

Nilüfer Çiçeği ve Kediotu Kokularını Koklama Anında Kaydedilmiş EEG İşaretlerinin Sınıflandırılması

Ebru YAVUZ*¹, Önder AYDEMİR²

¹Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, 53100, Rize

²Karadeniz Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, 61080, Trabzon

(Alınış / Received: 03.06.2016, Kabul / Accepted: 29.10.2016, Online Yayınlanma / Published Online: 21.11.2016)

Anahtar Kelimeler

Elektroensefalografi,
Nilüfer çiçeği,
Kediotu,
Hızlı Fourier dönüşümü,
Çarpıklık,
k-en yakın komşuluk

Özet: Beynin duyu organları üzerinden gelen bilgilere verdiği cevaplar farklı ölçme yöntemleri ile analiz edilebilmektedir. Mevcut yöntemler arasında elektroensefalografi (EEG) tekniği acı vermeyen ve kolay uygulanabilir özelliklerinden dolayı en fazla tercih edilenlerin başında gelmektedir. Koklama duyusuna beynin verdiği cevaplar son yıllarda araştırılan bir konudur. Ancak, klinik amaçlı çalışılan kokuların az olması ve yöntemlerin farklılık arz etmesinden dolayı beynin kokulara nasıl bir tepki verdiği konusunda net ve kesin bir sonuca ulaşılamamıştır. Bu çalışmada kediotu ve nilüfer çiçeği kokularının EEG işaretlerinde oluşturduğu farklılıklar incelenmiş ve bu kokulara ait EEG işaretleri sınıflandırılmıştır. EEG verileri 5 sağlıklı kişiden, gözleri açık ve kapalı olduğu durumda kaydedilmiştir. Bu iki kokuya ait EEG işaretlerini temsil etmek için kişilerin gözleri açık iken kaydedilen işaretlerin çarpıklık değeri ve hızlı Fourier dönüşümü öznitelikleri ile kişilerin gözleri kapalı iken kaydedilen işaretler hızlı Fourier dönüşümü öznitelikleri ile temsil edilmiştir. Çıkarılan öznitelikler k-en yakın komşuluk yöntemi ile sınıflandırılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre kişilerin gözleri açık durumda iken ortalama %97.28, kişilerin gözleri kapalı durumda iken ortalama %90.97 sınıflandırma doğruluğu elde edilmiştir. Ulaşılan sonuçlar önerilen öznitelik çıkarma ve sınıflandırma yönteminin nilüfer çiçeği ve kediotu kokularına ait EEG işaretlerinin sınıflandırılması için büyük potansiyele sahip olduğunu göstermiştir.

Classification of EEG Signals Recorded During Smelling of Lotus Flower and Valerian Olfaction

Keywords

Electroencephalography,
Lotus flower,
Valerian,
Fast Fourier transform,
Skewness,
k-nearest neighbors

Abstract: Brain response of information coming from the sense organs can be analyzed with different measurement methods. One of these existing methods is electroencephalography (EEG) which is the most preferred because this technique is not painful and easy to apply. The response of the human brain to olfaction has been analyzed in recent years. Particularly, it has not been exactly proved how the human brain gives response to different odors because of the limited kind of odor usage and different kinds of proposed methods. The present study demonstrates the effect of lotus flower and valerian odors on EEG signals, which were recorded from 5 healthy subjects at the eyes open and eyes closed conditions. In order to show the effectiveness of the proposed method, we categorized the EEG trials into two classes between lotus flower and valerian odors. In order to represent the EEG trials, we extracted features by using fast Fourier transform and skewness on eyes open condition and extracted features by using fast Fourier transform on eyes closed condition. The extracted features were classified by k-nearest neighbor algorithm. The achieved results showed that 97.28% and 90.97% average classification accuracy rates were achieved on the eyes open and closed conditions, respectively. Obtained results show that suggested feature extraction and classification method for these olfaction signs has great potential.

1. Giriş

Beyin insan vücudunun ve sinir sisteminin ana merkezidir. Günlük hayattaki tüm faaliyetlerimiz beyin tarafından denetlenmektedir. Bu denetleme beyinde birbiriyle iletişim halinde olan milyonlarca nöron ile gerçekleşmektedir. Nöronların elektriksel aktivitesi ise beyinde elektroensefalografi (EEG) işaretlerini oluşturur. Beynin elektriksel resmi olarak da bilinen EEG, beyindeki işlemlerin temelinde yatan bilgiyi anlamayı ve yorumlamayı sağlayan fizyolojik bir sinyaldir. EEG kaydı genellikle kafatasını saran bir kep ve kepe yerleştirilmiş olan elektrotlar yardımı ile alınır ve bu bakımdan fonksiyonel manyetik rezonans görüntüleme gibi diğer beyin işareti görüntüleme tekniklerine göre daha kolay elde edilebilir ve acı vermeyen bir yöntemdir [1-4].

Beyin acıkma, susama, uyku ve uyanıklık faaliyetlerini, kan basıncını ve vücut sıcaklığını düzenler, hormonların salgılanma zamanını belirler. Bu görevlerinin yanı sıra beyin işlevlerinin başında duyu organlarından gelen uyarıları değerlendirme gelmektedir. Burnun iç-üst kısmında koku algılayıcı hücreler bulunur. Bu hücreler uzantılarını mukoza sıvısının içine uzatarak buraya ulaşacak koku uyarıcı kimyasal maddeleri alır ve bu hücrelerin üzerinde bulunan özel moleküler mekanizmaları harekete geçirir. Algılayıcı hücrelerin elektriksel yüklerinde değişiklikler ile koku duygusu oluşur. Bu oluşum burunda koku alma görevinde olan milyonlarca sinir hücresinin, solunum yolu ile aldığı koku molekülleri aracılığıyla birbirini uyararak kokunun beyne ulaşmasıyla sağlanır [5-7]. Koklama esnasında kaydedilmiş EEG işaretlerinin incelenmesiyle klinik açıdan kişilerin koku duyularında herhangi bir eksiklik veya kayıp olup olmadığı değerlendirilebilir.

Literatürde hayvanların beyinlerinin farklı kokulara verdiği cevaplar fazlaca irdelense de [8-11], insan beyininin farklı kokulara verdiği tepkilerin tam olarak nasıl olduğu, uygulanan yöntemlerin farklı olmasından ve kullanılan kokuların sınırlı olmasından dolayı tam olarak ortaya koyulamamıştır. Literatürde yapılan az sayıdaki araştırmalarda farklı kokuların beyin aktivitesindeki etkisi ile ilgili fonksiyonel manyetik rezonans görüntüleme (fMRI) [12], [13] ve pozitron emisyon tomografisi (PET) [14] teknikleri ile de incelenmiş ancak bu çalışmalarda başarımlı sınıflandırma doğruluğu açısından irdelenmemiştir. Ho ve arkadaşları yaptıkları çalışmada beyin sadece 2 farklı koku yoğunluğuna verdiği tepkileri 14 kişi üzerinden aldıkları EEG işaretleri ile incelemiştirler. Yaptıkları bu çalışmada EEG işaretlerini 5 farklı öznelik ile temsil etmişlerdir. Bunlar: entropi oranı, entropi farkı, entropi ortalaması, karekök ortalama ve basıklıktır. Çıkardıkları bu öznelikler ile sınıflandırma yapmayı öznelik uzayında düşük yoğunluklu koku ve yüksek yoğunluklu kokulara ait özneliklerin ayırt edilebilir olduklarını göstermişlerdir [15]. Diğer bir

çalışmada ise Placidi ve arkadaşları 4 farklı kişi ile yaptıkları deneyde kişilere hoş ve hoş olmayan kokular koklatmışlardır. Daha sonra katılımcılara bu kokuları hatırlamaları söylendiği sırada bu kişilerin EEG işaretleri kaydedilmiştir. Hoş ve hoş olmayan kokuların hatırlanmasına dayalı EEG işaretlerini %88.3 ile %93.3 aralığında bir sınıflandırma doğruluğu (SD) ile sınıflandırmışlardır [16]. Kroupi ve arkadaşları yaptıkları çalışmada 5 kişiye ise gözleri açık ve kapalı durumda 4 farklı koku koklatarak bu kişilerin EEG işaretlerini kaydetmişlerdir. Katılımcılara 4 koku içerisinde en beğendikleri ve beğenmedikleri kokuları sorarak sadece bu kokulara ait EEG işaretlerini sınıflandırmışlardır [17]. İkili sınıflandırma problemine indirgedikleri bu çalışmadan bütün kişiler için ortalama %90 civarında sınıflandırma doğruluğu elde etmişlerdir. Ayrıca bu çalışmada yazarlar genel değil, kişiye özgü öznelik çıkarma modeli önermişlerdir.

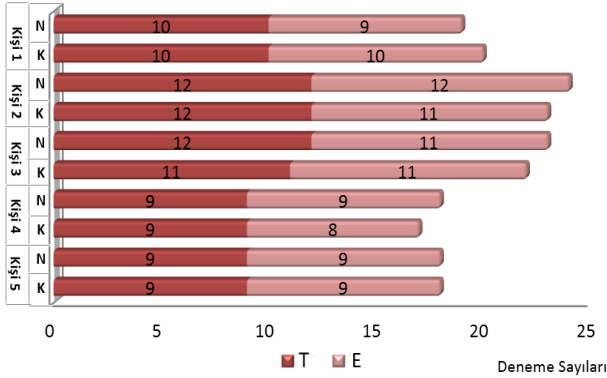
Bu çalışmada yukarıda bahsedilen [17] verileri kullanarak Kroupi ve arkadaşlarının çalışmalarından farklı olarak kişilerin beğendikleri ve beğenmedikleri kokular yerine beyin kediotu ve nilüfer çiçeği kokuları seçilerek, beyin bu kokulara verdiği tepki gözler açık ve kapalı iken araştırılmıştır. Bunun için de Kroupi ve arkadaşlarının açık kullanıma sunduğu EEG işaretlerinden sadece kediotu ve nilüfer çiçeğine ait olanlar dikkate alınmıştır. Bu kokulara ait EEG işaretleri için çarpıklık (skewness) ve hızlı Fourier dönüşümü (HFD) öznelikleri kullanılmıştır. Çıkarılan öznelikler k-en yakın komşuluk yöntemi (*k*-EYK) ile sınıflandırılmıştır.

2. Materyal ve Metot

2.1. Veri kümesi tanıtımı

Bu çalışmada ortak kullanıma sunulan İsviçre'nin Swiss Federal Teknoloji Enstitüsünde kaydedilen EEG verileri kullanılmıştır. Bu veriler yaşları 26 ile 32 arasında olan 5 ayrı kişiden alınmıştır. Deneye katılan kişiler kronik rahatsızlığı, solunum yetmezliği ve düşünsel bir problemi olmayan kişilerdir. Kişilerin gözleri açık ve gözleri kapalı durumdayken 4 farklı kokunun koklatılmasıyla bu veriler elde edilmiştir. Bu EEG verilerinde kullanılan 4 koku şunlardır: 1- kediotu, 2- nilüfer çiçeği, 3- peynir, 4- gül suyu. Bu çalışmada bu dört kokudan sadece kediotu ile nilüfer çiçeği kokuları kullanılmıştır. Veriler 250 Hz örnekleme frekansı ve 216 elektrot kaydedilmiştir. Veri kümesinin yarısını eğitim yarısını ise test kümesi oluşturmaktadır ve bu seçim oluşturduğumuz programla rasgele bir şekilde gerçekleşmektedir. Kediotu (K) ve nilüfer çiçeği (N) kokularına ait koku kayıt sayıları ile bu sayılardaki test ve eğitim verileri sayısı kişilerin gözleri açık ve kapalı durum için sırasıyla Şekil 1 ve Şekil 2'de gösterilmiştir. Bu şekillerde E eğitim, T ise test deneme sayılarını ifade etmektedir.

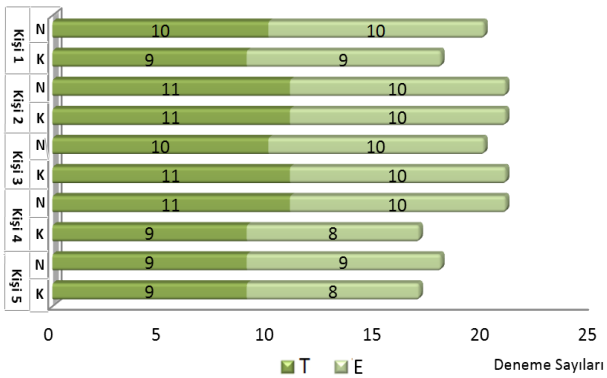
Koku kayıtlarını almak için rahat bir koltukta oturmakta olan katılımcılar deney esnasında yaklaşık 1 metre uzaklıkta bulunan bir ekrana bakmaktadırlar. İçini göstermeyen şişelerin içerisinde bulunan kokular kişilere 1-2 cm uzakta tutulmuştur. EEG verileri kişilerin baktığı ekranda “Kokla” komutunu görmesiyle otomatik ve rastgele kapağı açılan şişedeki kokuyu 2 saniye boyunca koklarken kaydedilmiştir. Katılımcının 2 saniye kokladığı verinin son 1 saniyelik kısmı tüm veriden çıkartılmıştır ve işaretler bir koku kaydı için 250 örneğe düşürülmüştür.



Şekil 1. Kişilerin gözleri açık durum için kediotu ve nilüfer çiçeği kokularına ait koku kayıt sayıları

Kişilerin gözleri açık iken kediotu ve nilüfer çiçeğine ait sırasıyla toplamda 100 ve 102 koku kaydı alınmıştır.

Kişilerin gözleri kapalı iken ise kediotu ve nilüfer çiçeğine ait sırasıyla toplamda 94 ve 100 koku kaydı alınmıştır.



Şekil 2. Kişilerin gözleri kapalı durum için kediotu ve nilüfer çiçeği kokularına ait koku kayıt sayıları

3.1. Öznitelik çıkarma yöntemleri

EEG işaretleri tek başına belirleyici olmadığından bu işaretlerin analizi için istatistiksel ve parametrik analiz yöntemleri kullanılır [18]. Bu çalışmadaki EEG işaretleri çarpıklık ile HFD esaslı öznitelik çıkarma yöntemleriyle analiz edilmiştir. Analiz için uygulama ortamı olarak MATLAB R2015a kullanılmıştır.

3.1.1. Çarpıklık

Bu çalışma için EEG işaretinden çarpıklık tabanlı öznitelikler çıkarılmıştır. Çarpıklık, dağılımın asimetrik bir ölçüsüdür [19]. Çarpıklık (ζ), bir x işareti için Denklem 1’de verilmiştir.

$$\zeta = \frac{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^3}{\left(\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2 \right)^{3/2}} \quad (1)$$

Burada \bar{x} 1’den N ’e kadarki x değerlerinin aritmetik ortalamasıdır.

3.1.2. Hızlı Fourier dönüşümü

Hızlı Fourier dönüşümü, ayrık Fourier dönüşümünün faz faktörü ile simetri özelliğinden yararlanarak işaretin hızlı bir şekilde hesaplanmasını sağlayan yöntemdir. Bir işaretin ayrık Fourier dönüşümü Denklem 2’de verilmiştir [20-21].

$$Y_k = \sum_{n=0}^{N-1} y(n) \exp(-jkn \frac{2\pi}{N}) \quad (2)$$

Denklem 2’deki Y_k katsayıları ayrık Fourier katsayılarını, N çerçeve boyunu, $y(n)$ zaman domeni giriş işaretini ifade etmektedir. Bu işaretin frekans spektrumunu bulmak için Denklem 3’de belirtildiği gibi ayrık Fourier dönüşüm katsayıları olan Y_k sayılarının mutlak değerlerinin karelerinin logaritmaları alınır.

$$P(k) = 10 \log |Y_k|^2 \quad (3)$$

Burada $P(k)$ işaretin frekans spektrumunu belirtmektedir.

4.1. k -EYK sınıflandırma yöntemi ve sınıflandırıcı eğitimi

Bu çalışmada sınıflandırıcı olarak k -en yakın komşuluk yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntemde test verileri en yakınlarında bulunan k adet komşularının sınıf etiketlerine bakılarak sınıflandırılır. Uygulanışı basit, gürültülü verilere karşı etkili ve eğitim dokümanlarının sayısının fazla olmasıyla etkinliği artan ancak hesaplama maliyeti yüksek bir sınıflandırma yöntemidir. Bu yöntem örnek kümedeki gözlemlerin her birinin, sonradan belirlenen bir gözlem değerine olan uzaklıklarının hesaplanması ve en küçük uzaklığa sahip k sayıda gözlemin seçilmesi esasına dayanmaktadır [22-24]. Uzaklık ölçütü olarak farklı yaklaşımlar mevcut olsa da bu çalışmada literatürde de sık tercih edilen Öklid uzaklığı kullanılmıştır. P tane a ve b noktaları için Öklid uzaklık formülü Denklem 4’deki gibi hesaplanmaktadır.

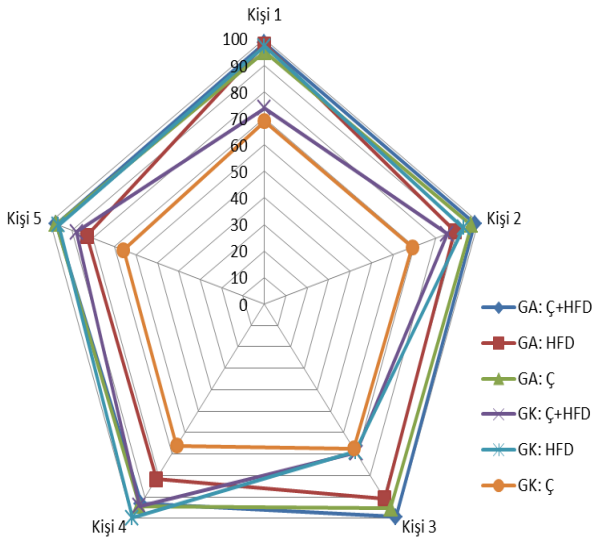
$$d(a, b) = \sqrt{\sum_{t=1}^p (x_{at} - x_{bt})^2} \quad (4)$$

Denklem 4'deki d değişkeni a ve b noktaları arasındaki uzaklığı ifade etmektedir.

k -EYK yönteminde önemli noktalardan biri de en iyi k parametresinin belirlenmesidir. Bu çalışmada rasgele alt örnekleme yöntemi ile optimum k parametresi belirlenmiş ve sınıflandırıcı eğitimi yapılmıştır.

3. Bulgular

Bu çalışmada kediotu ve nilüfer çiçeği kokularını gözler açık (GA) ve gözler kapalı (GK) durumda koklayan kişilerin beyin sinyallerindeki farklılıklar EEG ile birlikte incelenmiştir. Bu kokuların koklatıldığı sırada kaydedilmiş olan EEG işaretleri kişilerin gözleri açık ve kapalı durum için Ç ve HFD özniteliklerle analiz edilmiştir. Analizler için 216 elektrot kullanılmıştır. Ayrıca eğitim ve test kümesi sınırlı sayıda olduğundan dolayı önerilen yöntemin kararlılığını test etmek için önerilen yöntem 100 defa koşturulmuştur. Yöntemin her koşulunda eğitim ve test kümeleri yeniden rasgele dağıtılmış, bunun sonucunda elde edilen 100 test sınıflandırma doğruluğu için ortalama sınıflandırma doğruluğu hesaplanmıştır. Elde edilen test sınıflandırma sonuçları Şekil 3'deki radar grafiğinde 5 kişi için ayrı ayrı gösterilmiştir.



Şekil 3. Kişilerin GA ve GK durumları için belirlenen özniteliklerle hesaplanan sınıflandırma doğrulukları

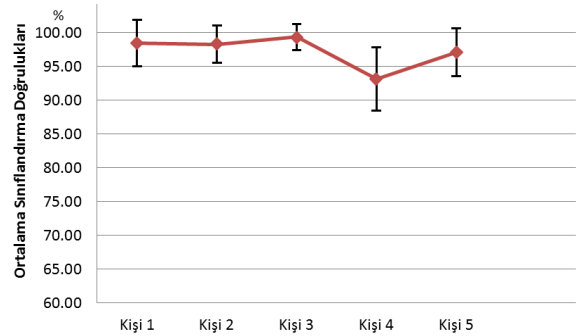
Kişilerin gözleri açık durumda Ç esaslı öznitelikle %94.39 ile %97.26 arası, HFD esaslı öznitelikle %81.69 ile %97.88 arası, HFD ve Ç esaslı özniteliklerle %93.17 ile %99.36 arası test sınıflandırma doğrulukları hesaplanmıştır. Ayrıca kişilerin gözleri kapalı durumda Ç esaslı öznitelikle %65.73 ile %69.11 arası, HFD esaslı öznitelikle %68.90 ile %99.70 arası, HFD ve Ç esaslı özniteliklerle %69.50 ile %94.35 arası test sınıflandırma doğrulukları hesaplanmıştır. Elde edilen altı farklı durum için ortalama test doğrulukları hesaplanmış ve bu sonuçlar Tablo 1'de gösterilmiştir.

Tablo 1. Sınıflandırma Sonuçları

Öznitelikler	Gözler Açık	Gözler Kapalı
Ç+HFD	% 97.28	% 82.13
HFD	% 88.41	% 90.97
Ç	% 95.74	% 67.56

Kişilerin gözleri açıkken Tablo 1'de verildiği gibi Ç ve HFD ile %97.28, yalnız HFD ile %88.41, yalnız Ç ile %95.74 doğruluk elde edilmiştir. Bu verilere göre en iyi doğruluk %97.28 ile Ç ve HFD ile hesaplanmıştır ve kişilerin gözleri açık durum için bu öznitelikler esas alınmıştır. Kişilerin gözleri kapalıyken Tablo 1'de verildiği gibi Ç ve HFD ile %82.13, yalnız HFD ile %90.97, yalnız Ç ile %67.56 doğruluk elde edilmiştir. Elde edilen bu verilere göre en iyi doğruluk %90.97 ile HFD ile hesaplanmıştır ve kişilerin gözleri kapalı durum için bu öznitelikler esas alınmıştır.

Kişilerin gözleri açık ve kapalı durumlarda EEG işaretleri için Ç ve 0-30 Hz (asıl bilgiyi bulunduran bant aralığı [25]) bant aralığında HFD öznitelikleri incelenmiştir. Elde edilen bulgulardan kişilerin gözleri açık durum için Ç, kişilerin gözleri kapalı durum için ise Ç ve HFD özniteliklerinin birlikte en yüksek sınıflandırma doğruluğu sonuçları verdiği anlaşılmıştır. Analizler için elde edilen 100 test sınıflandırma doğruluğu için ortalama sınıflandırma doğruluğu ile standart sapması hesaplanmıştır. Kişilerin gözleri açık ve kapalı durumda hesaplanan kişiye özgü ortalama sınıflandırma doğruluğu ile standart sapma değerleri sırasıyla Şekil 4 ve Şekil 5'te verilmiştir.

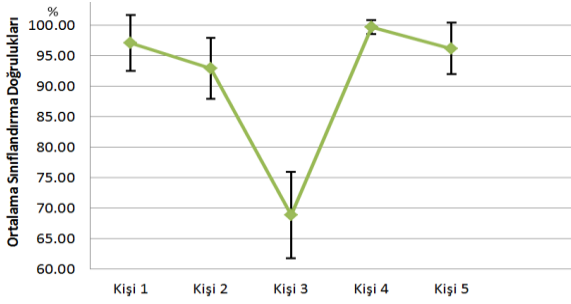


Şekil 4. Kişilerin gözlerinin açık olduğu durum

Kişilerin gözleri açık iken elde edilen sonuçlara göre kişiye özgü sınıflandırma doğrulukları %93.17 ile %99.36 arasında hesaplanmıştır. Kişi 3 için %99.36 ortalama sınıflandırma doğruluğu ile en yüksek sınıflandırma doğruluğu, Kişi 4 için %93.17 ortalama sınıflandırma doğruluğu ile en düşük sınıflandırma doğruluğu elde edilmiştir.

Standart sapma, verilerin ortalamaya göre yayılmasını gösteren bir istatistiksel ölçü olması bakımından incelenmesi durumunda Kişi 3 için 1.96 ile en düşük standart sapma değeri hesaplanmıştır. Kişi 3 için hesaplanan ortalama doğruluk değerleri Kişi 3 için elde edilen %99.36 ortalama doğruluğuna en yakın incelenen değerlerdir. Diğer taraftan, Kişi 4 için 4.67 ile en yüksek standart sapma değeri

hesaplanmıştır. Kişi 4 için hesaplanan ortalama doğruluk değerleri Kişi 4 için elde edilen %93.17 ortalama doğruluğuna uzakta yayılmış olduğu için bu kişi için en büyük standart sapma değeri analiz edilmiştir.



Şekil 5. Kişilerin gözlerinin kapalı olduğu durum

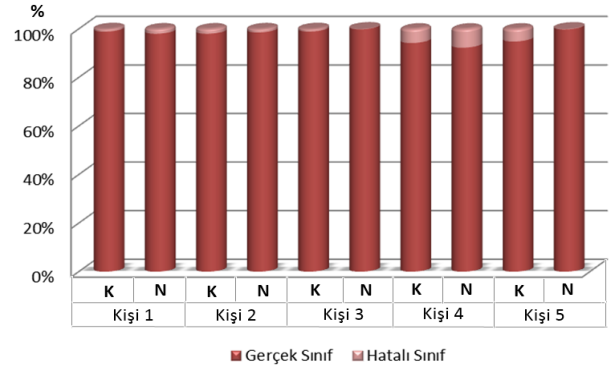
Kişilerin gözleri kapalı iken elde edilen sonuçlara göre kişiye özgü sınıflandırma doğrulukları %68.9 ile %99.70 arasında hesaplanmıştır. Kişi 4 için %99.70 ortalama sınıflandırma doğruluğu ile en yüksek sınıflandırma doğruluğu, Kişi 3 için %68.90 ortalama sınıflandırma doğruluğu ile en düşük sınıflandırma doğruluğu elde edilmiştir.

Kişilerin gözleri kapalı durumda iken standart sapma sonuçlarının incelenmesi durumunda Kişi 4 için 1.19 ile en düşük standart sapma değeri hesaplanmıştır. Kişi 4 için hesaplanan ortalama doğruluk değerleri Kişi 4 için elde edilen %99.70 ortalama doğruluğuna en yakın incelenen değerlerdir. Kişi 3 için 7.05 ile en yüksek standart sapma değeri hesaplanmıştır. Kişi 3 için hesaplanan ortalama doğruluk değerleri Kişi 3 için elde edilen %68.90 ortalama doğruluğuna uzakta yayılmış olduğu için bu kişi için en yüksek standart sapma değeri analiz edilmiştir.

Bu sonuçlara göre kişilerin kediotu ve nilüfer çiçeği kokularına karşı koku tepkileri kişiden kişiye ve kişilerin gözleri açık ve kapalı durumda iken farklılık gösterdiği anlaşılmaktadır.

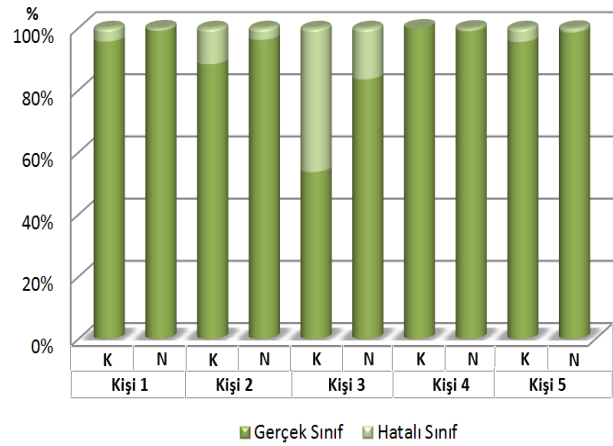
Kediotu ve nilüfer çiçeği kokularını gözleri açık ve kapalı durumda koklayan kişilerin elde edilen sonuçlarına göre hata çubukları ile de analiz edilmiştir. 5 ayrı kişiden alınan deneme sayılarındaki gerçek sınıf yüzdeleri ve hatalı sınıf yüzdeleri Şekil 6 ve Şekil 7 'de verilen hata çubukları ile gösterilmiştir.

Şekil 6'daki verilere göre kişilerin gözleri açık durumda iken Kişi 1 için %98.88, Kişi 2 için %98.00, Kişi 3 için %98.90, Kişi 4 için %94.18, Kişi 5 için %94.80 oranında kediotu kokusu doğru sınıflandırılmıştır. Ancak, Kişi 1 için %1.11, Kişi 2 için %2.00, Kişi 3 için %1.09, Kişi 4 için %5.81, Kişi 5 için %5.20 oranında kediotu kokusu, hatalı olarak nilüfer çiçeği kokusu olarak sınıflandırılmıştır. Kişi 1 için %98.00, Kişi 2 için %98.55, Kişi 3 için %99.81, Kişi 4 için %92.25, Kişi 5 için %99.77 oranında nilüfer çiçeği doğru sınıflandırılmıştır.



Şekil 6. Kişilerin gözleri açık durumda iken hata çubukları

Ancak, Kişi 1 için %2.00, Kişi 2 için %1.44, Kişi 3 için %0.18, Kişi 4 için %7.75, Kişi 5 için %0.22 oranında nilüfer çiçeği kokusu kediotu kokusu olarak sınıflandırılmıştır. En iyi hata çubuğu Kişi 3 için %99.81 oranında nilüfer çiçeği kokusunun doğru sınıflandırılmasıyla hesaplanmıştır. En kötü hata çubuğu Kişi 4 için %7.75 oranında nilüfer çiçeği kokusunun kediotu kokusu olarak sınıflandırılmasıyla hesaplanmıştır.



Şekil 7. Kişilerin gözleri kapalı durumda iken hata çubukları

Kişilerin gözleri kapalı durumda iken Kişi 1 için %95.66, Kişi 2 için %88.37, Kişi 3 için %53.70, Kişi 4 için %100.00, Kişi 5 için %95.52 oranında kediotu kokusu doğru sınıflandırılmıştır. Ancak, Kişi 1 için %4.33, Kişi 2 için %11.62, Kişi 3 için %46.30, Kişi 4 için %0.00, Kişi 5 için %4.48 oranında kediotu kokusu, hatalı olarak nilüfer çiçeği kokusu olarak sınıflandırılmıştır. Kişi 1 için %99.11, Kişi 2 için %96.20, Kişi 3 için %83.50, Kişi 4 için %99.01, Kişi 5 için %98.60 oranında nilüfer çiçeği doğru sınıflandırılmıştır. Ancak, Kişi 1 için %0.88, Kişi 2 için %3.80, Kişi 3 için %16.50, Kişi 4 için %0.09, Kişi 5 için %1.40 oranında nilüfer çiçeği kokusu, hatalı olarak kediotu kokusu olarak sınıflandırılmıştır. En iyi hata çubuğu Kişi 4 için %100.00 oranında kediotu kokusunun doğru sınıflandırılmasıyla hesaplanmıştır. En kötü hata çubuğu Kişi 3 için %46.30 oranında kediotu kokusunun nilüfer çiçeği kokusu olarak sınıflandırılmasıyla hesaplanmıştır.

4. Performans Karşılaştırması

Bu çalışmada önerilen öznitelik çıkarma ve sınıflandırma yöntemi dışında EEG verileri basıklık (B) ve ham işaretlerin standart sapması (S) öznitelikleri ile destek vektör makinesi (DVM) ve Bayes sınıflandırma yöntemleri kullanılarak da test edilmiştir. Bu öznitelik ve sınıflandırıcılarla elde edilen sonuçlar tüm kişilerin ortalamaları alınarak Tablo 2'de karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Bu tabloda gözler açık ve kapalı durumlar için önerilen yöntemlere ait sonuçlar koyu tonlu olarak gösterilmiştir.

Tablo 2. Performans karşılaştırma sonuçları

Öznitelik	Sınıflandırıcı	Sınıflandırma Doğruluğu (%)		
		Gözler Açık	Gözler Kapalı	Ortalama
Ç+HFD	k-EYK	97.28	82.13	89.70
HFD	k-EYK	88.41	90.97	89.69
Ç	k-EYK	95.74	67.56	81.65
B+S	k-EYK	73.01	85.54	80.77
B	k-EYK	70.00	66.90	68.45
S	k-EYK	82.42	88.11	85.26
Ç+HFD	DVM	56.91	53.04	54.97
HFD	DVM	59.29	62.93	61.11
Ç	DVM	55.08	54.90	54.99
B+S	DVM	54.28	53.80	54.04
B	DVM	54.88	54.40	54.64
S	DVM	59.41	53.11	56.26
Ç+HFD	Bayes	86.30	82.01	84.15
HFD	Bayes	79.67	81.69	80.68
Ç	Bayes	80.68	60.10	70.39
B+S	Bayes	72.10	83.41	77.75
B	Bayes	58.92	59.18	59.05
S	Bayes	73.68	83.90	78.79

Tablo 2'deki sonuçlardan da görüldüğü gibi en yüksek sınıflandırma doğruluğu sonuçları gözleri açık durum için Ç+HFD öznitelikleri ve k-EYK sınıflandırıcısı ile, gözleri kapalı durum için ise sadece HFD öznitelikleri ve k-EYK sınıflandırıcısı ile elde edilmiştir. Gözler açık ve kapalı durumda elde edilen sınıflandırma doğruluklarının ortalamaları bakımından da önerilen yöntemler sırasıyla %89.70 ve %89.69 başarımla en yüksek performansı sergilenmişlerdir. Buna karşılık ortalamalar bakımından HFD özniteliği ile DVM sınıflandırıcısı en fazla %61.11 ve Ç+HFD öznitelikleri ile Bayes sınıflandırıcısı en fazla %84.15 sınıflandırma doğruluğu sağlayabilmiştir.

5. Tartışma ve Sonuç

Bu çalışmada kediotu ve nilüfer çiçeği kokularına ait EEG işaretlerinden Ç ve HFD öznitelikleri çıkarılmıştır. Elde edilen bulgular bu işaretlerin en iyi, kişilerin gözleri açık durumda %97.28 ile Ç ve HFD öznitelikleri birlikte kullanarak, kişilerin gözleri kapalı durumda %90.97 ile HFD kullanarak çıkarılan özniteliklerle temsil edilebileceğini göstermiştir. En iyi hata çubuğu kişilerin gözleri açık durumda Kişi 3 için %99.81 nilüfer çiçeği kokusunun, kişilerin gözleri kapalı durumda Kişi 4 için %100.00 oranında

kediotu kokusunun doğru sınıflandırılmasıyla hesaplanmıştır. Böylece kişilerin gözleri açık ve kapalı durum için en iyi sınıflandırılan kokunun farklılık gösterdiği anlaşılmıştır. Ayrıca Kişi 3'ün gözleri açık olduğu durumdaki ortalama sınıflandırma doğruluğu ile kapalı olduğu durumdaki sınıflandırma doğruluğu arasında dikkat çekici bir fark vardır. Bu durum Kişi 3'ün gözleri kapalı olduğu durumda kokuya yeterince odaklanmadığından kaynaklanmıştır olabilir.

Kişinin gözleri kapalı durumda kokuya bağlı aktivite değişimlerinin daha net olması beklenmesine karşın bu çalışmada kişilerin gözleri açık durumda iken elde edilen sınıflandırma sonuçları gözler kapalı duruma göre daha yüksek olarak elde edilmiştir. Dolayısıyla gözler kapalı durumda elde edilen daha düşük sınıflandırma doğruluğu kişilerin bu durumda konsantrasyon eksikliğinden ileri geldiği düşünülmektedir.

Bu veriler ile yapılan daha önceki çalışmada kişiye özgü öznitelik çıkarma ve sınıflandırma yöntemi önerilmişken, bu çalışmada kişilerin gözleri açık ve kapalı durum için iki ayrı yöntem önerilmiştir. Önerilen yöntem kişilerin gözleri açık ve kapalı durumdaki verilerine ayrı ayrı uygulanmış ve yapılan deneysel araştırmalar sonucu kullanılan öznitelik seçme yöntemlerinin yüksek performansta olduğu ispatlanmıştır. Önerilen yöntemin, klinik açıdan kişilerin koku kaybı veya eksikliğini belirlemede başarılı bir şekilde kullanılabileceği düşünülmektedir.

Teşekkür

İsviçre Federal Teknoloji Enstitüsü'ne veri setinin temini için teşekkür ederiz.

Kaynakça

- [1] Lachaux, J. P., Rudrauf, D., Kahane, P. 2003. Intracranial EEG and human brain mapping. *Journal of Physiology-Paris*, 97(4), 613-628.
- [2] Aydemir, Ö., Kayıkcıoğlu, T. 2009. EEG Tabanlı Beyin Bilgisayar Arayüzleri. *Akademik Bilişim, Şanlıurfa*, ss 7-13.
- [3] Huster, R. J., Mokom, Z. N., Enriquez-Geppert, S., Herrmann, C. S. 2014. Brain-computer interfaces for EEG neurofeedback: Peculiarities and solutions. *International Journal of Psychophysiology*, 91(1), 36-45.
- [4] Vidaurre, C., Sannelli, C., Samek, W., Dähne, S., Müller, K. R. 2015. Machine Learning Methods of the Berlin Brain-Computer Interface. *IFAC-PapersOnLine*, 48(20), 447-452.
- [5] López-Mascaraque, L., Trejo, J. L. 2013. From the nose to the brain: Olfaction and Neuroscience. *The Anatomical Record*, 296(9), 1285-1286.

- [6] Axel, R. 2005. Scents and sensibility: a molecular logic of olfactory perception (Nobel lecture). *Angewandte Chemie International Edition*, 44(38), 6110-6127.
- [7] Kjelvik, G., Evensmoen, H. R., Brezova, V., Håberg, A. K. 2012. The human brain representation of odor identification. *Journal of neurophysiology*, 108(2), 645-657.
- [8] Freeman, W. J., Di Prisco, G. V. 1986. EEG spatial pattern differences with discriminated odors manifest chaotic and limit cycle attractors in olfactory bulb of rabbits. In *Brain theory*, ss 97-119.
- [9] Grajski, K. A., Breiman, L., Prisco, G. V. D., Freeman, W. J. 1986. Classification of EEG spatial patterns with a tree-structured methodology: CART. *Biomedical Engineering, IEEE Transactions on*, (12), 1076-1086.
- [10] Freeman, W. J. 1987. Simulation of chaotic EEG patterns with a dynamic model of the olfactory system. *Biological cybernetics*, 56(2-3), 139-150.
- [11] Barrie, J. M., Freeman, W. J., Lenhart, M. D. 1996. Spatiotemporal analysis of prepyriform, visual, auditory, and somesthetic surface EEGs in trained rabbits. *Journal of Neurophysiology*, 76(1), 520-539.
- [12] Howard, J. D., Plailly, J., Grueschow, M., Haynes, J. D., & Gottfried, J. A. 2009. Odor quality coding and categorization in human posterior piriform cortex. *Nature neuroscience*, 12(7), 932-938.
- [13] Zelano, C., Montag, J., Johnson, B., Khan, R., & Sobel, N. 2007. Dissociated representations of irritation and valence in human primary olfactory cortex. *Journal of neurophysiology*, 97(3), 1969-1976.
- [14] Djordjevic, J., Zatorre, R. J., Petrides, M., Boyle, J. A., & Jones-Gotman, M. 2005. Functional neuroimaging of odor imagery. *Neuroimage*, 24(3), 791-801.
- [15] Ho, M. W., Ser, W., Sieow, B. F., Lwin, M. O., Kwok, K. F. 2013. A study of EEG signals modeling for different scent intensity levels. In *Neural Engineering (NER), 2013 6th International IEEE/EMBS Conference on* (ss 1445-1448). IEEE.
- [16] Placidi, G., Petracca, A., Spezialetti, M., Iacoviello, D. 2015. Classification strategies for a single-trial binary Brain Computer Interface based on remembering unpleasant odors. In *Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC), 2015 37th Annual International Conference of the IEEE* (ss 7019-7022). IEEE.
- [17] Kroupi, E., Yazdani, A., Vesin, J. M., Ebrahimi, T. 2014. EEG correlates of pleasant and unpleasant odor perception. *ACM Transactions on Multimedia Computing, Communications, and Applications (TOMM)*, 11(1s), 13.
- [18] Uktveris, T., Jusas, V. 2015. Comparison of Feature Extraction Methods for EEG BCI Classification. In *Information and Software Technologies* (ss. 81-92). Springer International Publishing.
- [19] Lim, J., Seo, B., Chun, S. 2014. Suggestion of a New Brain Reaction Index for the EEG Signal Identification and Analysis. *International Journal of Bio-Science and Bio-Technology*, 6(4), 123-132.
- [20] Thieu, T. N., Yang, H. J. 2015. Diagnosis of Epilepsy in Patients Based on the Classification of EEG Signals Using Fast Fourier Transform. In *Current Approaches in Applied Artificial Intelligence* (ss. 493-500). Springer International Publishing.
- [21] Liengme, B. V. 2014. Fast Fourier transform. In *Modelling Physics with Microsoft Excel®*. Morgan, Claypool Publishers.
- [22] Aydemir, O., Kayikcioglu, T. 2014. Decision tree structure based classification of EEG signals recorded during two dimensional cursor movement imagery. *Journal of neuroscience methods*, 229, 68-75.
- [23] Mohanchandra, K., Saha, S., Murthy, K. S., Lingaraju, G. M. 2015. Distinct adoption of k-nearest neighbour and support vector machine in classifying EEG signals of mental tasks. *International Journal of Intelligent Engineering Informatics*, 3(4), 313-329.
- [24] Hosseinifard, B., Moradi, M. H., Rostami, R. 2013. Classifying depression patients and normal subjects using machine learning techniques and nonlinear features from EEG signal. *Computer methods and programs in biomedicine*, 109(3), 339-345.
- [25] Tokmakçı, M., Asyali, M. H., Seğmen, H. 2010. Examining EEG signals with parametric and non-parametric analyses methods in migraine patients during pregnancy. *IEEE Conference In Biomedical Engineering Meeting, 2010 15th National* (ss. 1-4).