



Elektronik Burun Sistemlerinin Tasarım İlkeleri

Ünal Kızıl^{1*}, Levent Genç², Melis Saçan²

¹Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Biga Meslek Yüksek Okulu, Teknik Programlar Bölümü,
Biga/Çanakkale

²Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Ziraat Fakültesi Tarımsal ve Sulama Bölümü,
Tarımsal Veri İşleme ve Uzaktan Algılama Laboratuvarı (TUAL) Çanakkale

*e-posta: unal@comu.edu.tr, Tel: +90 (286) 316 2878, Fax: +90 (286) 316 3733

Geliş Tarihi: 23.03.2010, Kabul Tarihi: 30.07.2010

Özet: Biyolojik materyallerden yayılan uçucu bileşenleri değerlendirerek, bunların çeşitli özelliklerini belirleyen elektronik burun sistemleri gıda sektörü, çevre kontrolü, insan sağlığı gibi birçok alanda kullanılma olanağı bulmuştur. Bir elektronik burun sistemi, farklı özelliklerin belirlenmesine yarayan sensörler, sinyal toplama ünitesi ve örnek tanımlama yazılımından oluşur. Ticari olarak satılan e-burunlar mevcut olmakla birlikte, yüksek maliyetli ve kullanımları zordur. Bu nedenle daha ekonomik ve basit sistemlerin geliştirilmesi gereklidir. Bu çalışma, e-burun sistemlerinin geliştirilmesi, örnek tanımlama modellerinin oluşturulması ve uygulanması için detaylı bilgiler sağlamak amacıyla sunulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Elektronik burun, sensör sistemleri, yapay sinir ağları.

Design Fundamentals of Electronic Nose Systems

Abstract: Electronic nose systems that classify different features of biological materials by evaluating volatile organic compounds, are being used in food sector, environmental control, and human health. An electronic nose system consists of an array of gas sensors, a signal acquisition unit, and a pattern recognition software. There are commercially available e-noses, however, these mentioned systems are expensive and difficult to use. Therefore, there has been a need for developing easy to use and cost effective systems. This study aimed to provide detailed information for developing e-nose systems, pattern recognition models and applications.

Key Words: Electronic nose, sensor systems, artificial neural networks.

Giriş

Modern teknolojilerle, elektronik ve yapay zeka konularında son yıllarda kaydedilen gelişmeler ile biyolojik materyallerin çeşitli özelliklerinin ölçümü ve karakterizasyonu çok kolay bir şekilde gerçekleştirilmektedir (Ouellette, 1999). Bu kapsamda ele alınan elektronik burunlar, gıda ve çevre güvenliği ve hatta insan sağlığını da içine alan birçok farklı alanda kullanılmaktadır.

Elektronik burun uygulamalarıyla ilgili çok sayıda çalışma yapılmıştır. Bu çalışmalardan birinde Balasubramanian ve ark. (2005) ticari olarak satılan bir elektronik burunu kullanarak marketlerde satılan sığır etinin tazeliğini belirlemiştir. Kullandıkları sistem, eti taze olarak sınıflandırmayı başarmıştır.

Başka bir çalışmada ise Younts ve ark. (2005) kendi oluşturdukları ve gaz sensörlerinden oluşan sistemle, yapay sinir ağları yöntemini kullanarak değişik bakteri türlerini birbirinden ayırt etmeye çalışmışlardır. Geliştirdikleri sistem, *Escherichia coli* 0157:H7 ile *Escherichia coli* Non-0157:H7'yi birbirlerinden ayırt edebilmiştir. Her iki farklı bakteri türünün salgıladığı gazların oluşturduğu parmak izlerinin farklılığı sistemin ana çalışma prensibini oluşturmaktadır.

Dodd ve ark. (2005) farklı gazlara duyarlı 16 adet metal-oksit gaz sensöründen oluşan bir elektronik burun kullanarak tilapia (*Oreochromis niloticus*) balığının farklı bayatlama zamanlarını sınıflamışlardır. Least squares için %78.8, K-nearest neighbor için ise %83.8'lük bir sınıflandırma gerçekleştirmişlerdir.

Yapay sinir ağları ve elektronik burun sistemleri sadece sınıflandırmada değil, bazı parametrelerin ölçümünde de kullanılmıştır. Qu ve ark. (2001) 32 adet gaz sensöründen oluşan bir elektronik burun kullanarak havadaki koku konsantrasyonunu %20'lik bir ortalama hata ile ölçmüşlerdir.

Elektronik burun sistemlerinin insan sağlığındaki bir uygulamasını da Machado ve ark. (2005) yapmışlardır. Kullandıkları bir elektronik burun ile akciğer kanserini tespit etmişlerdir. Sistemi 59 gönüllü üzerinde test ederek (14 akciğer kanseri hasta, 25 başka bir akciğer hastalığına sahip hasta ve 20 sağlıklı insan) kanserli hastaları nefeslerinin kokusundan tespit etmişlerdir.

Gomez ve ark. (2007) mandalinanın sağlamlığı, asitlik derecesi ve çözünebilir katı madde içeriği gibi kalite özelliklerini, değişik toplama zamanlarını göz önünde bulundurarak bir elektronik burun kullanarak belirlemeye çalışmıştır. Araştırma sonuçlarına göre çok değişkenli kalibrasyon teknikleri (PLS) kullanılarak mandalinanın kalite özellikleri 0.66 ile 0.73 arasında değişen korelasyon katsayılarıyla belirlenebilmiştir.

Li ve Heinemann (2007) elmalarındaki fizikler zedelenmeleri belirleyip onları gruplandırmada bir elektronik burun sistemi kullanmışlardır. Yaklaşık %85'lik bir hassasiyetle zedelenmiş ve fiziksel olarak uygun olmayan elmaları ana bileşen analizleri (PCA) yöntemini kullanarak belirleyebildiler.

Kızıl ve Lindley (2001) tin-dioksit gaz sensörlerini kullanarak çiftlik hayvanlarının gübrelerinde bulunan bitki besin maddelerinin miktarlarını belirlemeye çalışmıştır. Çalışmada çoklu regresyon analizleri sonucunda gübrenin toplam-N, organik-N, NH₄, ve K içerikleri 0.81, 0.72, 0.92 ve 0.72 gibi yüksek korelasyon katsayılarıyla belirlenebilmiştir.

Kızıl ve Lindley (2001) ve Kızıl ve ark. (2001)'de elde edilen sonuçların ışığı altında, Kızıl ve Lindley (2009) metan, amonyak ve hidrojen sülfid gazlarına duyarlı metal-oksit yarı iletken sensörler kullanarak geliştirdiği sistem ile gübredeki N, P, ve K miktarlarını yine çoklu regresyon analizleri sonucunda yüksek korelasyon katsayılarıyla ölçmüşlerdir. Mini-pompalar, sirkülasyon fanları, veri toplama kartı gibi unsurlar kullanılarak sistemin performansı artırılmaya çalışılmıştır.

Buğday danelerinin depolanma sürelerinin belirlenmesi üzerine yapılan iki ayrı araştırmada Zhang ve Wang (2008) ve Pang ve ark. (2008) yapay sinir ağları ve e-burun kullanılarak iyi bir sınıflama performansı sağlanabileceğini ortaya koymuşlardır.

Bu çalışmada aşağıda belirtilen amaçları gerçekleştirmek için kullanılacak teknik ve yöntemler açıklanacaktır.

Amaç 1: Sensörleri kullanarak biyolojik materyallerin bilinmesi istenilen özellikleri hakkında (kalite, bozulma, mikrobiyal faaliyetler, vb.) bilgi sahibi olunmasını sağlayan bir prototip elektronik burun geliştirilmesi.

1. Aşama: Sensör, veri toplama kartı ve diğer gerekli parça ve ekipmanların siparişlerinin verilmesi ve temini.

2. Aşama: Devrelerin ve sistemin taslak çizimlerinin yapılması.

3. Aşama: Nihayi çizimlerin yapılması ve mümkün olan en ekonomik ve boyut olarak en küçük prototipin geliştirilmesi.

Amaç 2: Yapay Sinir Ağları Modeli (ANN)'nin geliştirilebilmesi için örnekleme ve analizlerin yapılması.

1. Aşama: Elektronik burun analizlerine kullanılacak örneklerin toplanıp gruplandırılması ve her bir örneğin iki kısma ayrılarak bir kısmında gerekli laboratuvar analizlerinin yapılması.

2. Aşama: Laboratuvara gönderilen örneği temsil eden diğer kısmında elektronik burun analizlerinin yapılması.

3. Aşama: Laboratuvar analiz sonucu ve elektronik burun okumasına sahip örnekler model geliştirme, doğrulama (validation) ve test aşamalarında kullanılmak üzere 3 kısma ayrılır.

4. Aşama: ANN modelinin geliştirilip test edilmesi

Amaç 3: Yazılım geliştirilmesi.

1. Aşama: Bir önceki aşamada geliştirilen ANN modelinin yazılımının hazırlanması

2. Aşama: Yazılımın elektronik burun sistemini oluşturan donanımla entegre edilmesi

Amaç 4: Geliştirilen prototip'in arazi şartlarında ya da günlük hayatta denemelerinin yapılması.

Materyal ve Yöntem

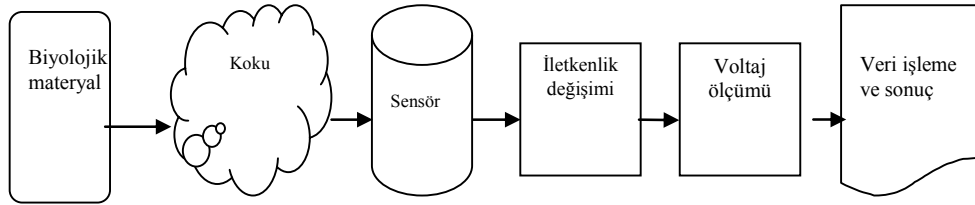
Elektronik burunlar insan koku alma mekanizmasını taklit ederek çalışan sistemlerdir. Oldukça karmaşık bir yapıya sahip olan insan koku alma mekanizmasında reseptör hücreleri kokunun ilk algılandığı yer olmaktadır. Buna karşılık elektronik burun

sistemlerinde sensörler bulunmaktadır. Reseptör hücrelerinden gelen sinyalleri işleyerek koku tanımlaması yapan organ ise beyindir. Elektronik burun sistemlerinde ise beyinin yerini, sofistike patern algılama (Patern Recognition) tekniklerini kullanarak sınıflama yapan bilgisayar sistemleri almaktadır (Barisci ve ark. 1997; Panigrahi ve ark. 2002).

Şu an ticari olarak satılan değişik elektronik burun sistemleri mevcuttur. Bunlardan bazıları; Bloodhound Sensors (Leeds, UK), The zNose (Newbury Park, CA, USA), FOX 2000 (Alpha MOS, France), AromaScanner (AromaScan, UK) and Cyrano Sciences (Pasadena, CA, USA) olarak sıralanabilir. Ancak bu sistemler hem oldukça pahalı, hem de kullanımı zordur (Markom ve ark. 2007). Dolayısıyla amaca yönelik ve daha ucuz sistemlerin geliştirilmesi gerekmektedir. Genel olarak, bir elektronik burun sistemi geliştirmenin amaçları ve bu amaçları gerçekleştirmek için uygulanacak aşamalar aşağıdaki gibi özetlenebilir.

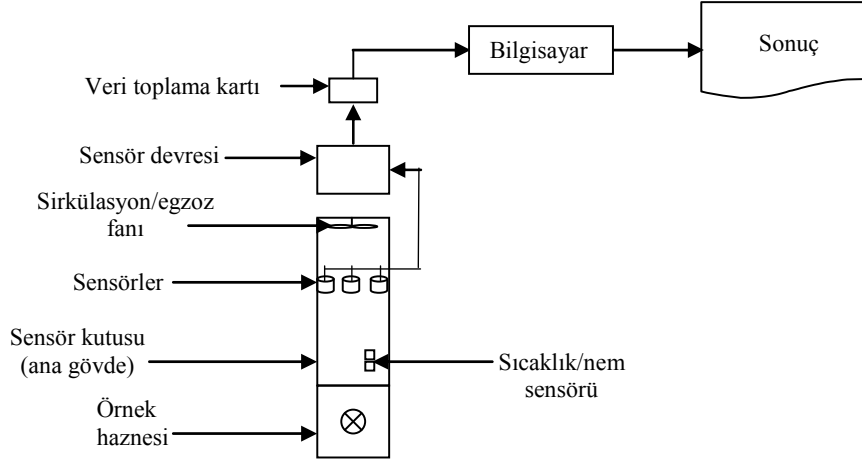
İnsan beyni uçucu kimyasal bileşikleri ayrı ayrı sınıflandırmadan, hepsinin birden etkisini “koku” olarak algılar. Dolayısıyla elektronik burun sistemlerinde kullanılan sensörlerin de çok geniş bir yelpazedeki kimyasallara duyarlılık göstermesi beklenir (Stussi ve ark. 1996).

Elektronik burun sistemlerinde farklı sensör tipleri kullanılmaktadır. Bunların başlıcaları metal-oksit yarı iletkenler (MOS), modifiye metal-oksit yarı iletkenler (MMOS), iletken polimerler (CP), ve iletken oligomerler (CO) sayılabilir. Bu sensörler kokuya maruz kaldıklarında aktif maddelerinin elektrik iletkenlikleri oksidasyondan ya da şişmeden dolayı değişmektedir. Dolayısıyla iletkenlikteki bu değişim sensörden geçen voltaj değerini etkilemektedir. Voltajdaki değişimin basit bir elektrik devresiyle ölçümü ile kokunun şiddeti ve özellikleri hakkında bilgi sahibi olunabilmektedir (Kızıl ve ark. 2001). Gaz sensörlerinin çalışma prensibi Şekil 1’de basitçe şematize edilmiştir.



Şekil 1. Gaz sensörlerinin çalışma prensibi

Elektronik burun sistemi geliştirme aşamasındaki en önemli süreç farklı sensör tiplerinin temini ve her biri için elektrik devrelerin oluşturulmasıdır. Değişik prototip gövdelerinin denenmesi ve mümkün olan en küçük boyutlarda üretilmesi bu aşamanın amacıdır. Bir elektronik burun sistemi Şekil 2’deki gibi şematize edilebilir.



Şekil 2. Geliştirilecek prototip'in şematik gösterimi

Örnek haznesindeki biyolojik materyalden yayılan kokudan dolayı sensörden geçen voltajdaki değişimin ölçüleceği devreler veri toplama kartına, ve veri toplama kartı da bilgisayara bağlanmaktadır. Sensör aktif maddeleri sıcaklık ve nem değişimlerinden etkilenmektedir. Dolayısıyla, farklı sıcaklık derecelerinde ancak aynı şiddetteki kokuya maruz kaldıklarında sensör verileri farklılık gösterebilmektedir. Sıcaklık değişimlerinin olumsuz etkilerini ortadan kaldırmak için devreler, sıcaklık kompensasyonunu sağlayacak biçimde tasarlanmalıdır.

Her bir örneğin sisteme sunulmasından önce ve sonra örnek haznesi içerisinde ve sensör yüzeylerinde kalabilecek gaz moleküllerinin temizlenmesi sistem sirkülasyon fanlarıyla iyice havalandırılmalıdır.

Örnekler hazneye konduktan sonra ya da sisteme sunulduğunda sistem çalıştırılarak (1 – 2 dakika) biyolojik materyalden yayılan kokudan dolayı sensörlerde meydana gelen voltaj değişimi veri toplama kartı ile bilgisayara kaydedilir. Kullanılacak her bir sensör için voltaj değişim eğrileri çıkartılacaktır. Eğrilerin koordinat sisteminin sıfır noktasından geçmesini sağlamak (düzeltmek) için aşağıdaki eşitlik kullanılabilir (Kızıl ve Lindley 2009).

$$V_b : V_i - V_{\min} \quad (1)$$

Eşitlikte,

V_b : herhangi bir saniyedeki (i) düzeltilmiş sensör voltajı

V_i : herhangi bir saniyedeki sensör voltajı

V_{\min} : kaydedilen en küçük voltaj değeri

Kokunun ölçümü sırasında kaydedilen ve düzeltilmiş eğri örnekleri Şekil 3'te gösterilmiştir.

Her bir örnek için ve her bir sensörden elde edilen düzeltilmiş eğrilerin altında kalan alanlar hesaplanır. Bu alanlar ileride laboratuvar ölçümleriyle eşleştirilerek ANN analizleri

yapılacaktır. Düzeltilmiş eğrinin altında kalan alan aşağıdaki eşitlikle hesaplanacaktır (Şekil 4 ve Eşitlik 2).

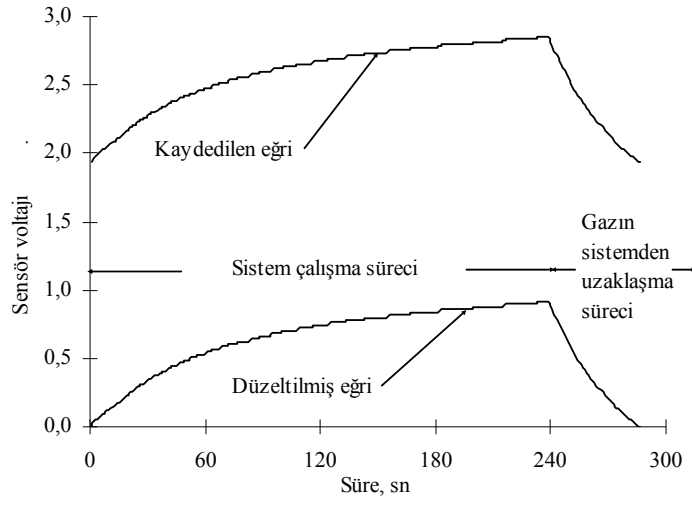
$$A = \sum_{k=1}^{240} f(t_k) \Delta t \quad (2)$$

Eşitlikte;

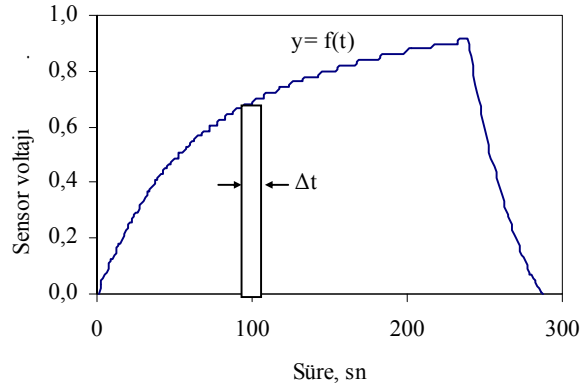
A = eğri altında kalan toplam alan (V.sn)

t = süre, sn

k = eğri altında kalan her bir dikdörtgenin tanımlama numarası



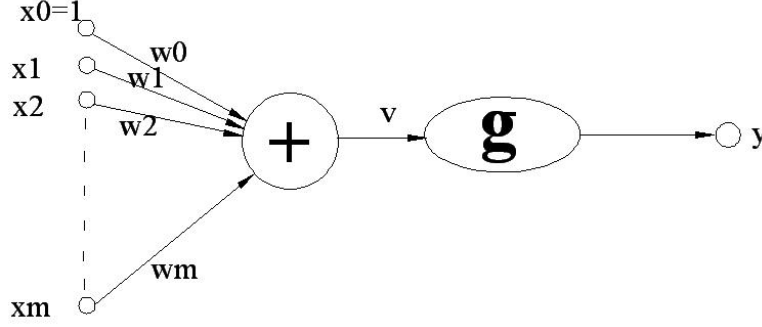
Şekil 3. Kaydedilen ve düzeltilmiş eğriler



Şekil 4. Düzeltilmiş eğrinin altında kalan alanın hesaplanması

Yapay Sinir Ağı Modellerinin Geliştirilmesi

Bir yapay sinir ağı, veri işleme birimlerinin bir araya gelmesinden oluşur (saklı yüz). Bu veri işleme elementleri sisteme ulaşan verileri işleyerek, istenilen sinyal çıktılarının oluşmasını sağlarlar. Sonuçlar veri işleme birimlerinin özellikleri ve ağırlıklarına ve birbirleriyle olan bağlantılarına bağlı olarak değişir. (Şekil 5) (Hammerstrom, 1993).

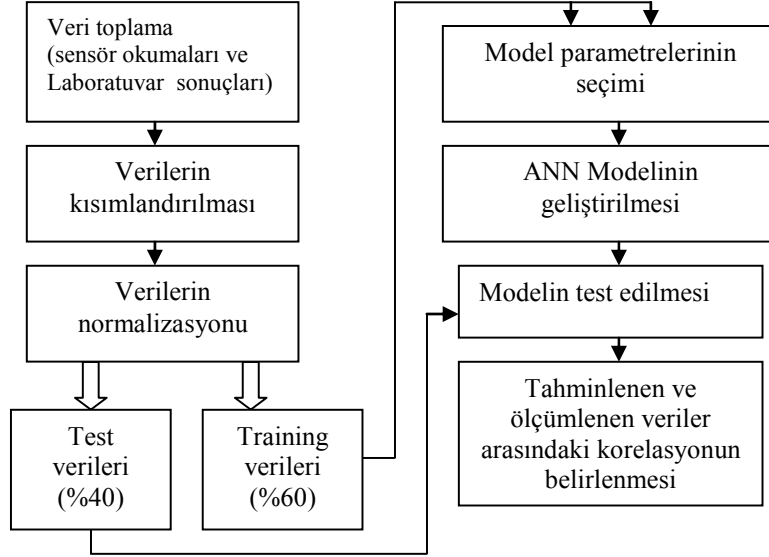


Şekil 5. Yapay Sinir Ağının şematik gösterimi (XLMiner, 2010)

Yapay sinir ağları, gelen verileri işleyerek, daha önce kendisine öğretilen (training) bilgilerle kıyaslama yapar ve yaklaşık olarak öğretilen bilgiyle gelen verinin birbirini ne kadar tuttuğunu hesaplar. Sistemin başarısı, konuyla ya da problemle ilgili örneklerin kendine tanıtılma başarısıyla doğru orantılı olarak artar. Yani, yapay sinir ağı sistemi ne kadar sağlıklı ve çok örnekle eğitilirse, uygulama aşamasında kendisine ulaşan verileri o derece sağlıklı ve hassas olarak tanımlar.

Yapay sinir ağı, biyolojik bir materyalin tanımlanmak istenen her hangi bir özelliğini, o özelliğe sahip belli miktarda örneği tanımlayarak tecrübe kazanır. Gözleri kapalı olan bir insanın elmayı kokusundan tanımlaması bunun için iyi bir örnektir. Hayatı boyunca birçok kez elma yiyen insan, her bir elma yiyişinde beynini eğitmiş olmakta ve beyin gözler kapalı bile olsa önceki tecrübelerinden faydalanarak elmayı tanımlayabilmektedir. Yapay sinir ağları önceden seçilmiş ve tanımlanmak istenen problemin özelliklerine sahip örneklerle eğitilir. Daha sonra sistemin tepkisi gözden geçirilir. Arzulanan hassasiyete ulaşana kadar eğitime devam edilir. Yapay sinir ağları sadece eğitim aşamasında değil, sistem uygulanmaya başlandığında da öğrendiği bilgileri kullanarak hassasiyetini artırır (Cannady, 1998).

ANN modellerinin geliştirilmesinde kullanılacak örneklerin bir kısmı (%50) modelin geliştirilmesi (training) aşamasında kullanılacaktır. Bir kısmı ise (%30) modelin değerlendirilmesinde ve kalan kısım da modelin başarısının test edilmesinde kullanılır. ANN analizleri Şekil 6'de şematize edilmiştir.



Şekil 6. ANN analizlerinin şematik gösterimi

Sonuçlar ve Tartışma

İlerleyen teknolojilerle birlikte, çeşitli ürünlerin kalite ve niteliklerinin belirlenmesinde hızlı ve ekonomik yöntemlerin kullanımı gereksinimine cevap verecek teknikler geliştirilmesine yönelik çalışmalar yapılmaktadır. Farklı biyolojik materyallerin farklı uçucu bileşenlere sahip olmasına dayanarak geliştirilen elektronik burun sistemleri, bu teknikler arasında yerini almıştır. Örneklerden gelen kokular, koku sensörleri tarafından algılanıp, örnek tanımlama yöntemleri ile birbirinden ayrılabilir. Sensörlerin elektrik iletkenlikleri, dolayısıyla voltaj değişmektedir. Bu değişimden yola çıkılarak kokular hakkında bilgi edinmek mümkündür. Kokudan dolayı sensörlerde meydana gelen voltaj değişimi veri toplama kartı ile bilgisayara kaydedilerek voltaj değişim eğrileri çıkartılır. Örnek tanımlama aşamasında kullanılan yapay sinir ağları, daha önceden tanıtılan örneklerin özellikleriyle yeni örneklerin özelliklerini karşılaştırma yoluyla çalışmaktadır. Tarımsal uygulamalarda elektronik burun sistemlerinin kullanımıyla, sağlam ve bozuk ürünler birbirinden ayrılabilir, raf ömürleri belirlenebilir, gübre içeriği tahminlenebilir ve kalite özelliklerinin değerlendirilmesi başarıyla yapılabilir.

Kaynaklar

- Balasubramanian, S., S. Panigrahi, C.M. Louge, M. Marchello, C. Doetkott, H. Gu, J. Sherwood and L. Nolan. 2005. Spoilage identification of beef using an electronic nose system. Transactions of the ASAE, 47(5): 1625-1633.
- Barisci, J., M. Andrew, P. Harris, A. Patridge and G. Wallace. 1997. Development of an electronic nose. Proc. of smart electric nose. SPIE Vol. 3242: 164-171.

- Cannady, J. 1998. Artificial Neural Networks for Misuse Detection. National Information Systems Security Conference.
- Dodd, T.H., S.A. Hale and S.M. Blanchard. 2005. Electronic nose analysis of tilapia storage. *Transactions of the ASAE*, 47(1): 135-140.
- Gomez, A.H., J. Wang and A.G. Pereira. 2007. Mandarin ripeness monitoring and quality attribute evaluation using an electronic nose technique. *American Society of Agricultural and Biological Engineers*. 50(6): 2137-2142.
- Hammerstrom, D. 1993. Working with Neural Networks. *IEEE Spectrum*, July 1993, pp. 46-53
- Kızıl, U. and J.A. Lindley. 2001. Comparison of different techniques in the determination of animal manure characteristics. ASAE/CSAE North Central Sections Conference. Brookings, South Dakota September 28-29, 2001. Paper No: SD 01-106
- Kızıl, U. and J.A. Lindley. 2009. Potential use of gas sensors in beef manure nutrient content estimations. *African Journal of Biotechnology*. 8 (12), 2790-2795
- Kızıl, U., J.A. Lindley and S. Panigrahi. 2001. Determination of manure characteristics using gas sensors. ASAE Annual International Meeting. Sacramento, California July 29-August 1, 2001. Paper No: 01-1024
- Li C. and P.H. Heinemann. 2007. ANN integrated electronic nose and znose system for apple quality evaluation. *Transactions of the ASABE* 50(6): 2285-2294
- Machado R.F., D. Laskowski, O. Deffenderfer, T. Burch, S. Zheng, P.J. Mazzone, T. Mekhail, C. Jennings, J.K. Stoller, J. Pyle, J. Duncan, R.A. Dweik and S.C. Erzurum. 2005. Detection of lung cancer by sensor array analyses of exhaled breath. *Am. J. Respiratory Critical Care Med*. 171: 1286-1291.
- Markom M.A., A.Y. Md. Shakaff, A.H. Adom, N.A. Fikri, S.F. Khan, A.H. Abdullah and C.M.NC Isa. 2007. Development of low cost electronic nose. University Malaysia Perlis. <http://hdl.handle.net/123456789/7454>.
- Ouellette, J. 1999. Electronic noses sniff out new markets. *Industrial Physicist*, 5(1): 26-29.
- Pang, L., J. Wang, X. Lu and H. Yu. 2008. Discrimination of storage age for wheat by e-nose. 51 (5): 1707-1712.
- Panigrahi S., U. Kizil, S. Balasubramanyan, C. Doetkott, C. Logue, M. Marchello, H. Gu, A. Kubiak, L. Nolan, J. Schneider and R. Wiens. 2002. Electronic Nose System for Meat Quality Evaluation. ASAE/CIGR Annual International Meeting. Chicago, Illinois July 28 – 31, 2002. Paper No. 026094.
- Qu, G., J.R.R. Feddes, W.W. Armstrong, R.N. Coleman and J.J. Leonard. 2001. Measuring odor concentration with an electronic nose. *American Society of Agricultural Engineers*, 44(6): 1807-1812.
- Stussi, E.S. Cella, G. Serra, and G. Verier. 1996. Fabrication of conducting polymor patterns for gas sensing by a dry technique. *Materials Science and engineering C4* (1996): 27-33.
- Miner, X.L. 2010. Data Mining Add-In for Excel. User Guide. Statistic.com LLC, Arlington, VA, USA. <http://www.resample.com/xlminer/>

- Younts S, E.C. Alocilja, W.N. Osburn, S. Marquie and D.L. Grooms. 2005. Differentiation of *Escherichia coli* O157:H7 from non-O157:H7 *E. coli* serotypes using a gas sensor-based, computer-controlled detection system. Transactions of the ASAE, 45(5): 1681-1685.
- Zhang, H., J. Wang. 2008. Identification of stored-grain age using electronic nose by ANN. American Society of Agricultural and Biological Engineers 24 (2): 227-231.