

# Journal of Food and Health Science

E-ISSN 2149-0473

REVIEW ARTICLE

DERLEME MAKALESİ

## SU ÜRÜNLERİ KALİTESİNİN DEĞERLENDİRİLMESİNDE KOKU ALGILAMA SENSÖRLERİNİN GELİŞTİRİLMESİ VE UYGULAMALARI

**Seda OĞUR**

Bitlis Eren Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Bitlis-Türkiye

**Received:** 13.11.2014**Accepted:** 05.12.2014**Published online:** 20.12.2014**Corresponding author:**

Seda OĞUR, Bitlis Eren Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Rahva Yerleşkesi, Merkez, Bitlis-Türkiye

**E-mail:** [sdogur@beu.edu.tr](mailto:sdogur@beu.edu.tr)**Öz:**

Su ürünlerinin kalitesinin değerlendirilmesinde kullanılan geleneksel yöntemler duyuşal, fiziksel, kimyasal ve mikrobiyolojik analizler dizininin oluşmaktadır. Koku algılama sensörünün kullanımı bu dizindeki bazı analizlerin yerini alabilecek ve birçok analizde tamamlayıcısı olabilecek yenilikçi bir yöntemdir. Bu derlemede literatürde daha çok elektronik burun (E-burun) ismiyle anılan, gaz ve aroma sensörleri, koku algılama veya yapay koklama sistemleri de denilen sensörlerin nasıl geliştirildiği ve bu sensörlerden su ürünlerinin kalitesini belirlemede nasıl faydalandığı konusunda bilgi verilmeye çalışılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:**

Elektronik burun, Koku algılama sensörü, Su ürünleri, Kalite

**Abstract:****Developments and Applications of Olfactory Sensors in the Evaluation of the Fishery's Quality**

Traditional methods used for evaluating the quality of seafood are consist of the directory of sensory, physical, chemical and microbiological analysis. The use of the olfactory sensors that can replace some of the analysis in this directory and is an innovative method that could complement the many analyzes. In this review is aimed to give information about development of sensors, called more electronic nose (E-nose), gas and aroma sensor, olfaction or artificial olfactory systems in the literature, and how to determine the quality of fishery products from these sensors.

**Keywords:**

Electronic nose, Olfactory sensor, Fishery, Quality

## Giriş

Avrupa ülkelerinde en popüler gıda olan su ürünlerinin tazeliği, hem üreticiler hem de tüketiciler açısından oldukça önem arz etmektedir. Bu nedenle sürekli olarak sektörün isteklerine cevap verecek daha hızlı ve daha yüksek standartlara sahip kalite kontrol yöntemlerinin geliştirilmesine çalışılmaktadır. Su ürünlerinin tazeliğinin veya bozulma durumunun değerlendirilmesinde dikkate alınan temel kriter kokudur. Ürünün kalitesi hakkında fikir veren mevcut kokuların yorumlanması eğitilmiş ya da tecrübeli kişilerce ve algılarının hassasiyeti oranında yapılmaktadır. Bu kişilerin olmaması durumunda ise çoğu zaman duyuşal değerlendirme atlanarak gerekli görülen fiziksel, kimyasal ve mikrobiyolojik analizlerin tamamı yapıldıktan sonra karar verilmektedir. Oysa nitelikli bir panelistin koklamak ya da tatmak suretiyle ürünün bozulmuş mu taze mi olduğunu söylemesi birkaç saniye içerisinde gerçekleşen mükemmel bir sonuçtur. Elektronik burunlar analiz çokluğu ile zaman kaybını ortadan kaldırmak ve her zaman standart bir sonuç elde etmek amacıyla sürekli geliştirilen ve etkinliği arttırılmaya çalışılan kalite kontrol sistemleridir.

Taze veya işlenmiş su ürünlerinin kalitesi hakkında bize fikir veren koku bileşenleri; yosun kokusu, uçucu aromatik bileşenler, enzimatik ve mikrobiyolojik bozulma sonucu açığa çıkan gazlar, alkoller, asitler, aldehit ve ketonlar ile azot bileşenlerini oluşturan yüzlerce çeşit moleküldür. Söz konusu moleküllerin türü ve miktarı her ürüne göre farklılık gösterdiğinden koku sensörlerinin ürüne özgü olarak tasarlanması gerekmektedir. Koku sensörleri bu bileşenlerin haricinde bakteri saptanması ve türlerinin teşhisinde de kullanılmaktadır.

### Elektronik Burunların Geliştirilmesi

Elektronik burunlar geliştirilirken öncelikle uçucu bileşenlerin tanıtılmasıyla bir sensör dizin sistemi oluşturulmakta ve sonra dizin sistemine ait bilgiler bir yazılım programıyla elektronik sinyale dönüştürülmektedir. Laboratuvarda prototipi geliştirilen sensörlerin gaz kromatografisi ve kütle spektrometresi cihazlarından elde edilen analiz sonuçlarına göre hassasiyetleri belirlenmekte ve eğer yüksek doğrulukta çalışıyorsa ticari olarak da üretilip proseste kullanılmaktadır (Chanie ve diğ. 2005). Bu şekilde geliştirilmiş elektronik burunlardan bazıları şunlardır: EOS 835 (Sacmi Imola scarl, İtalya), NST 3320 (Applied Sensör, İsveç), Chem

Sensor 4400 (Agilent Teknoloji Uzmanı, Los Angeles), KAMINA (Karlsruhe Araştırma Merkezi, Almanya) (Sankaran ve diğ. 2012), LibraNose, Smart Nose, FishNose, e-Nose 4000 (Neotronics Science, UK), FreshSense, Air Sense, FOX 3000 (Alpha MOS, Fransa), AromaScanner (AromaScan, UK), Cyranose 320™ (Cyrano Sciences, USA) (Peris ve Escuder-Gilabert 2009).



Şekil 1. Cyranose 320 Sensörü

Figure 1. Cyranose 320 Sensor

Ticari veya deneysel olarak geliştirilen elektronik sensörlerle gıda ürünlerindeki bakteriler (El Barbri ve diğ. 2009; Du ve diğ., 2002; Olafsdottir ve diğ. 2005; Olafsdottir ve diğ. 2006; Şahin ve Saraoğlu 2010; Concina ve diğ. 2009), mikotoksinler (Falasconi ve diğ. 2005), ile su ürünlerinin tazelik (Heising ve diğ. 2012; Di Natale ve diğ. 2001; El Barbri ve diğ. 2008; Tokuşoğlu ve Balaban 2004; Guohua ve diğ. 2012; Winquist ve diğ. 1995; Tian ve diğ. 2012; Limbo ve diğ. 2009; Amari ve diğ. 2006; O'Connell ve diğ. 2001; Olafsdottir ve diğ. 2002) ve bozulma durumları (Chantorachoti ve diğ. 2006; Haugen ve diğ. 2006; Rodriguez-Mendez ve diğ. 2009; Hu ve diğ. 2008) tespit edilmektedir.

İdeal bir algılama materyali şu kriterleri bünyesinde toplamalıdır: i) kimyasal bileşenlere karşı yüksek hassasiyet, ii) nem ve sıcaklığa karşı düşük

hassasiyet, iii) yüksek seçicilik, iv) yüksek stabilite, v) yüksek çoğaltılabilirlik, vi) yüksek güvenilirlik, vii) kısa reaksiyon ve karşılık verme süresi, viii) sağlam ve dayanıklı olma, ix) kolay kalibre edilme ve x) küçük boyutlara sahip olma (Schaller ve diğ. 1998).

İnsan koklama sisteminin daha iyi anlaşılması sayesinde yapay koku algılama sistemleri daha da geliştirilmektedir. Son zamanlarda koku reseptörleri, koku bağlayıcı proteinler ve koklama nöronlarının kullanıldığı koklama sensörleri tasarlanarak farklı uçucu bileşenlerin hassasiyetle nasıl tespit edileceği araştırılmaktadır (Sankaran ve diğ. 2012).

Koku bağlayıcı proteinler, koklama reseptörleri gibi algılama materyali olarak kullanılan etkin araçlardır. Düşük molekül ağırlıklı ve çözünür olan bu proteinler kokuların koklama sistemindeki sulu nazal mukus aracılığıyla iletilmesi için taşıyıcı olarak görev görmektedir. Koku bağlayıcı proteinlerin mikromolar aralıktaki ayrışma sabitleriyle kokuların farklı kimyasal sınıflarına dönüşümlü olarak bağlanması; onları yapay koklama sistemlerinin dizaynında potansiyel algılama materyalleri yapmaktadır (Hou ve diğ. 2005).

Koklama sistemlerinin dizaynında kullanılan diğer biyomateryaller koklama nöronları ve koklama reseptörleri veya koku bağlayıcı proteinlerin bağlanma yerlerinin taklit edilmesiyle yapay peptid sekanslarının sentezlenmesidir. Koklama nöronları kokuların farklı tiplerine karşı cevap üreten binlerce koklama reseptör hücresine sahiptir. Böylece, oldukça özgülük, yüksek hassasiyet ve hızlı tepki göstermektedir (Wang ve diğ. 2005). Yapay peptid sekansları geliştirilmiş stabilite, daha iyi çoğaltılabilirlik, tahmin edilebilir çıktı, fiyat etkinliği ve daha iyi raf ömrü gibi ilave faydalara sahiptir (Wu ve Lo 2000).

### Elektronik Burunlarda Kullanılan Sensörler ve Çalışma Prensipleri

E-burunun hassas materyalleri en çok metal oksit dedektörleri, kuvarz rezonatörleri ve iletken polimerleri sensör olarak kullanılmaktadır (Schaller ve diğ. 1998).

Elektronik burunları oluşturacak koklama reseptörlerinin elde edilmesi, biyomateryallerin hayvanlardan ekstraksiyonu ve reseptör protein varlığında doğrulama için bir mikroorganizma veya hücre içine gönderilmesi olmak üzere iki temel aşamayı kapsamaktadır (Sankaran ve diğ. 2012).

Metal-Oksit  
Yarı İletken



Polimer İletken



Kuvarz Kristal Mikrobaleans



Şekil 2. Sensör Tipleri  
Figure 2. Sensor Types

Koklama hücreleri genellikle *Escherichia coli*, HEK 293 (insan embriyonik böbreği) veya *Saccharomyces cerevisiae* gibi hücrelere gönderilmektedir. Algılama materyalleri farklı teknikler kullanılarak dahili sensör çiplerinde depolanmaktadır. Depolama tekniği, basit olan daldırarak kaplama/damlama kaplama tekniğinden, gelişmiş SAM (kendiliğinden birleşen monotabaka) veya LB (Langmuir-Blodgett) metotlarına kadar sıralanmaktadır. LB tekniğinde organik materyalin bir veya daha fazla monotabakaları katı bir yüzey üzerinde sırayla depolanabilmektedir. SAM tekniğinde monotabakalar, organik moleküllerin substrat içine spontane bir şekilde kimyasal olarak emilmesiyle substrata bağlanabilmektedir. Depolama proseslerinin AFM (atomik kuvvet mikroskopu) veya SEM (taramalı elektron mikroskopu) gibi tekniklerle karakterize edilmesi önemlidir (Sankaran ve diğ. 2012).

Biyomateryalin depolama prosesi aşamasında önem kazanan diğer bir durum uygun substratların seçimidir. Genellikle seramik ve cam bazlı substratlar kullanılmaktadır, ancak diğer organik ve anorganik substratlar da (polietilenimin, polipropilenimin ve polipirol gibi) uygun olabilmektedir (Lakard ve diğ. 2005).

Koku moleküllerinin algılanmasında genellikle QCM (kuvarz kristal mikrobaleans) ve SPR (yüzey plazma rezonans) optik metotları kullanılmaktadır. QCM bazlı algılamada koku molekülleri kuvarz kristallerinin rezonans sıklığının değiştirilmesine neden olan yüzeye adsorbe edilmektedir. QCM basitlik, düşük fiyat, yüksek hassasiyet ve kolaylık gibi avantajlara sahiptir (Ko ve Park 2005). SPR tekniğinde olgular arasındaki zıtlık

yüzey reaksiyonundan önce ve sonra belirlenmektedir. Çoğunlukla değişimin neden olduğu refraktif indeksdeki değişiklikler ölçülmektedir (Lazcka ve diğ. 2007).

Elektronik burun sisteminde cihazın haznesine yerleştirilen örnek ilk önce koku dağıtma ünitesinden geçerek sensör dizin hücrelerine ulaşmakta, daha sonra örneğe ait koku molekülleri cihazın sinyal birleştirme bölümünde elektronik sinyale dönüştürülmektedir. Elde edilen sinyaller işlenerek örüntü tanıma sistemine aktarılmakta ve burada koku moleküllerinin uygun şekilde sınıflandırılması ve modellenmesi yapılmaktadır.

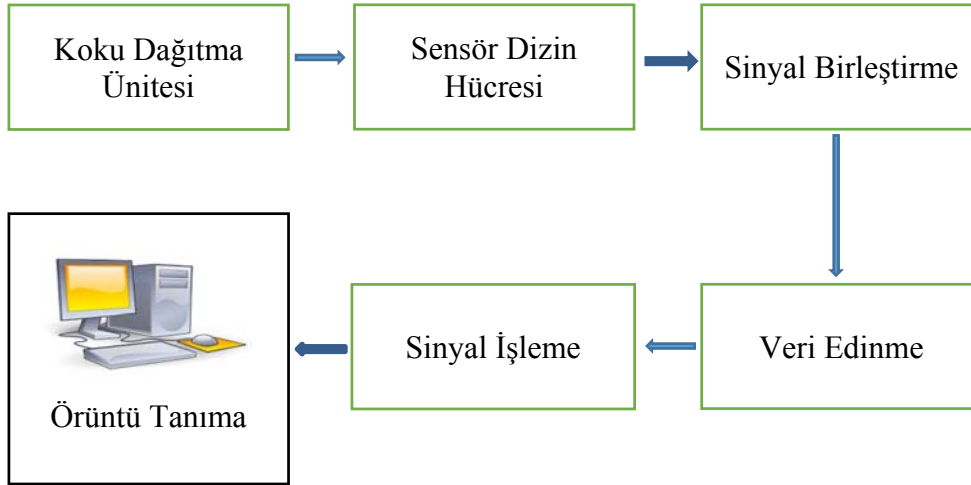
### **Elektronik Burun Sisteminde Elde Edilen Verilerin İşlenmesi**

Koku moleküllerinin sınıflandırılması/tahmin edilmesi için koklama sensör sistemlerinden elde edilen veriler uygun örüntü tanıma tekniklerine ihtiyaç duymaktadır. Elektronik burun sistemlerinin örüntü tanıma bileşenleri; i) sensör sinyalinin

önişlemesini, ii) ekstraksiyonun nitelenmesini ve iii) uygun sınıflama/tahmin modellerinin geliştirilmesini içermektedir (Sankaran ve diğ. 2012).

Sensör sinyallerini temsil eden özelliklerin çeşitliliği; i) ilk ve sabit durum cevabı, ii) cevap kurvesinin dinamik eğimi, iii) cevap kurvesinin altında kalan alan (AUC), iv) hızlı Fourier transform (FFT) etkileşimi ve v) dalgali transform etkileşimi gibi tipik bir koklama sensör sinyalinden kaydedilmektedir (Sankaran ve diğ. 2012).

Araştırmacılar koklama sensörü hassas verilerini sınıflandırmak için PCA (temel bileşen analizi) tekniğini de kullanmaktadır. PCA her bir sınıf için sensör hassaslığında korelasyonu (tekrarlanma) azaltmakta ve grupları veya koku moleküllerini sınıflandırmak için kullanılabilir maksimum varyasyon bileşenlerini elde etmek için bağımsız birkaç boyuta dayanarak hassas veriyi dik olarak hesaplamaktadır (Peris ve Escuder-Gilabert 2009).



**Şekil 3.** E-burunun Çalışma Sistemi

**Figure 3.** The working system of E-nose

Örüntü tanıma algoritmasının uçucu organik bileşenler ve koku tanımadaki E-burun sisteminden açığa çıkan özelliklerin ayırt edilmesi için geliştirilmesi gerekmektedir. İstatistiksel bazlı doğrusal ayrıştırma analizi (LDA) ve kuadratik ayrıştırma analizi (QDA) ve doğrusal olmayan örüntü tanıma modeli bazlı yapay sinir ağı (ANN) gıda kontaminasyonunun sınıflandırılmasında daha önce uygulanmıştır. ANN, kompleks doğrusal olmayan sistemlerin sınıflandırılması ve tahmin edilmesi için kullanılan biyolojik bir sınıflandırma tekniğidir. Geri yayımlı sinir ağı (BPNN), radyal temelli fonksiyon ağı (RBFN), olasılıksal sinir ağı (PNN) ve destek vektör makinesi (SVM) uçucu organik bileşenlerin sınıflandırılmasında genellikle kullanılmaktadır. En basit ANN topolojisi giriş özellik seti (giriş tabakası), karar verme (saklama) tabakası ve karar (çıkış) tabakasını içermektedir (Sankaran ve diğ. 2012).

ANN, diğer örüntü tanıma metotlarına benzemeyerek, önceki deneyimini kullanarak, daha esneklik sağlayarak cevabını dış güçlere dönüştürebilen dinamik, kendine adapte olmuş ve paralellik nedeniyle daha hızlı olan bir sistemdir. Ayrıca, koku uyarıcısının memeli nöron işlenmesini daha yakından taklit edebilmektedir (Schaller ve diğ. 1998).

### **Elektronik Burunların Su Ürünlerindeki Uygulamaları**

Ólafsson ve diğ. (1992), üç farklı balık türündeki (mezzit, morina ve kızılbalık) bozulma durumunu değerlendirmede uçucu aroma bileşenlerinin ölçülmesi için kalay dioksit sensörlerini kullanmıştır. Örnekler oda sıcaklığında veya buzdaki tutulmuş ve sonuçlar duyu analizlerle karşılaştırılmıştır. Bu çalışma balık tazeliğinin değerlendirilmesinde elektronik burunların kullanımının daha fazla araştırma için gelecek vaat ettiğini göstermiştir.

Schweizer-Berberich ve diğ. (1994) tarafından balık tazeliği, spesifik depolama şartlarında zamanla tipik konsantrasyon değişimleri gösteren, alkoller, karboniller, aminler ve merkaptanlardan oluşan konu ile ilgili uçucu bileşenlerin amperometrik sensör, ısıtılmış bir katalizör ve çok değişkenli istatistikler (PCA ve temel bileşen regresyonu veya PCR) kullanılarak ölçülmesiyle belirlenmiştir.

Winquist ve diğ. (1995) tazeliği bitmek üzere olan morina filetolarının kalite tahmini için kullanılan bir E-burunu tanımlamışlardır. Taze morina filetolarının kaç günlük olduğunu tahmin etmek için, E-

burun taze referans filetolar ile öncelikle kalibre edilmiş ve daha sonra bu E-burun taze ve 5 gün sonra satın alınan filetoların kaç günlük olduğunu tahmin etmek amacıyla kullanılmıştır. Bu örnekler için elde edilen tahminler belirli bir aralıkta (33.3-47.3 saat) olmuştur. Bu değerler test materyalinin satın alınan referans materyalinden oldukça eski olduğunu göstermiştir.

Tilapya filetolarını kokularına ve renklerine göre sınıflandırmak için E-burun ve makine vizyon sisteminin yeteneği Korel ve diğ. (2001) tarafından çalışılmıştır. Taze tilapya (*Oreochromis niloticus*) filetoları farklı miktardaki sodyum laktat ile muamele edilmiş ve 1.7°C'de ve 7.2°C'de 12 gün depolanmıştır. Eğitilmiş panelistler ve 12 iletken polimer sensörünü içeren bir E-burun (e-Nose 4000) kokuları değerlendirmiş ve makine vizyon sistemi fileto renklerini ölçmüştür. DFA (ayrıştırma fonksiyon analizi) tarafından deneysel değişkenlere (laktat yüzdesi, mikrobiyal yük, duyu puan, depolama süresi ve sıcaklığı) dayanan doğru sınıflandırma; sadece renk verileri için zayıf, sadece E-burun verileri için kabuledilebilir ve bu verilerin kombinasyonu için ise mükemmel sonuçlar vermiştir.

Di Natale ve diğ. (2001) morina balığı filetolarının tazeliğini tespit etmek için farklı sensör teknolojisi ve örnekleme yöntemlerine dayanan iki E-burunla ölçümler yapmışlardır. Bu E-burunlardan birisi çeşitli metal porfirlerle kaplı sekiz kalınlıklı kesme modlu rezonatörlerin bir dizininden oluşan LibaNose ve diğeri ise her biri belirli bir gaz (CO, H<sub>2</sub>S, NO, SO<sub>2</sub> ve NH<sub>3</sub>) karşı odaklanmış olan beş elektrokimyasal sensöre dayanan FreshSense'dir. 17 günlük depolama süresinde, her iki E-burunun entegrasyonu örneklerin tazeliğinin neredeyse tam olarak değerlendirilmesine izin veren bir performans göstermiştir.

O'Connell ve diğ. (2001) tarafından geliştirilen taşınabilir bir E-burun Arjantinli barlam balığının tazelik tayinleri için kullanılmıştır. Balığın tartılmış bir parçası sensörün bir hücresinin içerisine koyulmuş ve balık emisyonuyla oluşan sensör sinyalleri zamanın bir fonksiyonu olarak kaydedilmiştir. Sensör olarak kalay dioksit bazlı ticari gaz sensörleri kullanılmıştır. Depolama gününün ve barlam balığı kütlesinin artmasıyla (en fazla 50 g) sinyallerde bir artış gözlemlenmiştir. Örneğin koşmuşluğunu belirten elde edilen cevap örüntüleri depolama şartlarından ve depolanmanın bazı günlerinden sonra değişen ağırlıktan bağımsız ol-

muştur. Sırasıyla bozulmuş ve bozulmamış örneklerle ilişkilendirilen farklı iki örüntü elde edilmiştir. Bu sonuçlar PCA yapılarak teyit edilmiştir.

FreshSense olarak isimlendirilen bir E-burun buzda ve modifiye atmosferde depolanan kızıl balığın tazeliğini izlemek için hızlı bir teknik olarak kullanılmıştır. FreshSense sensörünün karakteristik cevabını incelemek için standart bileşenler ölçülmüştür. Kızıl balığın depolanması sırasında üretilen uçucu bileşenler izlenmiştir ve sonuçlar çok değişkenli analiz metodlarıyla analiz edilmiştir. Sensörler balıktaki bozulma bileşenlerinin göstergesi olan standart bileşenlere karşı iyi seçicilik, hassasiyet ve tekrarlanabilirlik göstermiştir. FreshSense standart bileşenler ve onların karışımları arasında ve kızıl balığın taze örnekleri ve bozulmuş örnekleri arasında da ayırım yapabilmıştır. E-burun ölçümleri duyuusal değerlendirme sonuçları ile genelde uyum göstermiştir, fakat kızıl balığın bozulma örüntüsü ve hava boşluğu kompozisyonu hakkında detaylı bilgi vermiştir (Ólafsdóttir ve diğ. 2002).

Du ve diğ. (2002) tarafından çeşitli depolama koşullarında somon filetolarının kalite değerlendirmesi yapılmıştır. Filetolar  $-20^{\circ}\text{C}$ 'de 4 gün ve  $10^{\circ}\text{C}$ 'de 14 gün depolanmıştır ve zamanla oluşan bakteri ve histamin değişimleri AromaScan E-burun ile incelenmiştir. Duyusal panel değerlendirmeyle yapılan karşılaştırma bu yaklaşımın balık kalitesini değerlendirmede kayda değer olabileceğini göstermiştir.

Vazquez ve diğ. (2003) iletken polimer bazlı bir E-burunu kullanarak ançuezin olgunlaşma durumuyla ilgili olan flavor profilindeki kalitatif değişimleri incelemişlerdir. Olgunlaşma prosesini modellemek ve olgunlaşma aşamasının bir fonksiyonu olarak örnekleri ve üretilen bütün başarılı sonuçları sınıflandırmak için PCA ve ANN yöntemlerini de içeren birkaç kemometrik teknik uygulamışlardır. E-burun ölçümleri örnek hazırlamasına ihtiyaç duymamıştır ve sonuçlar bu tekniği kullanarak ançuezin olgunlaşma prosesinin takip edilebileceğini göstermiştir.

Tokuşoğlu ve Balaban (2004) istiridyelerin tazeliğinin objektif olarak değerlendirilmesi için E-burun teknolojisi ve bilgisayar vizyon kombinasyonu üzerinde çalışmışlardır.  $1.8^{\circ}\text{C}$ 'de ve  $7^{\circ}\text{C}$ 'de depolanan istiridyelerdeki (*Crassostrea virginica*) koku ve renk değişiklikleri 13 gün süresince her 3 günde bir E-burun (model 4000; EEV Inc.), bilgisayar vizyon sistemi ve duyuusal panellerle ölçülmüştür. E-burun ve koku duyuusal verileri DFA

kullanılarak çözümlenmiştir. Günlere göre grup E-burun verileri ve her bir sıcaklıktaki duyuusal puanlara ait % 100'lük doğru sınıflandırma oranları elde edilmiştir. Tüm sıcaklık ve gün verileri toplandığında DFA % 94 doğruluklu E-burun okumalarına dayanan duyuusal puanları ön görmüştür.

Jonsdóttir ve diğ. (2004) tarafından ticari olarak üretilmiş olgunlaşmış balık yumurtasının flavor profili duyuusal analizler, gaz kromatografisi-olfaktometre (GC-O), gaz kromatografisi-kütle spektrometresi (GC-MS) ve olgunlaşmış balık yumurtasının hava boşluğu karakterizasyonunu E-burun ile incelenmiştir. Duyusal analizler havyar flavoru ve peynir altı suyu/karamel benzeri koku ile birleşen olgunlaşmış balık yumurtası kokusu ve flavorunun kompleks karakteristik balık yumurtası flavorunun genel olumlu etkisini verdiğini göstermiştir. GC-MS ve E-burun ile uçucu bileşenlerin analizi duyuusal analizlerle tespit edilen tipik olgunlaşmış ve bozulma flavoruna katkıda bulunan aroma bileşenlerinin varlığını onaylamıştır. Bozulma flavorları E-burun ile ölçülen ve olgunlaşmış balık yumurtasının objektif olarak değerlendirilmesi için kalite indikatörü olarak görülen 3-metil-1-bütanol ve 3-metilbütanal tarafından kısmen desteklenmiştir. Genel verilerin temel bileşen analizi GC-O'nun duyuusal değerlendirme ve E-burun ölçümleri ile uyduşturğunu göstermiştir.

Avrupa'daki dört farklı dumanlama evinden gelen soğuk dumanlanmış somonun kalite değişimleri prototip bir MO (metal oksit) sensörü dizin sistemi olan FishNose ile izlenmiştir (Ólafsdóttir ve diğ. 2005). Örnekler farklı ambalajlarda (vakum ve modifiye atmosfer)  $5^{\circ}\text{C}$ 'de ve  $10^{\circ}\text{C}$ 'deki kontrollü depolama koşullarında 4 hafta süresince depolanmıştır. Duyusal özellikler (tatlı/ekşi, kötü ve ransit koku), toplam canlı sayısı ve laktik asit bakterileri sayısına dayanan kalite kriterleri saptanmış ve FishNose cevaplarına dayanan örneklerin sınıflandırılmasında kullanılmıştır. Gaz sensörünün cevapları, bozulma kokusunun duyuusal analizi ve depolama sırasında soğuk dumanlanmış somondaki bozulma kokularına neden olan uçucu mikrobiyal ürün bileşenleri hakkında fikir veren mikrobiyal sayı ile iyi derecede korelasyon göstermiştir.

Haugen ve diğ. (2006) FishNose isimli, gaz örneklem üitesi içeren portatif bir katı hal bazlı gaz sensör dizin sistemini dumanlanmış somonların kalitesinin direkt ölçülmesi için geliştirmişlerdir. Dumanlanmış somonun depolanması sırasındaki kalite değişimleri FishNose ile izlenmiş ve sonuç-

lar geleneksel duyuşal, kimyasal ve mikrobiyal ölçümlerle karşılaştırılmıştır. Gaz sensörü seçimi bozulma sırasında çoğunlukla mikrobiyal metabolizmayı gösteren çok uçucu bileşenlerdeki değişimin tespit edilmesi için optimize edilmiştir. Bu sistem sayesinde tatlı/ekşi ve kötü koku ve mikrobiyal yük gibi özellikler ile ilişkilendirilen kalitenin de tahmin edilebileceğini belirtmişlerdir.

Chantarachoti ve diğ. (2006) 14°C'de ve 1°C'de depoladıkları Alaska pembe somonun (*Oncorhynchus gorbuscha*) bozulma durumunu portatif bir E-burunla (Cyranose 320™, 32 adet ayrı ince film karbon siyah polimer sensöründen oluşmaktadır) incelemişlerdir. Karın boşluğundaki uçucu bileşenlerin tespitinde ileri basamaklı genel ayrıştırma analizlerini kullandıklarında doğru sınıflandırma oranını sırasıyla % 85 ve % 92 olarak bulmuşlardır. 14°C'de depolanan balıkların karın boşluğu kokularından elde edilen duyuşal veriler ile E-buruna ait cevaplar arasında doğrusal korelasyon olduğu gözlemlenmiştir.

Spesifik bozulma organizmalarının çoğalması ve kalite değişiklikleri 0.7°C ve 15°C'de ve sıcaklık dalgalanmaları altında, strafor kutular içinde depolanan mezzit filetolarında değerlendirilmiştir. Bozulma kokusunun başlangıcı için karakteristik olan mikrobiyal metabolitleri temsil eden bileşenlerin farklı sınıflarını izlemek için hızlı bir E-burun tekniğı kullanılmıştır. *Photobacterium phosphoreum* bozulma bakterilerinin arasında baskın olmuş ve duyuşal değerlendirmede TVB-N'nin yüksek seviyeleri gözlemlenmiştir. *Pseudomonas* spp.'nin E-burun CO sensörünün artan cevabı ile örtüşmeyen mezzit filetolarındaki tatlı, meyvemsi bozulma kokusunun gelişmesinde sorumlu olduğu ortaya çıkmıştır. H<sub>2</sub>S üreten bakterilerden, büyük olasılıkla *Shewanella putrefaciens*, uygun olmayan sıcaklık koşullarında H<sub>2</sub>S sensörünün yanıtı ile ilişkili bulunmuştur. Duyuşal kalitenin en iyi tahmini beş değişkene (E-burun sensörü (CO, NH<sub>3</sub> ve H<sub>2</sub>S), *Pseudomonas* sayısı ve zaman-sıcaklık değişkeni) dayanan PLSR (kısmi en küçük kareler regresyonu) modeliyle elde edilmiştir (Olafsdottir ve diğ. 2006).

Amari ve diğ. (2006) tarafından bir E-burun geliştirilmiş ve soğuk depolamada (4±1°C) geçen günlerin sayısına göre sardalya örneklerinin tazeliğini sınıflandırmak için hızlı bir teknik olarak kullanılmıştır. Tartılan sardalya örneklerinin hava boşluğunda bulunan uçucu bileşenler bir sensör hücresi içerisine tanıtılmış ve sensörlerin cevap sinyalleri zamanın fonksiyonu olarak kaydedilmiştir. Veri

analizleri PNN, bulanık ARTMAP sinir ağıları ve SVM gibi üç farklı örüntü tanıma metodu ile yapılmıştır. Bu çalışmanın amacı, bu üç örüntü tanıma metotları arasında sardalya örneklerinin geçirdiğı soğuk depolama günlerini doğru belirlemek için en uygun olanı seçmek olmuştur. Sonuçlar E-burunun 4°C'de depolanan sardalya örneklerinin tazeliğini izleyebildiğini ve en iyi sınıflandırma ve tahminin SVM sinir ağı ile elde edildiğini göstermiştir.

12 iletken polimer sensörlü bir E-burun farklı kimyasallarla muamele edilmiş çiğ karidesin kokularını ölçmek için kullanılmıştır (Luzuriaga ve diğ. 2007). Başsız kabuklu pembe karides (*Pandalus jordani*) farklı miktarlardaki ağartıcı, fosfatlar ve sülfidler ile muamele edilmiş ve 2°C'de 48 saat depolanmıştır. Kokular duyuşal paneller ve E-burun ile değerlendirilmiş, ayrıca aerobik canlı sayısı belirlenmiştir. DFA sonuçları E-burunun karidesdeki kimyasal varlığına bağılı olan kokudaki farklılıkları ayırt edebildiğini göstermiştir. Doğru sınıflandırma oranı ağartıcı, fosfat ve sülfid ile muamele edilmiş karideslerde sırasıyla % 92.7, % 95.8 ve % 99.2 olmuştur.

El Barbri ve diğ. (2008) minyatürlük ve taşınabilirlik için uygun olan sınırlamalar altında balığın tazeliğini gerçek zamanlı olarak değerlendirebilen bir E-burun sisteminin araştırılmasını ve realize edilmesini amaçlayarak altı kalay oksit bazlı Tagushi gaz sensörünü 4 °C'de depolanan sardalya örneklerini analiz etmek için kullanmışlardır. Bir mikro denetleyici ve taşınabilir bilgisayara bağılı özel gerçek zamanlı veri toplama sistemi tasarlanmış ve bu uygulama için oluşturulmuştur. PCA ve destek vektör makinesi sonuçları sistemin 4°C'de depolanan sardalyanın tazeliğini değerlendirebildiğini göstermiştir.

İstiridyelerin kalitesini değerlendirmede iki E-burun sisteminin etkinliğı 4°C'de ve 7°C'de 14 gün depolanan canlı istiridyeler üzerinde çalışılmıştır. Her iki sıcaklıkta da depolanan istiridyelerden 7°C'de depolananlar 7. günde bakteriyal yüklerinin 10<sup>7</sup> CFU/g'a ulaşmasıyla mikrobiyal bozulmanın değişen derecelerini sergilemişlerdir. Cyranose 320™ E-burun sistemi değişen evrenin istiridyeye kalitesini ayırt etmek için karakterize koku çıktıkları üretme yeteneğinde (%100 ayırma) olmuştur. Doğrulama sonuçları Cyranose 320™'nin depolama süresi açısından istiridyelerin kalitesini % 93 doğrulukla belirleyebildiğini göstermiştir. Ancak, VOC marka E-burun için doğru sınıflan-

dırma oranı sadece % 22 olmuştur. E-burun verisinin mikrobiyal sayı ve duyuşal panel puanları ile korelasyonu Cyranose 320<sup>TM</sup>'nin istiridyelerin mikrobiyal kalitesini tahmin edebildiğini açığa çıkarmıştır (Hu ve diğ. 2008).

Rodríguez-Méndez ve diğ. (2009) fitalosiyenin ile kimyasal olarak modifiye edilmiş voltametik sensörler dizinini kullanarak balık bozulmasından kaynaklanan biyojen aminleri içeren bozulma ürünlerinin genel tespitini içeren bir yöntem geliştirmişlerdir. Ekran baskılı elektrotlar (SPE) dizininin performansı klasik karbon pasta elektrot (CPE) dizini ile karşılaştırılmıştır. Sensörler biyojen aminlerin (amonyum, dimetilamin, trimetilamin, kadaverin ve histamin) model çözümlemesine karşı iyi hassasiyet göstermişlerdir. Dizin tarafından sağlanan cevapların örüntüsü balık tazeliğini değerlendirmek ve post-mortem periyodu belirlemek için başarılı şekilde kullanılmıştır. Artan depolama günüyle birlikte biyojen aminler ve diğ. bozulma ürünleri ile ilişkilendirilen sinyallerde artış gözlemlenmiştir.

Zhang ve diğ. (2009) altı adet Tagushi tip gaz sensörüne sahip E-burunla ahtapotların bozulma durumlarını ve formaldehit içeriklerini tespit etmişlerdir. Sensör cevap kurvelerinden iki statik özellik (havadaki direnci, sensör cevabı) ve bir dinamik özellik (desorpsiyon oranı) ortaya çıkmıştır. PCA ile ürünlerdeki bozulmayı kolaylıkla belirlemişlerdir. Farklı ahtapot örnekleri için doğru tanıma oranını % 93.1 olarak bulmuşlardır.

Limbo ve diğ. (2009)'nin Avrupa levreği (*Dicentrarchus labrax*) ile ilgili yürüttükleri çalışmanın amacı hem kimyasal (TVB ve TBA analizi) hem de olfaktometrik (E-burun) metod uygulayarak, üç farklı depolama sıcaklığındaki (0.5 °C, 4.8 °C ve 16.5 °C) raf ömrünü, pazarlanma sırasındaki gerçek zaman-sıcaklık teşhir şartlarını, zaman-sıcaklık geçmiş verileri temelinde ve uygun entegrasyon rutininde ticari zincirdeki kalan raf ömrünü belirlemektir. Raf ömrü çalışması tazeliğin azalmasının açıklanmasında ve bir tazelik eşiğinin tanımlanmasında kimyasal belirteçlerin ve E-burunun etkinliğini ortaya koymuştur.

El Barbri ve diğ. (2009) tarafından objektif anlamda, 4 °C'de 1 hafta depolanan sardalya örneklerindeki tazeliğin evrimsel aşamalarını değerlendirmek için dört element, entegre, mikro-işlemcili, MO gaz sensörü dizinine dayalı bir E-burun sistemi kullanılmıştır. Geliştirilen sensörler Pt ya da Pd veya Bi ile takviyeli kalay oksit ve Au ile tak-

viyeli tungsten oksit bazlıdır. Gaz hassasiyetli materyallerin seçimi kütle spektrometresiyle birleştirilmiş katı fazlı mikro-ekstraksiyon gaz kromatografisiyle belirlenmiş sardalyanın hava boşluğunda bulunan karakteristik bileşenlerin önceden belirlenmesine ve ölçümüne dayandırılmıştır. Sensör dizin cevaplarına göre yürütülen temel bileşen analizleri sardalya örneklerinin üç tazelik durumuna sınıflandırılabilceğini ortaya koymuştur. Bu sınıflandırma, mikrobiyal analizlerin sonuçlarıyla iyi uyum göstermiştir. E-burun sınıflandırma yeteneğinin kararlılığı 1 ay arayla toplanan ölçüm veritabanlarını doğru sınıflandırarak değerlendirilmiştir. Gaz sensörü cevaplarının giriş verisi olarak çalışan kantitatif kısmı en küçük kareler modelinin kurulması ve doğrulanması sayesinde sardalya örneklerinde var olan aerobik bakterilerin toplam canlı sayısını 0.91'lik korelasyon katsayısıyla tahmin etmek mümkün olmuştur.

Heising ve diğ. (2012) -0.5°C'de ve 1.9°C'de depoladıkları paketlenmiş morina balıklarının tazelik durumlarındaki değişikliklerin bir indikatörü olarak hava boşluğundaki amonyumun izlenmesi için tahribatsız bir metot geliştirmişlerdir. Amonyum iyon seçici elektrotun (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-ISE) çıktıları balık filetoalarının uçucu amin içerikleri (TVB-N) ile karşılaştırıldığında uyumlu oldukları görülmüştür.

Protein bazlı gıdaları tespit etmek amacıyla polimer/carbon nanotüp (CNT) sensör dizininden oluşan portatif bir e-burun geliştirilmiştir. Gaz sensörleri, CNT/polimer nanokompozit materyallerini birbirine kenetlenmiş elektrotlar üzerine fonksiyonlandıran spin-kaplamayla üretilmiştir. Sensörler, ppm seviyesindeki amonyak, amin bileşenleri, asetik asit, su ve organik çözücüler gibi uçucu bileşenlerin çeşitli tipleriyle test edilmiştir. Çoğu sensörün organik çözücülere ve suya karşı oldukça düşük bir yanıt verirken; amonyak, amin bileşenleri ve asetik asite karşı güçlü sinyaller ürettiği bulunmuştur. Sensör cevabına bağlı olan amin çeşidinin etkileşim ilişkisini anlamak için, uçucu amonyağa karşı en iyi cevabı sağlayan bir polimer yapı üzerindeki yoğunluk fonksiyonel teorisine dayanan moleküler modelleme gerçekleştirilmiştir. Temel bileşen analizine dayanarak, bu portatif e-burunun deniz ürünlerinden açığa çıkan farklı miktardaki amin bileşenlerinin sınıflandırılmasında başarıyla uygulanabileceği sonucuna varılmıştır (Lorwongtragool ve diğ. 2012).



Guohua ve diğ. (2012) tarafından 277 K sıcaklıkta depolanan ot sazınının (*Ctenopharyngodon idellus*) E-buruna dayanan kalite öngörü modeli tasarlanmıştır. Örneklere göre sensör dizin cevabının değişimine mikrobiyal yayılma sayesinde açığa çıkan yeni oluşturulan gaz türleri neden olmuştur. PCA metodu taze ot sazını örneklerini orta derecede taze ve eski örneklerden ayırt etmiştir. Stokastik rezonans sinyal-gürültü oranı maksimumları taze, orta derecede taze ve eski ot sazını örneklerini başarıyla ayırmıştır. Doğrulama deneyleri bu modelin öngörü doğruluğunun % 87.5 olduğunu göstermiştir.

Tian ve diğ. (2012) 15°C, 10°C ve 5°C'de depoladıkları kaya balığının tazeliğini izlemek için ticari olarak ulaşılabilen MO sensörlerine dayanan basit ve çoğaltılabilir bir E-burun yapmışlardır. Örnek dağıtımını dinamik hava boşluğu metoduna dayandırılmış ve denetimsiz bir PCA metodu kullanarak her bir sensörün geçici cevabından çıkarılmıştır. Örneklerin e-burun cevapları ve TVB-N değerleri ve aerobik bakteri sayıları arasında iyi korelasyon katsayıları elde edilmiştir.

Lim ve diğ. (2013) bozulmuş balıktan üretilen trimetilamin (TMA) miktarının gerçek zamanlı olarak ölçülmesi aracılığıyla deniz ürünleri kalitesini belirleyebilen peptid reseptör bazlı bir biyoelektronik burun (BEB) üretmiştir. BEB, TMA'yı tanıyan ve 10 fM'den daha düşük konsantrasyonlardaki TMA'yı gerçek zamanlı olarak hassas ve seçici bir şekilde tespit etmeye olanak sağlayan koku reseptöründen türemiş peptidlerle fonksiyonlandırılmış tek duvarlı-karbon nanotüp alan-etkili transistörler kullanılarak geliştirilmiştir. Ayrıca, BEB deniz ürünleri kalitesinin yerinde ölçülmesi gereken yerlerde etkin şekilde kullanılabilir hale getiren portatif bir skalada üretilmiştir. Cihazın bu özellikleri kullanılarak sadece deniz ürünlerinin üç çeşidinin (istiridye, karides ve istakoz) kalitesi belirlenmemiş, aynı zamanda herhangi bir ön işlem prosesi uygulanmadan bozulmuş deniz ürünü bozulmuş gıdaların diğer tiplerinden de ayırtedilebilmiştir.

## Sonuç

Yapılan literatür incelemeleri doğrultusunda E-burunların su ürünlerinin kalitesini belirlemede başarılı bir şekilde kullanıldığı, ancak araştırma sonuçları dikkate alınarak sensörlerin etkinliğinin daha da geliştirilmesi ve bu cihazlara proseste mutlaka yer verilmesi gerektiği düşünülmektedir.

## Kaynaklar

- Amari, A., El Barbri, N., Llobet, E., El Bari, N., Correig, X., Bouchikhi, B. (2006): Monitoring the freshness of Moroccan sardines with a neural-network based electronic nose. *Sensors*, 6(10): 1209-1223.
- Chanie, E., Ólafsdóttir, G., Jónsdóttir, R., (2005). IFL Project Report.
- Chantarachoti, J., Oliveira, A.C.M., Himelbloom, B.H., Crapo, C.A., McLachlan, D.G. (2006): Portable electronic nose for detection of spoiling Alaska pink salmon (*Oncorhynchus gorboscha*). *Journal of Food Science*, 71(5): S414-S421.
- Concina, I., Falasconi, M., Gobbi, E., Bianchi, F., Musci, M., Mattarozzi, M., Pardo, M., Mangia, A., Careri M., Sberveglieri, G. (2009): Early detection of microbial contamination in processed tomatoes by electronic nose. *Food Control*, 20(10): 873-880.
- Di Natale, C., Olafsdóttir, G., Einarsson, S., Martinelli, E., Paolesse, R., D'Amico, A. (2001): Comparison and integration of different electronic noses for freshness evaluation of cod-fish fillets, *Sensors and Actuators B: Chemical*, 77(1-2): 572-578.
- Du, W.X., Lin, C.M., Huang, T., Kim, J., Marshall, M, Wei, C.I. (2002): Potential application of the electronic nose for quality assessment of salmon fillets under various storage conditions. *Journal of Food Science*, 67(1): 307-313.
- El Barbri, N., Llobet, E., El Bari, N., Correig, X., Bouchikhi, B. (2008): Application of a portable electronic nose system to assess the freshness of Moroccan sardines. *Materials Science and Engineering: C*, 28(5-6): 666-670.
- El Barbri, N., Mirhisse, J., Ionescu, R., Bari, N.E., Correig, X., Bouchikhi, B., Llobet, E. (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.
- Falasconi, M., Gobbi, E., Pardo, M., Della Torre, M., Bresciani, A., Sberveglieri, G. (2005): Detection of toxigenic strains of *Fusarium verticillioides* in corn by electronic

- olfactory system. *Sensors and Actuators B: Chemical*, 108(1-2): 250-257.
- Guohua, H., Lvye, W., Yanhong, M., Lingxia, Z. (2012): Study of grass carp (*Ctenopharyngodon idellus*) quality predictive model based on electronic nose. *Sensors and Actuators B: Chemical*, 166-167: 301-308.
- Haugen, J.E., Chanie, E., Westad, F., Jonsdottir, R., Bazzo, S., Labreche, S., Marcq, P., Lundby, F., Olafsdottir, G. (2006): Rapid control of smoked Atlantic salmon (*Salmo salar*) quality by electronic nose: Correlation with classical evaluation methods. *Sensors and Actuators B: Chemical*, 116(1-2): 72-77.
- Heising, J.K., Dekker, M., Bartels, P.V., van Boekel, M.A.J.S. (2012): A non-destructive ammonium detection method as indicator for freshness for packed fish: Application on cod. *Journal of Food Engineering*, 110(2): 254-261.
- Hu, X., Mallikarjunan, P., Vaughan, D. (2008): Development of non-destructive methods to evaluate oyster quality by electronic nose technology. *Sensing and Instrumentation for Food Quality and Safety*, 2(1): 51-57.
- Jonsdottir, R., Olafsdottir, G., Martinsdottir, E., Stefansson, G. (2004): Flavor characterization of ripened cod roe by gas chromatography, sensory analysis, and electronic nose. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 52(20): 6250-6256.
- Ko, H.J., Park T.H. (2005): Piezoelectric olfactory biosensor: ligand specificity and dose-dependence of an olfactory receptor expressed in a heterologous cell system, *Biosensors and Bioelectronics*, 20(7): 1327-1332.
- Korel, F., Luzuriaga, D., Balaban, M.Ö. (2001): Objective quality assessment of raw tilapia (*Oreochromis niloticus*) fillets using electronic nose and machine vision. *Journal of Food Science*, 66(7): 1018-1024.
- Lakard, S., Herlem, G., Valles-Villareal, N., Michel, G., Propper, A., Gharbi, T., Fahys, B. (2005): Culture of neural cells on polymers coated surfaces for biosensor applications, *Biosensors and Bioelectronics*, 20(10): 1946-1954.
- Lazcka, O., Campo, F., Munoz, F.X. (2007): Pathogen detection: a perspective of traditional methods and biosensors. *Biosensors and Bioelectronics*, 22(7): 1205-1217.
- Lim, J.H., Park, J., Ahn, J.H., Jin, H.J., Hong, S., Park, T.H. (2013): A peptide-receptor-based bioelectronic nose for the real-time determination of seafood quality. *Biosensors and Bioelectronics*, 39(1): 244-249.
- Limbo, S., Sinelli, N., Torri, L., Riva, M. (2009): Freshness decay and shelf life predictive modelling of European sea bass (*Dicentrarchus labrax*) applying chemical methods and electronic nose. *LWT - Food Science and Technology*, 42(5): 977-984.
- Lorwongtragool, P., Seesaard, T., Tongta, C., Kerdcharoen, T. (2012): Portable e-nose based on polymer/CNT sensor array for protein-based detection, NEMS, Kyoto, Japan, March 5-8.
- Luzuriaga, D., Korel, F., Balaban, M. (2007): Odor evaluation of shrimp treated with different chemicals using an electronic nose and a sensory panel. *Journal of Aquatic Food Product Technology*, 16(2): 57-75.
- O'Connell, M., Valdora, G., Peltzer, G., Martín Negri, R. (2001): A practical approach for fish freshness determinations using a portable electronic nose. *Sensors and Actuators B: Chemical*, 80(2): 149-154.
- Ólafsson, R., Martinsdóttir, E., Ólafsdóttir, G., Sigfússon, T.I., Gardner, J.W. (1992): Monitoring of fish freshness using tin oxide sensors. In: Gardner, J.W., Bartlett, P.N. (Eds.), *Sensors and Sensory Systems for an Electronic Nose*. Kluwer: Dordrecht, the Netherlands, pp. 257-272.
- Olafsdottir, G., Lauzon, H.L., Martinsdottir, E., Kristbergsson, K. (2006). Influence of storage temperature on microbial spoilage characteristics of haddock fillets (*Melanogrammus aeglefinus*) evaluated by multivariate quality prediction. *International Journal of Food Microbiology*, 111(2): 112-125.
- Olafsdottir, G., Chanie, E., Westad, F., Jonsdottir, R., Thalmann, C.R., Bazzo, S., Labreche, S., Marcq, P., Lundby, F., Haugen, J.E.

- (2005): Prediction of microbial and sensory quality of cold smoked Atlantic salmon (*Salmo salar*) by electronic nose. *Journal of Food Science*, 70(9): S563-S574.
- Ólafsdóttir, G., Li, X., Lauzon, H.L., Jónsdóttir, R. (2002): Precision and application of electronic nose for freshness monitoring of whole redfish (*Sebastes marinus*) stored in ice and modified atmosphere bulk storage. *Journal of Aquatic Food Product Technology*, 11(3-4): 229-249.
- Peris, M., Escuder-Gilabert, L. (2009): A 21st century technique for food control: electronic noses. *Analytica Chimica Acta*, 638(1): 1-15.
- Rodríguez-Méndez, M.L., Gay, M., Apetrei, C., De Saja, J.A. (2009): Biogenic amines and fish freshness assessment using a multisensor system based on voltammetric electrodes. Comparison between CPE and screen-printed electrodes. *Electrochimica Acta*, 54(27): 7033-7041.
- Sankaran, S., Khot, L.R., Panigrahi, S. (2012): Biology and applications of olfactory sensing system: A review, *Sensors and Actuators B: Chemical*, 171-172: 1-17.
- Schaller, E., Bosset, J.O., Escher, F. (1998): Electronic noses' and their application to food. *LWT-Food Science and Technology*, 31(4): 305-316.
- Schweizer-Berberich, P.M., Vaihinger, S., Gopel, W. (1994): Characterization of fish freshness with sensor arrays. *Sensors and Actuators B Chemical*, 18(1-3): 282-290.
- Şahin, M., Saraoğlu, H. (2010): Investigation of *Escherichia coli* bacteria growth process using electronic nose. In: *Biomedical Engineering Meeting (BIYOMUT), 2010 15th National*, 1-4. IEEE.
- Tian, X.Y., Cai, Q., Zhang, Y.M. (2012): Rapid classification of hairtail fish and pork freshness using an electronic nose based on the PCA method. *Sensors (Basel)*, 12(1): 260-77.
- Tokuşoğlu, O., Balaban, M.O. (2004): Correlation of odor and color profiles of oysters (*Crassostrea virginica*) with electronic nose and color machine vision. *Journal of Shellfish Research*, 23: 143-148.
- Vazquez, M., Lorenzo, R., Cela, R. (2003): The use of an 'electronic nose' device to monitor the ripening process of anchovies. *International Journal of Food Science & Technology*, 38(3): 273-284.
- Wang, P., Xu, G., Qin, L., Xu, Y., Li, Y., Li, R. (2005): Cell-based biosensors and its application in biomedicine. *Sensors and Actuators B: Chemical*, 108(1-2): 576-584.
- Winquist, F., Sundgren, H., Lundstrom, I. (1995): A practical use of electronic noses: quality estimation of cod fillet bought over the counter. In: *Solid-State Sensors and Actuators, 1995 and Eurosensors IX. Transducers' 95. The 8th International Conference on*, 695-698. IEEE.
- Wu, T.Z., Lo, Y.R. (2000): Synthetic peptide mimicking of binding sites on olfactory receptor protein for use in 'electronic nose. *Journal of Biotechnology*, 80(1): 63-73.
- Zhang, S., Xie, C., Bai, Z., Hu, M., Li, H., Zeng, D. (2009): Spoiling and formaldehyde-containing detections in octopus with an E-nose. *Food Chemistry*, 113(4): 1346-1350.