, M., Dündar, D., Musluoğlu, E., Öztürk, Z. Z., Ahsen, V., "Fluorinated Phthalocyanines Sensitive to DMMP as Coatings for QCM Sensors", s. 56-57, 12th International Meeting on Chemical Sensors, 13-16 Temmuz 2008, Columbus, Ohio, ABD.



Uluslararası Uzay İstasyonu'nda kullanılan e-burun

Bilim ve teknolojiadaki baş döndürücü gelişmeler yaşam alanlarındaki gaz molekülü çeşitliliğini artırmıştır. Bu nedenle sürekli ve hızlı test ve analiz yapabilen sistemlere olan ihtiyaç her geçen gün artmaktadır. Öte yandan bu sistemlerin en önemli avantajları test edilecek gaz ortamına ait numunelerin bir laboratuvar ortamına taşınmadan "anında ve yerinde" sonuç verebilmesidir.