

Elektronik Burun Metal Oksit Yarı İletken Sensörlerin Gıda Analizlerinde Kullanımı

Yasemin İncegül¹  ✉, Gülcan Özkan² , Ali Can İncegül³ , Kubilay Taşdelen³ 

¹Aksaray Üniversitesi, Güzelyurt Meslek Yüksekokulu, Gıda İşleme Bölümü, Güzelyurt, Aksaray

²Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Isparta

³Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Isparta

Geliş Tarihi (Received): 07.07.2020, Kabul Tarihi (Accepted): 20.10.2022

✉ Yazışmalardan Sorumlu Yazar (Corresponding author): yaseminincegul@aksaray.edu.tr (Y. İncegül)

☎ 0 382 288 38 70 📠 0 382 288 38 99

ÖZ

Son yıllarda gıdaların kalite özelliklerinin belirlenmesinde hızlı ve ekonomik teknikler geliştirilmesine yönelik çalışmalara artan ilgi nedeniyle, elektronik burun sistemlerine olan talep artmış ve bu sistemler hızlı teknikler arasında yerini almıştır. İnsan koku alma mekanizmasını taklit eden elektronik burun sistemlerinde farklı teknolojiler için farklı tiplerde tasarlanmış gaz sensörleri bulunmaktadır. Bu sensörlerden iletkenlik ölçümüne dayalı metal oksit yarı iletken gaz sensörleri (MOS) hızlı tepki vermesi, ucuz, sağlam ve portatif olmaları nedeniyle tıp, kimya, ziraat ile gıda sektöründe geniş kullanım alanı bulmuştur. Gıdaların kalitesi, raf ömrü, depolanması, mikrobiyal kontaminasyonu, bozulması, taşıması ve sınıflandırılması elektronik burun teknolojisi yoluyla yürütülen çalışmalar arasındadır. Elektronik burun metal oksit yarı iletken gaz sensörleri, mevcut gıda analizlerine bir alternatif oluşturmuş ve sonuçları doğrulama olanağı sağlamıştır. Bu derlemede elektronik burun metal oksit yarı iletken sensörleri ve özellikle gıda analizlerinde bu sensörlerin yardımıyla gerçekleştirilen bilimsel çalışmaların özetlenmesi amaçlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Metal oksit, Sensör, Elektronik burun, Gıda

Use of Electronic Nose Metal Oxide Semiconductor Sensors in Food Analysis

ABSTRACT

In recent years, demand for electronic nose systems has increased and has taken its place among the fast techniques due to increasing interest in the studies for developing fast and economic techniques in determining the quality properties of foods. Electronic nose systems that mimic the human olfactory mechanism have gas sensors designed for different technologies in different types. Metal oxide semiconductor gas sensors (MOS) based on conductivity measurement from these gas sensors has found wide usage in medicine, chemistry, agriculture, and food sector due to its rapid response, cheapness, robustness, and portability. Food quality, shelf life, storage, microbial contamination, degradation, adulteration, and classification are among the studies carried out by means of electronic nose technology. The use of electronic nose metal oxide semiconductor gas sensors can be an alternative to existing food analyses and provide an opportunity to verify their results. In this review, it is aimed to summarize electronic nose metal oxide semiconductor sensors and especially scientific studies carried out by these sensors in food analyses.

Keywords: Metal oxide, Sensor, Electronic nose, Food

ELEKTRONİK BURUN ve METAL OKSİT YARI İLETKEN SENSÖRLER

Sensör, Uluslararası Temel ve Uygulamalı Kimya Birliği (International Union of Pure and Applied Chemistry, IUPAC) tarafından, "kimyasal bir bileşiğe karşı verilen biyolojik yanıtı optik, termal ya da elektriksel sinyallere dönüştüren cihaz" olarak tanımlanmaktadır [1].

Birçok alanda nicel ve nitel araştırmalarda kullanılan sensörler kullanıcıya büyük avantaj sağlayan elektronik burun sisteminin temellerini atmıştır. Elektronik burun terimi 1980'li yıllarda kullanılsa da bu konu ile ilgili çalışmalar 1960'lı yıllara dayanmaktadır [2]. Ticari olarak üretime ise 1994'te başlamıştır. İlk zamanlar basit bir model olarak ortaya çıkan elektronik burun zamanla karmaşık ve ihtiyaçlara ve araştırmalara bağlı olarak daha kompleks bir hal almıştır [3].

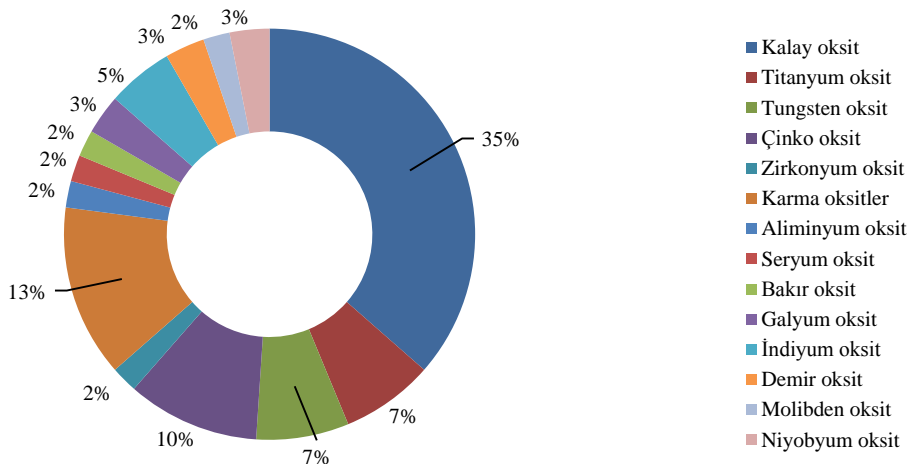
Sensör teknolojisi, elektronik, biyokimya ve yapay zeka alanındaki gelişmeler, uygulamalar için kaynaklardan salınan uçucu bileşenleri ölçüp, karakterize edebilen cihazlar gelişmesine imkan sağlamıştır. Elektronik burun (E-burun) olarak bilinen bu cihazlar, memeli koku alma sistemini taklit ederek tasarlanmıştır [4]. Elektronik burunda bulunan kimyasal reseptörler insan burnundaki koku reseptörlerine, yapay sinir ağları ise koku soğancığın denklemlerine gelmektedir. Elektronik burunun zararlı ve kötü gaz tespitinde kullanılması yanı sıra, operatör yorgunluğunu ortadan kaldırarak, aroma karışımlarının tanımlanmasında ve sınıflandırılmasında tekrarlanabilir ölçümler vermesi insan burnuna yönelik avantajlarıdır [5]. Elektronik burun sistemi, uçucu aromatik molekülleri kaynaktan sensör dizi sistemine aktaran aroma dağıtım sistemi, sensör dizisinin bulunduğu bir oda, kimyasal sinyal elektrik sinyaline dönüştüren ve güçlendiren elektronik transistör, elektrik sinyalini dijital sinyale dönüştüren dijital dönüştürücü, dijital sinyali okuyan, çıktıyı görüntüleyen bir bilgisayar mikro işlemcisi ve referans kitaplıktan oluşmaktadır [6,7]. Sensörler molekül farklılığına göre seçicilik gösterirler.

Sensörde meydana gelen tepkiler iletkenlik veya akım gibi bazı fiziksel parametrelerin değişimine sebep olarak sayısal veriler ortaya koyarlar [8].

Gaz sensörleri yanıcı ve toksik gazların tespiti yanı sıra, enerji tasarrufu, çevre, endüstri, tıp ve gıda alanı olmak üzere birçok alanda kullanımına sahiptir [9]. Gaz sensörlerinin ucuz, güvenilir, portatif olması ve az enerji tüketmesi geniş kullanım alanı bulmasına ve yenilikçi çalışmalar ile geliştirilmesine olanak sağlamıştır. Yürütülen çalışmalar ile gerekli yüzey ve yığın özelliklerine sahip daha uygun malzeme araştırması yapılarak, daha yüksek seçiciliğe ve hassasiyete sahip gaz sensörleri geliştirilmektedir [10].

Farklı teknolojilerde farklı amaçlarla üretilmiş gaz sensörleri bulunmaktadır. Bunlardan bazıları, metal oksit yarı iletken sensörler (MOS), katalitik yanma gaz sensörleri, elektro kimyasal gaz sensörleri, termal iletkenlik gaz sensörleri ve kızılötesi absorpsiyon gaz sensörleridir [11]. Bu sensörler hassaslık, doğruluk, maliyet, belirleme hızı ve stabilite bakımından karşılaştırıldığında metal oksit yarı iletkenlerin çoğu özellik bakımından iyi durumda olduğu görülmektedir [12]. Metal oksit yarı iletken sensörlerin yüksek hassasiyeti, düşük maliyeti, basitliği, üretim esnekliği ve modern elektronik cihazlarla uyumlu oluşu bu ürünlerin kullanım alanını genişletmiştir ve bu sensörler gaz sensör pazarının önemli bir bölümünü oluşturmaktadır [13].

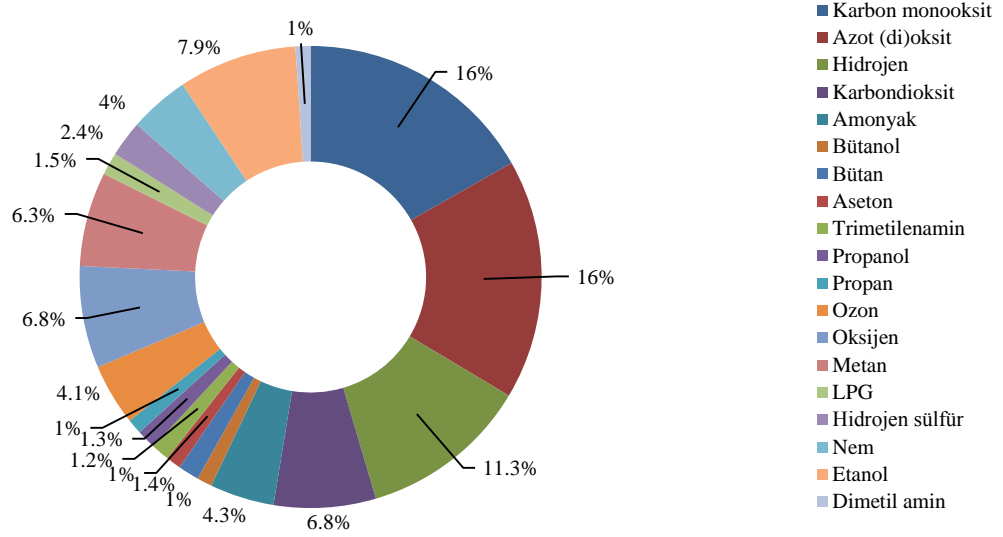
Metal oksit yarı iletken sensörlerin üretimi belirli bir substratın üzeri metal oksit yarı iletken film ile kaplanarak gerçekleştirilir [16]. Kalay oksit, çinko oksit, titanyum oksit, tungsten oksit ve ikili, üçlü kombine metaller kullanılan başlıca kaplama materyalleridir. Kaplama materyalinin hassas olduğu belirli gazlar ve bu gazları belirleme sıcaklıkları vardır. Gaz sensör uygulamalarında kullanılan metal oksit yarı iletkenleri ve belirlenen gazlar sırası ile Şekil 1 ve 2'de verilmiştir.



Şekil 1. Gaz sensör uygulamalarında kullanılan metal oksit yüzdeleri [10]
Figure 1. Percentages of metal oxide uses in gas sensor applications [10]

Metal oksit gaz sensörü üretiminde en çok kullanılan metal, kalay oksittir (SnO_2). Kalay oksitin yüksek hassasiyetli ve düşük fiyatlı oluşu birçok araştırma yapılmasına olanak sağlamış ve böylece en fazla çalışılan gaz sensör materyali olmuştur [10]. Kalay, kalay oksit (SnO_2) ve kalay dioksit (SnO) oluşumları şeklinde kullanılmaktadır. Materyalin cinsine, sıcaklığa ve çevrelenen gaza göre tespit limiti değişmektedir. Çoğu gaz ppb ve ppm seviyelerinde belirlenebilmektedir. Kalay oksitin farklı gazlara olan ilgisi ve belirleme sıcaklık aralığı H_2 (25-650°C), $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ (25-500°C), CO (131-570°C), NO_x (131-525°C), CH_4 (200-320°C), SO_2 (200-500°C), H_2S (300-450°C), ve CO_2 için (450-500°C) şeklinde sıralanabilir [10].

Sensörlerin gaz algılama özellikleri kadmiyum (Cd), bizmut oksit (Bi_2O_3) gibi asil metal veya metal oksit ilavesi ile değiştirilebilmektedir. İlave edilen maddeler sayesinde diğer gazlara olan seçicilik azaltılarak hedef gaza olan hassasiyet artırılabilir ve çalışma sıcaklığı düşürülebilir [14]. Paladyum ve platin gibi katalitik metalikler kalay oksit sensörlerin seçicilik ve tepkisini artırmak için sıklıkla kullanılmaktadır [15]. Metallerin birbiri üzerinde sinerjistik etkisi olmasından dolayı metal kompozisyonları en çok kullanılan ikinci sınıfı oluşturmaktadır. Kalay oksitin 5 ppm etanole duyarlılığı %30'larda iken indiyum oksit ile kompozisyonunda bu oran %60 civarında bulunmuştur [16].



Şekil 2. Metal oksit sensörler kullanılarak belirlenen gaz yüzdeleri
Figure 2. Gas percentages determined by using metal oxide sensors

Şekil 2 incelendiğinde, gaz sensörü karbon monoksit, azot oksit ve türevleri gibi kirletici gazların tespitinde yüksek oranda kullanılırken, nitrit (NO), nitrit dioksit (NO_2), karbon monoksit (CO), karbon dioksit (CO_2), hidrojen sülfür (H_2S), kükürt dioksit (S_2O), ozon (O_3), amonyak (NH_3), metan (CH_4) ve propan (C_3H_8) gaz sensörleri ile belirlenen gazlar arasındadır [10].

Metal oksit dedektörler ile gazların yanında kalay oksit (SnO_2) filmi kullanılarak farklı hidrokarbonların ayrımının gerçekleştirildiği çalışmalar da mevcuttur. Metal oksit yarı iletken sensör kullanılarak metil, etil, izopropil ve bütil alkol tayini de gerçekleştirilmektedir. Kalay oksidin, metanol, etanol, bütanol ve asetona tepki verdiği belirlenmiştir [17]. Uçucu bileşenler eser miktarda bulunduğu için MOS ile belirlenmesi yüksek oranda bulunan bileşenlere göre nispeten daha zordur [18].

Sıcaklık, metal oksit gaz sensörlerinin çalışmasını etkileyen önemli bir faktördür. Metal oksit yarı iletken gaz sensörleri düşük ve yüksek sıcaklıkta çalışma mekanizmasına göre iki sınıfa ayrılmaktadır. Düşük sıcaklıklarda (<100°C), su moleküllerinin düşük buhar basıncı oksidatif kimyasal reaksiyonları inhibe ettiği için

oksit yüzeyindeki reaksiyon yavaşlamaktadır [19]. Kalay oksit (SnO_2) ve çinko oksit (ZnO) düşük sıcaklıkta (400°C-600°C) çalışırken, titanyum dioksit (TiO_2), seryum dioksit (CeO_2) ve niyobyum pentoksit (Nb_2O_5) yüksek sıcaklıkta (>700°C) çalışan metal oksitlerdir [20]. Sıcaklık değişimine göre gaz tepkisi incelendiğinde, belli bir sıcaklığa kadar artarak maksimuma ulaştığı ve sıcaklık artışı devam etmesi durumunda tekrar azaldığı belirlenmiştir [21].

Elektriksel direnç yanıtlarına göre metal oksit yarı iletken sensörler n-tipi ve p-tipi olmak üzere temelde iki farklı gruba ayrılır [22]. N-tipi metal oksit yarı iletkenler en yaygın kullanılan sensörlerdir. Prensipte olarak, gaz tipine göre, n-tipi ve p-tipi sensörlerde farklı cevaplar meydana gelmektedir. Hidrojen, karbon monoksit ve etanol gibi indirgeyici gazlar n-tipi sensörlerde (SnO_2) rezistansın düşüşüne sebep olurken, p-tipi sensörlerde (Cu_2O) artışa sebep olurlar. Oksijen ve kükürt dioksit gibi okside edici gazlar ise indirgeyicilerin aksine n-tipinde artışa, p-tipinde azalışa sebep olarak metal oksitlerin yüzeyine bağlanırlar [23]. Sensör tiplerinin ilgili gaza olan direnç değişimi Tablo 1'de özetlenmiştir.

Tablo 1. Gaz tipine göre sensörlerdeki direnç değişimi
Table 1. Changes in resistance of sensors according to gas type

Gaz türü	N-tip yarı iletken sensör (ZnO, SnO ₂ , TiO ₂ , WO ₃ , In ₂ O ₃)	P-tip yarı iletken sensör (Cu ₂ O, Co ₃ O ₄ , Cr ₂ O ₃ , Mn ₃ O ₄ , NiO)
İndirgeyici gaz (H ₂ , CO, CH ₄ , etanol, aseton)	Azalır	Artar
Okside edici gaz (O ₂ , O ₃ , NO _x , SO ₂)	Artar	Azalır

Metal oksit gaz sensörleri serigrafi ve spin kaplama gibi çeşitli baskılama yöntemleri kullanılarak ince film ve kalın film olarak iki şekilde üretilmektedir. İnce filmlerde film kalınlığı 6-1,000 nm iken, kalın filmlerde 10-300 µm aralığındadır [3]. Gaz sensörlerinin hassaslığı kullanılan filmin kalınlığına, sensörün çalışma sıcaklığına ve tanelerin iriliğine göre değişmektedir. İnce filmlerin hassasiyeti daha yüksektir ve tanıma işlemi daha kısa sürede gerçekleştirirler [10]. Tane boyutunun değişmesi sensörün hassasiyetini önemli ölçüde etkilemektedir. Küçük taneli sensör seçiciliğini artırmakta, fakat çok küçük taneli yapıda, yapısal olarak deformasyonlar meydana geleceğinden dolayı sensörün raf ömrü etkilenmektedir [24].

Metal oksit sensör, yarı iletken parçacıkların yüzeylerindeki kimyasal maddeyi tanıyan reseptör ve yarı iletken yüzey üzerindeki kimyasal sinyali algılayan, iletken malzemenin mikro yapısı boyunca iletken dönüştürücü olmak üzere iki fonksiyondan oluşmaktadır [10]. Sensörlerin çalışma mekanizması incelendiğinde sensörün tepki vermesinin temelinde yatan etkenin sensör direncindeki değişim olduğu görülmektedir. Ölçüm esnasında, uçucu moleküller, yarı iletkenin yüzeyine tutunarak, oksijen türleri ile etkileşime girer ve sensör direncinde değişim meydana getirirler [25]. Bu aşamada büyüklüğü hedef gazın konsantrasyonuna bağlı olan bir sensör sinyali oluşmaktadır. Oluşan sensör sinyali sinyal işleme ve desen tanıma biriminde işlenerek materyal sınıflandırılması gerçekleştirilir [26].

Son yıllardaki pratik sensör uygulamaları analitik uygulamalar ile karşılaştırıldığında sensörlerin daha küçük boyutlu, uygun fiyatlı ve yüksek oranda hassasiyete sahip alternatif ölçüm olanağı sunduğu görülmektedir.

GIDA ANALİZLERİNDE KULLANIMI

Teknolojinin gelişmesi ile tüketicilerin sağlıklı ve güvenilir gıdaya olan talebi artmaktadır. Tüketici talebi ile üretim hızlanmakta ve gerekli gıda kontrollerinin sisteme ayak uydurabilmesi için daha hızlı bir şekilde gerçekleştirilmesi gerekmektedir. Gıdanın bünyesinde bulunan birçok uçucu bileşenden dolayı analiz işlemleri uzun zaman almaktadır. Gıda kalitesinin izlenmesinde pH, renk ve spektrofotometrik (FTIR, NIR, UV-Vis) yöntemler kullanılırken uçucu bileşen analizlerinde gaz kromatografisi (GC, GC-MS) kullanılmaktadır [27]. Bu analiz yöntemleri gıda bileşenlerinin detayı hakkında bilgi verip, yeni formülasyonların geliştirilmesi için önemli bir yere sahipken, çok zaman alması ve pahalı olması dezavantajlarıdır. Uzun süren analiz yöntemlerinin bazı gıda hatlarında göz ardı edilmesi ürün kalitesini önemli ölçüde etkilemektedir. Bu nedenle hassasiyeti yüksek,

maliyeti düşük ve kısa sürede gerçekleştirilecek yeni gıda kontrol analiz yöntemlerinin karakterize edilmesi gerekmektedir. Elektronik burun gıda sektöründe bu açığı kapatabilecek hızlı analiz yöntemlerinden bir tanesidir [28]. Elektronik burun çoğu gıdada tespit ve sınıflandırma amacı ile kullanılmıştır.

Sensör dizisinden elde edilen sonuçlar karmaşık bir veri kümesi sunmaktadır. Materyaller arasındaki fark çok küçük olabileceğinden sensör yanıtındaki analitik sinyaller de birbirine çok yakın olabilmektedir. Bu nedenle elde edilen sinyallerin doğru bir şekilde işlenip yorumlanabilmesi için veri analizi gerekmektedir [29]. Veri analizi verileri sınıflandırarak veri kümesindeki benzerlik ve farklılıkların daha iyi ayırt edilmesine olanak sağlamaktadır. Principal Component Analysis (PCA), Linear Discriminant Analysis (LDA), Support Vector Machines (SVM), Artificial Neural Networks (ANN), Cluster Analysis (CA), Discriminant Partial Least-Squares Regression (DPLSR), Partial Least Squares Analysis (PLS), Partial Least Squares-Linear Discriminant Analysis (PLS-LDA), Discriminant Factor Analysis (DFA), The Back Propagation Neural Network (BPNN), Generalized Regression Neural Network (GRNN), Canonical Discriminant Analysis (CDA), Back-Propagation Artificial Neural Network (BP-ANN), Fisher Linear Discriminant Analysis (FLDA), Multilayer Perceptron Neural Networks Analysis (MLPN), Quadratic Discriminant Analysis (QDA), Hierarchical Clustering Analysis (HCA), Canonical Discriminant Analysis (CANDISC) ve Discriminant Analysis and Classification (DISCRIM) kullanılan başlıca veri işleme analiz yöntemleridir [30].

Süt ve Süt Ürünleri Teknolojisi

Elektronik burun metal oksit sensörleri süt ve süt ürünlerinde kalite belirleme, mikrobiyal yük, kötü koku, olgunlaşma, raf ömrü, mastitis, UHT ve pastörize süt ayrımı, tereyağı ayrımı ve farklı peynirlerin sınıflandırılmasında kullanılmıştır. Yürütülen çalışmalar Tablo 2'de verilmiştir.

Ketozisli ineklerin teşhisinde metan, dimetil sülfür, bütan-2-1 ve propanon (aseton) gazları referans alınmıştır. Hastalık teşhisinde daha maliyetli olan Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Spektroskopisi (FTIR) ve Gaz Kromatografisi-Kütle Spektrometresi (GC-MS) kimyasal yöntemleri kullanılabilir. Hastalık süt ve kanın laboratuvar testleri sonucunda da belirlenebilmektedir fakat sensöre dayalı yöntemlere göre, daha fazla zaman gerekirken, işlem kısmı zor ve hayvana bizzat müdahale olduğu için otomatik olarak uygulanması sınırlıdır [31].

Tablo 2. Süt ve süt ürünlerinde metal oksit yarı iletken gaz sensörlerin kullanımı

Table 2. Use of metal oxide semiconductor gas sensors in milk and dairy products

Materyal	Amaç	Sensör adedi	Veri işleme	Referans
İnek nefesi	Ketozisli inekleri ayırma	6	PCA, CA	[31]
Süt	Kalite belirlenmesi	4	PCA	[32]
Süt	Raf ömrü	18	PCA	[33]
Süt	Mastitis ayırımı	12	DPLSR, ANN	[34]
Süt	UHT-Pastörize ayırımı	4	PCA	[35]
Süt	Ransidite seviyesi	5	PCA	[36]
Süt	UHT ayırma	10	PCA, LDA	[37]
Süt	Ayırma	7	PCA, SVM	[38]
Süt-Yoğurt	Ayırma	-	CA	[39]
Süt	Ayırma	18	PCA	[40]
Tereyağı	Ayırma	10	PLS-LDA	[41]
Süt	Ayırma	6	DFA	[42]
Peynir	Olgunluk	12	PCA	[43]
Peynir	Sınıflandırma	8	PCA	[44]
Peynir	Sınıflandırma	6	ANN	[45]
Peynir	Ayırma	6	CA	[46]

Sütün raf ömrünün araştırıldığı çalışmada süt örnekleri oda sıcaklığı ve 5°C'de depolanmış ve elektronik burnun mikrobiyal artış ile paralel şekilde sütte ki bozulmayı belirleyebildiği ifade edilmiştir [33]. Yürütülen diğer bir çalışmada mastitisli sütün teşhisinde karbondioksit gaz sensörü ile kombin edilmiş elektronik burun sistemi kullanılmıştır. Çalışmada elektronik burnun ayırım mekanizmasının anlaşılabilmesi için GC-MS ile var olan uçucu bileşenler tespit edilmiştir. Mastitis ile süt içeriğinin ve canlı sayısının önemli oranda değişmesi elektronik burnun da algılayabildiği olası kimyasallarda değişikliğe sebep olduğu, böylece hızlı şekilde sağlıklı ve mastitisli sütün ayrılabilceği yorumlanmıştır [34].

Süte uygulanan farklı sıcaklık uygulamalarının ayırımında elektronik burun kullanımı diğer bir alandır. Süte uygulanan sıcaklık derecesi ve süresine bağlı olarak sütün aroması ve kokusu değişmektedir, bu değişiklikler baz alınarak ayrımlar başarılı bir şekilde gerçekleştirilmiştir [38,40].

Et Teknolojisi

Et sektöründe de elektronik burun kullanımı güvenilir ve yaygın bir analiz yöntemidir. Son 20 yılda elektronik burun ile et üzerine yapılan çalışmalar artış göstermiştir ve daha çok tazelik, sınıflandırılma, mikrobiyoloji, kalite ve lezzet çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen çalışmalar Tablo 3'te verilmiştir.

Tablo 3. Et ve et ürünlerinde metal oksit yarı iletken gaz sensörlerin kullanımı

Table 3. Use of metal oxide semiconductor gas sensors in meat and meat products

Materyal	Amaç	Sensör adedi	Veri işleme	Referans
Balık	Tazelik	4	PCA, SVM, PLS	[47]
Ahtapot	Formaldehit tespiti	6	DFA	[48]
Domuz eti	Tazelik	-	LDA	[49]
Sığır eti	Tazelik	12	BPNN, GRNN	[50]
Domuz eti	Bakteriyel yük	18	PLS-SVM	[51]
Domuz eti	Hile	10	CDA, BDA	[52]
Domuz eti	Tazelik	11	BPNN	[53]
Tavuk eti	Bakteriyel yük	8	PCA, BPNN	[54]
Kuru domuz eti	Okratoksin tespiti	12	DFA	[55]
Sığır eti		10	RMLA	[56]
Koyun eti/Ördek eti	Tağışış	10	MLPN, FLDA, PLS, LDA	[57]
Domuz kaburgası	Aroma, E-burun etkinliği	10	PCA	[58]
Sığır eti, tavuk eti	Tazelik	4	PCA, SVM, PLS	[59]
Balık	Uçucu bileşen / kurutma yöntemi	10	CA	[60]

Et sektöründe elektronik burun genellikle etlerin tazeliğinin belirlenmesinde kullanılmıştır (Tablo 3). Bu çalışmalarda balık, domuz ve sığır eti gibi farklı et kaynakları kullanılmıştır. Hızlı mikrobiyal artış ve lipid oksidasyonu sonucu etin tadı ve aroması değişmektedir. Yürütülen çalışmalar ile bozulmayla paralel şekilde elektronik bir ayırım yapılabildiği ifade edilmektedir. Altın pompano filetosuna farklı kurutma işlemleri uygulanarak etkileri elektronik burun ve elektronik dil ile kombine edilen eşzamanlı damıtma ekstraksiyonu ve GC-MS ile irdelenmiştir. Kurutulmuş filetolara 86 adet uçucu

bileşen olduğu ve elektronik cihazların bu bileşenleri ayırt edebildiği sonucu çıkarılmıştır [60]. Araştırmalar genel olarak incelendiğinde et tazelik, sınıflandırılma, mikrobiyoloji, kalite ve lezzet analizlerinde elektronik burun ve elektronik dil kullanımı ve GC-MS gibi nispeten zahmetli fakat güvenli bir teknikle alınan bu sonuçların doğrulanması ile başarılı sonuçlar alındığı saptanmıştır. Ancak, çalışmalarda dezavantaj olarak ortam sıcaklığı ve nemi gibi dış faktörlerin sensör hassasiyetini azalttığı ve tekrarlanabilirliği düşürdüğü bildirilmiştir. Eğer sensör hassasiyetini azaltan dış faktörler kontrol altında

tutulabilirse, özellikle hızlı bir teknik olan elektronik burnun et sektöründe pratik ve güvenli bir yöntem olarak kullanılabilirliği görülmektedir.

Bitkisel Yağ Teknolojisi

Bitkisel yağ kalitesi meyvenin durumu, yetiştirme koşulları, hasat zamanı, depolanması, ekstraksiyon koşulları ve işlenmesi ile yakından ilişkilidir. Yağ bileşiminde aromadan sorumlu birçok uçucu bileşen bulunmaktadır. Yağın aroma tayini duyu analizi ve gaz kromatografisi ile gerçekleştirilebilirken 1990'larda alternatif ve hızlı bir yöntem olan elektronik burnun tayin metodlarına dahil

olmuştur. Elektronik burnun kullanılarak yağda aroma, taşıma, kalite, oksidasyon ve sınıflandırma çalışmaları gerçekleştirilmiştir ve bu çalışmalar Tablo 4'te verilmiştir.

Kemometrik teknikler gıda alanında ve analitik kimyada gittikçe yaygın kullanım alanı bulmaktadır. Gıdaların tazeliği, kalitesi, orijini, sınıflandırılması, hilelerin belirlenmesi ve aromasının belirlenmesi bu uygulamalardan bazılarıdır. Elektronik burnun yağ teknolojisi üzerine yürütülen çalışmaları incelendiğinde çoğunlukla hile, oksidasyon ile coğrafi orijin analizleri göze çarpmaktadır (Tablo 4).

Tablo 4. Bitkisel yağlarda metal oksit yarı iletken gaz sensörlerin kullanımı

Table 4. Use of metal oxide semiconductor gas sensors in vegetable oil

Materyal	Amaç	Sensör adedi	Veri işleme	Referans
Zeytinyağı	Oksidasyon	6	LDA	[61]
Zeytinyağı	Oksidasyon	22	LDA	[62]
Zeytinyağı	Oksidasyon	22	PCA	[63]
Kolza	Oksidasyon	6	PCA, PLS	[64]
Çoklu bitkisel yağ	Oksidasyon	10	PCA, LDA, CA	[65]
Ayçiçek	Oksidasyon	18	PCA	[66]
Ayçiçek	Oksidasyon	18	PCA	[67]
Zeytinyağı	Orijin	22	PCA, CP-ANN	[68]
Zeytinyağı	Orijin/Sınıflandırma	15	PCA	[69]
Susam yağı	Sınıflandırma	6	PCA	[70]
Zeytinyağı	Orijin	25	PCA, CA, SVM	[71]
Zeytinyağı	Orijin	6	PCA, LDA	[72]
Zeytinyağı	Hile	12	LDA, QDA, ANN	[73]
Zeytinyağı/Fındık yağı	Hile	6	PCA	[74]
Kanola Yağı/Ayçiçek yağı	Hile	6	PCA, PLS	[75]
Argan yağı	Hile	25	PCA, DFA, SVM	[76]
Kamelya tohum yağı/Susam yağı/Mısır yağı	Hile	10	PCA, LDA, ANN	[77]
Zeytinyağı	Kusur	6	LDA, ANN	[78]
Hindistan cevizi yağı	Ransidite	8	PCA	[79]

Zeytinyağlarında oksidasyonun belirlendiği çalışmada, taze ve olgunlaştırılmıştır sızma zeytinyağı farklı depolama şartları ve periyotlarında tutularak elektronik burnun ve elektronik dil ile analiz edilmiş ve linear discriminant analysis (LDA) ile sınıflandırma yapılmıştır. Klasik yöntemler ve elektronik dil sonuçları LDA ile açık bir şekilde yorumlanamaz iken elektronik burnun çalışma sonuçlarının net bir şekilde yorumlanabildiği ve oksidasyon derecesini ayırdığı, aynı zamanda klasik yöntemlere göre daha hızlı, kolay ve ekonomik sonuç verdiği ifade edilmiştir [62].

Zeytinyağlarının coğrafi orijini üzerine yapılan diğer çalışmalarda ise farklı merkezlerden hammaddeler temin edilen zeytinyağlarının elektronik dil ve elektronik burnun kombin edilerek ölçümleri alınmıştır ve başarılı bir ayırım gerçekleştirilmiştir. Ancak, daha sağlıklı güvenilir sonuçlar alınabilmesi için çalışmalar esnasında yağın koku ve aromasını etkileyen dış faktörler ve ortam şartları gibi parametrelerin sabit tutulması gerekmektedir [71, 72].

Yağlarda yapılan hilelerin tespiti için elektronik burnun kullanımı ise diğer bir uygulamadır. Bu araştırmalarda elektronik urun sinyallerinin her yağda farklı olduğu böylece yağa ilave edilen farklı yağların sinyallerde değişime sebep olarak tespit olanağı bulunduğu belirlenmiştir [77]. Aynı zamanda, yapılan çalışmalarda

farklı algoritmalarla farklı yüzdesel sonuçlar elde edilebileceği hatta kimi materyalde sonuç alınırken kimisinde ayırım yapılamadığı bildirilmiştir. Örneğin yapay sinir ağları ile yorumlanan bir çalışmada elektronik burnun susam yağında hileyi belirlerken kamelya tohumu yağındaki hile yüzdesini belirleyemediği bulunmuştur. Yağ hile analizlerinde, elektronik burnun güvenilir bir şekilde kullanılabilmesi için daha fazla algoritma çalışması yapılmalı ve hile analizleri için yağlara göre doğru algoritmaların seçilmesi gerekmektedir.

Diğer bir çalışmada elektronik burnun yağdaki kötü, çamurlu, küflü, ransit ve şarapsı kusurları belirlemede kullanılmış ve E-burun yanı sıra duyu analizi değerlendirilmelerinde gerçekleştirilmiştir. Elektronik burnun yağlarda bu yaygın defektleri özellikle kaçınarak başarılı bir şekilde belirleyebildiği ve ilerisi için E-burun ile kombineli panelistlerin kullanılabilirliği böylece değerlendirilmelerde insan etkisinin minimum seviyeye düşürülerek doğrulanmış bir analiz sonucunun elde edilebileceği ifade edilmiştir [78].

Tahıl ve Unlu Mamuller Teknolojisi

Un ve mamulleri toplumun çoğu tarafından tüketilen temel besin öğesidir ve bozulmaya oldukça elverişlidir, bu sebeple tahılların sınıflandırılması, depolanması,

mikrobiyolojik kalitesi ve ekmeğe işlenmesi hem üretici hem tüketici açısından önem arz etmektedir. Tahıl analizlerinde elektronik burun hızlı cevap veren yeni bir

yöntem olarak yerini almıştır ve bu amaçlar doğrultusunda yürütülen çalışmalar Tablo 5'te derlenmiştir.

Tablo 5. Unlu mamul ve tahıllarda metal oksit yarı iletken gaz sensörlerin kullanımı

Table 5. Use of metal oxide semiconductor gas sensors in bakery products and cereals

Materyal	Amaç	Sensör adedi	Veri işleme	Referans
Ekmek	Ayırma	10	HCA	[80]
Ekmek	Ayırma	12	CANDISC, DISCRIM	[81]
Bisküvi	Ayırma	10	PCA	[82]
Bebek tahıl ürünleri	Ayırma	16	PCA, SQC	[83]
Bisküvi	Pişirme Derecesi	10	PCA	[84]
Ekmek	Pişirme Derecesi	4	PCA	[85]
Buğday unu	Aroma	-	PCA	[86]
Buğday	Depolama	15	PCA, MLP	[87]
Buğday	Maya incelemesi	6	PCA	[88]
Çeltik-Mısır	Mikroorganizma belirleme	8	PCA	[89]
Makarnalık buğday	Mikotoksin belirleme	12	-	[90]
Mısır	Mikotoksin belirleme	6	PCA, PLS	[91]
Mısır	Mikotoksin belirleme	10	PCA	[92]
Makarnalık buğday	Mikotoksin belirleme	12	DFA	[93]
Yulaf ezmesi	Lipit oksidasyonu	-	PCA, SIMCA	[94]
Pirinç	Zararlı incelemesi	10	PCA, LDA, PNN, BPNN	[95]
Kakao çekirdeği	Kalite	6	PCA, BPNN	[96]
Pirinç	Kontaminasyon	10	PCA, SVM, k-NN, BPNN	[97]

Tablo 5 değerlendirildiği zaman, elektronik burnun genellikle ekmeğin sınıflandırılmasına, aromasına ve diğer tahılların farklı analizlerine yönelik çalışmalarda kullanıldığı görülmektedir. Ekmekte duyu kalite çoğunlukla tanımlayıcı testler, tüketici testleri ve kütle spektrometrisi ile belirlenmektedir. Yapılan çalışmalar enstrümental analiz teknikleri gibi pahalı ve fazla zaman gerektiren testler yerine ekmeğin teknolojisinde de daha hızlı, ucuz ve tahribatsız olan elektronik burnun, görüntüleme teknikleri ve doku analiz yöntemleri ile başarılı bir şekilde kullanılabilirliğini göstermiştir.

Bisküvinin pişirme derecesinin belirlenmesi üzerine yapılan bir diğer çalışmada ise farklı sürelerde pişirme işlemi uygulanmış bisküviler E-burun ile çiğ, az pişmiş, iyi pişmiş ve fazla pişmiş olarak başarılı bir şekilde ayrılabilmiş ve bu ayrımların geleneksel fiziko-kimyasal pişirme indeksleri ile benzer olduğu ve tamamlandığı rapor edilmiştir [84].

Tahıl depolanmasına yönelik çalışmaların ilkinde, %16 ve %20 başlangıç nem içeriklerine sahip buğdaylar 20 hafta boyunca depolanarak elektronik burun ile mikotoksin içeriği ve kalite parametreleri değişimi değerlendirilmiştir. Çalışmada 12 farklı MOS kullanılmış ve 9'unun iki farkı neme sahip buğdaylardaki kokuları %20 oranında ayırabildiği tespit edilmiştir. Aynı zamanda, sensör cevapları klasik bir ölçüm ile doğrulanarak sensörlerden alınan sinyallerin ise okratoksin ve sitrinin oluşumu ile de ilişkili olduğu bildirilmiştir [90].

Bir diğer muhafaza çalışmasında ise mısır tanelerinde fumonisinin belirlenmeye çalışılmıştır. Çalışma sonucunda elektronik burnunun eşik değerine göre fumisin miktarını tahmin edebildiği ve hızlı bir şekilde sonuç alınabildiği böylelikle E-burun uygulamasının mikotoksin belirleme için kullanılabilirliği ifade edilmiştir [92].

Tahıllardaki oksidasyonun belirlenmesi üzerine yulaf ezmesinde de ile çalışma yürütülmüş ve E-burun kullanılmıştır. Antioksidan içerikli filmin oksidasyon üzerine etkisi araştırılarak kemometrik ölçümler ile başarılı bir şekilde oksidasyon ölçümü gerçekleştirilmiştir [94].

Gelişmekte olan ve gelişmiş ülkeler de toplumun çoğunun tahıl ağırlıklı beslendiği göz önüne alınırsa tahıl ve ürünlerinin kalitesinin değerlendirilmesi ve güvenliğinin sağlanması son derece önem arz eden bir konudur. Bu sebeple gıdaların analizinde hızlı ve ekonomik yöntemlerin gün geçtikçe önemi artmaktadır ve yapılan çalışmalar özellikle tahıl ve unlu mamuller teknolojilerinde elektronik burnun diğer yöntemlere alternatif olarak kalite, sınıflandırma, oksidasyon ve mikotoksin analizlerinde kullanılabilirliğini göstermektedir.

Meyve–Sebze Teknolojisi

Meyve sebzelerin aroması, tazeliği ve olgunluğu tüketici tercihlerini önemli derecede etkilemektedir ve bu konularda meyve sebze alanında gerçekleştirilen çalışmalar Tablo 6'da verilmiştir. Elektronik burun meyve sebzelerin aroma, tazelik, olgunluk gibi kalite parametrelerinin değerlendirilmesinde klasik, uzun süren ve maliyetli yöntemlere hızlı, uygun fiyatlı ve portatif bir alternatif tayin yöntemi olarak ortaya çıkmaktadır (Tablo 6). Özellikle bu yöntem uygulamada en çok meyve ve sebzelerin olgunluk değerinin belirlenmesinde ve hasat zamanının tespitinde kullanılmıştır. Elma, kayısı, böğürtlen, muz, çilek, şeftali, mango ve domates gibi çoğu meyve sebzede olgunluk çalışması gerçekleştirilmiştir. Meyve tohumdan olgun duruma gelene kadar olgun olamayan, yarı olgun ve olgun olmak üzere üç evrede değişime uğramakta ve bu evrelerin her birinde gaz salınımı olmaktadır. E-burun kullanılarak bu gazların ölçümüyle tarım sektöründe

özellikle lojistik süresini etkileyip, maddi kayıplara zamanı belirlenebilmektedir (Tablo 6).
sebebiyet verebilen olgunluk seviyesi ve doğru hasat

Tablo 6. Meyve sebzelerde metal oksit yarı iletken gaz sensörlerin kullanımı

Table 6. Use of metal oxide semiconductor gas sensors in fruits and vegetables

Materyal	Amaç	Sensör adedi	Veri işleme	Referans
Gala elma	Kalite, raf ömrü	18	SAS, PROC, CANDISC	[98]
Elma	Olgunluk	12	PCA	[99]
Elma	Olgunluk	21	PCA	[100]
Elma	Olgunluk	23	PCA	[101]
Elma	Depolama	8	PCA	[102]
Elma	Sınıflandırma	18	PCA, DFA, SQC	[103]
Elma	Olgunluk	18	PCA, DFA	[104]
Kayısı	Aroma/Olgunluk	6	PCA	[105]
Kayısı	Çeşit/Sınıflandırma	10	ANN	[106]
Kayısı	Ayırma	18	PCA, FDA	[107]
Bergamot	Uçucu yağ	12	DFA	[108]
Böğürtlen	Olgunluk	10	PCA	[109]
Salatalık	Tipe göre aroma	18	PCA	[110]
Hurma	Ayırma	18	PCA	[111]
Fındık	Ayırma	16	PCA, CA	[112]
Mandalina	Depolama	10	PCA, CA, LDA	[113]
Mango	Uçucu bileşen	18	DFA	[114]
Mango	Olgunluk	18	DFA, LSD	[115]
Kırmızı soğan	Aroma	12	DFA	[116]
Armut	Kalite	8	MLR, PLS, PCR	[117]
Şeftali	Raf ömrü/Olgunluk	10	LDA, PCA, CART	[118]
Nektarin	Kalite	6	PCA, MLR	[119]
Şeftali	Olgunluk/Kalite	10	PCA	[120]
Şeftali	Olgunluk	18	DFA	[121]
Karabiber	Kalite	6	PCA	[122]
Ananas	Raf ömrü	10	PCA	[123]
Çilek	Olgunluk	18	PCA	[124]
Çilek	Ayırma/işlem farkı	10	LDA, PLSR, RF, SVM	[125]
Domates fidesi	Mekanik Bozulma Etkisi	10	PCA, LDA, BPNN, SVM	[126]
Domates	Depolama/Raf ömrü	10	PCA, LDA	[127]
Domates	Olgunluk/Raf ömrü	10	PCA, LDA, PLS	[128]
Muz	Kalite	6	MLR, PLS, SVR	[129]
Şeftali	Tazelik	8	PCA, SR	[130]
Şeftali	Tazelik/Bozulma	18	SVM, PLSR, MFRG	[131]
Şeftali	Kontaminasyon	10	PCA, PLSR	[132]
Şeftali	Büyüme	13	PCA, LDA	[133]
Şeker kamışı	Aroma	10	PCA, LDA	[134]
Muz	Hasat/Aroma	18	PCA, LDA	[135]
Üzüm	Okratoksin	10	PLS-DA, PLSR	[136]
Biber	Tazelik	14	PCA, HCA	[137]
Brokoli	Tazelik	14	PCA, HCA, CDA	[138]
Zeytin	Kalite	10	PCA, LDA, PLS-DA, MLP	[139]

Üzümdeki okratoksin oluşumu üzerine yürütülen çalışmada GC-MS ile E-burun sonuçları kısmi en küçük kareler-ayrıt edici analiz (PLS-DA) ile değerlendirilmiştir ve bu analize göre GC-MS sonuçlarında düşük ve orta seviyede bir ayırım yapılabilirken E-burunda bütün seviyelerde ayırım gözlemlendiği ifade edilmiştir [136].

Diğer çalışmalarda ise meyve ve sebzelerin tazelik analizlerinde elektronik burun kullanım olanakları araştırılmıştır. Biber örneğinde tazelik belirlemeye yönelik yapılan çalışmada biberler 0 ile 9 gün arası depolanarak fiziko-kimyasal analizler ve E-burun sonuçları karşılaştırılmıştır. E-burunun, taze (0, 1, 3 ve 5. Günler) ve bozulmuş (7. ve 9. Günler) biberlerde tazeliği fizikokimyasal analizler kadar başarılı bir şekilde ayırabildiği ifade edilmiştir [137]. Bir diğer tazelik belirlemeye yönelik çalışmada ise, taze dilimlenmiş

brokoli örnekleri farklı günlerde depolanmış, sülfürlü bileşikleri belirlemeye yönelik E-burun ile GC-MS sonuçları karşılaştırılmıştır. Brokolide depolama süresi arttıkça dimetil disülfid arttığı, depolanan brokoliilerin orta taze ve bozulmuş olarak E-burun ile başarılı bir şekilde sınıflandırılabilceği tespit edilmiştir [138].

Araştırma sonuçları değerlendirildiğinde; E-burun hasattan meyve ve sebzelerin kalitesine kadar çoğu alanda kullanılabileceğini, meyve ve sebze teknolojisi alanında önemli bir yer bulduğunu göstermektedir. Bunda en büyük etken ise şüphesiz ekonomik, hızlı sonuç veriyor ve analiz esnasında materyale fiziksel zarar vermiyor olmasıdır.

Çay Teknolojisi

Çayın dünya çapında özellikle de Türkiye’de en çok tercih edilen içecekler arasında yer alması tüketicilerin yanı sıra araştırmacıları da çay analizlerinde hızlı analiz

yöntemleri geliştirilmesine yönlendirmiştir. Elektronik burun sensörleri bu hızlı tayin yöntemlerden birisidir ve çayda aroma belirleme, fermantasyon süre tahmini, kalite, raf ömrü, depolama ve sınıflandırma çalışmalarında detaylı olarak kullanılmıştır (Tablo 7).

Tablo 7. Çay analizlerinde metal oksit yarı iletken gaz sensörlerin kullanımı

Table 7. Use of metal oxide semiconductor gas sensors in tea analysis

Materyal	Amaç	Sensör adedi	Veri işleme	Referans
Siyah Çay	Aroma ayrımı	4	PCA, FCM, SOM, MLP, LVQ, RBF, PNN	[140]
Siyah çay	Karakterizasyon ve sınıflandırma	4	PCA, MLP, RBF, LVQ	[141]
Yeşil çay	Sınıflandırma	10	BP-MLP, PCA, LDA	[142]
Siyah çay	Fermantasyon süresinin tahmini	8	MDM	[143]
Siyah çay	Uçucu bileşen, fermantasyon süresinin tahmini	8	PCA, SVD	[144]
Siyah çay	Fermantasyonda koku tahmini	8	SOM, TDNN	[145]
Yeşil çay	Sınıflandırma	10	PCA, LDA	[146]
Siyah çay	Çay kalitesi üzerine sensör seçimi	8	PCA, BP-MLP, PNN, RBF	[147]
Siyah çay	E-burun performansı	8	BP-MLP, PNN	[148]
Siyah çay	Kalite	5	RBF	[149]
Siyah çay	Kalite	5	Fuzzy Logic	[150]
Yeşil çay	Depolama	10	PCA, LDA, BP-MLP	[151]
Yeşil çay	Ayırma, aroma	10	PCA, CA	[152]
Yeşil çay	Kalite	10	PCA, LDA, BP-MLP	[153]
Sri Lanka siyah çay	E-burun performansı	10	PCA, LDA, PLS, SOM	[154]
Siyah çay	Optimizasyon	10	CA	[155]
Yeşil çay	Ayırma	8	PCA, k-NN, ANN, SVM	[156]
Siyah çay	Optimizasyon	10	SITO, PCA, SVM	[157]
Yeşil ve siyah çay	Optimizasyon	18	PLS	[158]
Yeşil çay	Depolama, kalite	6	PCA, LDA	[159]
Farklı çay karışımı	Sınıflandırma	10	PCA	[160]
Siyah çay	Sınıflandırma	8	SVM, LDA, k-NN	[161]
Oolong çay		18	SD	[162]
Longjing çayı	Kalite	10	PCA, SVM, k-NN, MLR	[163]
Siyah çay	Sınıflandırma	5	k-NN, PCA, PLS-DA	[164]
Longjing çayı	Kalite	10	PLSR, SVM, RF	[165]
Yeşil çay	Aroma	15	CA	[166]

Çay üretimi hasat, soldurma, kıvrıma ve fermantasyona kadar farklı aşamalar içermektedir. Fermantasyon aşaması, çay kalite sınıflandırılmasında çay kalitesini etkileyen en önemli aşama olarak değerlendirilmektedir. Çay kalitesi panelistler tarafından organoleptik olarak gerçekleştirilebilirken, elektronik burunda bu alanda yerini almış bulunmaktadır. Çayın fermantasyonu, depolama, ekolojik yetiştirme ve hasat zamanının değerlendirilmesine yönelik yapılan E-burun çalışmalarında, çayın koku, tat ve aromasını etkileyen bazı kimyasal bileşenlerin E-burun ile hızlı ve ekonomik olarak tespit edilebileceği ve sonuçların diğer duyuşal,

kimyasal ve enstrümental (GC-MS) analizler ile karşılaştırıldığında başarılı ve güvenilir bir şekilde çay depolama ile kalite sınıflandırılmasında kullanılabileceği rapor edilmiştir (Tablo 7).

Kahve Teknolojisi

Elektronik burun sistemleri kahve sektöründe de aroma ayrımı, sınıflandırma, kavrulma derecesi ve hilelerin belirlenmesi amacı ile yoğun olarak kullanılmaktadır. Yürütülen çalışmalar Tablo 8’de verilmiştir.

Tablo 8. Kahvede metal oksit yarı iletken gaz sensörlerin kullanımı

Table 8. Use of metal oxide semiconductor gas sensors in coffee

Materyal	Amaç	Sensör adedi	Veri işleme	Referans
Kahve	Kavrulma derecesine göre sınıflandırma	10	ANN	[167]
Arabica	Kavrulma derecesine göre sınıflandırma	12	DFA	[168]
Arabica	Olgunluk	6	PCA, k-NN	[169]
Arabica, Robusta	Aroma	12	PCA, LDA	[170]
Türk kahvesi, Kolombiya, Arabica	Karşılaştırma	32	PCA	[171]
Espresso	Sınıflandırma	5	PCA, ANN	[172]
Arabica, Robusta	Hile	12	SVM	[173]
Kolombiya	Kusur belirleme	8	PCA	[174]
Robusta	Ayırma	6	PCA, KNN, PLS-DA, BPNN	[175]
Robusta	Uçucu bileşen, tat	6	PCA, HCA	[176]

Kahvenin kalitesine, asitliğine ve kafein oranına göre fiyatı değişmektedir. Bazı türler zor şartlarda yetişirken bazısı çoğu bölgede yetişi iklime kolay uyum sağlayabilmektedir bu durumlarda kahvenin maliyetini etkilemektedir. Kahve aromasını ve dolayısı ile kalitesini etkileyen en önemli faktörler; yetiştiği iklim, yağış alma durumu, kahve ağacının yetiştirildiği bölgedeki bitki örtüsü, hasat zamanı, hasat sonrası işlemler, kavurma işlemi ve derecesi, depolama koşullarıdır. Tüm bu faktörlere bağlı olarak, kahve çekirdeklerinde farklı uçucu aroma bileşenleri açığa çıkmaktadır. Kahve tercihlerinde kavurma derecesi önemli bir prostestir. Az kavurulmuş, orta ve dark olarak nitelendirilen çok kavurulmuş kahveye kadar farklı kavurma dereceleri mevcuttur ve her firmanın kendine öz bir kavurma sıcaklığı ve süresi mevcuttur ki bu da kahve aromasını ve kalitesini belirleyen en önemli noktalardan birisidir. Araştırmacılar ise farklı derecelerde kavurdıkları kahvelerin kalitelerini değerlendirdikleri çalışmalarda E-burun ile enstrümental analizler kadar başarılı bir ayırım ve kalite sınıflandırması yapabileceğini bildirmişlerdir [167, 168].

Tablo 8 incelendiğinde, E-burunun olgunluk, kusur ve hile belirleme amaçlı olarak da kullanılabilmesi görülmektedir. Kahve piyasasında yapılan en büyük hile Robusta türü gibi ucuz olan kahvelerin Arabica gibi pahalı ve değerli türler ile karıştırılmasıdır. Elektronik burnun hileleri belirlemek amacı ile kullanılıp kullanılmayacağını belirlemek için yapılan çalışmalarda; farklı kahveler ve oransal karışımlarının aromaları ölçülmüş ve sınıflandırma algoritmaları ile ne oranda ayırım yapılabildiği değerlendirilmiştir. Çeşitli çalışmalar sonucunda yapılan hile yüzdesine ve sensör hassasiyetine göre sınıflandırmaların farklı oranlarda ve ilgili algoritmaya bağımlı olarak değiştiği fakat yüzdeler düşüğe olsa ayırım yapılabildiği sonuçları çıkarılmıştır.

Baharat Teknolojisi

Baharatlar, çoğu yemekte tat, görünüş ve koku kalitesini artırmanın yanı sıra birçok tıbbi yarara sahip ürünlerdir. Baharatlar üzerine yürütülen MOS çalışmalarının çoğu orijin belirleme ve ayırma/sınıflandırma amaçları için gerçekleştirilmiştir ve bu çalışmalar Tablo 9'da verilmiştir.

Tablo 9. Baharatta metal oksit yarı iletken gaz sensörlerin kullanımı

Table 9. Use of metal oxide semiconductor gas sensors in spices

Materyal	Amaç	Sensör adedi	Veri işleme	Referans
Biber	Orijin belirleme	12	PCA	[177]
Safran	Orijin belirleme	27	PCA	[178]
Safran	Orijin belirleme	5	PA, SVM	[179]
Kimyon	Orijin belirleme	5	PA, PCA, SVM	[180]
Kişniş	Orijin belirleme	12	PCA	[181]
Kimyon	Ayırma	12	PCA	[180]
Sarımsak	Ayırma	6	PA	[182]
Karabiber	Ayırma	12	PCA	[177]
Biber	Öğütme etkisi	6	PCA	[183]
Kırmızı biber tozu	Gama ışını etkisi	12	PCA	[184]

Elektronik burnun baharat teknolojisinde kullanılabilirliğine yönelik yürütülen araştırmalar incelendiğinde biber, karabiber, safran ve kimyon dikkat çekmektedir (Tablo 9). Burada da çoğunlukla orijin belirleme ve ayırma, sınıflandırma çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Biber acılık değerine, orijinine göre ve çeşitli özelliklerine göre E-burun, GC-MS ve duyuşal testler ile değerlendirilmiş ve sonuçların birbiri le uyumlu olduğu ifade edilmiştir [177]. Farklı bölgelerden temin edilen kimyon ise yine duyuşal, GC-MS ve E-burun ile analiz edilmiş ve yoğun olan aroma bileşenleri belirlenerek elektronik ölçümün faydalı şekilde bu alanda da kullanılabilmesi ifade edilmiştir [180].

Şarap Teknolojisi

Şarap su ve etanol olmak üzere iki temel bileşenden ve şarap aroması su ve etanole ilaveten yirmiden fazla bileşen tarafından oluşmaktadır [185]. Şarap aroması, olgunluğu ve kalitesi duyuşal analiz yöntemi ile belirlenebilmektedir fakat bu yöntem panelistin durumuna göre değişkenlik gösterebileceği için hatalara sebebiyet verebilmektedir. Kantitatif olarak enstrümental bir diğer değerlendirme yöntemi GC-MS analizleridir. Bu yöntem ise diğerlerine göre hem göre pahalı ve zaman alan bir yöntemdir ve bu sebeple şarap analizlerinde

elektronik burnun kullanımı önemli bir alternatif olmuştur. Şarap üzerine gerçekleştirilen çalışmalar Tablo 10'da verilmiştir.

Şarabın duyuşal özellikleri üzüm tipine, yetiştirme koşullarına, toprağın bileşimine, fermantasyon ve olgunlaştırma işlemlerine göre farklılık göstermektedir. Her alanda olduğu gibi şarap teknolojisi de hızlı ve güvenli tekniklere muhtaçtır. Şarabın aroma bileşenleri diğer gıdalarda olduğu gibi GC-MS ile belirlenmektedir fakat örnek hazırlamanın zahmetli oluşu, uygulama esnasında eğitimli kişilere ihtiyaç duyulması ve analizin fazla zaman alması tekniğin zorluğunu göstermekte ve daha portatif ve hızlı tekniklere ihtiyaç duyulmaktadır.

E-burunun şarap alanındaki uygulamaları üzüm çeşidinden şaraptaki aroma tahminine kadar farklı örnekler içermektedir (Tablo 10). E-burun; şarapların sınıflandırılması [199-202], olgunlaştırma işlemlerinin şarap kalitesine etkilerinin ve şarap orijinlerinin belirlenmesinde [205-207] alternatif kullanılabilirliğinin değerlendirildiği bu çalışmalarda doğrulama amacı ile GC-MS veya panelistler kullanılmıştır. Beyaz ve kırmızı şarapların incelendiği çalışmada 25 adet eğitimli panelisten oluşan bir grup kurulmuş ve cevaplar E-burun sonuçları ile karşılaştırılmıştır. E-burun daha

hassas sonuç vererek panelistler tarafından bazı algılanamayan bileşenleri de sınıflayabildiği ifade edilmiştir [203]. Yürütülen çalışmalara genel olarak

bakıldığında E-burunun şarap teknolojisinde güvenle kullanılabileceği görülmektedir.

Tablo 10. Şarapta metal oksit yarı iletken gaz sensörlerin kullanımı

Table 10. Use of metal oxide semiconductor gas sensors in wine

Materyal	Amaç	Sensör adedi	Veri işleme	Referans
Şarap	Fenolik seviyesi belirleme	14	PLS, DA	[186]
	Bileşik tayini	2	PCA	[187]
	Olgunluk	10	PCA, LDA, CA	[188]
	Olgunluk	9	PCA, Tucker3	[189]
	Olgunluk	4	PLS-DA	[190]
	Olgunluk	16	PCA, RBFNN	[191]
	Asetik asit	10	PCA, MLP	[192]
	Asetik asit	4	PCA, RBFNN	[193]
	Şarap kalitesine ambalaj kapağı etkisi	15	PCA, PLS-DA	[194]
	Bozulma	12	PCA, CLA	[195]
	Bozulma	18	PCA, DFA	[196]
	Bozulma	12	PLS	[197]
	Ayırma	18	PCA	[196]
	Alkol fermantasyonu	10	PCA	[198]
	Sınıflandırma	16	PCA, PNN	[199]
	Sınıflandırma	12	PCA	[200]
	Sınıflandırma	4	PCA, PLS, RSR	[201]
	Sınıflandırma	8-10	KIII ANN	[202]
	Aroma bileşiği eşik değeri belirleme	16	PCA, PNN	[203]
	Aroma bileşiği eşik değeri belirleme	16	PCA, PNN	[204]
	Orijin belirleme	12	LDA	[205]
	Orijin belirleme	10	PCA, LDA	[206]
	Orijin belirleme	14	-	[207]
	Kalite izleme	16	PCA, PNN	[208]
	Üzüm sınıflandırma	16	PCA, PNN	[209]
	Üzüm sınıflandırma	16	PCA, PNN	[210]
	Üzüm sınıflandırma	16	PCA, PNN	[211]
	Üzüm sınıflandırma	16	PCA, PNN	[212]
	Üzüm sınıflandırma	14	PCA	[213]
	Aroma tahmini, korelasyon	16	PNN	[210]
	Aroma tahmini, korelasyon	16	PNN	[214]
	Aroma tahmini, korelasyon	16	PNN	[215]
Aroma tahmini, korelasyon	16	PNN	[216]	
Aroma tahmini, korelasyon	12	GA	[217]	

SONUÇ

Son yıllarda mikro elektronik, sinyal işleme, kemometri, sinir ağı örüntü tanıma algoritmaları ve farklı sensör teknolojilerinin varlığı ile elektronik burun teknolojisinde önemli gelişmeler olmuştur. Mevcut gelişmeler ile elektronik burun teknolojisi hızlı, güvenli, portatif ve ekonomik bir teknik olarak duysal, fizikokimyasal ve enstrümental bir çok gıda analizine alternatif olmuştur. Elektronik burun yapılan araştırmalar ile çoğu gıda ürününe uygulanmıştır. MOS kullanılarak süt ve ürünlerinin kalitesi, raf ömrü, olgunluğu ve sınıflandırılması gerçekleştirilmiştir. Et ve ürünlerinin ise MOS temelli sistemler ile tazeliği, hile yapılıp yapılmadığı, bozulma durumu ve mikrobiyal yükü araştırılmıştır. Yağ üzerine yürütülen çalışmalar incelendiğinde ise yağlarda bozulma belirtisi olan oksidasyon en çok çalışılan konu olarak göze çarpmaktadır. Daha sonra tağşiş ve sınıflandırma çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Ekmek ve bisküvide pişme derecesi irdelenirken, tahıllarda toksin, depolama, oksidasyon ve mikrobiyal yük MOS ile araştırılmıştır.

Meyve-sebze üzerine yürütülen çalışmalar incelendiğinde daha çok olgunluk çalışıldığı görülmektedir. Olgunluğa ilaveten raf ömrü, hasat, mikrobiyal yük, tazelik, depolama, aroma ve ayırma çalışmaları gerçekleştirilmiştir. MOS kullanılarak alkollü ve alkolsüz içecekler üzerine de araştırmalar gerçekleştirilmiştir. Alkolsüz olarak en fazla çay ve kahve çalışılırken, alkollü içeceklerden şarap en fazla ilgi çeken içecek olmuştur. Çayda sınıflandırma, fermantasyon süre tahmini, aroma, depolama ve kalite çalışmaları yürütülmüştür. Kahvenin ise kavrulma derecesine göre aroma değişimi, sınıflandırılması, tağşişi ve olgunluğu araştırılmıştır. Şarap olgunluğu, aroması, sınıflandırılması ve bozulması ilgi çeken fazla sayıdaki araştırmalardır. MOS kullanılarak sarımsak, karabiber, safran vb. baharatlar ile ilgili orijin ve ayırma çalışmaları yürütülmüştür. Gerçekleştirilen bütün çalışma sonuçları veri işleme analizleri ile işlenerek GC, GC-MS, SPME gibi klasik analiz yöntemleri ile karşılaştırılarak yorumlanmış ve elektronik burun etkinliği hakkında fikir sahibi olunmuştur. Yürütülen

çalışmalara göre elektronik burun önemli derecede ayrımlar gerçekleştirilebilmektedir.

Ancak, elektronik burun sensörlerinin ömrünün sınırlı olması, hassas olmaları ve bazı özel sensörlerin nispeten pahalı olmaları yaygın bir kullanım alanına sahip olmaması dezavantajları arasındadır. Analizlerin yapılması esnasında numune hazırlama ve uçucu bileşenlerin tepe boşluğu ile sensörlere iletilmesi, sensörlerin yoğun kimyasallar ile etkileştiğinde boğulma olarak nitelenen etkilenme ve ortam şartlarına bağlı olarak düşük tekrarlanabilir veri eldesi ise pratikteki dezavantajlarıdır. Elektronik burun ile gerçekleştirilen analizler mevcutta var olan standart analiz yöntemlerine takviye amacı ile kullanılabilir. Gelecek yıllarda, gıda endüstrisinde online (çevrimiçi) uygulamaların artacağı düşünüldürse ve elektronik burun tekniğinin referans bir gıda için geliştirilip uygulanırsa gıda analizlerine ışık tutan bir yöntem olacağı söylenebilir.

KAYNAKLAR

- [1] Rasooly, A. (2005). Biosensor technologies. *Methods*, 37(1), 1–3.
- [2] Loutfi, A., Coradeschi, S., Mani, G.K., Shankar, P., Rayappan, J.B. (2015). Electronic noses for food quality: A review. *Journal of Food Engineering*, 144, 103–111.
- [3] Schaller, E., Bosset, J.O., Escher, F. (1998). Electronic noses and their application to food. *Food Science and Technology*, 31(4), 305–316.
- [4] Persaud, K.C., Payne, P.A., Pelosi, P.S.V. (1993). Design strategies for gas and odour sensors which mimic the olfactory system. *Robots and Biological Systems: Towards a New Bionics*, 102, 579–602.
- [5] Handa, P., Singh, B. (2016). Electronic nose and their application in food industries. *Food Science Research Journal*, 7(2), 314–318.
- [6] Wilson, A.D., Baietto, M. (2009). Applications and advances in electronic-nose technologies. *Sensors*, 9, 5099–5148.
- [7] Shurmer, H., Gardner, J.W. (1992). Odour discrimination with an electric nose. *Sensors and Actuators, B: Chemical*, 8, 1–11.
- [8] Kasnak, C., Palamutoglu, R. (2018). Gıda endüstrisinde elektronik burun kullanımı. *Mühendislik ve Mimarlık Çalışmaları*, 1-188.
- [9] Anukunprasert, T., Saiwan, C., Traversa, E. (2005). The development of gas sensor for carbon monoxide monitoring using nanostructure of Nb-TiO₂. *Science and Technology of Advanced Materials*, 6, 359–363.
- [10] Eranna, G., Joshi, B.C., Runthala, D.P., Gupta, R.P. (2004). Oxide materials for development of integrated gas sensors-A comprehensive review. *Critical Reviews in Solid State and Materials Sciences*, 29, 111–188.
- [11] Dey, A. (2018). Semiconductor metal oxide gas sensors: A review. *Materials Science and Engineering B*, 206–217.
- [12] Korotcenkov, G. (2007). Metal oxides for solid-state gas sensors: What determines our choice? *Materials Science and Engineering B*, 139, 1–23.
- [13] Hooker, S.A. (2002). Nanotechnology advantages applied to gas sensor development. *The Nanoparticles 2002 Conference Proceedings*, 1-8.
- [14] Devi, G.S. (1998). SnO₂/Bi₂O₃: A suitable system for selective carbon monoxide detection. *Journal of the Electrochemical Society*, 145(3), 1039-1044.
- [15] Rella, R., Serra, A., Siciliano, P., Vasanelli, L., De, G., Licciulli, A. (1997). Tin oxide-based gas sensors prepared by the sol-gel process. *Sensors and Actuators B: Chemical*, 44, 462–467.
- [16] Costello, B.P., Ewen, R.J., Ratcliffe, N.M., Sivanand, P.S. (2003). Thick film organic vapour sensors based on binary mixtures of metal oxides. *Sensors and Actuators B: Chemical*, 92, 159–166.
- [17] Vaishanv, V.S., Patel, P.D., Patel, N.G. (2006). Indium tin oxide thin-film sensor for detection of volatile organic compounds (VOCs). *Materials and Manufacturing Processes*, 21, 257–261.
- [18] Fine, G.F., Cavanagh, L.M., Afonja, A., Binions, R. (2010). Metal oxide semi-conductor gas sensors in environmental monitoring. *Sensors*, 10, 5469–5502.
- [19] Yamazoe, N., Kurokawa, Y., Seiyama, T. (1983). Effects of additives on semiconductor gas sensors. *Sensors and Actuators, B: Chemical*, 4, 283–289.
- [20] Moseley, P.T. (1992). Materials selection for semiconductor gas sensors. *Sensors and Actuators B: Chemical*, 6, 149–156.
- [21] Jing, B.Z., Zhan, J. (2008). Fabrication and gas-sensing properties of porous ZnO nanoplates. *Advanced Materials*, 20, 4547–4551.
- [22] Moore, E., Lyons, G. M., Harris, J., Clifford, S. (2004). A review of gas sensors employed in electronic nose applications. *Sensor Review*, 24(2), 181–198.
- [23] Gao, X., Zhang, T. (2018). An overview: Facet-dependent metal oxide semiconductor gas sensors. *Sensors and Actuators, B: Chemical*, 277, 604–633.
- [24] Wang, C., Yin, L., Zhang, L., Xiang, D., Gao, R. (2010). Metal oxide gas sensors: sensitivity and influencing factors. *Sensors*, 10, 2088–2106.
- [25] Di Rosa, A.R., Leone, F., Cheli, F., Chiofalo, V. (2017). Fusion of electronic nose, electronic tongue and computer vision for animal source food authentication and quality assessment – A review. *Journal of Food Engineering*, 210, 62–75.
- [26] Majchrzak, T., Wojnowski, W., Dymerski, T., Gębicki, J., Namieśnik, J. (2018a). Electronic noses in classification and quality control of edible oils: A review. *Food Chemistry*, 246, 192–201.
- [27] Cordero, C., Kiefl, J., Reichenbach, S.E. (2015). Comprehensive two-dimensional gas chromatography and food sensory properties: Potential and challenges. *Analytical and Bioanalytical Chemistry*, 407(1), 169–191.
- [28] Majchrzak, T., Wojnowski, W., Dymerski, T., Jacek, G. (2018). Electronic noses in

- classification and quality control of edible oils: A review. *Food Chemistry*, 246, 192–201.
- [29] Dymerski, T.M., Chmiel, T.M., Wardencki, W. (2011). Invited Review Article: An odor-sensing system—powerful technique for foodstuff studies. *Review of Scientific Instruments*, 82(11), 1-32.
- [30] Majchrzak, T., Wojnowski, W., Dymerski, T., Gębicki, J., Namieśnik, J. (2018b). Electronic noses in classification and quality control of edible oils: A review. *Food Chemistry*, 246, 192–201.
- [31] Mottram, T.T., Gardner, J.W., Hobbs, P.J., Bartlett, P.N. (1997). Preliminary investigation of breath sampling as a monitor of health in dairy cattle. *Journal Agricultural Engineering Research*, 67, 267–275.
- [32] Sivalingam, D., Rayappan, J.B. (2014). Development of e-nose prototype for raw milk quality discrimination. *Milchwissenschaft*, 67(4), 381–385.
- [33] Labreche, S., Bazzo, S., Cade, S., Chanie, E. (2005). Shelf life determination by electronic nose: Application to milk. *Sensors and Actuators, B: Chemical*, 106, 199–206.
- [34] Waller, K.P., Svennersten-Sjaunja, K., Haugen, J. (2005). Detection of mastitic milk using a gas-sensor array system (electronic nose). *International Dairy Journal*, 15, 1193–1201.
- [35] Capone, S., Siciliano, P., Quaranta, F., Rella, R., Epifani, M., Vasanelli, L. (2000). Analysis of vapours and foods by means of an electronic nose based on a sol–gel metal oxide sensors array. *Sensors and Actuators, B: Chemical*, 69, 230–235.
- [36] Capone, S., Epifani, M., Quaranta, F., Siciliano, P. (2001). Monitoring of rancidity of milk by means of an electronic nose and a dynamic PCA analysis. *Sensors and Actuators, B: Chemical*, 78, 174–179.
- [37] Brambilla, M., Navarotto, P. (2010). Application of E-NOSE technology for ultra-high temperature processed partly skimmed milk production batches monitoring. *Chemical Engineering Transactions*, 23, 171–176.
- [38] Brudzewski, K., Osowski, S., Markiewicz, T. (2004). Classification of milk by means of an electronic nose and SVM neural network. *Sensors and Actuators, B: Chemical*, 98, 291–298.
- [39] Collier, W.A., Baird, D.B., Park, Z.A., More, N., Hart, A.L. (2003). Discrimination among milks and cultured dairy products using screen-printed electrochemical arrays and an electronic nose. *Sensors and Actuators, B: Chemical*, 92, 232–239.
- [40] Wang, B., Xu, S., Sun, D.W. (2010). Application of the electronic nose to the identification of different milk flavorings. *Food Research International*, 43(1), 255–262.
- [41] Lorenzen, P., Walte, H., Bosse, B. (2013). Chemical development of a method for butter type differentiation by electronic nose technology. *Sensors and Actuators, B: Chemical*, 181, 690–693.
- [42] Haddi, Z., Annanouch, F., Amari, A., Hadoune, A., Bouchikhi, B. (2010). Application of a portable electronic nose device to discriminate and identify cheeses with known percentages of cow's and goat's milk. Kona, Hawaii. *Proceedings of the IEEE Sensors Conference*, 771-774.
- [43] Trihaas, J., Vognsen, L., Nielsen, P.V. (2005). Electronic nose: New tool in modelling the ripening of Danish blue cheese. *International Dairy Journal*, 15, 679–691.
- [44] O'Riordan, P.J., Delahunty, C.M. (2003). Characterisation of commercial Cheddar cheese flavour. 1: traditional and electronic nose approach to quality assessment and market classification. *International Dairy Journal*, 13(5), 355–370.
- [45] Cevoli, C., Cerretani, L., Gori, A., Caboni, M.F., Toschi, T.G., Fabbri, A. (2011). Classification of Pecorino cheeses using electronic nose combined with artificial neural network and comparison with GC – MS analysis of volatile compounds. *Food Chemistry*, 129(3), 1315–1319.
- [46] Branciarri, R., Valiani, A., Trabalza-Marinucci, M., Miraglia, D.R., Acuti, G., Esopsto, S. (2012). Consumer acceptability of ovine cheeses from ewes fed extruded linseed-enriched diets. *Small Ruminant Research*, 106, S43–S48.
- [47] El Barbri, N., Mirhisse, J., Ionescu, R., El Bari, N., Correig, X., Bouchikhi, B. (2009). An electronic nose system based on a micro-machined gas sensor array to assess the freshness of sardines. *Sensors and Actuators, B: Chemical*, 141(2), 538-543.
- [48] Zhang, S., Xie, C., Bai, Z., Hu, M., Li, H., Z.D. (2009). Spoiling and formaldehyde-containing detections in octopus with an E-nose. *Food Chemistry*, 113(4), 1346–1350.
- [49] Musatov, V.Y., Sysoev, V.V., Sommer, M., Kiselev, I. (2010). Assessment of meat freshness with metal oxide sensor microarray electronic nose: A practical approach. *Sensors and Actuators, B: Chemical*, 144, 99–103.
- [50] Hong, X., Wang, J., Hai, Z. (2012). Chemical discrimination and prediction of multiple beef freshness indexes based on electronic nose. *Sensors and Actuators, B: Chemical*, 161(1), 381–389.
- [51] Wang, D., Wang, X., Liu, T., Liu, Y. (2012). Prediction of total viable counts on chilled pork using an electronic nose combined with support vector machine. *Meat Science*, 90(2), 373–377.
- [52] Tian, X., Wang, J., Cui, S. (2013). Analysis of pork adulteration in minced mutton using electronic nose of metal oxide sensors. *Journal of Food Engineering*, 119(4), 744–749.
- [53] Huang, L., Zhao, J., Chen, Q., Zhang, Y. (2014). Nondestructive measurement of total volatile basic nitrogen (TVB-N) in pork meat by integrating near infrared spectroscopy, computer vision and electronic nose techniques. *Food Chemistry*, 145, 228–236.
- [54] Timsorn, K., Thoopboochagorn, T. (2016). Evaluation of bacterial population on chicken

- meats using a briefcase electronic nose. *Biosystems Engineering*, 151, 116–125.
- [55] Lippolis, V.F. (2016). Rapid prediction of ochratoxin A-producing strains of *Penicillium* on dry-cured meat by MOS-based electronic nose. *International Journal of Food Microbiology*, 218, 71–77.
- [56] Wijaya, D.R., Sarno, R., Zulaika, E. (2018). Electronic nose dataset for beef quality monitoring in uncontrolled ambient conditions. *Data in Brief*, 21, 2414–2420.
- [57] Wang, Q., Li, L., Ding, W., Zhang, D., Wang, J., Reed, K. (2019). Adulterant identification in mutton by electronic nose and gas chromatography-mass spectrometer. *Food Control*, 98, 431–438.
- [58] Shi, J., Nian, Y., Da, D., Xu, X., Zhou, G., Zhao, D. (2020). Characterization of flavor volatile compounds in sauce spareribs by gas chromatography – mass spectrometry and electronic nose. *Food Science and Technology*, 124, 109182.
- [59] Yurdakoş, Ö.B. (2019). Detection of degradation levels in food industry by using E-Nose sensors. *M.Sc. Thesis, Dokuz Eylül University*, 69.
- [60] Zhang, J., Cao, J., Pei, Z., Wei, P., Xiang, D., Cao, X. (2019). Volatile flavour components and the mechanisms underlying their production in golden pompano (*Trachinotus blochii*) fillets subjected to different drying methods: A comparative study using an electronic nose, an electronic tongue and SDE-GC-MS. *Food Research International*, 123, 217–225.
- [61] González Martín, Y., Luis Pérez Pavón, J., Moreno Cordero, B., García Pinto, C. (1999). Classification of vegetable oils by linear discriminant analysis of Electronic Nose data. *Analytica Chimica Acta*, 384, 83–94.
- [62] Cosio, M.S., Ballabio, D., Benedetti, S., Gigliotti, C. (2007). Evaluation of different storage conditions of extra virgin olive oils with an innovative recognition tool built by means of electronic nose and electronic tongue. *Food Chemistry*, 101(2), 485–491.
- [63] Buratti, S., Benedetti, S., Cosio, M.S. (2005). An electronic nose to evaluate olive oil oxidation during storage. *Italian Journal of Food Science*, 17(2), 203–210.
- [64] Mildner-Szkudlarz, S., Jeleń, H.H., Zawirska-Wojtasiak, R. (2008). The use of electronic and human nose for monitoring rapeseed oil autoxidation. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 110(1), 61–72.
- [65] Xu, L., Yu, X., Liu, L., Zhang, R. (2016). A novel method for qualitative analysis of edible oil oxidation using an electronic nose. *Food Chemistry*, 202, 229–235.
- [66] Upadhyay, R., Sehwal, S., Mishra, H.N. (2017a). Electronic nose guided determination of frying disposal time of sunflower oil using fuzzy logic analysis. *Food Chemistry*, 221, 379–385.
- [67] Upadhyay, R., Sehwal, S., Mishra, H.N. (2017b). Frying disposal time of sunflower oil using hybrid electronic nose-fuzzy logic approach. *Food Science and Technology*, 78, 332–339.
- [68] Cosio, M.S., Ballabio, D., Benedetti, S., Gigliotti, C. (2006). Geographical origin and authentication of extra virgin olive oils by an electronic nose in combination with artificial neural networks. *Analytica Chimica Acta*, 567(2), 202–210.
- [69] Ballabio, D., Cosio, M.S., Mannino, S., Todeschini, R. (2006). A chemometric approach based on a novel similarity/diversity measure for the characterisation and selection of electronic nose sensors. *Analytica Chimica Acta*, 578(2), 170–177.
- [70] Park, M.H., Jeong, M.K., Yeo, J.D., Son, H.J., Lim, C.L., Hong, E.J. (2011). Application of solid phase-microextraction (SPME) and electronic nose techniques to differentiate volatiles of sesame oils prepared with diverse roasting conditions. *Journal of Food Science*, 76(1), 80–88.
- [71] Haddi, Z., Alami, H., El Bari, N., Tounsi, M., Barhoumi, H., Maaref, A. (2013). Electronic nose and tongue combination for improved classification of Moroccan virgin olive oil profiles. *Food Research International*, 54(2), 1488–1498.
- [72] Haddi, Z., Amari, A., Ould Ali, A., El Bari, N., Barhoumi, H., Maaref, A. (2011). Discrimination and identification of geographical origin virgin olive oil by an e-nose based on MOS sensors and pattern recognition techniques. *Procedia Engineering*, 25, 1137–1140.
- [73] Cerrato Oliveros, M.C., Pérez Pavón, J.L., García Pinto, C., Fernández Laespada, M.E., Moreno Cordero, B., Forina, M. (2002). Electronic nose based on metal oxide semiconductor sensors as a fast alternative for the detection of adulteration of virgin olive oils. *Analytica Chimica Acta*, 459, 219–228.
- [74] Mildner-Szkudlarz, S., Jeleń, H.H. (2008). The potential of different techniques for volatile compounds analysis coupled with PCA for the detection of the adulteration of olive oil with hazelnut oil. *Food Chemistry*, 110(3), 751–761.
- [75] Mildner-Szkudlarz, S., Jeleń, H.H. (2010). Detection of olive oil adulteration with rapeseed and sunflower oils using mos electronic nose and smpe-ms. *Journal of Food Quality*, 33(1), 21–41.
- [76] Bougrini, M., Tahri, K., Haddi, Z., Saidi, T., El Bari, N., Bouchikhi, B. (2014). Detection of adulteration in argan oil by using an electronic nose and a voltammetric electronic tongue. *Journal of Sensors*, 1–10.
- [77] Hai, Z., W.J. (2006). Detection of adulteration in camellia seed oil and sesame oil using an electronic nose. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 108(2), 116–124.
- [78] Lerma-García, M.J., Cerretani, L., Cevoli, C., Simó-Alfonso, E.F., Bendini, A., Toschi, T.G. (2010). Use of electronic nose to determine defect percentage in oils. Comparison with sensory panel results. *Sensors and Actuators, B: Chemical*, 147(1), 283–289.
- [79] Ghosh, P.K., Chatterjee, S., Bhattacharjee, P., Bhattacharyya, N. (2016). Removal of rancid-acid

- odor of expeller-pressed virgin coconut oil by gamma irradiation: evaluation by sensory and electronic nose technology. *Food and Bioprocess Technology*, 9(10), 1724-1734.
- [80] Torri, L., Migliorini, P., Masoero, G. (2013). Sensory test vs. electronic nose and/or image analysis of whole bread produced with old and modern wheat varieties adjuvanted by means of the mycorrhizal factor. *Food Research International*, 54, 1400–1408.
- [81] Sapirstein, H.D., Siddhu, S., Aliani, M. (2012). Discrimination of volatiles of refined and whole wheat bread containing red and white wheat bran using an electronic nose. *Journal of Food Science*, 77, 399–406.
- [82] Romani, S., Rocculi, P., Dalla Rosa, M. (2006). Electronic nose approach to differentiate biscuits on the base of their recipe. *Industria Alimentari*, 45, 1273–1276.
- [83] Li, W., Friel, J., Beta, T. (2010). An evaluation of the antioxidant properties and aroma quality of infant cereals. *Food Chemistry*, 121(4), 1095–1102.
- [84] Romani, S., Balestra, F., Angioloni, A., Rocculi, P., Dalla Rosa, M. (2012). Physico-chemical and electronic nose measurements on the study of biscuit baking kinetics. *Italian Journal of Food Science*, 24, 32–40.
- [85] Ponzoni, A., Depari, A., Falasconi, M., Comini, E., Flammini, A., Marioli, D. (2008). Bread baking aromas detection by low-cost electronic nose. *Sensors and Actuators, B: Chemical*, 130, 100–104.
- [86] Adams, K., Suchy, J., Lukow, O.M. (2011). Detection of wheat variety flour aromas using an electronic nose. *Electronic Journal of Environmental, Agricultural and Food Chemistry*, 10(9), 2861–2873.
- [87] Zhang, H., Wang, J., Tian, X., Yu, H., Yu, Y. (2007). Optimization of sensor array and detection of stored duration of wheat by electronic nose. *Journal of Food Engineering*, 82, 403–408.
- [88] Presicce, D.S., Forleo, A., Taurino, A.M., Zuppa, M., Siciliano, P., Laddomada, B. (2006). Response evaluation of an E-nose towards contaminated wheat by *Fusarium poae* fungi. *Sensors and Actuators, B: Chemical*, 118(1), 433–438.
- [89] Wang, M., Du, J., Zhao, M. (2014). Paddy and maize moldy status characterization using electronic nose. *Food Measurement*, 8, 54-60.
- [90] Abramson, D., Hulasare, R., York, R.K., White, N.D., Jayas, D.S. (2005). Mycotoxins, ergosterol, and odor volatiles in durum wheat during granary storage at 16% and 20% moisture content. *Journal of Stored Products Research*, 41, 67–76.
- [91] Gobbi, E., Falasconi, M., Torelli, E., Sberveglieri, G. (2011). Electronic nose predicts high and low fumonisin contamination in maize cultures. *Food Research International*, 44(4), 992–999.
- [92] Campagnoli, A., Cheli, F., Savoini, G., Crotti, A., Pastori, A.G., Dell'Orto, V. (2009). Application of an electronic nose to detection of aflatoxins in corn. *Veterinary Research Communications*, 33(1), 273–275.
- [93] Lippolis, V., Pascale, M., Cervellieri, S., Damascelli, A., Visconti, A. (2014). Screening of deoxynivalenol contamination in durum wheat by MOS-based electronic nose and identification of the relevant pattern of volatile compounds. *Food Control*, 37, 263–271.
- [94] Wessling, C., Nielsen, T., Giacini, J.R. (2001). Antioxidant ability of BHT- and α -tocopherol-impregnated LDPE film in packaging of oatmeal. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 81, 194–201.
- [95] Xu, S., Zhou, Z., Lu, H., Luo, X., Lan, Y., Zhang, Y. (2014). Estimation of the age and amount of brown rice plant hoppers based on bionic electronic nose use. *Sensors*, 14(10), 18114–18130.
- [96] Olunloyo, V.O., Ibadapo, T.A., Dinrifo, R.R. (2011). Neural network-based electronic nose for cocoa beans quality assessment. *Agricultural Engineering International: CIGR Journal*, 13(4), 1–17.
- [97] Gu, S., Wang, J., Wang, Y. (2019). Early discrimination and growth tracking of *Aspergillus* spp. contamination in rice kernels using electronic nose. *Food Chemistry*, 292, 325–335.
- [98] Bai, J., Baldwin, E.A., Soliva Fortuny, R.C., Mattheis, J.P., Stanley, R., Perera, C. (2004). Effect of pretreatment of intact “Gala” apple with ethanol vapor, heat, or 1-methylcyclopropene on quality and shelf life of fresh-cut slices. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 129(4), 583–593.
- [99] Brezmes, J., Llobet, E., Vilanova, X., Saiz, G., Correig, X. (2000). Fruit ripeness monitoring using an Electronic Nose. *Sensors and Actuators, B: Chemical*, 69(3), 223–229.
- [100] Brezmes, J., Llobet, E., Vilanova, X., Orts, J., Saiz, G., Correig, X. (2001). Correlation between electronic nose signals and fruit quality indicators on shelf-life measurements with pink lady apples. *Sensors and Actuators, B: Chemical*, 80(1), 41–50.
- [101] Brezmes, J., Fructuoso, M.L., Llobet, E., Vilanova, X., Recasens, I., Orts, J. (2005). Evaluation of an electronic nose to assess fruit ripeness. *IEEE Sensors Journal*, 5(1), 97–108.
- [102] Guohua, H., Yuling, W., Dandan, Y., Wenwen, D. (2013). Fuji apple storage time predictive method using electronic nose. *Food Analytical Methods*, 6(1), 82–88.
- [103] Duta, D., Hincu, F., Calu, M., Pruteanu, E. (2009). Electronic nose for discrimination of Romanian apples. *Proceeding of 2 International Symposium New Research In Biotechnology*, 398–403.
- [104] Young, H., Rossiter, K., Wang, M., Miller, M. (1999). Characterization of royal gala apple aroma using electronic nose technology - Potential maturity indicator. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 47(12), 5173–5177.
- [105] Defilippi, B.G., Juan, W.S., Valdés, H., Moya-León, M.A., Infante, R., Campos-Vargas, R.

- (2009). The aroma development during storage of *Castlebrite* apricots as evaluated by gas chromatography, electronic nose, and sensory analysis. *Postharvest Biology and Technology*, 51(2), 212-219.
- [106] Paola Parpinello, G., Fabbri, A., Domenichelli, S., Mesisca, V., Cavicchi, L., Versari, A. (2007). Discrimination of apricot cultivars by gas multisensor array using an artificial neural network. *Biosystems Engineering*, 97(3), 371–378.
- [107] Solis-Solis, H.M., Calderon-Santoyo, M., Gutierrez-Martinez, P., Schorr-Galindo, S., Ragazzo-Sanchez, J.A. (2007). Discrimination of eight varieties of apricot (*Prunus armeniaca*) by electronic nose, LLE and SPME using GC-MS and multivariate analysis. *Sensors and Actuators, B: Chemical*, 125(2), 415–421.
- [108] Russo, M., Serra, D., Suraci, F., Postorino, S. (2012). Effectiveness of electronic nose systems to detect bergamot (*Citrus bergamia* Risso et Poiteau) essential oil quality and genuineness. *Journal of Essential Oil Research*, 24(2), 137–151.
- [109] Bernal, L.J., Melo, L.A., Díaz Moreno, C. (2014). Evaluation of the antioxidant properties and aromatic profile during maturation of the blackberry (*Rubus glaucus* Benth) and the bilberry (*Vaccinium meridionale* Swartz). *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*, 67(1), 7209–7218.
- [110] Zawirska-Wojtasiak, R., Gośliński, M., Szwacka, M., Gajc-Wolska, J., Mildner-Szkudlarz, S. (2009). Aroma evaluation of transgenic, thaumatin II-producing cucumber fruits. *Journal of Food Science*, 74(3), 204–210.
- [111] Lebrun, M., Billot, C., Harrak, H., Self, G. (2007). The electronic nose: A fast and efficient tool for characterizing dates. *Fruits*, 60(6), 377–382.
- [112] Alasalvar, C., Pelvan, E., Bahar, B., Korel, F., Ölmez, H. (2012). Flavour of natural and roasted Turkish hazelnut varieties (*Corylus avellana* L.) by descriptive sensory analysis, electronic nose and chemometrics. *International Journal of Food Science and Technology*, 47(1), 122–131.
- [113] Hernández Gómez, A., Wang, J., Hu, G., & García Pereira, A. (2007). Discrimination of storage shelf-life for mandarin by electronic nose technique. *Food Science and Technology*, 40(4), 681–689.
- [114] Lebrun, M., Ducamp-Collin, M.N., Plotto, A., Goodner, K.L., Baldwin, E. (2004). Development of electronic nose measurements for mango (*Mangifera indica*) homogenate and whole fruit. *Proceedings of The Annual Meeting of The Florida State Horticultural Society*, 117, 421–425.
- [115] Lebrun, M., Plotto, A., Goodner, K., Ducamp, M.N., Baldwin, E. (2008). Discrimination of mango fruit maturity by volatiles using the electronic nose and gas chromatography. *Postharvest Biology and Technology*, 48(1), 122–131.
- [116] Russo, M., Di Sanzo, R., Cefaly, V., Carabetta, S., Serra, D., Fuda, S. (2013). Non-destructive flavour evaluation of red onion (*Allium cepa* L.) Ecotypes: An electronic-nose-based approach. *Food Chemistry*, 141(2), 896–899.
- [117] Zhang, H., Wang, J., Ye, S. (2008). Predictions of acidity, soluble solids and firmness of pear using electronic nose technique. *Journal of Food Engineering*, 86(3), 370–378.
- [118] S Benedetti, S., Buratti, S., Spinardi, A., Mannino, S., Mignani, I. (2008). Electronic nose as a non-destructive tool to characterise peach cultivars and to monitor their ripening stage during shelf-life. *Postharvest Biology and Technology*, 47(2), 181–188.
- [119] Infante, R., Rubio, P., Meneses, C., Contador, L. (2011). Ripe nectarines segregated through sensory quality evaluation and electronic nose assessment. *Fruits*, 66(2), 109–119.
- [120] Rizzolo, A., Bianchi, G., Vanoli, M., Lurie, S., Spinelli, L., Torricelli, A. (2013). Electronic nose to detect volatile compound profile and quality changes in “spring belle” peach (*Prunus persica* L.) during cold storage in relation to fruit optical properties measured by time-resolved reflectance spectroscopy. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 61(8), 1671-1685.
- [121] Su, M., Zhang, B., Ye, Z., Chen, K., Guo, J., Gu, X. (2013). Pulp volatiles measured by an electronic nose are related to harvest season, TSS concentration and TSS/TA ratio among 39 peaches and nectarines. *Scientia Horticulturae*, 150, 146-153.
- [122] Liu, H., Zeng, F.K., Wang, Q.H., Wu, H.S., Tan, L.H. (2013). Studies on the chemical and flavor qualities of white pepper (*Piper nigrum* L.) derived from five new genotypes. *European Food Research and Technology*, 237(2), 245–251.
- [123] Torri, L., Sinelli, N., Limbo, S. (2010). Shelf life evaluation of fresh-cut pineapple by using an electronic nose. *Postharvest Biology and Technology*, 56(3), 239–245.
- [124] Du, X., Bai, J., Platto, A., Baldwin, E., Whitaker, V. (2010). Electronic nose for detecting strawberry fruit maturity. *Proceedings of the Florida State Horticultural Society*, 123, 259–263.
- [125] Qiu, S., Wang, J., Gao, L. (2014). Discrimination and characterization of strawberry juice based on electronic nose and tongue: Comparison of different juice processing approaches by LDA, PLSR, RF, and SVM. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 62(27), 6426-6434.
- [126] Cheng, S., Wang, J., Ma, Y., Wang, Y. (2012). Discrimination of different types damage of tomato seedling by electronic nose. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 28, 102-106.
- [127] Gómez, A.H., Wang, J., Hu, G., Pereira, A.G. (2008). Monitoring storage shelf life of tomato using electronic nose technique. *Journal of Food Engineering*, 85(4), 625-631.
- [128] Wang, J., Zhou, Y. (2007). Electronic-nose technique: Potential for monitoring maturity and shelf life of tomatoes. *New Zealand Journal of Agricultural Research*, 50(5), 1219–1228.

- [129] Sanaeifar, A., Mohtasebi, S.S., Ghasemi-Varnamkhasti, M., Ahmadi, H. (2016). Application of MOS based electronic nose for the prediction of banana quality properties. *Measurement*, 82, 105–114.
- [130] Guohua, H., Yuling, W., Dandan, Y., Wenwen, D., Linshan, Z., Lvyue, W. (2012). Study of peach freshness predictive method based on electronic nose. *Food Control*, 28, 25–32.
- [131] Huang, L., Meng, L., Zhu, N., Wu, D. (2017). A primary study on forecasting the days before decay of peach fruit using near-infrared spectroscopy and electronic nose techniques. *Postharvest Biology and Technology*, 133, 104–112.
- [132] Liu, Q., Zhao, N., Zhou, D., Sun, Y., Sun, K., Pan, L. (2018). Discrimination and growth tracking of fungi contamination in peaches using electronic nose. *Food Chemistry*, 262, 226–234.
- [133] Voss, H.G., Stevan, S.L., Ayub, R.A. (2019). Peach growth cycle monitoring using an electronic nose. *Computers and Electronics in Agriculture*, 163, 104858.
- [134] Wang, L., Wang, P., Deng, W., Cai, J., Chen, J. (2019). Evaluation of aroma characteristics of sugarcane (*Saccharum officinarum* L.) juice using gas chromatography-mass spectrometry and electronic nose. *Food Science and Technology*, 108, 400–406.
- [135] Dou, T.X., Shi, J.F., Li, Y., Bi, F.C., Gao, H.J., Hu, C.H. (2020). Influence of harvest season on volatile aroma constituents of two banana cultivars by electronic nose and HS-SPME coupled with GC-MS. *Scientia Horticulturae*, 265, 109214.
- [136] Zhang, X., Li, M., Cheng, Z., Ma, L., Zhao, L., Li, J. (2019). A comparison of electronic nose and gas chromatography-mass spectrometry on discrimination and prediction of ochratoxin A content in *Aspergillus carbonarius* cultured grape-based medium. *Food Chemistry*, 297, 124850.
- [137] Chen, H.Z., Zhang, M., Bhandari, B., Guo, Z. (2018). Evaluation of the freshness of fresh-cut green bell pepper (*Capsicum annuum* var. *grossum*) using electronic nose. *Food Science and Technology*, 87, 77–84.
- [138] Chen, H.Z., Guo, Z. (2019). Discrimination of fresh-cut broccoli freshness by volatiles using electronic nose and gas chromatography-mass spectrometry. *Postharvest Biology and Technology*, 148, 168–175.
- [139] [139] Martínez Gila, D.M., Gámez García, J., Bellincontro, A., Mencarelli, F., Gómez Ortega, J. (2020). Fast tool based on electronic nose to predict olive fruit quality after harvest. *Postharvest Biology and Technology*, 160, 111058.
- [140] Dutta, R., Hines, E.L., Gardner, J.W., Kashwan, K.R., Bhuyan, M. (2003). Tea quality prediction using a tin oxide-based electronic nose: an artificial intelligence approach. *Sensors and Actuators, B: Chemical*, 94, 228–237.
- [141] Kashwan, K.R., Bhuyan, M. (2005). Robust electronic-nose system with temperature and humidity drift compensation for tea and spice flavour discrimination. *Asian Conference on Sensors and the International Conference on New Techniques in Pharmaceutical and Biomedical Research-Proceedings*, 154–158.
- [142] Yu, H., Wang, J. (2007). Discrimination of LongJing green-tea grade by electronic nose. *Sensors and Actuators, B: Chemical*, 122, 134–140.
- [143] Bhattacharyya, N., Seth, S., Tudu, B., Tamuly, P., Jana, A., Ghosh, D. (2007). Monitoring of black tea fermentation process using electronic nose. *Journal of Food Engineering*, 80, 1146–1156.
- [144] Bhattacharyya, N., Seth, S., Tudu, B., Tamuly, P., Jana, A., Ghosh, D. (2007). Detection of optimum fermentation time for black tea manufacturing using electronic nose. *Sensors and Actuators: B. Chemical*, 122, 627–634.
- [145] Bhattacharya, N., Tudu, B., Jana, A., Ghosh, D., Bandhopadhyaya, R., Bhuyan, M. (2008). Preemptive identification of optimum fermentation time for black tea using electronic nose. *Sensors and Actuators, B: Chemical*, 131, 110–116.
- [146] Yu, H., Wang, J., Zhang, H., Yu, Y., Yao, C. (2008). Identification of green tea grade using different feature of response signal from E-nose sensors. *Sensors and Actuators, B: Chemical*, 128, 455–461.
- [147] Bhattacharyya, N., Bandyopadhyay, R., Bhuyan, M., Tudu, B., Ghosh, D., Jana, A. (2008). Electronic nose for black tea classification and correlation of measurements with “tea taster” marks. *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, 57(7), 1313–1321.
- [148] Bhattacharya, N., Tudu, B., Jana, A., Ghosh, D., Bandhopadhyaya, R., Baran, A. (2008). Illumination heating and physical raking for increasing sensitivity of electronic nose measurements with black tea. *Sensors and Actuators, B: Chemical*, 131, 37–42.
- [149] Tudu, B., Jana, A., Metla, A., Ghosh, D., Bhattacharyya, N., Bandyopadhyay, R. (2009). Chemical electronic nose for black tea quality evaluation by an incremental RBF network. *Sensors and Actuators, B: Chemical*, 138, 90–95.
- [150] Tudu, B., Metla, A., Das, B., Bhattacharyya, N., Jana, A. (2009). Classifier for black tea quality evaluation: An incremental fuzzy approach. *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, 58(9), 3069–3078.
- [151] Yu, H., Wang, Y., Wang, J. (2009). Identification of tea storage times by linear discrimination analysis and back-propagation neural network techniques based on the eigenvalues of principal components analysis of e-nose sensor signals. *Sensors*, 8073–8082.
- [152] Yang, Z., Dong, F., Shimizu, K., Kinoshita, T., Kanamori, M., Morita, A. (2009). Identification of coumarin-enriched Japanese green teas and their particular flavor using electronic nose. *Journal of Food Engineering*, 92(3), 312–316.
- [153] Yu, H., Wang, J., Xiao, H., Liu, M. (2009). Chemical quality grade identification of green tea using the eigenvalues of PCA based on the E-

- nose signals. *Sensors and Actuators, B: Chemical*, 140, 378–382.
- [154] Sipos, L., Kovacs, Z., Szöllosi, D., Kokai, Z. (2011). Comparison of novel sensory panel performance evaluation techniques with e-nose analysis integration. *Journal of Chemometrics*, 25(5), 275–286.
- [155] Bag, A., Tudu, B., Bandyopadhyay, R., Bhattacharyya, N., Roy, J. (2011). Optimization of sensor array in electronic nose: A rough set-based approach. *Smart Sensors, Measurement and Instrumentation*, 11(11), 3001–3008.
- [156] Chen, Q., Zhao, J., Chen, Z., Lin, H., Zhao, D.A. (2011). Discrimination of green tea quality using the electronic nose technique and the human panel test, comparison of linear and nonlinear classification tools. *Sensors and Actuators, B: Chemical*, 159(1), 294–300.
- [157] Kaur, R., Kumar, R., Gulati, A., Ghanshyam, C., Kapur, P., Bhonekar, A.P. (2012). Enhancing electronic nose performance: A novel feature selection approach using dynamic social impact theory and moving window time slicing for classification of Kangra orthodox black tea (*Camellia sinensis* L., O. Kuntze). *Sensors and Actuators, B: Chemical*, 166, 309–319.
- [158] Qin, Z., Pang, X., Chen, D., Cheng, H., Hu, X., Wu, J. (2013). Evaluation of Chinese tea by the electronic nose and gas chromatography-mass spectrometry: Correlation with sensory properties and classification according to grade level. *Food Research International*, 53(2), 864–674.
- [159] Mirasoli, M., Gotti, R., Di Fusco, M., Leoni, A., Colliva, C., Roda, A. (2014). Electronic nose and chiral-capillary electrophoresis in evaluation of the quality changes in commercial green tea leaves during a long-term storage. *Talanta*, 129, 32–38.
- [160] Torri, L., Rinaldi, M., Chiavaro, E. (2014). Electronic nose evaluation of volatile emission of Chinese teas: From leaves to infusions. *International Journal of Food Science and Technology*, 49(5), 1315–1323.
- [161] Kablan, Y. (2018). Elektronik Burun ile Farklı Kalitedeki Doğu Karadeniz Çaylarının Sınıflandırılması. *Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi*, 1-98.
- [162] Zhu, J.C., Chen, F., Wang, L.Y., Niu, Y.W., Xiao, Z.B. (2017). Evaluation of the synergism among volatile compounds in Oolong tea infusion by odour threshold with sensory analysis and E-nose. *Food Chemistry*, 221, 1484–1490.
- [163] Xu, M., Wang, J., Gu, S. (2019). Rapid identification of tea quality by E-nose and computer vision combining with a synergetic data fusion strategy. *Journal of Food Engineering*, 241, 10–17.
- [164] Banerjee, M.B., Roy, R.B., Tudu, B., Bandyopadhyay, R., Bhattacharyya, N. (2019). Black tea classification employing feature fusion of E-Nose and E-Tongue responses. *Journal of Food Engineering*, 244, 55–63.
- [165] Xu, M., Wang, J., Zhu, L. (2019). The qualitative and quantitative assessment of tea quality based on E-nose, E-tongue and E-eye combined with chemometrics. *Food Chemistry*, 289, 482–489.
- [166] Wang, J., Chang, M., He, W., Lu, X., Fei, S., Lu, G. (2020). Optimization of electronic nose sensor array for tea aroma detecting based on correlation coefficient and cluster analysis. *Sensors and Actuators, B: Chemical*, 128068.
- [167] Romani, S., Cevoli, C., Fabbri, A., Alessandrini, L., Rosa, M.D. (2012). Evaluation of coffee roasting degree by using electronic nose and artificial neural network for off-line quality control. *Food Chemistry*, 77(9), 960–965.
- [168] Gardner, J., Shurmer, H., Tan, T.T. (1992). Application of an electronic nose to the discrimination of coffees. *Sensors and Actuators, B: Chemical*, 6, 71–75.
- [169] Falasconi, M., Pardo, M., Sberveglieri, G., Riccò, I., Bresciani, A. (2005). The novel EOS835 electronic nose and data analysis for evaluating coffee ripening. *Sensors and Actuators, B: Chemical*, 110(1), 73–80.
- [170] Aishima, T. (1991). Aroma discrimination by pattern recognition analysis of responses from semiconductor gas sensor array. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*, 39, 752–756.
- [171] Kermani, B.G., Schiffman, S.S., Nagle, H.T. (2005). Performance of the Levenberg – Marquardt neural network training method in electronic nose applications. *Sensor and Actuators, B: Chemical*, 110, 13–22.
- [172] Pardo, M., Sberveglieri, G. (2002). Coffee analysis with an electronic nose. *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, 51(6), 1334–1339.
- [173] Brudzewski, K., Osowski, S., Member, S., Dwulit, A. (2012). Recognition of coffee using differential electronic nose. *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, 61(6), 1803–1810.
- [174] Rodríguez, J., Durán, C., Reyes, A. (2010). Electronic nose for quality control of Colombian coffee through the detection of defects in " Cup Tests ". *Sensors*, 10, 36–46.
- [175] Dong, W., Zhao, J., Hu, R., Dong, Y., Tan, L. (2017). Differentiation of Chinese robusta coffees according to species, using a combined electronic nose and tongue, with the aid of chemometrics. *Food Chemistry*, 229, 743–751.
- [176] Dong, W., Hu, R., Long, Y., Li, H., Zhang, Y., Zhu, K. (2019). Comparative evaluation of the volatile profiles and taste properties of roasted coffee beans as affected by drying method and detected by electronic nose, electronic tongue, and HS-SPME-GC-MS. *Food Chemistry*, 272, 723–731.
- [177] Mamatha, B.S., Prakash, A.T. (2011). Studies on Pepper (*Piper nigrum* L.) cultivars by sensory and instrumental techniques. *Zeitschrift für Arznei und Gewürzpflanzen*, 16(4), 176–180.
- [178] Carmona, M., Martínez, J., Zalacain, A., Rodríguez-Méndez, M.L., De Saja, J.A., Alonso, G.L. (2006). Analysis of saffron volatile fraction by TD-GC-MS and e-nose. *European Food Research and Technology*, 223(1), 96–101.

- [179] Tahri, K., Tiebe, C., Bougrini, M., Saidi, T., El Alami El Hassani, N., El Bari, N. (2015). Characterization and discrimination of saffron by multisensory systems, SPME-GC-MS and UV-Vis spectrophotometry. *Analytical Method*, 7(24), 10328–10338.
- [180] Ravi, R., Prakash, M., Bhat, K.K. (2013). Characterization of aroma active compounds of cumin (*Cuminum cyminum* L.) by GC-MS, E-Nose, and sensory techniques. *International Journal of Food Properties*, 16(5), 1048–1058.
- [181] Ravi, R., Prakash, M., Bhat, K.K. (2007). Aroma characterization of coriander (*Coriandrum sativum* L.) oil samples. *European Food Research and Technology*, 225(3), 367–374.
- [182] Tamaki, K., Sonoki, S., Tamaki, T., Ehara, K. (2008). Measurement of odour after in vitro or in vivo ingestion of raw or heated garlic, using electronic nose, gas chromatography and sensory analysis. *International Journal of Food Science and Technology*, 43(1), 130–139.
- [183] Liu, H., Zeng, F., Wang, Q., Ou, S., Tan, L., Gu, F. (2013). The effect of cryogenic grinding and hammer milling on the flavour quality of ground pepper (*Piper nigrum* L.). *Food Chemistry*, 141(4), 3402–3408.
- [184] Lee, J.H., Sung, T.H., Lee, K.T., Kim, M.R. (2004). Effect of gamma-irradiation on color, pungency, and volatiles of Korean red pepper powder. *Journal of Food Science*, 69(8), 585–592.
- [185] García, M., Aleixandre, M., Gutiérrez, J., Horrillo, M.C. (2006). Electronic nose for wine discrimination. *Sensors and Actuators, B: Chemical*, 113, 911–916.
- [186] Rodriguez-Mendez, M.L., Apetrei, C., Gay, M., Medina-plaza, C., Saja, J.A., Aagaard, O. (2014). Evaluation of oxygen exposure levels and polyphenolic content of red wines using an electronic panel by an electronic nose and an electronic tongue. *Food Chemistry*, 155, 91–97.
- [187] Wongchoosuk, C., Choopun, S., Tuantranont, A., Kerdcharoen, T., Wongchoosuk, C., Choopun, S. (2009). Au-doped zinc oxide nanostructure sensors for detection and discrimination of volatile organic compounds. *Materials Research Innovations*, 13, 185–187.
- [188] Wei, Y., Yang, L., Liang, Y., Li, J.M. (2014). Application of electronic nose for detection of wine-aging methods. *Advanced Materials Research*, 875–877, 2206-2213.
- [189] Prieto, N., Dugan, M.E., López-Campos, O., Mcallister, T.A., Aalhus, J.L., Uttaro, B. (2012). Near infrared reflectance spectroscopy predicts the content of polyunsaturated fatty acids and biohydrogenation products in the subcutaneous fat of beef cows fed flaxseed. *International Journal of Modern Education and Computer Science*, 90(1), 43–51.
- [190] Apetrei, I.M., Rodríguez-Méndez, M.L., Apetrei, C., Nevares, I., Alamo, M., Saja, J.A. (2012). Monitoring of evolution during red wine aging in oak barrels and alternative method by means of an electronic panel test. *Food Research International*, 45(1), 244–249.
- [191] Lozano, J., Arroyo, T., Santos, J.P., Cabellos, J.M., Horrillo, M.C. (2008). Electronic nose for wine ageing detection. *Sensors and Actuators B:Chemical*, 133, 180–186.
- [192] Macías, M., Manso, A.G., Orellana, C.J., Velasco, H.M., Caballero, R.G., Chamizo, J.C. (2013). Acetic acid detection threshold in synthetic wine samples of a portable electronic nose. *Sensors*, 13, 208–220.
- [193] Lozano, J., Álvarez, F., Santos, J.P., Horrillo, C. (2011). Detection of acetic acid in wine by means of an electronic nose. *AIP Conference Proceedings*, 1362, 176–177.
- [194] Prieto, N., Gay, M., Vidal, S., Aagaard, O., Saja, J.A. (2011). Analysis of the influence of the type of closure in the organoleptic characteristics of a red wine by using an electronic panel. *Food Chemistry*, 129(2), 58.
- [195] Cabañes, F.J., Sahgal, N., Bragulat, M.R., Magan, N. (2009). Early discrimination of fungal species responsible of ochratoxin a contamination of wine and other grape products using an electronic nose. *Mycotox Research*, 25, 187–192.
- [196] Ragazzo-Sanchez, J.A., Chalier, P., Chevalier-Lucia, D., Calderon-Santoyo, M., Ghommidh, C. (2009). Chemical off-flavours detection in alcoholic beverages by electronic nose coupled to GC. *Sensors and Actuators, B: Chemical*, 140, 29–34.
- [197] Berna, A.M., Rowell, S.T., Ynkar, W.I. (2008). Comparison of metal oxide-based electronic nose and mass spectrometry-based electronic nose for the prediction of red wine spoilage. *Journal of Agricultural Food Chemistry*, 56, 3238–3244.
- [198] Buratti, S., Ballabio, D., Giovanelli, G., Dominguez, C.M., Moles, A., Benedetti, S. (2011). Monitoring of alcoholic fermentation using near infrared and mid infrared spectroscopies combined with electronic nose and electronic tongue. *Analytica Chimica Acta*, 697, 67–74.
- [199] Santos, J.P., Arroyo, T., Aleixandre, M., Lozano, J., Sayago, I., Garc, M. (2004). A comparative study of sensor array and GC – MS: application to Madrid wines characterization. *Sensors and Actuators, B: Chemical*, 102, 299–307.
- [200] Marti, M.P., Busto, O., Guasch, J. (2004). Application of a headspace mass spectrometry system to the differentiation and classification of wines according to their origin, variety and ageing. *Journal of Chromatography A*, 1057, 211–217.
- [201] Capone, S., Tufariello, M., Francioso, L., Montagna, G., Casino, F., Leone, A. (2013). Chemical aroma analysis by GC/MS and electronic nose dedicated to Negroamaro and Primitivo typical Italian Apulian wines. *Sensors and Actuators B:Chemical*, 179, 259-269.
- [202] Fu, J., Huang, C., Xing, J., Zheng, J. (2012). Pattern classification using an olfactory model with PCA feature selection in electronic noses:

- study and application. *Sensors*, 12(3), 2818–2830.
- [203] Santos, J.P., Lozano, J., Aleixandre, M., Arroyo, T., Mariano, J., Gil, M. (2010). Threshold detection of aromatic compounds in wine with an electronic nose and a human sensory panel. *Talanta*, 80, 1899–1906.
- [204] Arroyo, T., Lozano, J.E., Cabellos, J.M., Gil-Díaz, M. (2009). Evaluation of wine aromatic compounds by a sensory human panel and an electronic nose. *Journal of Agricultural Food Chemistry*, 57, 11543–11549.
- [205] Berna, A.Z., Trowell, S., Clifford, D., Cynkar, W., Cozzolino, D. (2009). Geographical origin of Sauvignon Blanc wines predicted by mass spectrometry and metal oxide based electronic nose. *Analytica Chimica Acta*, 648, 146–152.
- [206] Buratti, S., Benedetti, S., Scampicchio, M., & Pangerod, E.C. (2004). Characterization and classification of Italian Barbera wines by using an electronic nose and an amperometric electronic tongue. *Analytica Chimica Acta*, 525, 133–139.
- [207] Rodríguez-Méndez, M.L., Arrieta, A.A., Parra, V., Bernal, A., Vegas, A., Villanueva, S. (2004). Fusion of three sensory modalities for the multimodal characterization of red wines. *IEEE Sensors Journal*, 4(3), 348–354.
- [208] Lozano, J., Santos, J.P., Suárez, J.I., Cabellos, M., Arroyo, T., Horrillo, C. (2014). Automatic sensor system for the continuous analysis of the evolution of wine. *American Journal of Enology and Viticulture*, 66, 148–155.
- [209] Aleixandre, M., González, J.A., Sayago, I., Fernández, M.J., Gutiérrez, J., Horrillo, M.C. (2009). Analysis of grape variety and denomination of origin of several wines with an artificial nose. *Spanish Conference on Electron Devices*, 309-311.
- [210] Lozano, J., Santos, J.P., Arroyo, T., Aznar, M., Mariano, J., Gil, M. (2007). Correlating e-nose responses to wine sensorial descriptors and gas chromatography–mass spectrometry profiles using partial least squares regression analysis. *Sensors and Actuators B: Chemical*, 127, 267–276.
- [211] Aleixandre, M., Lozano, J., Gutierrez, J., Sayago, I., Fernandez, M.J., Horrillo, M.C. (2008). Portable e-nose to classify different kinds of wine. *Sensors and Actuators, B: Chemical*, 131, 71–76.
- [212] Lozano, J., Santos, J.P., Guti, J., Horrillo, M.C. (2007). Comparative study of sampling systems combined with gas sensors for wine discrimination. *Sensors and Actuators, B: Chemical*, 126, 616–623.
- [213] Villanueva, S., Vegas, A., Fernandez-Escudero, J.A., Rodr, M.L., Saja, J.A. (2006). SPME coupled to an array of MOS sensors reduction of the interferences caused by water and ethanol during the analysis of red wines. *Sensors and Actuators, B: Chemical*, 120, 278-287.
- [214] Aguilera, T., Lozano, J., Paredes, J., Alvarez, F., Suarez, J. (2012). Electronic nose based on independent component analysis combined with partial least squares and artificial neural networks for wine prediction. *Sensors*, 12, 8055–8072.
- [215] Lozano, J., Santos, J.P., Aleixandre, M., Sayago, I., Gutiérrez, J., Horrillo, M.C. (2006). Identification of typical wine aromas by means of an electronic nose. *IEEE Sensors Journal*, 6(1), 173–178.
- [216] Lozano, J., Santos, J.P., Horrillo, M.C. (2005). Classification of white wine aromas with an electronic nose. *Talanta*, 67, 610–616.
- [217] Buratti, S., Ballabio, D., Benedetti, S., Cosio, M.S. (2007). Prediction of Italian red wine sensorial descriptors from electronic nose, electronic tongue and spectrophotometric measurements by means of Genetic Algorithm regression models. *Food Chemistry*, 100, 211–218.