

Meyve Kokularının Algılanması ve Sınıflandırılması İçin Düşük Maliyetli Elektronik Burun Tasarımı

Recep ÖZALP¹ Ayşegül UÇAR²

^{1,2}Mekatronik Mühendisliği Bölümü
Mühendislik Fakültesi
Fırat Üniversitesi, ELAZIĞ

E-mail: recepozalp105@gmail.com

agulucar@firat.edu.tr

Özet

Elektronik burun, kimyasal bileşiklere tepki veren sensörler dizisi içeren ve sensörlerden aldığı bilgiyi de yapay öğrenme yöntemleri ile işleyen elektronik cihazdır. Bu çalışmada, ticari olarak mevcut beş gaz sensörü, LM35 sıcaklık sensörü ve HIH-4030 nem sensörü, STM32F407 geliştirme kartı, MCP42XXX dijital potansiyometre ve valflerden oluşan bir elektronik burun geliştirilmiştir. Yapay öğrenme yöntemlerinden, Yapay Sinir Ağları (YSA'lar) ve K-En Yakın Komşuluk Algoritması (K-EKA) tasarlanan elektronik burun sisteminde koku tanımlayıcı olarak kullanılmıştır. Sensörlerden elde edilen bilgi, bölgelere ayrılarak ve her bir bölgenin bazı istatistiksel özellikleri kullanılarak elektronik burun için yeni bir özellik çıkarım yöntemi önerilmiştir. Deneysel sonuçlar, önerilen sistemin limon, şeftali ve elma gibi üç meyvenin kokusunu tanıyabildiğini göstermiştir.

1. Giriş

İnsanlardaki koku alma mekanizması çok karmaşıktır. Burun boşluğundaki algılayıcı zar, farklı bileşikler ile karşılaştığı zaman, karakteristik koku izini oluşturan çok sayıda koku algılayıcı hücreye sahiptir. Bu hücrelerin aldığı sinyal daha sonra tanınması için beyne iletilir [1]. Koku organının fonksiyonelliği ve mekanizmanın detayları, bilim insanlarını koku alma işini yapan bir makine geliştirmeye yöneltmiştir. Son 20 yılda, biyonik elektron burun teknolojisi birçok araştırmacı tarafından çalışılmıştır [2].

Elektronik burun, koku, buhar veya gazların otomatik algılanması ve sınıflandırılması için geliştirilen sistemdir [3]. Bir elektronik burun, algılama ve otomatik örüntü tanıma olarak iki ana bileşenden oluşur. Algılama sistemi, farklı kokulara farklı tepkiler veren sensörler dizisinden veya tek bir

algılama cihazı olan spektrometreden veya onların birleşiminden oluşur. Her bir kokunun imza olarak adlandırabilecek karakteristik verileri, veri tabanında kaydedilir ve kokuyu tanımak için veriler örüntü tanıma sistemine giriş olarak verilir. Elektronik burunlar; çevresel kirlenmenin izlenmesinde [4,5], yiyecek ve içecek endüstrisinde [6–8], tıbbi teşhiste [9], halk güvenliğinde [10] kullanılmıştır.

Disiplinler arası bir araştırma olarak elektronik burunlar üzerindeki çalışmalar, kimyasal sensör dizisinin hassaslığına ve sensör dizisinden elde edilen sinyalleri işlemek için örüntü tanıma yöntemlerine odaklanmıştır. Fonksiyonel materyal teknolojisinin gelişmesi ile sinyaller, metal oksit yarı iletken sensör, optik sensör, iletken polimer sensör, kuartz kristal mikro balans sensör, yüzey akustik dalgalı sensör gibi değişik sensörlerden elde edilebilmiştir [11-12]. Bu sinyallerin nasıl kullanılacağı konusu, değişik kokuları güvenilir bir şekilde tanımlayabilmek için halen önemlidir. Şimdiye kadar birçok yapay öğrenme yöntemi, elektronik burun için kullanılmıştır [13-16].

Bu çalışmadaki ana amaç, birçok endüstriyel alana hitap eden koku yoluyla madde kalite kontrol ve tespiti yapabilecek hızlı ve bir düşük maliyetli elektronik burun üretmektir. Ayrıca geliştirilen elektronik burundan hızlı ve doğru sonuçlar elde edilmesi için Yapay Sinir Ağlarının (YSA'ların) ve K-En Yakın Komşuluk Algoritmasının (K-EKA'nın) kullanımı hedeflenmiştir. Elektronik burun için yazarların bilgisine göre bilimsel yayında uygulanmamış yeni bir özellik çıkarım yöntemi önerilmiştir. Geliştirilen elektronik burundaki alt sistemler kolayca değiştirilerek farklı iş alanlarına uyarlanabilmektedir. Proje, uzun iş zamanı ve maliyet gerektiren gaz kromatografisi gibi yöntemlere karşı hem ucuz hem de hızlı sonuç veren bir seçenek olarak düşünülmüştür.

2. Deneysel çalışma

Deneysel ortam; algılama, elektronik, mekanik ve kontrol kutusu olarak isimlendirilen dört birimden oluşturulmuştur. Oluşturulan deney seti Şekil 1’de gösterilmiştir. Algılama biriminde; 5 adet TGS metal oksit yarı iletken sensör grubu (TGS 2600, TGS 2610, TGS 2602, TGS 2620, TGS 826), LM35 sıcaklık sensörü ve HIH-4030 nem sensörü, elektronik birimde; STM32F407 geliştirme kartı, MCP42XXX dijital potansiyometre, sensör ve valfler için farklı gerilim dönüşümü yapacak doğrultucu devre, mekanik biriminde; sensörlere hava ve koku akışını sağlamak için oksijen tüpü ve selenoid valfler, elektronik donanımların bulunacağı kontrol kutusu biriminde; sensörlerin ve koku örneklerinin bulunacağı plexi-glass ile yapılmış gaz haznesi, bulunmaktadır. Gerçekleştirilen elektronik burun Şekil 1’de gösterilmiştir. PCB kartları ve STM32F407 ve kontrol kutusu Şekil 2’de açıkça gösterilmiştir.



Şekil 1. Oluşturulan elektronik burun.

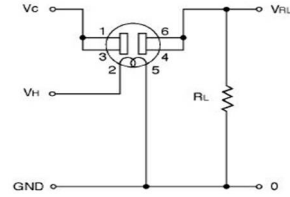


Şekil 2. Kontrol kutusu ve PCB kartları.

Plexi-glass ile yapılmış hazne, sistemden kararlı ve tekrarlanabilir sonuçlar alınabilmesi için son derece önemlidir. Sensörlerin kalibrasyonunu sağlamak için, sistemde sıcaklık sensörü ve nem sensörü kullanılmıştır. Ayrıca; sensörlerden alınan sinyalin büyüklüğü gazın yoğunluğu ile değiştiği için, düşük gaz yoğunlukların da işlenebilir sinyal alabilmek için, sensör çıkışına bağlanan direnç değeri artırılmalıdır. Bu işlem için ortam koşullarına çok da dayanıklı

olmayan mekanik bir potansiyometre kullanmak yerine MCP42XXX dijital potansiyometre kullanılmıştır. Bu entegre için Serial Peripheral Interface (SPI) haberleşme yöntemi kullanılmıştır.

Sensörlerin gaza karşı verdiği direnç değişikliği tepkisi gerilim bölücü devre yardımıyla kullanılabilir verilere dönüştürülmüştür. Sensör tepkisi olan R_S direnci kullanılarak, bu dirence seri gerilim bölücü devre yardımıyla R_L yükü üzerinden V_L değeri elde edilmiştir. Şekil 3’te sensör devresi gösterilmiştir. Bu bölümde oluşan analog sinyal, işlenmek üzere elektronik birime gönderilmiştir. Gelen sinyallerin işlendiği elektronik birimde; STM32F407 geliştirme kartı içerisindeki ARM Cortex-M4 mikro denetleyici kullanılarak, oksijen tüpü ve valfler vasıtasıyla gazın sisteme giriş çıkışı otomatik olarak sağlanmıştır. Analog girişlerinden okunan sensör sinyalleri, dijital sinyallere çevrildikten sonra, yapay öğrenme yöntemlerini kullanmak için bilgisayara gönderilmiştir.



Şekil 3. Sensör tepkisini ölçmek için kullanılan devre.

Sensörlerin ve rol elemanının yerleştirileceği kartların şematik ve PCB tasarımı, Altium Designer’da yapılmıştır. Gaz hazneleri, Solidworks paket programı kullanılarak tasarlanmış ve plexi-glass malzemeden yapılmıştır. STM32F407 ARM mikroişlemcisi Keil ARM IDE ile programlanmıştır. Yapay öğrenme yöntemleri için Matlab kullanılmıştır.

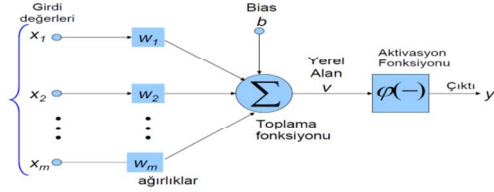
3. Kullanılan yapay öğrenme yöntemleri

Bu çalışmada K-EKA ve YSA olmak üzere iki yapay öğrenme yöntemi kullanılmıştır [17-18].

3.1. Yapay sinir ağları

YSA’lar, biyolojik sinir ağlarından esinlenilerek ortaya çıkarılan ve biyolojik sinir ağlarına benzer bazı başarımlar özellikleri içeren bir bilgi işleme sistemidir [18]. Basit bir şekilde insan beyninin çalışma şeklini taklit eden YSA’lar veriden öğrenebilme, genelleme yapabilme, sınırsız sayıda değişkenle çalışabilme gibi birçok önemli özelliğe sahiptir. YSA’nın çalışmasına

esas teşkil eden en küçük birimler yapay sinir hücresi ya da işlem elemanı olarak isimlendirilir. En basit yapay sinir hücresi Şekil 4’de girişler, ağırlıklar, bias, toplama fonksiyonu, aktivasyon fonksiyonu ve çıkış olmak üzere 6 ana bileşenden oluşan bir YSA yapısı gösterilmiştir.



Şekil 4. Yapay sinir hücresi.

Girişler ($X_1, X_2, \dots, X_m$), diğer hücrelerden ya da dış ortamlardan hücreye giren bilgilerdir. Ağırlıklar ($W_1, W_2, \dots, W_m$), hücreleri birbirine bağlayan bağlantı elemanlarıdır. Her bir giriş, o girişi diğer hücreye bağlayan ağırlık değeriyle çarpılarak, toplama fonksiyonu aracılığıyla birleştirilir. YSA’ların çok çeşitli ağ yapıları vardır. Bu ağ yapıları, sinir hücrelerinin ileri beslemeli ve geri beslemeli bağlantı şekillerine göre isimlendirilmiştir. Bu ağ yapıları içerisinde en yaygın kullanım alanı bulan çok katmanlı ileri beslemeli YSA’lardır. Bu çalışmada ileri beslemeli YSA kullanılmıştır. Eğitimi Levenberg Marquard algoritması ile sağlanmıştır.

3.2. K-En yakın komşuluk algoritması

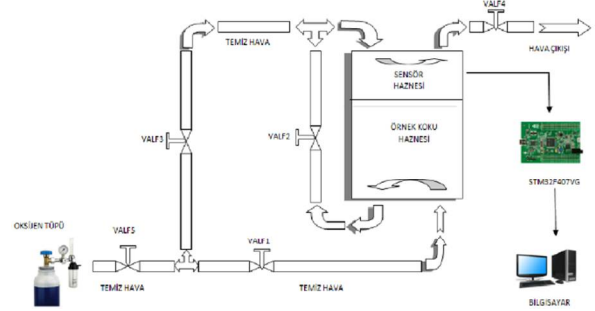
K-EKA, örnek tabanlı bir öğrenme algoritmasıdır [17]. Bilinmeyen veriyi sınıflandırmak için özellik uzayında ona en yakın iletim verilerini bulur ve K tane en yakın komşuları oy çokluğuyla bir sınıfa atar. Burada, K pozitif bir tam sayıdır. Oy çokluğu kuralı bir verinin komşuları arasında en yakın olduğu sınıfa verinin atanması gerektiğini ifade eder. K-EKA sınıflayıcı, genellikle Euclidean mesafe kullanarak özellik uzayında en yakın komşular yerleştirir. X^1 ve X^2 olarak iki veri verildiği zaman iki vektör arasındaki Euclidean mesafe aşağıdaki gibi tanımlanır.

$$\|X^1 - X^2\| = \sqrt{\sum_{i=1}^N (X_i^1 - X_i^2)^2} \quad (1)$$

N burada X^1 ve X^2 ’yi tanımlayan örnek sayısıdır. K’nın seçimi yüksek tanıma performansı için önemlidir. Çok geniş ya da çok küçük K genelleştirme yeteneğini etkiler.

4. Deneysel sonuçlar

4.1.Çalışma adımları

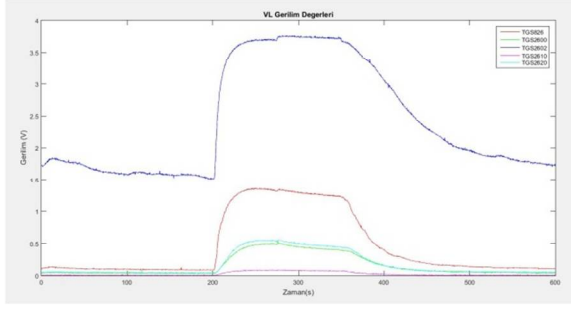


Şekil 5. Elektronik burun şeması.

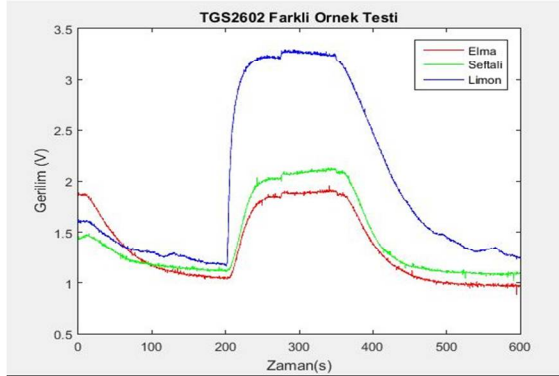
Sıcaklık ve nem değerleri sabitlenerek sonuçlar alınmıştır. Önerilen e-burun sistemi limon, şeftali ve elmadan oluşan üç meyve kokusuyla test edilmiştir. Kokular gaz haznesi içine meyve örnekleri yerleştirilerek hazırlanmıştır. Sistemin çalışması aşağıdaki gibidir:

- İlk olarak Valf-5, Valf-3 ve Valf-4 açılarak sensörler 200s için temiz havaya maruz bırakılır. Bu şekilde hem sensörlerde var olan istenmeyen gazlar uzaklaştırılmış olur hem de sensör dirençlerinin sürekli duruma ulaşması sağlanır.
- Daha sonra 75s için Valf-3 ve Valf-4 kapatılıp Valf-1 ve Valf-2 açılır ve oksijen tüpünden sağlanan havanın örnek kutusuna yönlendirilmesi ve koku moleküllerinin bu hava yardımıyla sensör haznesine taşınımı sağlanır.
- Taşınım bir süre devam ettikten sonra, 75s için koku moleküllerinin bir süre haznede bekletilmesi için bütün valfler kapatılır.
- Son aşamada sensörlerin tekrar temizlenmesi ve sensör dirençlerinin sürekli duruma ulaşması için 250s, Valf-5, Valf-3 ve Valf-4 açılıp koku molekülleri sensörlerden uzaklaştırılır.

Tüm sensörlerin limon kokusuna karşı verdiği karakteristik tepkiler Şekil 6’daki gibi ve TGS2602 sensörünün elma, şeftali ve limon kokularına karşı tepkisi ise Şekil 7’deki gibi elde edilmiştir.



Şekil 6. Limon kokusuna sensör tepkileri.



Şekil 7. TGS2602 sensörünün elma, şeftali ve limon kokularına karşı tepkisi.

4.2. Önerilen özellik çıkarma yöntemi

Sensör çıkışlarından elde edilen analog veriler STM32F407'nin ADC birimi yardımıyla $4s^{-1}$ frekansında 600s boyunca örneklenip 2400 veri elde edilmiştir. Elde edilen verilerden, sensörlerin temizleme anı olan hedef koku verilerinden bağımsız ilk 800 veri kullanılmamıştır. Hedef kokunun verildiği 200s ve 800. veriden sonraki veriler, sensörlerin farklı koşullardaki tepkisine karşılık gelen 320 verilik 4 gruba ayrılmıştır. Bu koşullar sensörlere ilk kokunun verilmesi, sensör tepkisinin sürekli duruma ulaşması ve sensörlerin temizlenmesi koşullarıdır.

Sensörlerden elde edilen 2400 veri yapay öğrenme yöntemlerine giriş olarak kullanılmaya uygun olmadığı için, ilk olarak (2)'deki gibi normalize edilmiştir.

$$A = \frac{VL}{\max(VL)} \quad (2)$$

Elde edilen 4 gruptaki verilerin; ortalaması, entropisi ve varyansı alınarak her bir grup için 3 özellik çıkarılmıştır. Toplamda ise her bir koku için tek bir sensörden 12 özellik oluşturulmuştur.

4.3. YSA'lar ve K-EKA için sonuçlar

Farklı yoğunluk elde etmek için yarım ve tam meyve alınarak deneyler yapılmıştır. Her bir deney üç defa tekrarlanmıştır. Elde edilen verileri saklanmıştır. Verilere ilişkin çıkarılan özellikler, K-EKA ve YSA girişi olarak kullanılmıştır. 5-katlı çapraz doğrulama testi uygulanmıştır.

YSA'lar için bire karşı diğerleri yöntemi kullanılarak 6 gizli nöronlu üç sınıflayıcı ağ kurulmuştur. Eğitim yinleme sayısı 200 ile sınırlanarak ağların aşırı uygunluk probleminden kaçınılmıştır. Eğitim ve test başarımları %100 olarak elde edilmiştir. Ayrıca limon, elma ve şeftaliyi 1, 2 ve 3 ile temsil ederek tek bir YSA regresyon ağı kurulmuştur. Gizli nöron sayısı [1-30] dizisi içinden test kümesi üzerinde en yüksek başarımları veren en iyi olan 18 alınmıştır. Eğitim ve test başarımları %100 olarak elde edilmiştir. K-EKA'da $k=1$ ile en yüksek başarımlar %100 olarak elde edilmiştir. $k=1-4$ iken başarımlar %100 iken, $k=5$ için %75 ve $k=6$ için %80 elde edilmiştir.

5. Sonuçlar

Bu çalışmada, STM32F407 geliştirme kartı kullanılarak bir elektronik burun geliştirilmiştir. Elektronik burunun fonksiyonelliğini görmek ve geçerliliğini kanıtlamak için K-EKA ve YSA'lar kullanılmıştır. K-EKA ve YSA'lar için sensörlerden elde edilen veriler işlenerek yeni bir özellik çıkarım algoritması geliştirilmiştir. Geliştirilen prototip; limon, şeftali ve elmadan oluşan meyve kokusu üzerinde test edilmiştir. Deneysel sonuçlar, YSA ile %100 K-EKA ile %90 başarımlar vermiştir. Bu elektronik burun ve önerilen özellik çıkarım yönteminin, geliştirilen sistem için uygun olduğunu göstermiştir. Çalışma, YSA ve K-EKA algoritmalarını STM32F407 içine gömmeye ve HC-05 Bluetooth modülü ile Android cihaza gönderme yönünde ilerlemektedir.

6. Teşekkür

Bu proje TÜBİTAK 2209-B (2241-A) Sanayi Odaklı Lisans Bitirme Tezi Destekleme Programı kapsamında desteklenmiştir.

7. Kaynaklar

- [1] L. Buck, R. Axel, A novel multigene family may encode odorant receptors: a molecular basis for odor recognition, Cell 65 (1991) 175–187.

- [2] J.W. Gardner, P.N. Bartlett, A brief history of electronic noses, *Sensor Actuators B Chem.* 18 (1994) 211–220.
- [3] J.W. Gardner, P.N. Bartlett, *Electronic Noses: Principles and Applications*, Oxford University Press, New York, 1999.
- [4] K.C. Persaud, P. Wareham, A.M. Pisanelli, E. Scorsone, Electronic nose—a new monitoring device for environmental applications, *Sens. Mater.* 17 (2005) 355–364.
- [5] R.E. Baby, M. Cabezas, E.N. Walsøe de Reca, Electronic nose: a useful tool for monitoring environmental contamination, *Sensor Actuators B Chem.* 69 (2000) 214–218.
- [6] M.P. Marti, R. Boqu'e, O. Busto, J. Guasch, Electronic noses in the quality control of alcoholic beverages, *Trac-Trends Anal. Chem.* 24 (2005) 57–66.
- [7] S. Ampuero, J.O. Bosset, The electronic nose applied to dairy products: a review, *Sensor Actuators B Chem.* 94 (2003) 1–12.
- [8] E. Schaller, J.O. Bosset, F. Escher, Electronic noses and their application to food, *LWT-Food Sci. Technol.* 31 (1998) 305–316.
- [9] J.W. Gardner, H.W. Shin, E.L. Hines, An electronic nose system to diagnose illness, *Sensor Actuators B Chem.* 70 (2000) 19–24.
- [10] J. Yinon, Detection of explosive by electronic noses, *Anal. Chem.* 75 (2003) 98A–105A.
- [11] K.J. Albert, N.S. Lewis, C.L. Schauer, G.A. Sotzing, S.E. Stitzel, T.P. Vaid, D.R. Walt, Cross-reactive chemical sensor arrays, *Chem. Rev.* 100 (2000) 2595–2626.
- [12] D. James, S.M. Scott, Z. Ali, W.T. O'Hare, Chemical sensors for electronic nose systems, *Microchim. Acta* 149 (2005) 1–17.
- [13] E.L. Hines, E. Llobet, J.W. Gardner, Electronic noses: a review of signal processing techniques, *IEE Proc. Circuit Device Syst.* 146 (1999) 297–310.
- [14] R. Gutierrez-Osuna, Pattern analysis for machine olfaction: a review, *IEEE Sens. J.* 2 (2002) 189–202.
- [15] S. Güney, A. Atasoy and R. Burget, Electronic nose odor classification with advanced decision tree structures, *Radio Eng.* 22, (2013) 874–882.
- [16] L. Ghorbani, Elektronik Burun Uygulaması için MLP, PCA ve KNN Algoritmalarının Cortex M4 Tabanlı Bir Gömülü Sistem Üzerinde Gerçeklemeleri, İstanbul Teknik Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, Mekatronik Mühendisliği Anabilim Dalı, 2014.
- [17] E. Alpaydın, *Yapay Öğrenme*, Boğaziçi Üniversitesi Yayınevi, İstanbul, 2011.
- [18] S. Haykin, *Neural Networks and Learning Machines*. 3rd ed. Upper Saddle River, USA: Prentice Hall, 2008.