

“Herhangi bir kokuyu hiç ölçtünüz mü?  
Bir kokunun diğerinden tam olarak iki kat kuvvetli koktuğunu söyleyebilir misiniz?  
Bir cins koku ile diğeri arasındaki farkı ölçebilir misiniz?  
Halbuki menekşeden güle, çok kötü kokan çadırşığı otuna kadar pek çok koku var.  
Fakat bu kokuların benzerlikleri ve farklılıkları ölçülünceye kadar kokunun bir bilimi olmayacak.  
“Eğer yeni bir bilim keşfetmek için çok istekli iseniz bir kokuyu ölçünüz.”

Alexander Graham Bell (1914)

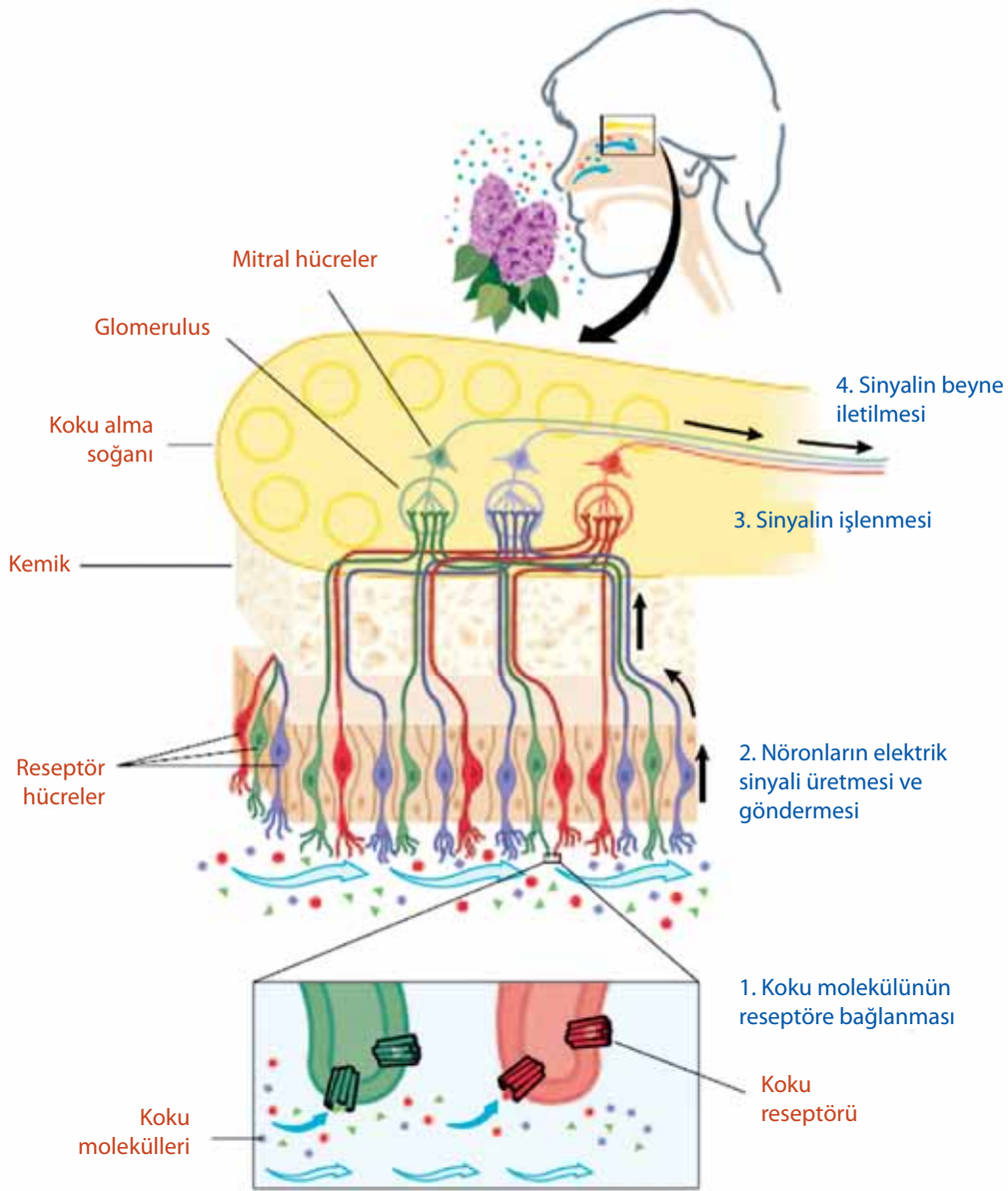


# Koku Bilimine Doğru

## Elektronik ve Fotonik Burunlar

Son 25 yıldır yapılan çalışmalarda kokunun ölçülmesi konusunda bazı ilerlemeler sağlanmasına rağmen Alexander Graham Bell'den bir yüzyıl sonra koku bilimi hâlâ emekleme safhasında. İnsanoğlunun, burnundaki 400 civarındaki koku reseptörüyle on binden fazla kokuyu nasıl ayırt edebildiği hâlâ tam olarak anlaşılamamıştır. Canlılarda kokunun yüksek hassasiyette nasıl tespit edildiği, yorumlandığı ve hafızada tutulduğu üzerine yapılan bilimsel çalışmalardaki bulgular, insanoğluna yeni kapılar aralayacaktır. Belki bir gün sevdiğinize internet aracılığıyla gül kokusu gönderebilecek, etrafınızdaki zehirli kimyasal maddeleri yüksek hassasiyetle tespit edebilecek, dolabınızdaki meyve ve sebzelerin bozulup bozulmadığını anlayabilecek, nefesinizden hastalık tespiti yapabileceksiniz. Koku alma duyusu hayvanlar aleminde beslenme, eş bulma, arazi tanıma ve yön belirleme gibi temel biyolojik iş-

levleri yerine getirmesinin yanı sıra sosyal gruplar halinde yaşayan hayvanlar, örneğin arılar ve karıncalar arasında bir çeşit “konuşma” diyebileceğimiz, daha karmaşık ve üst seviyede etkileşimler için de kullanılmaktadır. Yaşamsal açıdan en az görme ve işitme kadar önemli olan koku alma duyusu, canlıların sahip olduğu duyular arasında en karmaşık ve anlaşılması en güç olanıdır. Koku algılama ve hafızada tutma mekanizmalarının nasıl işlediği günümüze kadar tam olarak anlaşılamamıştır. Bir şeyi anlamanın en etkili yolu onu inşa etmek olduğuna göre, canlılardaki koku alma duyusunu taklit etmeye çalışan yapay burun çalışmaları bize bu konuda ışık tutacaktır. Bu yazıda canlılarda kokunun nasıl algılandığını, çok farklı yapay sistemlerle nasıl taklit edilmeye çalışıldığını ve yapay burun çalışmaları ile neler hedeflendiğini okuyacaksınız.



## Koku algılama mekanizması

Memelilerde koku alma sisteminin ilk elemanı burun boşluğunun iç kısımlarında yer alan ve koku alma epiteli olarak bilinen küçük bölgedir. Bu bölge incelendiğinde iki çeşit hücre ile karşılaşılır. Bunlardan ilki en uçta bulunan ve dış dünya ile bağlantıyı sağlayan sinir hücreleridir. Sayıları milyonları bulan bu hücreler, koku alma sisteminde beyne iletilecek olan sinyali üretir. Elektrokimyasal sinyal, bu nöronların ucunda bulunan silia isimli, saç benzeyen yapıdaki sensörler ile koku moleküllerinin etkileşmesiyle oluşur. Nöronların arkasında bu hücrelerde üretilen sinyal beyne taşımakla görev-

li akson hücreleri bulunur. İnce iplik şeklindeki akson hücreleri beyinde limbik sisteme kadar uzanır.

Koku alma epitelinde üretilen sinyal öncelikle koku alma soğanına iletilir. Bu bölge beyin ön kısmındadır ve gelen sinyalin ilk olarak işlendiği bölgedir. Koku alma soğanında işlenen sinyal beyin koku alma bölgesine iletilir ve buradan da duygu ve düşüncelerin oluştuğu beyin kabuğundaki algılama merkezine iletilir. Bu şekilde koku moleküllerinin nöron hücrelerinin ucunda bulunan siliolarla etkileşmesiyle oluşan elektrokimyasal sinyal, koku duyusuna dönüştürülmüş olur.



## Elektronik Burunlar

Elektronik burunlar memelilerin koku alma sistemini taklit ederek on binlerce farklı kokuyu birbirinden ayıracak şekilde tasarlanmış elektronik aygıtlardır. Elektronik burunlarda tıpkı koku alma sistemindeki reseptör proteinler gibi her koku molekülüyle değişik şekilde etkileşen, birbirinden farklı sensör dizileri bulunmaktadır. Koku molekülleri elektronik buruna ulaştığı zaman tüm sensör elemanlarının iletkenliğinde, ışımada veya kütlesinde bir değişim olur ve bu değişim elektrik sinyaline dönüştürülerek her koku için ayrı sinyal birleşimleri (desenler) elde edilir. Daha sonra bu desenler istatistiksel algoritmalarla çözümlenerek kokular birbirinden ayrılabilir.

Elektronik burunlarla memelilerin burunları karşılaştırıldığında aslında ancak arı gözüyle insan gözünün benzediği kadar benzedikleri söylenebilir. Arılar insanların görebildiği bazı renkleri

görememekle birlikte insan gözünün algılayamadığı dalga boylarındaki ışığı görebilir. Aynı bunun gibi, elektronik burunlar da insanların kokusunu alabildiği bazı molekülleri ayırt edemez, ama bize göre kokusuz olan doğal gaz ve karbon monoksit gibi gazları birbirinden ayırabilirler. Ayrıca memeli burnuna göre daha az sensör elemanı kullanarak, az sayıda kokunun birbirinden ayrılmasını gerektiren kısıtlı alanlar için, örneğin zehirli gazların tesbiti ve yiyeceklerin tazeliğinin ve kalitesinin belirlenmesi gibi işlemler için de tasarlanmaktadır.

Elektronik burun fikri ilk olarak 1982 yılında İngiltere'deki Warwick Üniversitesi'nde ortaya atılmıştır. Hazırlanan ilk prototip elektronik burun 300 derece sıcaklıkta çalışan metal oksit sensör elemanlarından oluşmaktaydı. 1990'lı yıllarda polimer teknolojisinde ortaya çıkan gelişmeler sonucunda oda sıcaklığında çalışabilen elektronik burunlar geliştirilmeye başlanmıştır. Burada polimerlerin koku moleküllerine maruz bırakıldıklarında iletkenliklerindeki değişime takip edilmektedir. Polimer tabanlı sistem-

lerin geliştirilmesi elektronik burunların gelişimi açısından önemli bir dönüm noktası teşkil etmiş ve yüzyılın sonuna gelinmeden elektronik burun sistemleri üreten pek çok şirketin kurulmasını sağlamıştır.

Ancak polimer tabanlı sistemler ucuz ve kolay uygulanabilir olsalar da hassasiyetleri düşük olduğundan kullanım alanları sınırlı kalmıştır. Bu da araştırmacıları, daha hassas elektronik burun sistemleri geliştirmek için çalışmaya itmiştir. Daha sonraları optik sistemler kullanılarak yapay burun sistemlerinin geliştirilebileceği de fark edilmiştir. Bunlardan ilki birkaç çeşit floresan boya ile doldurulmuş çok sayıda mikro parçacığın, bir fiber optik kablo ucuna yerleştirilmesi ile yapılmıştı. Koku molekülleri boyaların floresan özelliklerini farklı şekilde değiştirmekte ve bu değişim bir kamera yardımıyla izlenerek her kokuya özgü renk desenlerinin çıkarılması mümkün olmaktadır. Fakat buradaki desenler çok karmaşık olmakta ve dolayısıyla kokuların ayırt edilmesi zorlaşmaktadır. Daha basit bir başka optik burun uygulamasında, farklı boyalar kullanılarak hazırlanan mürekkepler bir kâğıdın üzerine damlatılarak diziler hazırlanmakta ve boyalar koku moleküllerine maruz bırakıldığında renklerde oluşan değişim bir tarayıcı yardımıyla incelenmektedir. Koku molekülü gelmeden ve geldikten sonra elde edilen görüntüler bilgisayar ortamında birbirinden çıkarıldığında koku molekülüne özgü desenlere ulaşılmaktadır. Bu çalışmada sonuçlar 2 dakika gibi kısa bir sürede ve insan burnuna yakın bir hassasiyetle elde edilmiştir.

Hastalık	Belirtici Kimyasal
Diyabet	Aseton
Böbrek yetmezliği	Amonyak
Akciğer kanseri	Benzen, furan
Romatoid artrit	Pentan
Göğüs kanseri	Nonan, undekan

Bu gelişmelere karşın, yapay burun çalışmaları nefesten hastalıkların teşhis edilmesi ve patlayıcıların tespit edilmesi gibi çok daha yüksek hassasiyet gerektiren uygulamalarda yetersiz kalmıştır.

Nefes analizi yapılarak bazı hastalıkların tespiti mümkündür. Tabloda hastalıklar ve bu hastalıkları elektronik veya fotonik burun yardımıyla ölçülebilen belirtici kimyasallar görülmektedir.



Köpekler çok hassas burunları sayesinde 200 binden fazla kokuyu yüksek hassasiyette ayırt edebilir. Köpek burnu, günümüzde geliştirilen en hassas elektronik burundan çok daha yüksek bir koku algılama teknolojisine sahiptir.

	İnsan Burnu	Elektronik Burun
Kokunun algılanması	Reseptör nöronlar	Sensör / Hissedici eleman
	10.000.000 reseptör	6-64 sensör (dizin halinde)
Kokunun tanımlanması	Gromerulus	Sinyal işleme modülü
Kokunun yorumlanması ve hafızada tutulması	Beyin	Desen tanıma modülü
Hassasiyet (Ne kadar az miktardaki kokuyu ölçebildiği)	Trilyonda bir birim (ppt)	Milyonda bir birim (ppm)
Seçicilik (Kokuları birbirinden ayırt edebilme özelliği)	10.000-20.000	< 50

Elektronik burunların insan burnu ile karşılaştırılması

Son zamanlarda nanoteknolojinin gelişmesiyle birlikte, daha hızlı ve daha duyarlı elektronik burun sistemleri geliştirmek için nano malzemeler de kullanılmaya başlanmıştır. Karbon nanotüpler bu alanda kullanılan ilk nano malzemelerdir. Yüzeyleri değişik kimyasal maddelerle değiştirilmiş karbon nanotüpler koku molekülleriyle etkileştikleri zaman iletkenliklerindeki değişim incelenerek elektronik burun sistemleri yapılmıştır. Benzer bir mantığı altın nanoparçacıklara da uygulamak mümkündür. Bunların yanı sıra çok farklı, büyük potansiyel taşıyan bir tasarım da yakın zamanda Bilkent Üniversitesi Ulusal Nanoteknoloji Araştırma Merkezi'nde geliştirilen dijital fotonik burundur. Bu çalışmada nano yapıları fiberler kullanılarak küçük, taşınabilir ve yüksek seçicilikli bir opto-elektronik burun sistemi üretilmiştir.

Elektronik burun alanında hızlı bir şekilde yaşanan bu gelişmelerle hassasiyet, seçicilik, düşük enerji kullanımı ve maliyet, taşınabilirlik, güvenilirlik gibi özelliklerin hepsini içeren bir sistem üretilmesi hedeflenmektedir. Nanoteknoloji kullanılarak insan burnundan çok daha hassas elektronik burun sistemlerinin, uygun maliyetle üretilmesinin mümkün olduğu gösterilmiştir. Bir gün taşınabilir, hassas ve yeterince ucuz elektronik veya fotonik burunlar üretildiğinde pek çok farklı kullanım alanı ortaya çıkacaktır. Hastalık teşhisi, gıda kalitesinin gerçek zamanlı olarak kontrol edilmesi, patlayıcı ve mayın tespiti, uyuşturucu trafiğinin önlenmesi, zehirli gazların tespit edilmesi elektronik burunların başlıca kullanım alanlarıdır. Bunlardan



Elektronik burunların yaygın olarak kullanıldığı alanlardan biri olan gıda kalite kontrolünde önemli olan, işlemlerin hızlı ve etkin olmasıdır.

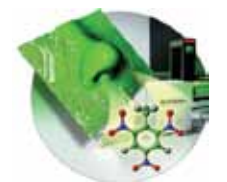
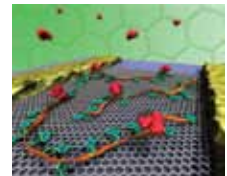
belki de en önemlisi, kan tahliline benzer şekilde, hastalıkların nefesten teşhis edilmesidir. Nanoyapılı elektronik burunlar kullanılarak gerçekleştirilen çalışmalarda kanser ve böbrek yetmezliği gibi hastalıkların, hastaların nefeslerinden örnekler alınarak tespit edilebileceği konusunda umut verici sonuçlar elde edilmiştir.

Elektronik burun konusunda yaşanan hızlı gelişmeler yakın zamanda hayatımıza çok eğlenceli katkılarda bulunabilir. Örneğin cep telefonlarındaki sayıları sürekli artan sensörlere bir de kimyasal analiz yapabilen aygıt eklendiğini düşünelim; böylece video kayıtlarına görüntü, ses ve yer bilgisinin yanı sıra koku bilgisi eklemek de mümkün olabilecektir. Sevdiğine internet aracılığıyla gül kokusu göndermek eğlenceli olabilir, ancak daha önemli şeyler de yapılabilir. Mesela böyle bir sensörü olan bir akıllı telefon, kullanıcısının sağlık durumunu sürekli doktoruyla paylaşabilir, böylece doktor hastanın aldığı ilaçların olumlu ya da olumsuz etkilerini takip edebilir veya hastalıkların erken teşhisi sağlanabilir. Hatta bu sistemlerin yaygınlaşması ile bütün bir ulusun sağlık seviyesi sürekli izlenebilir.



1975 yılında doğan Dr. Mehmet Bayındır, doktora derecesini 2002 yılında Bilkent Üniversitesi'nden almıştır. 2002-2006 yılları arasında Massachusetts Teknoloji Enstitüsü'ndeki (MIT) Elektronik Araştırma Laboratuvarı'nda, Askeri Nanoteknoloji Enstitüsü'nde ve Malzeme Bilimi Merkezi'nde araştırmacı olarak çalışmıştır. Halen Bilkent Üniversitesi Fizik Bölümü'nde öğretim üyesi ve Ulusal Nanoteknoloji Araştırma Merkezi (UNAM) müdür yardımcısı olarak çalışmaya devam etmektedir. Dr. Bayındır'ın *Nature*, *Nature Materials*, *Advanced Materials* ve *Physical Review Letters*, *Journal of Materials Chemistry* gibi uluslararası dergilerde ve hakemli konferans kitapçıklarında basılmış 90'ın üzerinde makalesi, tescillenmiş 3 patenti bulunmaktadır.

Yapay burun teknolojisi		Sensör elemanı	Üretildiği tarih
Elektronik		Metal oksit	1982
		Polimerler	1991
Optik temelli		Floresan boyalar	1996
		Kolorimetrik boyalar	2000
Nanoteknoloji temelli		Karbon nanotüpler	2001
		Silikon nanoteller	2007
		Altın nanoparçacık	2009
Fotonik temelli		Fotonik kristaller	2009
		Kızılötesi fiberler	2010



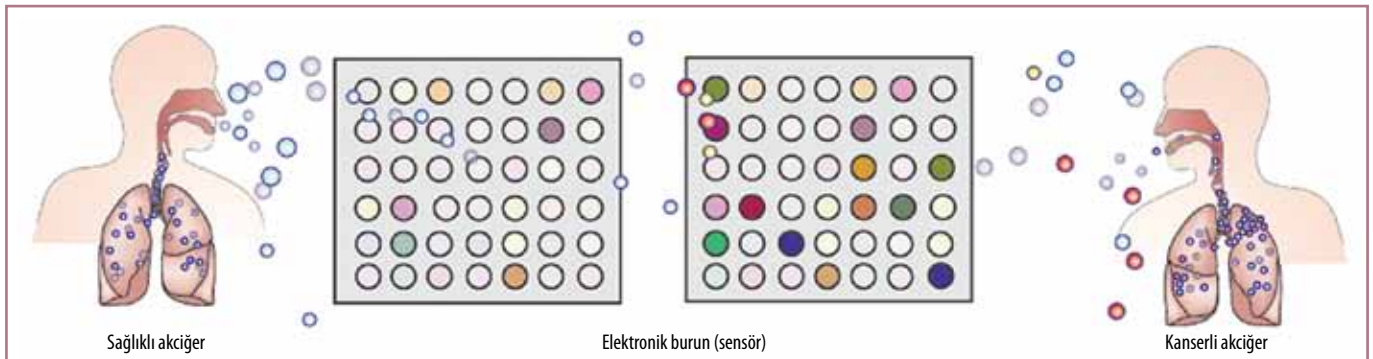
Nanoteknoloji, elektronik burun teknolojilerine tamamen yeni bir bakış kazandırmıştır. Yukarıda grafin (tek katman grafit) üzerine üretilen DNA tabanlı bir sensör platformu, elektronik burun, görülmektedir (üstte). Silisyum nanoteller kullanılarak üretilen elektronik burun yüksek hassasiyette patlayıcı tespiti yapabilmektedir (altta).



Peki, koku molekülleri insan burnuna ulaştığında siliyalarla nasıl etkileşiyor ve sinyal nasıl oluşuyor? ABD’li bilim insanları Linda Buck ve Richard Axel 2004 yılında Nobel Tıp veya Fizyoloji Ödülü’ne layık görülen çalışmalarında sensörlerin ucundaki algılayıcı proteinleri ortaya çıkarmıştır. Bunu yaparken proteinleri doğrudan incelemek yerine bu proteinlerin sentezinden sorumlu olan genleri incelemiştir. Bilindiği gibi genler proteinlerin sentezi sırasında kalıp görevi yapar, dolayısıyla öncelikle koku alma reseptörlerinden sorumlu genleri izole ederek koku alma reseptörlerine ulaşmak mümkündür. Bu çalışma ve daha sonrasında yapılan çalışmalar, farelerde 1300 insanda ise 400 civarında koku alma görev alan reseptör gen (dolayısıyla protein) bulunduğunu ortaya koymuştur. Memelilerde yaklaşık 25 bin gen olduğu göz önüne alındığında koku almada görevli genlerin oranının ne kadar yüksek olduğu ortaya çıkmaktadır. Farelerde bulunan genlerin yaklaşık olarak %4’ünün koklamaya ilgili olması, kokunun bu hayvanlar için ne kadar önemli olduğunu göstermektedir. Ayrıca görme duyumuzda te-

mel renklere duyarlı sadece 3 çeşit fotoreseptör protein varken koku alma reseptör proteinlerin sayısının çokluğu, koklama duyusunun karmaşıklığı hakkında bir fikir vermektedir.

İnsanlar 400 reseptör proteini kullanarak on binden fazla kokuyu hatırlamakta ve ayırt edebilmektedir. Köpekler iki yüz binden fazla kokuyu ayırt etme yeteneğine sahiptir. Reseptör ve koku miktarı karşılaştırıldığında, bir reseptör proteinin sadece bir kokudan sorumlu olmadığı açıkça görülmektedir. Eğer her reseptör protein bir kokudan sorumlu olsaydı farklı her koku için o kadar reseptör proteine ihtiyaç duyulacaktı. Bunun yerine canlılarda, her zaman olduğu gibi yine mühendislik harikası bir çözümle karşılaşıyoruz: Bir koku molekülü tek bir reseptörle etkileşmek yerine pek çok reseptörle etkileşerek her birisinden, farklı sinyaller üretiyor. Bunun sonucunda, birikimli olarak her bir koku molekülü için karmaşık, toplam sinyaller oluşturuluyor ve bu sinyaller beyinde işlenerek her molekülün kendine özgü kokusu ortaya çıkıyor.



## Nefes Tahlili: Koklayarak Kanser Tespiti Mümkün mü?

1970’lerin başından beri yapılan çalışmalar insan nefesinin vücutta gerçekleşen biyolojik olaylar sonucunda oluşan pek çok kimyasal molekülünü taşıdığını göstermiştir. Daha sonraki yıllarda, bir hastalık olması durumunda nefeste bulunan moleküllerden bazılarının oranlarının ciddi miktarda değiştiği veya bazı yeni metabolit moleküllerin oluştuğu gözlemlenmiştir. Bazen bu değişim her hastalık için farklı olmaktadır. Son yıllarda gelişen analiz cihazları yardımıyla akciğer kanseri, böbrek yetmezliği ve diyabet gibi pek çok hastalık için nefeste bulunan belirteç moleküller belirlenmiştir. Bu belirteç moleküller tespit edilerek, yani koklanarak, hastalıkların kan, idrar testi ve biyopsi gibi yöntemlere gerek kalmadan teşhis edilmesinin mümkün olabileceği düşünülmektedir.

Son yıllarda nefesten hastalık tahlili üzerine yapılmış en dikkat çekici çalışma 2009 yılında İsrail Teknoloji Enstitüsü’nden araştırmacılar tarafından gerçekleştirilen, nanoteknoloji temelli elektronik burun sistemi ile akciğer kanserinin teşhisi çalışmasıdır. Altın nanoparçacıkların kullanıldığı elektronik burun, kanserli insanların nefesi ile kanserli olmayan insanların nefesini yüksek bir doğruluk değeri ile ayırt edebilmiştir. Aynı grup tarafından daha sonra gerçekleştirilen bir çalışmada ise aynı elektronik burun sisteminin göğüs, bağırsak ve prostat kanserlerine de uygulanabileceği gösterilmiştir. Nanoteknoloji devriminin de etkisiyle elektronik ve fotonik burun teknolojilerindeki gelişmeler, kanserin erken safhalarda tespitinin mümkün olabileceği ümidini artırmıştır.

## Dijital Fotonik Burun

### Kızılötesi fiber dizinleri ile kokuların parmak izlerini dijital ortama aktarmak

Elektronik ve fotonik burun teknolojilerine Bilkent Üniversitesi, Ulusal Nanoteknoloji Araştırma Merkezi'nde (UNAM) yapılan bir çalışmayla dijital fotonik burun teknolojisi eklendi. *Advanced Materials* dergisine kapak seçilen bu çalışmayı yürüten ekibin lideri Dr. Mehmet Bayındır, "nanoyapılı fiberler kullanılarak üretilen fotonik burun, benzerlerinden çok farklı ve üstün özelliklere sahip" diyerek çalışmanın önemini vurguluyor.

Yapay dijital burun, burun deliklerine benzeyen içi boş fiber dizinlerinden oluşmaktadır. Fiberlerin iç çeperlerinde bir saç telinin binde biri kalınlığında (50 nanometre) optik aynalar bulunmaktadır. Bu aynalar özel yapıları sayesinde üzerlerine düşen kızılötesi ışığın % 99,9'unu kayıpsız olarak geri yansıtabilmektedir. Günümüzde Türkiye, çok farklı uygulama alanlarına sahip kızılötesi fiber teknolojisine sahip ikinci ülke konumundadır.

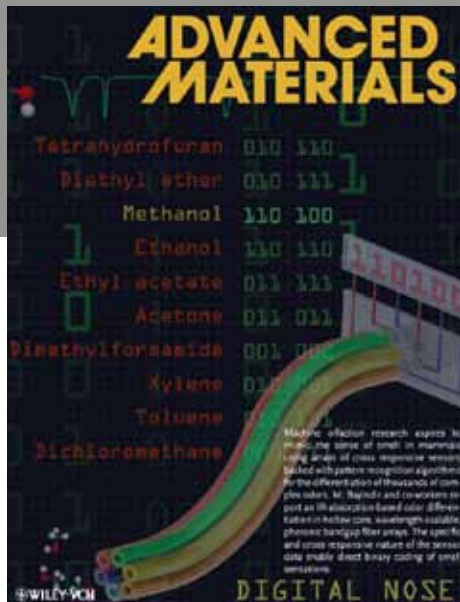
Fiber kulesinde üretilen kızılötesi dalga boylarında çalışan fiberler 30 cm uzunluğunda kesilerek dizin haline getiriliyor ve kızılötesi ışık yayan sıcak bir cisimden yayılan ışınlar fiberlerin içerisinden geçirilerek kimyasal maddelerin parmak izleri okunuyor. Araştırmacılara göre bu şekilde çok sayıda farklı kimyasal maddeden oluşmuş karmaşık bir kokunun sayısallaştırılması da mümkün olmaktadır. Fotonik burun sisteminin potansiyel ayırım gücünü modellemek için yapılan bilgisayar simülasyonlarına göre, dizindeki fiber sayısı 25'e çıkarılarak yüzlerce kimyasalın sayısallaştırılması mümkün görünmektedir. Fiber burunun,

elektronik ve fotonik burun araştırmasında "ayırım gücü ve hassasiyeti" ile özel bir yer edinmesi beklenmektedir.

Dijital fotonik burun üzerine araştırmalara devam eden doktora öğrencisi Adem Yıldırım "Her şey sürpriz bir gözlemlerle başladı" diyor. "Kanser tedavisinde kullanılacak lazer neşter projesi için fiber üretirken, bu fiberleri aynı zamanda uçucu kimyasalların algılanmasında kullanabileceğimizi de fark ettik. "Nanoyapılarının ölçeklenebilir olması sayesinde, fiberler sadece özel bir kimyasal maddenin değil, tüm kimyasal maddelerin algılanmasında kullanılabilir. Kimyasal maddelerin de insanlar gibi parmak izi olduğunu söyleyen Yıldırım, optik ve kimyayı fiberlerin içerisinde birleştirerek, 10 farklı kimyasalın parmak izlerini ve dolayısıyla kokusunu sayısallaştırarak ayırt edebildiklerini söylüyor: "Bu şekilde herhangi bir kimyasal maddeyi ikilik sistemde bir sayı ile temsil edebiliyoruz, örneğin metanol 111011, etanol 111001". Çalışmayı değerlendiren bağımsız bir uluslararası jürinin, sistemin "ticarileştirilmeye uygun ve hazır" olduğu şeklinde bir değerlendirme yapmış olması, fiber burunun potansiyeline dikkat çekiyor.

UNAM'da geliştirilen dijital fotonik burun konsepti *Advanced Materials* dergisine kapak seçildi. (solda)

Türk bilim insanları tarafından geliştirilen fotonik burun, kimyasalların ışığı soğurma tayflarına göre her bir kimyasalı dijital olarak kodlayabilmektedir. Prototipinin cep telefonlarına yerleştirilebilecek kadar küçük olması beklenen dijital fotonik burun, 100'den fazla kimyasalı ayırt edebilmesi mümkündür. (altta)



#### Kaynaklar

Yıldırım, A., Vural, M., Yaman, M. ve Bayındır, M., "Bio-inspired optoelectronic nose with nanostructured wavelength scalable hollow-core infrared fibers", *Advanced Materials*, Cilt 23, s. 1262, 2011.  
Yaman, M., Yıldırım, A. ve Bayındır, M., "High Selectivity Boolean Olfaction Using Hollow Core Photonic Band Gap Fibers", *Analytical Chemistry*, 2011.  
Axel, R., "The Molecular Logic of Smell", *Scientific American*, Cilt 16, s. 68, 2006.  
Schmiedeskamp, M., "Plenty to Sniff At", *Scientific American*, Mart 2001.  
Röck, F., Barsan, N. ve Weimar U., "Electronic Nose: Current Status and Future Trends", *Chemical Review*, Cilt 108, s. 705, 2008.  
Guo, D., Zhang, D., Li, N., Zhang, L. ve Yang J., "A Novel Breath Analysis System Based on Electronic Olfaction",

*IEEE Trans. Biomedical Engineering*, Cilt 57, s. 2753, 2010.  
Rinaldi, A., "The scent of life: The exquisite complexity of the sense of smell in animals and humans", *EMBO Reports*, Cilt 8, s. 629, 2007.  
Peng, G., Tisch, U., Adams, U., Hakim, M., Shehata, N., Billan, S., Abdah-Bortnyak, R., Kuten, A., Broza Y. ve Haick, H. *Nature*, "Diagnosing lung cancer in exhaled breath using gold nanoparticles", *Nature Nanotechnology*, Cilt 4, s. 669, 2009.  
Bonifacio, D., Puzzo, D. P., Breslav, S., Willey, B. M., McGeer, A., Ozin, G. O., "Photonic Sensors: Towards the Photonic Nose: A Novel Platform for Molecule and Bacteria Identification", *Advanced Materials*, Cilt 22, s. 1351, 2011.



Yrd. Doç. Dr. Mecit Yaman, 1998'de Orta Doğu Teknik Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümü'nden mezun olduktan sonra yüksek lisans ve doktora çalışmalarına University of Cape Town'da devam etti. Mühendislik malzemelerindeki mekanik stres üzerine yaptığı çalışmalarla 2002'de yüksek lisans, 2007'de doktora derecesine layık görüldü. 2008-2011 yılları arasında UNAM-Ulusal Nanoteknoloji Araştırma Merkezi, Bilkent Üniversitesi'nde doktora sonrası araştırmacı olarak fotonik sistemler, kimyasal sensörler ve nanomalzemeler üzerine çalışmalar yaptı.



Adem Yıldırım, 2007 yılında Hacettepe Üniversitesi Kimya Mühendisliği Bölümü'nden mezun oldu. Halen Bilkent Üniversitesi Malzeme Bilimi ve Nanoteknoloji Enstitüsü'nde dijital fotonik burun, fonksiyonel nanokaplamalar ve nano-yapılı sensörler üzerine doktora çalışmalarına devam etmektedir. Yıldırım'ın uluslararası dergilerde yayınlanmış 5 makalesi bulunmaktadır.