

LITERATURE REVIEW ON DETERMINING FISH FRESHNESS BY ELECTRONIC NOSE AND MACHINE LEARNING

Kutlucan GÖRÜR^{1,*}, Onursal ÇETİN¹, İlyas ÖZER² ve Feyzullah TEMURTAŞ¹

¹Department of Electrical and Electronic Engineering, Bandırma Onyedi Eylül University

²Department of Computer Engineering, Bandırma Onyedi Eylül University
Bandırma, Balıkesir / Turkey

Abstract: Fish freshness control has gained a lot of attention in recent years due to its importance in the food industry. Although there are different approaches in fish freshness studies, the most important one is the electronic nose approach consisting of electronic sensor arrays. Freshness, which is the most important quality feature in fish, depends on the process and storage procedures from the moment the fish first emerges to the consumers. Practically, physical, chemical, biochemical and microbiological changes that occur after death in fish result in a gradual loss of food properties in terms of taste and a general concept of quality. In this respect, elapsed time and temperature are key factors for the final quality of the product. Signal processing and machine learning approaches include very important methods in recognizing the pattern of odor measured by the electronic nose of fish freshness. In research studies, it has been reported that while classification accuracy reaching up to the 97% was obtained with decision trees, an accuracy reaching 96.87% was determined with artificial neural networks. In this related literature study, especially fish freshness was evaluated in terms of electronic nose and signal processing-machine learning approaches.

Keywords: Fish Freshness, Electronic Nose, Signal Processing, Machine Learning

BALIK TAZELİĞİNİN ELEKTRONİK BURUN VE MAKİNE ÖĞRENMESİ İLE TESPİTİ ÜZERİNE LİTERATÜR ÇALIŞMASI

Özet: Balık tazelik kontrolü, gıda endüstrisindeki önemi nedeniyle son yıllarda büyük bir ilgi görmektedir. Balık tazeliği çalışmalarında farklı yaklaşımlar olsa da en önemlisi elektronik sensör dizilerinden oluşan elektronik burun yaklaşımıdır. Balıkta kalite özelliklerinden en önemlisi olan tazelik, balığın ilk sudan çıktığı andan tüketicilere kadar olan sürece ve depolama prosedürlerine bağlıdır. Pratik olarak, balıklarda ölüm sonrası meydana gelen fiziksel, kimyasal, biyokimyasal ve mikrobiyolojik değişiklikler, tat ve genel bir kalite kavramı açısından gıda özelliklerinde aşamalı bir kayıpla sonuçlanır. Bu açıdan geçen süre ve sıcaklık ürünün nihai kalitesi için anahtar faktörlerdir. Sinyal işleme ve makine öğrenmesi yaklaşımları balık tazeliğine ait elektronik burun tarafından ölçülen kokunun örüntüsünün tanınmasında oldukça önemli yöntemleri içermektedir. Yapılan araştırma çalışmalarında karar ağaçları ile 97%'ye ulaşan sınıflandırma doğruluğu elde edilirken, yapay sinir ağları ile 96.87%'ye ulaşan doğruluk oranı hesaplandığı rapor edilmiştir. İlgili bu literatür çalışmasında özellikle balık tazeliği, elektronik burun ve sinyal işleme-makine öğrenmesi yaklaşımları açısından değerlendirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Balık Tazeliği, Elektronik Burun, Sinyal İşleme, Makine Öğrenmesi

Reference to this paper should be made as follows:

Kutlucan GÖRÜR, Onursal ÇETİN, İlyas ÖZER and Feyzullah TEMURTAŞ, 'Literature Review On Determining Fish Freshness By Electronic Nose And Machine Learning', Elec Lett Sci Eng , vol. 16(2) , (2020), 161-170

1. GİRİŞ

Balık tazeliğinin (fish freshness) kontrolü ve izlenmesi gıda endüstrisinde çok önemlidir. Gerçekten de, tüketicilere göre, muhtemelen tadı ile güçlü ilişkisi nedeniyle tazelik, balığın en önemli kalitesidir. Balığın bozulması esas olarak bakteri ayrışmasını büyük ölçüde kontrol eden sıcaklığa bağlıdır [1]. Bununla beraber balık eti tazeliği, balık kalitesinin temel faktörlerinden biridir ve farklı biyolojik ve işleme faktörlerine bağlıdır. Balıklardaki et tazeliği çeşitli fiziksel, kimyasal, biyokimyasal ve mikrobiyolojik değişikliklerin derecesini gösterir. Tazelik değerlendirme yöntemleri, yakalandıktan sonra geçen süreye göre balık tazeliğinin ölçümünü ilişkilendirir. Bu yöntemler tazeliği deri-göz-solungaç görünümü (skin, eyes and gills appearance), koku (odor), renk (color) ve dokunsal (tactile or texture) yaklaşımlar ile ölçmektedir [2,3]. Bu yaklaşımlara dayanarak balık tazeliğini değerlendirmek için geliştirilmiş farklı enstrümantal ve duyuşsal yöntemler mevcuttur [3]. Et tazeliğini belirlemek için kullanılan geleneksel yöntemler arasında duyuşsal değerlendirmeler, kimyasal ölçümler ve mikrobiyolojik ölçümler mevcuttur. Duyuşsal değerlendirmeler, renk, koku, lastik hali (rubbery state) ve etin genel kalitesi gibi bilgileri sağlamak için insan duyuşlarını kullanır. Bununla birlikte, duyuşsal analizde uzman ekibin yüksek maliyeti, yorgunluk ve öznellikten kaynaklanan yargı sapmaları ve duyuşsal analizin sürekli ölçüm için kullanılamayacağı gerçeği gibi bir takım eksiklikler vardır. Genel olarak, kimyasal yöntemler etin pH, toplam uçucu baz nitrojen (TVB-N) ve trifeniltetrazolyum klorür (TTC) ölçümlerini içerir. Kimyasal yöntemler objektif ve kesindir; ancak, normalde balık eti üzerinde yıkıcıdır ve zaman alıcı olan laboratuvar ortamında kullanılırlar. Mikrobiyolojik sayım yöntemleri de yıkıcıdır ve bakteri kültürü için çok uzun bir süre gerektirir ve test sonuçlarını hızlı ve etkili bir şekilde sağlayamaz [3]. Bu nedenle verimli, hızlı, uygun maliyetli ve et üzerinde tahribatsız yeni yöntemler geliştirmek gerekmektedir.

Önceki çalışmalarda, elektronik burun (E-Nose veya EN), elektronik dil (E-Tongue), bilgisayarla görme (Computer Vision-CV) ve spektroskopik teknik gibi hızlı ve tahribatsız analiz tekniklerinin balık eti tazeliğinin değerlendirilmesi için önerildiğini görülmektedir. Bu tespit teknolojilerinin kendi avantajları olmasına rağmen, sadece et tazeliği bilgilerinin belirli yönlerini tespit etmek için kullanılabılır; bu nedenle, et tazeliğinin veya bozulmasının kapsamlı bir değerlendirmesini yapmak için kullanılamazlar. Örneğin, elektronik burun ve elektronik dil yalnızca etin uçucu kokusunu ve tadını algılamak için kullanılabılır. CV yöntemi ise etin kimyasal bilgilerini tespit etmek için kullanılamaz. Bununla beraber numunelerdeki uzamsal dağılım bilgisini yakalamak için ise spektroskopik teknik kullanılması uygun değildir. Balık eti dahil, et ürünlerinin tazelik düşüşü, mikroorganizmalar ve enzimler gibi çeşitli faktörlerin etkileşimi ile ilgili oldukça karmaşık bir süreçtir [4]. Bu açıdan literatürde bu yöntemleri ayrı ayrı kullanan yaklaşımların yanında balık eti ve et tazeliğini ölçmek için hepsinin bir arada kullanıldığı yaklaşımlar mevcuttur [4].

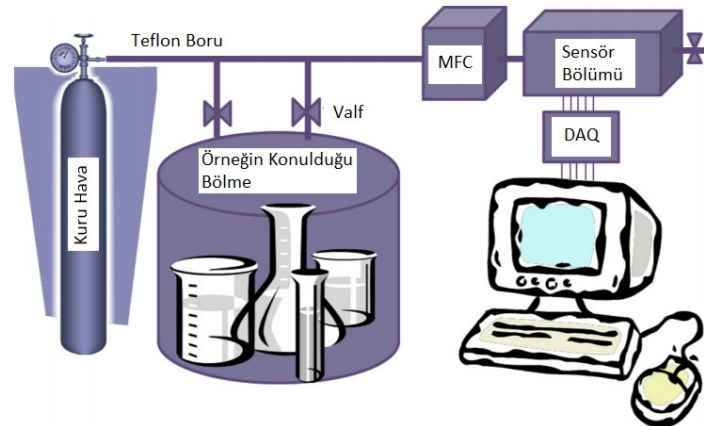
Özellikle bu literatür inceleme çalışmasında balık tazeliğinin elektronik burun, sinyal işleme ve makine öğrenmesi yaklaşımı ile analiz edilmesi üzerine olması düşünülmüştür. EN tabanlı yöntemler diğer sensör tabanlı yöntemler dahil olmak üzere tespit metotları arasında güvenilir olması, uygun maliyeti, hızlı tespit süresi ve kesin ölçüm gibi özellikleri nedeniyle birincil tercih olmaya devam etmektedir [4-5]. Bir EN sisteminin ana bileşenleri arasında bir

sensör dizisi, bir arayüz oluşturan elektronik devre (Analog-to-Digital Converter or ADC) ve bir sinyal sınıflandırıcı olarak işlev gören bir örüntü tanıma (Pattern Recognition) birimi bulunur. EN'nin elektronik sensör dizisi (Sensor Array), havadaki kimyasalların izlerini algılayan koku alan burun reseptörlerine karşılık gelmektedir. EN'lerde en yaygın olarak kullanılan gaz sensör tipi metal oksit yarı iletken (Metal Oxide Semiconductor-MOS) gaz sensörleridir. Her koku, elektronik burun tarafından belirli bileşiklerin karakteristik bir desenini veya koku izini oluşturur. Koku izi üretme süreci, kimyasal reaksiyonu bir elektrik sinyaline dönüştüren her sensörün yanıtlarını toplayarak başlar [6]. Seçicilik derecesi ve tespit edilebilen kokuların türü, büyük ölçüde sensör dizisindeki sensörlerin seçimine ve sayısına bağlıdır. Veri işleme ve örüntü tanıma teknikleri, koku izlerini tanımak ve sınıflandırmak için sensör sinyallerine uygulanabilir [4-5].

Makine öğrenmesi (Machine Learning or ML) algoritmaları birçok alanda olduğu gibi gıda alanında örüntü tanıma ve sınıflandırma işlemleri için sıkça kullanılmaktadır [7]. ML algoritmaları genel olarak geleneksel olarak bilinen sığ algoritmalar (Shallow Algorithms) ve derin öğrenme (Deep Learning) algoritmalarından oluşmaktadır [8]. Bu literatür incelemesi çalışmasında, elektronik burun sensör dizileri ve makine öğrenmesi kombinasyonundan oluşan sistemlerin, balık eti tazeliğini analiz eden ve sınıflandıran ve aynı zamanda balık eti kokusuna maruz kaldığında değişiklikleri yakalamak için yeterli özelliklere sahip olan diğer çalışmalar incelenmiştir.

2. ELEKTRONİK BURUN ÖLÇÜM SİSTEMİ, YÖNTEMLER VE SİNYAL İŞLEME

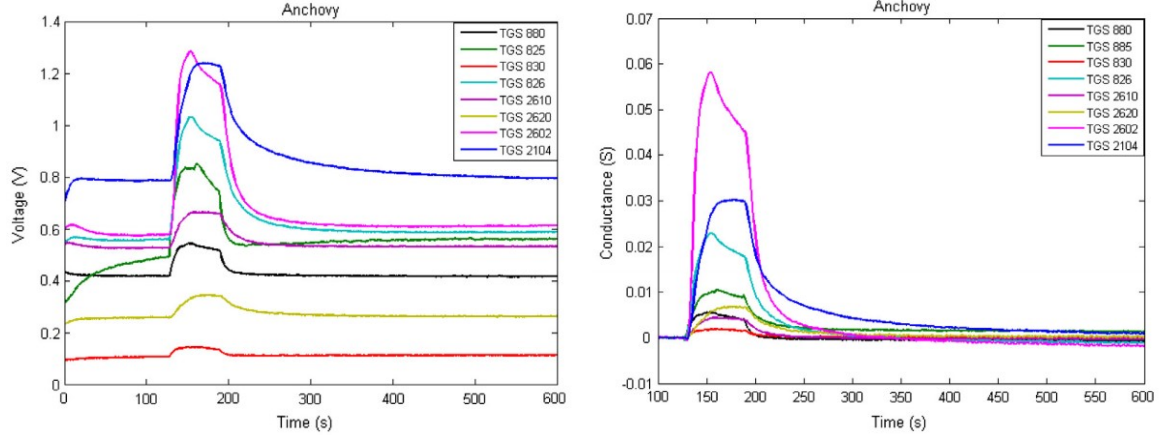
Balık eti tazeliğini ölçmek için kurulan deneysel düzenek içinde elektronik burun sensör dizileri ve içinde bulunduğu bölme ile birlikte veri toplama kartı (Data Acquisition System-DAQ or ADC), kuru hava veren sistem, genelde teflondan yapılmış balık eti örneğinin içine konulduğu bölme (yaklaşık 12cm³), kütle akış kontrolörü (Mass Flow Controller- MFC) ve sinyal işleme için bir bilgisayar sisteminden oluşmaktadır. İlgili çalışmanın deneysel düzeneğine ait şematik çizim Şekil 1'de gösterilmiştir [1,9].



Şekil 1. E-Nose ve balık eti tazeliği ölçüm düzeneğine ait şematik gösterim [9]

MOS tabanlı gaz sensörlere ek olarak, ortam koşulları nem ve sıcaklık sensörleri aracılığıyla kaydedilir. Tüm elektronik sensörler, sensör bölümüne yerleştirilmiştir. Eski kokuların etkisinden kaçınmak için koku verme sisteminde teflon tüpler ve kuru hava kullanılmaktadır. Balık eti tazeliğini ölçmek için koku alan sensör dizileri genelde literatürde 6 ile 11 arasında değişmektedir [4,9-10]. Sensör yanıtı kayması (Sensor Response Drift), E-

Nose'daki en büyük sorunlardan biridir. Sensör sapmasının olumsuz etkisini azaltmak için ham sinyale temel manipülasyon ve sensor kayma düzeltmesi (Sensor Drift Correction) uygulanmaktadır. Bunun için özellikle gaz sensörünün taşıyıcı gaza verdiği yanıt, gaz sensörünün balık numunesine verdiği yanıtta çıkarılır [9]. Sinyal ön işleme yapıldıktan sonra elde edilen sensör yanıtları Şekil 2'de gösterilmiştir [9].



Şekil 2. Balık eti numunesine ait (Anchovy- Hamsi) voltaj (Voltage) ve iletkenlik (Conductance) sensör dizi cevapları [9]

Literatürde örnek bir deneysel düzende adımlar şu şekilde belirtilmiştir; ön temizleme aşaması (130 sn), solunum aşaması (30 sn), uçucu organik bileşikler (Volatile Organic Compounds-VOCs) örnekleme aşaması (30 sn) ve arındırma sonrası aşama (410 sn) olmak üzere 4 aşamadan oluşmaktadır. Tüm deneyin yaklaşık 600 sn kadar sürdüğü belirtilmiştir ve elde edilen toplam örnek sayısı 1 Hz örnekleme frekansı için 600'dür. Sensör tepkisi, ön temizleme aşamasında sensör temel değerine ulaşır. Solunum aşamasında, numune gazı akış sağlama sistemi ile kaynaktan sensör odasına hareket eder. Örnek gaz, koku örnekleme aşamasında sensör odasında 30 sn depolanır. Böylece sensör yanıtının değeri, VOCs örnekleme aşamasında maksimum değerine ulaşır. Son olarak, sensör odasında depolanan gaz, temizleme sonrası aşamada temizlenir [9]. Elektronik gaz sensör dizilerine ait kimyasal yapıları gösteren örnek Tablo 1'de gösterilmiştir.

Tablo 1. E-Nose gaz sensör dizilerine ait örnek bir gösterim [4]

Gaz Sensör İsimleri (Sensors)	Hassasiyet Karakteristiği (Sensitivity Characteristics)	Tespit Aralığı (Typical Detection Ranges-ppm*)
TGS2602	VOCs, amonyak, hidrojen sulfid	1-30
TGS2611	Metan	500-10000
TGS2442	Karbonmonoksit	30-1000
TGS4161	Karbondioksit	350-10000
TGS2620	Alkol	500-5000
TGS2610	Metan, Bütan	500-10000

ppm* means (parts-per million)

Taze balık kokusuna dahil olan en önemli kimyasallar uzun zincirli alkoller (long-chain alcohols) ve karboniller (carbonyls), bromofenoller (bromophenols) ve N-döngüsel (N-cyclic) bileşiklerdir. Konsantrasyonları ve diğer bileşiklerin varlığı, her tür için oldukça tipiktir. Öte yandan, mikrobiyal bozulma kısa zincirli alkoller ve karboniller, aminler (amines), kükürt (sulphur) bileşikleri, aromatik, N-döngüsel ve asit bileşikleri üretir. Bu kimyasalların konsantrasyonları doğrudan bozulma derecesi ile ilişkilidir. Bu bileşikler arasında aminler, balık tazeliğinin tespiti için tipik belirteçler (biomarker) olarak kabul edilir. Uçucu aminler için standart analitik yöntemler ve ayrıca bazı özel aminler için sensörler, balık tazeliğini incelemek için kullanılmıştır [5].

Balık eti tazeliğini incelemek ve sınıflandırmak için kullanılan sinyal işleme ve makine öğrenmesi yaklaşımları, ilgili literatürde genelde gıda, beslenme, tarım, sensör ve sinyal işleme ile ilgili indeksli dergilerde görülmektedir [4, 9,11]. Özellikle sinyal işleme genel başlığı altında sinyal üzerindeki gürültüleri giderme, sensörlerin oluşturduğu ve kuru havanın oluşturduğu temel voltaj değerini (offset voltajı) azaltma, verileri normalize etme ve örüntü tanıma adımları bulunmaktadır [9]. Buna göre özellikle makine öğrenmesi algoritmaları veri kümesi üzerindeki örüntüleri doğru bir şekilde sınıflandırmak suretiyle balık eti tazeliğinin kaç günlük olduğu konusunda bir değer oluşturmaktadır. Literatürde yapay sinir ağları (Neural Networks-NN), destek vektör makineleri (Support Vector Machine-SVM), lineer ayırıcı analizi (Linear Discriminant Analysis-LDA), k en yakın komşu (k-Nearest Neighbor-kNN), karar ağaçları (Decision Trees-DT) gibi geleneksel algoritmalar mevcuttur [12,13]. Bunun yanı sıra son yıllarda yüksek veri setleri üzerinde çok iyi sonuçlar üreten derin öğrenme yaklaşımlarından konvolüsyonel sinir ağları (Convolutional Neural Networks-CNN) ve derin sinir ağları (Deep Neural Networks-DNN) da örüntü tanıma uygulamalarında sıkça kullanılmaktadır [14, 15].

3. İLGİLİ ÇALIŞMALAR

Balık, son yıllarda üretimi ve tüketimi artan, besin değeri yüksek bir üründür [16]. 2015 yılında balık ve su ürünleri tüketimi 149 milyon tona ulaşarak toplam balıkçılık üretiminin 88%'ini oluşturmuştur. Kişi başına küresel balık tüketiminin 20,3 kg olduğu tahmin edilmektedir [17]. Balık eti tazeliğinin verimli bir şekilde değerlendirilmesindeki gelişmeler, kalite değerlendirmesini optimize etmek, tüketici güvenliğini artırmak ve hammadde kayıplarını azaltmak için gereklidir. Bu nedenle balık tazeliğini değerlendirmek için hızlı, tahribatsız (non-destructive) ve objektif yöntemler gerekmektedir [16]. Balık tazeliğinin değerlendirilmesi için geliştirilen farklı enstrümantal ve duyuusal yöntemler arasında, E-Nose temelli yöntemler en önemli yaklaşımlardan birisi olarak görülmektedir [18]. Bu konuda yapılan çalışmalardan bazıları Tablo 2’de kısaca özetlenmiştir.

Tablo 2. E-Nose ve balık tazeliği konusunda literatür özeti

Referans/Yıl	Sensör Tipi/Tazelik Anlama Yöntemi	Makine Öğrenmesi ve Sinyal İşleme Yöntemi	Açıklama
[10]/2001	Polycrystalline tin Dioxide	PCA	Çalışmada arjentin harlam balığı (Argentinean Hake) için tazelik sınıflandırma çalışması yapılmıştır. Farklı saklama günlerinde farklı et boyutlarına (20g, 50g ve 60g) ait ölçümler 11

			elektronik sensör ile alınmıştır. Farklı günlerdeki ölçümler PCA kullanılarak sınıflandırılmıştır. Farklı et kütlerinin etkisinin et tazeliğini sınıflandırmada büyük bir etkisinin olmadığı görülmüştür.
[3]/2007	Sensör Dizileri (Polymer carbon black composite sensors)	Yapay Sinir Ağı (NN)	Çalışmada 4 farklı balık türü için farklı günlerdeki ölçümler alınmış ve balık tazeliğine bakılmıştır. Toplamda 32 sensör kullanılmış olup farklı NN mimarilerinin sonuçları karşılaştırılmıştır. Farklı günlere ait sınıflandırma doğruluk oranı %91 civarında bulunmuştur.
[1]/2013	Sensör Dizileri (SnO ₂)	Temel Bileşen Analizi (Principal Component Analysis-PCA)	Çalışmada harlam balığı (Hake) isimli balık türünün sensörler ile balık eti kokusu ölçümü alınmıştır. 2 oC sıcaklığındaki buzdolabında saklanan balıklar, 38 oC sıcaklığa çıkarılıp 0-24 saat arasında 3 defa ölçüm alınmış olduğu belirtilmiştir. İlk iki temel bileşen ile saçılım grafiğinde gösterilen tazelik sınıflandırması ilk taze an, 4 saat, 8 saat ve 24 saatlik olarak ayırıldığı görülmüştür.
[18]/2013	Sensör Dizileri(MOS Gaz Sensörü (Figaro Marka))	Karar Ağacı (DT), kNN ve SVM	Çalışmada istavrit (Horse Mackerel) balığına ait balık et tazeliği değerlendirilmiştir. Toplamda 8 gaz sensör dizisi kullanılmıştır. 13 gün içinde ilk gün başta olmak üzere 2'şer gün aralıklarla ölçüm alınmıştır. Doğruluk oranının en yüksek DT ile %97 civarında bulunmuş olduğu belirtilmiştir.
[9]/2015	MOS gas sensörü	Bayes Sınıflandırıcı, LDA ve kNN	Çalışmada üç tür balık için tazelik ölçümüne ait sınıflandırma yapılmıştır. 8 gaz sensörü kullanılmıştır. Bayes sınıflandırıcı için

			84.73%, kNN için 80% ve LDA için 82.4% doğruluk oranı hesaplanmıştır.
[19]/2019	Amperometrik tip ve Kondüktometrik tip sensörler	NN	Çalışmada farklı türlerdeki balıklar taze, yarı taze ve bozulmuş olarak sınıflandırılmıştır. NN yöntemi ile 80% değerinde başarılı bir sınıflandırma yapılmıştır. Toplamda 3 sensör kullanılmış ve balık etinin yaydığı koku ilk an, 6. saatte ve 12. saatte ölçülmüştür.
[20]/2019	MOS gas sensörü	kNN, SVM, LDA ve DT	Çalışmada istavrit (Horse Mackerels) balıklarına ait tazelik seviyesi gün gün sınıflandırılmıştır. 8 gas sensörü kullanılmış olup DT algoritması ile 85.71% doğruluk oranı bulunmuştur. Zaman alanında özellik çıkarma işlemleri kullanılmış olup 110 eğitim seti için 72 test seti için olmak üzere toplamda 182 ölçüm alınmıştır.
[21]/2019	MOS gas sensör dizisi	PCA, kNN, Kısmi En Küçük Kare Ayırım Analizi (Partial Least Square-Discriminant Analysis-PLS-DA)	Çalışmada balık eti ve sığır etinin tazeliğine bakılmış. Toplamda 10 sensör içinden 4 sensör PCA kullanılarak seçilmiş ve ölçüm bölümünün içine yerleştirilmiş. Hassasiyet ve seçicilik bütün makine öğrenmesi algoritmaları için 83%'ün yukarısında bulunmuştur.
[22]/2019	MOS gas sensör dizisi	PCA, NN	Çalışmada belirli bir balık türüne ait tazelik için 7 sensörden veri ölçümü alınmış. Daha sonra PCA ile veri boyutu azaltıldıktan sonra NN ile sınıflandırma çalışması yapılmıştır. Test veri seti üzerinde 96.87% değerinde doğruluk bulunmuştur.
[23]/2020	MOS gas sensör dizisi ve katı faz mikro ekstraksiyon – gaz kromatografisi – kütle spektrometrisi (solid-phase microextraction–	PCA	Çalışmada balık yemeği tazeliği üzerine yapılan çalışmada 10 farklı gas sensörü ve SPME-GC-MS yöntemi kullanılmıştır.

	gas chromatography– mass spectrometry– SPME-GC-MS)		
--	----------------------------------------------------------	--	--

Yukarıdaki tabloya ek olarak E-Nose dışındaki diğer çalışmalarda balık tazeliğini, makine öğrenmesi, görüntü işleme teknikleri, hiperspektral kameradan alınan görüntüler, renk-metre sensör dizi yöntemleri kullanarak yapılan çalışmalar da literatürde mevcuttur [11, 17, 24-26]. Buna göre tazelik değerlendirmesinde balık derisi, gözleri ve solungaçların değişen durumlarını değerlendirmek ve saklama zamanlarına göre örüntü tanımak da önemli yöntemler olarak belirtilmiştir [17]. Balık kimlik doğrulaması tüketiciler, devlet kurumları ve deniz ürünleri endüstrisi için büyük bir endişe kaynağıdır. Küresel balık ticaretinin artmasıyla, karmaşık tedarik zincirleri ve sınırlı izleme, pazarda balık sahtekarlığı için artan bir güvenlik açığı yaratmaktadır. Kar amacı gütmeyen kuruluşlar tarafından yapılan geniş çaplı bir araştırmada, Amerika Birleşik Devletleri'ndeki balık pazarlarında, marketlerde ve restoranlarında satılan balıkların 21%'inin tür temelinde yanlış etiketlendiğini (mislabeling) ortaya koymuştur. Balıkların yanlış etiketlenmesi bir ekonomik aldatma biçimidir ve ayrıca müşterilerin belirli balıklarla ilgili potansiyel sağlık risklerine (ağır metal, toksin vb.) dayalı bilinçli satın alma kabiliyetini ortadan kaldırır [11]. Bu açıdan E-Nose kullanılarak balık türünü ayıran çalışmalar da önem arz etmektedir [9,11].

4. SONUÇ VE TARTIŞMA

Sensör teknolojisindeki gelişmeler sayesinde, uçucu bileşikler tespit edip ayırt edebilen elektronik burun teknolojisi büyük gelişme göstermiştir [27-28]. Sensörlerin geçici (300-400 sn) ve kalıcı cevap sinyalleri de sinyal işleme uygulamalarında hızlı cevap üretmesi açısından önemlidir [27]. Rapor edilen çalışmalarda deneysel düzenek içindeki balık kütlesi ağırlık etkisinin (effect of mass) oluşan sinyaller ve örüntülerini çok etkilemediği fakat parçalarına ayrılan balık eti yüzeylerinin ise aynı örüntülerde etkili olmasının beklendiği belirtilmiştir [10]. E-Nose sistemleri gıda, çevre, sağlık ve narkotik endüstrisi gibi birçok alanda yaygın olarak kullanılmaktadır. Gıda endüstrisinde özellikle balık tazeliği konusunda elektronik burunlar kalite kontrol, süreç izleme, tazelik testi ve raf ömrü araştırması amacıyla verimli bir şekilde kullanılmaktadır [20]. Gıda sektöründe ekonomik kayıpların önüne geçmek için gıdanın tazeliği ve saklama koşulları çok önemlidir. Son zamanlarda bu alanda birçok çalışma yapılmıştır. Balık en kolay bozulabilen gıdalardan biridir ve balığın raf ömrü fiziksel, kimyasal, biyokimyasal ve mikrobiyolojik değişikliklerden kolaylıkla etkilenebilmektedir. Taşınabilir ve ucuz maliyetli E-Nose sistemleri makine öğrenmesi tabanlı olarak gelecek çalışmalar için geliştirilebilir [10]. Sinyal işleme üzerine çalışan araştırmacıların sensör geliştiren bir ekiple çalışması sinyallerin niteliğini ve balık tazeliğini etkili ayırt etmek için önemli olduğu düşünülmektedir [28]. Bu açıdan literatürde birçok çalışmada, balıkların depolanması sırasında uçucu bileşiklerdeki değişiklikleri izlemek için elektronik burunlar kullanılmış ve son yıllarda öne çıkan sinyal işleme ve makine öğrenmesi yöntemleri ile tazelik seviyesine bakılmıştır.

References

[1] Vorobioff J. et al., "Development of an Electronic Nose for Determining the Freshness of Fish by the Desorption Constants of Sensors", Sensor Letters, 11, 1-3, 2013.

- [2] Macagnano A. et al., “A model to predict fish quality from instrumental features”, *Sensors and Actuators B*, 111-112, 293-298, 2005.
- [3] GholamHosseini H. et al., “Intelligent Processing of E-nose Information for Fish Freshness Assessment”, 3rd International Conference on Intelligent Sensors, Sensor Networks and Information, 173-177, 2007.
- [4] Weng X., et al., “A Comprehensive Method for Assessing Meat Freshness Using Fusing Electronic Nose, Computer Vision, and Artificial Tactile Technologies”, *Journal of Sensors*, 1-14, 2020.
- [5] Alimelli A. et al., “Fish freshness detection by a computer screen photoassisted based gas sensor array”, *Analytica Chimica Acta*, 582, 320-328, 2007.
- [6] Karakaya D. et al., “Electronic Nose and Its Applications: A Survey”, *International Journal of Automation and Computing*, 17, 179-209, 2020.
- [7] Zhou L. et al. “Application of Deep Learning in Food: A Review”, *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 18, 1793-1811, 2019.
- [8] Pasuba K. et al., “A comparison between shallow and deep architecture classifiers on small dataset”, 8th International Conference on Information Technology and Electrical Engineering, 1-6, 2016.
- [9] Güney S. et al. “Study of fish species discrimination via electronic nose”, *Computers and Electronics in Agriculture*, 119, 83-91, 2019.
- [10] O. Connell M. et al., “A practical approach for fish freshness determinations using a portable electronic nose”, *Sensors and Actuators B*, 80, 149-154, 2001.
- [11] Qin J. et al., “Detection of fish fillet substitution and mislabeling using multimode hyperspectral imaging techniques”, *Food Control* , 114, 107234, 2020.
- [12] Gorur K. et al., “Glossokinetic potential based tongue-machine interface for 1-D extraction”, *Australasian physical & engineering sciences in medicine*, 41-2, 379-391, 2018.
- [13] Gorur K. et al., “Glossokinetic potential based tongue-machine interface for 1-D extraction using neural networks”, *Biocybernetics and Biomedical Engineering*, 38-3, 745-759, 2018.
- [14] Gorur K. et al., “GKP signal processing using deep CNN and SVM for tongue-machine interface”, *Traitement Du Signal*, 36, 319-329, 2019.
- [15] Schmidhuber J., “Deep Learning in Neural Networks:An Overview”, *Neural Networks*, 61, 85-117, 2015.
- [16] Bernardo YAA. et al., “Fish Quality Index Method: Principles, weaknesses, validation, and alternatives—A review”, *Comprehensive Reviews In Food Science And Food Safety*, 19, 2657-2676, 2020.

- [17] Taheri-Garavand A. et al., “Real-time nondestructive monitoring of Common Carp Fish freshness using robust vision-based intelligent modeling approaches”, *Computers and Electronics in Agriculture*, 159, 16-27, 2019.
- [18] Guney S. et. al, ”Fish Freshness Assessment by Using Electronic Nose”, 36th International Conference on Telecommunications and Signal Processing, 742-746, 2013.
- [19] Rivai M. et al., “Fish Quality Recognition using Electrochemical Gas Sensor Array and Neural Network”, *International Conference of Computer Engineering, Network, and Intelligent Multimedia*, 1-5, 2019.
- [20] Guney S. et al., “Freshness Classification of Horse Mackerels with E-Nose System Using Hybrid Binary Decision Tree Structure”, *International Journal of Pattern Recognition and Artificial Intelligence*, 34-3, 1-17, 2020.
- [21] Grassi S. et al., “Meat and Fish Freshness Assessment by a Portable and Simplified Electronic Nose System (Mastersense)”, *Sensors*, 19-14, 1-15, 2019.
- [22] Vajdi M. et al., “Using electronic nose to recognize fish spoilage with an optimum classifier”, *Journal of Food Measurement and Characterization*, 13, 1205-1217, 2019.
- [23] Li P., et al., “Fish meal freshness detection by GBDT based on a portable electronic nose system and HS-SPME–GC–MS”, *European Food Research and Technology*, 246, 1129- 1140, 2020.
- [24] Khoshnoudi-Nia S. et al., “Prediction of various freshness indicators in fish filets by one multispectral imaging system”, *Nature, Scientific Reports*, 9, 14704, 2019.
- [25] Huang X. et al., “A novel technique for rapid evaluation of fish freshness using colorimetric sensor array”, *Journal of Food Engineering*, 105, 632-637, 2011.
- [26] Taheri-Garavand A., “Smart deep learning-based approach for non-destructive freshness diagnosis of common carp fish”, *Journal of Food Engineering*, 278, 109930, 2020.
- [27] Gulbag A. et al.,”A study on transient and steady state sensor data for identification of individual gas concentrations in their gas mixtures”, *Sensors and Actuators B*, 121, 590-599, 2007.
- [28] Gulbag A. et al., “Quantitative discrimination of the binary gas mixtures using a combinational structure of the probabilistic and multilayer neural networks”, *Sensors and Actuators B*, 131, 196-204, 2008.