Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi
Nigde Omer Halisdemir University Journal of Engineering Sciences

ISSN: 2564-6605
Araştırma / Research

YAPAY SİNİR AĞLARI KULLANILARAK İMLEÇ YÖNÜ TESPİTİ

Kerim KARADAĞ[1,*], Mehmet Emin TENEKECİ[2], Abdülkadir GÜMÜŞÇÜ[3]

[1,3] *Harran University, Electrical-Electronics Engineering Department, 63300, Sanliurfa, Turkey*
[2] *Harran University, Computer Engineering Department, 63300, Sanliurfa, Turkey*

ÖZET

Bu çalışmada, Electroensefalogram (EEG) kayıtları kullanılarak bilgisayar ekranındaki imlecin sağa ve sola hareketinin doğru tahmin edilmesi amaçlanmıştır. Çalışmada BCI CompetitionII data setIII, EEG veri seti kullanılmıştır. Veri setinde sağlıklı 25 yaşında bir bayandan alınan kayıtlar kullanılmıştır. Kayıtlar üç sağda üç solda olmak üzere altı elektrottan oluşmuş EEG verilerini içermektedir. Çalışmada yalnızca eğitim veri seti kullanılmıştır. Veri setleri iki gruba ayrılmıştır. Birinci grup, imlecin sağa hareketi(0) ve diğer grup ise imlecin sola hareketini (1) içermektedir. Veri setinde her elektrotta toplam 140 tane sağ ve sol hareket bulunmaktadır. Bu hareketlerden 100 tanesi eğitim, diğer 40 tanesi test için kullanılmıştır. İmleç yönünün tespiti üç aşamadan oluşmaktadır. Birinci aşama işaretlerin düzenlenmesi, ikinci aşama öznitelik vektörünün temini, üçüncü aşamada ise verilere ilişkin öznitelik vektörlerinin sınıflandırılması yapılmıştır. İşaretlerin düzenlenmesinde, imlecin sağa ve sola hareketlerine ait kısımlar tespit edilmiş ve elektrotlar ayrıştırılmıştır. Öznitelik Vektörünün oluşturulmasında, Dalgacık Dönüşümü (DD) kullanılmıştır. Sınıflandırma yöntemi olarak da Yapay Sinir Ağları (YSA) kullanılmıştır. EEG işaretlerinin sınıflandırma işlemi yalnız tek elektrota yapılmıştır. İmleç yönünün tespitinde elde edilen performansın C3 için %95, CZ için %97,5, C4 için %100 olmuştur.

Anahtar kelimeler: EEG, Sınıflandırma, Dalgacık dönüşümü, YSA

DETERMİNATİON OF CURSOR MOVEMENT DİRECTİON USİNG ARTİFİCAL NEURAL NETWORK

ABSTRACT

In this study, it is aimed to estimate the right and left movement of the cursor on the computer screen by using Electroencephalogram (EEG) records. BCI Competition II data setIII and EEG data set were used in the study. Records from a healthy 25-year-old fellow were used in the data set. The records contain EEG data consisting of six electrots, three on the right and three on the left. Only training data set was used in the study. Data sets are divided into two groups. The first group contains the cursor right movement (0) and the other group contains the cursor left movement (1). In the dataset, there are a total of 140 right and left movements on each electrode Of these movements, 100 were used for training and the other 40 were used for testing. The detection of the cursor direction consists of three steps. The classification of the first stage markers, the classification of the second stage feature vector, and the classification of feature vectors in the third stage. In the arrangement of the marks, the parts of the movement of the cursor right and left are determined and the electrodes are separated. In the creation of the Attribute Vector, Wavelet Transforms(WT) is used. Artificial Neural Networks (ANN) were used as a classification method The classification of the EEG markings was done on one electrode only The performance obtained in determining the cursor orientation is 95% for C3, For the CZ 97.5%, It's been 100% for the C4.

Keywords: EEG, Classification, Wavelet analysis, ANN

1. GİRİŞ

Beynin faaliyetlerini anlamayı sağlayan kayıtların başında gelen EEG, Hansverger tarafından 1924 yılında geliştirilip, ilk zamanlardan günümüze kadar birçok bilim alanında büyük bir ilgi ile karşılanmıştır [1]. EEG, beyin aktivitelerini daha iyi anlamak ve beyne etki eden birçok hastalığı erken teşhis etmek için kullanılan önemli bir araçtır [2]. EEG işaretleri beynin sinirsel faaliyeti sonucu elde edilen biyoelektriksel işaretlerden oluşur ve bu işaretlerin frekans bileşenleri son derece önemlidir [3]. EEG, beyindeki elektriksel aktiviteyi ölçer. Ölçüm yapılabilmesi için insan kafatasına belli sayıda elektrotlar yerleştirilir

* Sorumlu yazar / Corresponding author, e-posta / e-mail:k.karadag@harran.edu.tr
Geliş / Recieved: 24.12.2017 Kabul / Accepted: 17.10.2019 doi: 10.28948/ngumuh.681241

ve bu elektrotlar kablo ile bilgisayara bağlanır. Bilgisayarda beynin elektriksel aktiviteleri belirli bir zaman aralığı içinde kaydedilir. EEG işaretlerinin, beyin fonksiyonları ile ilgili çok miktarda bilgi içerdiği bilinmektedir. Farklı hastalıklar, beyindeki elektriksel aktivitelerin değişimleri dikkate alınarak gözlemlenir. Epilepsi hastalığı, koma tanısı, ensefalopati, beyin ölümü, uyku bozuklukları gibi hastalıkların teşhisinde EEG cihazı kullanılmaktadır [4].

Beynin cihazlarla kontrol edilebilme düşüncesi, teknoloji ve bilgisayarlar geliştikçe hayalden gerçeğe doğru bir yol almıştır. Günümüz bu hedefe ulaşmak adına yapılan çalışmalarda, beyinden geçen düşünceleri okuma konusunda önemli bir aşama kaydedildiği görülmektedir. Bu işlemin gerçekleşebilmesi ancak iyi bir iletişim sağlanması ile mümkündür. Bu iletişimi gerçekleştirme işlemlerinden biri de Beyin Bilgisayar Arayüzü (BBA) olmuştur. Kısaca BBA sistemi; beyin etkinliğinin algılanıp, yorumlandığı bir süreç olarak tanımlanır [5].

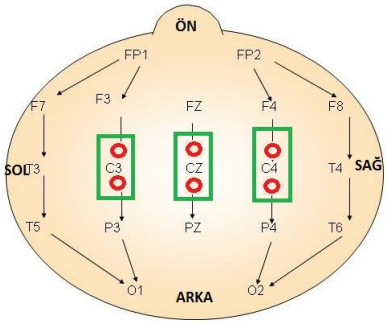
EEG ve YSA ile ilgili yapılan çalışmalar incelendiğinde; Yapılan bir çalışmada, EEG artifakt giderme yaklaşımlarının eleştirel bir incelemesi sunulup günlük yaşamda EEG'nin BCI uygulamalarına uygulanabilirlikleri incelenmiş [6]. Başka bir çalışmada, bir sanal nöroprotezin parmak ucunu 2D hızına komuta etmek için farklı el ve ayak hareketleri kombinasyonları kullanılarak EEG-BCI üzerindeki ek bilişsel yük etkisi ölçülmeye çalışılmış [7]. Mohammed ve ark. tarafından yapılan bir çalışmada el bileği ve parmak hareketlerinin EEG kayıtları, YSA yöntemi kullanılarak çalışılmış [8]. Farklı kriterler kullanılarak uyanıklık evresi ve zihinsel uyku problemi incelenmiş [9]. EEG-BCI kayıtlarında fonksiyonel ağların fizibilite analizi gerçekleştirilmiş [10]. SVM, LDA ve KNN kullanılarak, Anne Dalgacıkların (MWs) sınıflandırma sonuçları üzerine etkisi çalışılmış [11]. BCI, için frontal beyin bölgesinden sekiz aktif beyin komutunu çözmek için hibrid EEG-fNIRS şeması sunulmuş [12]. Üç zihinsel durumun (yorgunluk, hayal kırıklığı ve dikkat) BCI permormansı etkileri incelenmiş [13]. Yapılan çalışmada ise, BCI CompetitionII data setIII veri seti kullanılmış, aynı şekilde bu veri seti başka çalışma grupları tarafından da farklı yöntemler kullanılarak yapılmıştır; Schaefer ve Lemm dalgacık dönüşümü ve bayesian karar ağaçları yöntemi kullanarak %89 başarı oranı elde etmişler. Narayana ve ark., autoregressive ve doğrusal ayırt etme analizi kullanarak %84 başarı oranı elde etmişler. Xiaorong ve ark., bant geçirgen filtre ve fisher doğrusal ayırtaç analizi kullanarak %86 başarı oranı elde etmişler. Saffari ve ark., çalışmalarında %83 başarı oranı elde etmişler. Vera, bant geçirgen filtre, temel bileşenler analizi ve çok katmanlı yapay sinir ağları kullanarak %68 başarı oranı elde etmiş. Zander ve ark., bant geçirgen filtre ile ARR kullanarak %83 başarı oranı elde etmişler. Sadashivaiah ve ark., autoregressive ile fisher doğrusal ayırtaç analizi kullanarak %83 başarı oranı elde etmişler. Mbwana ve Laubach, ayırtaç takibi ile destek vektör makinaları kullanarak %51 başarı oranı elde etmişler. Rissacher çok katmanlı yapay sinir ağları kullanarak %76 başarı oranı elde etmiş [14].

Çalışmamızda, EEG işaretlerinin zaman ortamında işlenmesi sonucu elde edilen bir takım özellikler kullanılarak, İmleç'in sağa ve sola hareketinin sınıflandırılması dalgacık dönüşümü ile birlikte YSA yöntemi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Yapılan uygulamada, özniteliklerin elde edilmesi aşamasında DD yöntemi kullanılmış ve elde edilen dalgacık katsayıların istatistiksel değerleri kullanılarak, öznitelik vektörünün boyutu azaltılmıştır. Sınıflandırma performansına göre seçilen özniteliklerin etkinliği gözlenmiştir.

2. MATERYAL VE YÖNTEM

2.1. Çalışmada Kullanılan Veri Seti

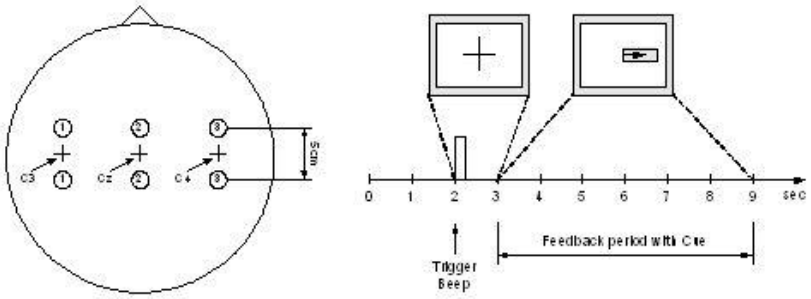
Bu çalışmada, BCI CompetitionII data setIII yarışmasında sunulan sağlıklı 25 yaşında bir bayandan alınmış veri seti kullanılmıştır. Kayıtlar, denek rahat bir koltukta kolları dinlenme durumunda alınmıştır. Deneğin yapması gereken, ekranda verilen çubuğun komuta göre sağa veya sola hareketlerini zihninde canlandırarak oluşturmaktır. Kaydedilen veri setinde C3, C4 ve CZ konumlarına yerleştirilen elektrotlar şekil 1'de gösterilmiştir. Bu noktaların merkezine 2,5 cm uzaklıkta sağ ve sol yanlarına birer elektrot yerleştirilmiştir. Bu şekilde toplam 6 adet elektrottan alınan veriler toplanmıştır. Bu veri seti, kişinin bilgisayar ekranındaki imlecin sağa ve sola doğru hareket etmesi esnasında üç grupta 6 adet elektrot (C3 sağ - C3 sol, CZ sağ - CZ sol ve C4 sağ - C4 sol) ile kaydedilerek oluşturulmuştur.



Şekil 1. Veri seti elektrotların kafa yerleşimi

Bu veri setinden alınan EEG tabanlı BBA verileri ön işlem yapıldıktan sonra, öznitelik çıkarma yöntemleri kullanılarak sınıflandırmaya uygun hale getirilmiştir. Sınıflandırmada iki çıkış kullanılmıştır. 1. çıkış (class 0): İmlecin sağa hareketine ait EEG işaretlerini ve 2. çıkış (class 1): ise İmlecin sola hareketine ait EEG işaretlerini içermiştir. Ham işaretler, alt ve üst limitleri 0.5-30Hz'lik olan bir bant geçiren filtre ile kayıtlar fitlerden geçirilmiş olup, potansiyeller 128Hz'de örnekleme yapılarak bilgisayara aktarılmıştır.

Şekil 2'de gösterildiği gibi, veri seti 9 sn uzunluğunda 280 denemeden oluşmaktadır. ilk 2 sn herhangi bir şey yapılmamakta ve 1 sn + şekli ekranda gösterilmektedir. Daha sonra ekrandaki çubuk sağa veya sola yönelik ok şeklinde gösterilmektedir.



Şekil 2. Veri seti elektrot yerleşim ve zaman diyagramı [14]

240 kayıttan 140 tanesi eğitim, 140 tanesi test için kullanılmıştır. Veri setindeki kayıtlar 70 sağ, 70 sol olacak şekilde eşit dağıtılmıştır. Tablo1'de veri seti örnek sayısı verilmiştir. Çalışmada yalnızca eğitim veri seti kullanılmıştır [15]. Veri setinde, test verilerine ait sonuç bilgileri bulunmadığından eğitimde kullanılması mümkün değildir. Bununla birlikte eğitilmiş modelin testi için kullanılamamaktadır.

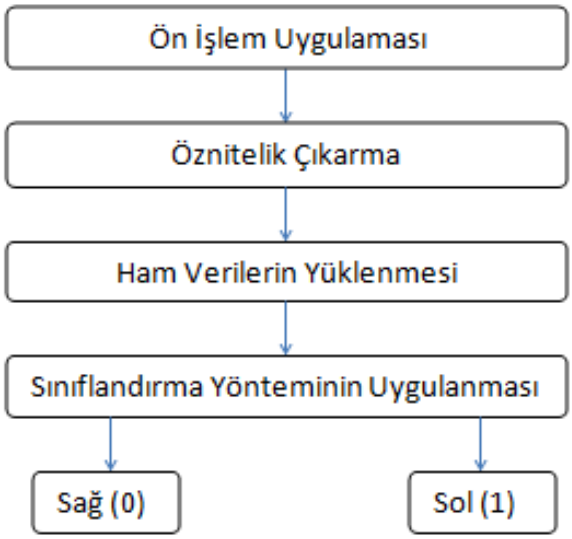
Makine öğrenme algoritmalarında veri setinin bir kısmı eğitim verisi ve geri kalan kısmı ise eğitilen modelin performans testi için kullanılmaktadır. Genel olarak literatürde veri setinin %70 eğitim - %30 test oranında ayrılarak kullanıldığı görülmektedir. Çalışmamızda bu orana yakın bir değer olarak 140 verinin 100 tanesi eğitimde ve geri kalan 40 tanesi ise test için ayrılmıştır.

Tablo 1. Veri setindeki örnek sayısı

	Sağ (0)	Sol (1)	Toplam
Eğitim	70	70	140
Test	70	70	140

2.2 İmleç Yönü Tespitinde Önerilen Sistem

Bu çalışma kapsamında önerilen tespit akış şeması Şekil 3'de verilmiştir. Öncelikle EEG verileri bilgisayara aktarılıp, daha sonra kayıtların öznitelik vektörleri elde edilmiştir. Öznitelik olarak dalgacık dönüşümü kullanılmış. Elde edilen dalgacık katsayıların istatistiksel değerleri (ortalama, standart sapma, minimum, maksimum ve enerji) kullanılarak, YSA ile sınıflandırılması sağlanmıştır.



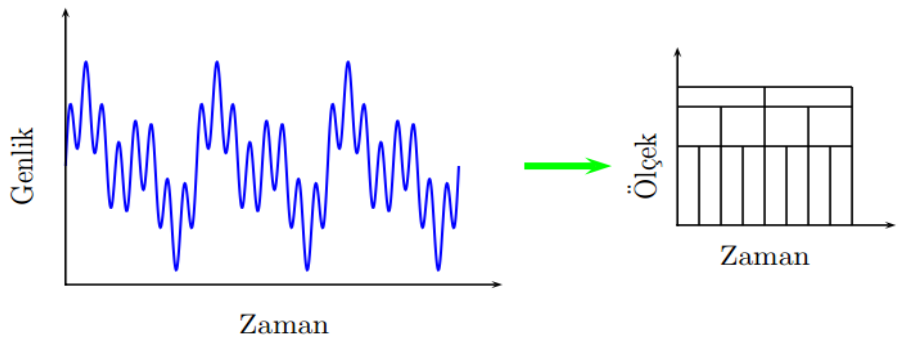
Şekil 3. İmleç yönü tespitinde izlenen işlem akışı

2.3 Kayıtlardan Öznitelik Vektörlerinin Çıkarılması

Öznitelik Vektörlerinin Çıkarılması için DD kullanılmıştır. DD çözünürlük problemini ortadan kaldırmak için fourier dönüşümüne (FD) alternatif olarak tasarlanmıştır. Başka bir ifadeyle; DD, FD'nin durağan olmayan sinyallerdeki eksiklerini gidermek için geliştirilmiş farklı bir dönüşüm yöntemidir. DD, gürültüye karşı daha az hassasiyet göstermektedir ve durağan olamayan sinyallere rahatlıkla uygulanabilmektedir. Bundan dolayı sinyal işleme çalışanlarının ilgisi, frekans tabanlı FD'den ölçek tabanlı DD'e doğru kaymıştır. Dalgacık ifadesi olarak 1909 yılında Alfred Haar tarafından ortaya atılmıştır [16]. Zaman içerisinde Jean Marlet ile Y. Meyer ve arkadaşları metodu geliştirmişler ve 1988 yılında Stephane Mallat önemli katkılar sağlamıştır. Ingrid Daubechies, Ronald Coifman gibi araştırmacılar yöntemi geliştirerek bugünkü şekline getirmişlerdir. DD, sürekli ve ayrık olmak üzere iki farklı şekilde incelenir. Eşitlik (1)'de ifade edildiği şekli ile sürekli dalgacık dönüşümünde (SDD) ölçeklendirme ve dönüşüm parametrelerinin sürekli olarak değişiminden dolayı her bir ölçek için dalgacık katsayılarının hesaplanması zor ve zaman alıcı olmaktadır. Bu nedenle ayrık dalgacık dönüşümü (ADD) daha sık kullanılmaktadır. ADD'de öteleme ve ölçeklerin ikili kuvvetleri alınır. Mallat ikili dalgacık dönüşümü ile işaretlerin kademeli olarak yüksek ve düşük frekanslara ayrılmasını önermiştir. Yüksek frekans kısmından ayrıntılar elde edilirken, düşük frekans kısmından temel işaret elde edilir [17].

$$w(a,b) = \frac{1}{\sqrt{a}} \int_{-\infty}^{\infty} x(t)\, \psi(\overline{\frac{t-b}{a}}) dt \tag{1}$$

Şekil 4'de gösterildiği gibi DD yöntemi, durağan veya durağan olmayan işaretlerin zaman-ölçek analizi için olanak sağlar.



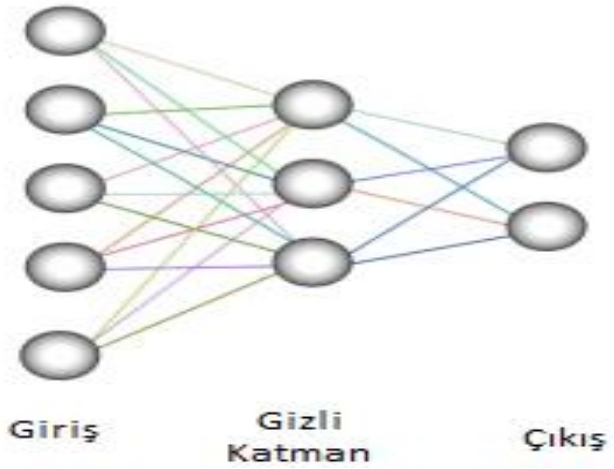
Şekil 4. Dalgacık Dönüşümü Diyagramı

Bu çalışmada sym5 dalgacığı kullanılmıştır. Dalgacığın 5. seviyesinin detay katsayıları kullanılmıştır. Katsayıların ortalama, minimum, maksimum, standart sapma, çarpıklık, basıklık, varyans değerleri hesaplanmıştır.

2.4. İmleç Yönünün Tespiti için Sınıflandırma

Elde edilen öznitelik vektörlerinin sınıflandırılması için YSA algoritması kullanılmıştır. YSA makine öğrenmesi ve veri madenciliğinde iyi bir sınıflandırma yöntemidir [18]. YSA, Biyolojik sistemlerde öğrenme nöronlar arasındaki sinaptik bağlantıların ayarlanması ile gerçekleştirilir. Öğrenme işlemi YSA için eğitme yoluyla örnekler kullanılarak yapılır. Eğitim işleminde girdi ve çıktı işlenerek nöronların ağırlıkları değiştirilir. Bu işlem hatanın belirlenmiş bir eşik değeri altına düşünceye kadar tekrarlanarak devam edilir. YSA'lar, (2) eşitliğinde ifade edildiği gibi ağırlıklandırılmış şekilde birbirlerine bağlanmış birçok işlem biriminden oluşan matematiksel sistemlerdir. Bir işlem birimi, transfer fonksiyonu olarak adlandırılan bir denklemdir. Bu işlem birimi, diğer nöronlardan sinyalleri alır; bunları birleştirir, dönüştürür ve sayısal bir sonuç ortaya çıkartır. Genelde, işlem birimleri kabaca gerçek nöronlara karşılık gelirler ve bir ağ içinde birbirlerine bağlanırlar; bu yapı yapay sinir ağlarını oluşturmaktadır. Şekil 5'de YSA çalışma şeması verilmiştir. Model olarak birbirinden farklı birçok yapay sinir ağı vardır [19]. Çalışma içerisinde sınıflandırma işlemleri için geri yayılım algoritması tarafından eğitilmiş bir geri beslemeli yapay sinir ağı kullanılmıştır.

$$YSA = iw_1 * A + iw_2 * B + iw_3 * C + iw_4 * D + b_1 \quad (2)$$



Şekil 5. YSA çalışma şeması

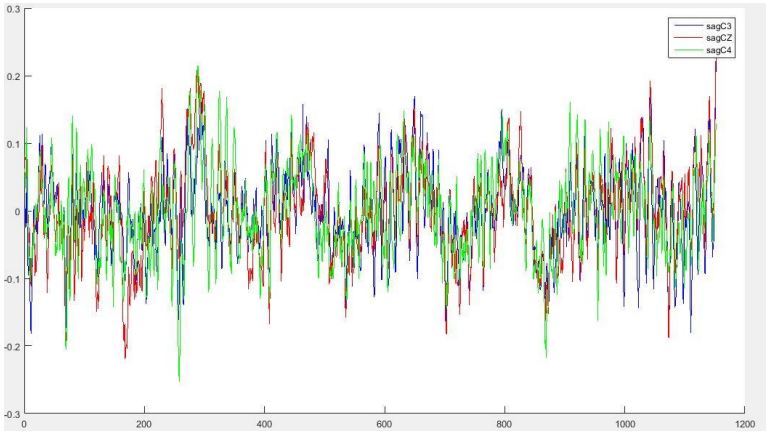
2.5. Başarı Ölçütü

Elde edilen EEG kayıtlarında tüm elektrot kanalları kullanılarak İmlecin sağa veya sola hareketinin tespiti, dalgacık katsayıların YSA yöntemi ile sınıflandırılması ile sağlanmıştır. Performans hesabı için kullanılan ölçütler aşağıda belirtilmiştir.
Sensitivity, SEN=(TP/(TP+FN))*100
Specificity, SPE=(TN/(TN+FP))*100
Accuracy, ACC=((TP+TN)/(TP+TN+FP+FN))*100
TP: True Pozitive TN: True Negative
FP: False Pozitive FN: False Negative

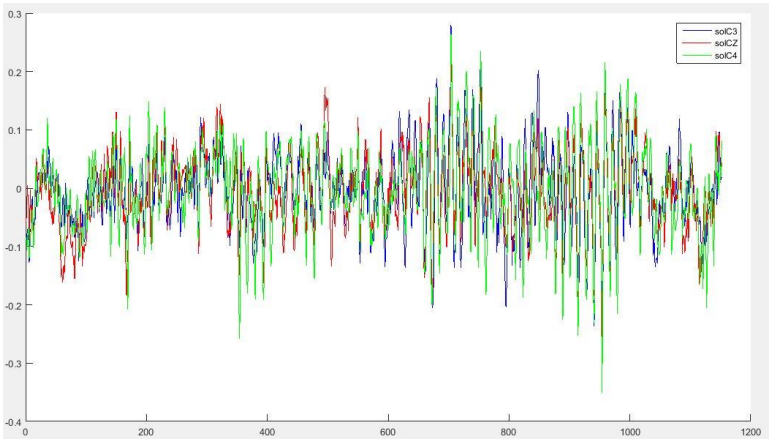
3. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Bu çalışmada, imlecin sağa veya sola hareketinin kayıtlarına ilişkin EEG verilerinin sınıflandırılması amaçlanmıştır. Her kanalın öznitelik vektörleri, dalgacık yöntemi ile elde edilmiştir. YSA kullanılarak EEG verilerinin sınıflandırılması yapılmıştır. YSA için beş nöronlu bir katmanlı geri beslemeli yapay sinir ağı seçilmiştir. Gizli katman transfer fonksiyon

olarak tanjant sigmoid ve öğrenme algoritması olarak dereceli alçalma (Gradient Descent) kullanılmıştır. Şekil 6 ve 7'de sırasıyla C3, CZ ve C4 bölgelerinin sağ ve sol taraflarına yerleştirilen elektrotlardan elde edilen işaretler gösterilmektedir.



Şekil 6. C3, CZ ve C4 elektrotlarının sağ taraftan kaydedilen sinyalleri



Şekil 7. C3, CZ ve C4 elektrotlarının sol taraftan kaydedilen sinyalleri

Her bir elektrot grubu için, veri setindeki test verilerinin 140 örneğinden 100 tanesi eğitim ve 40 tanesi test de kullanılmak üzere işleme alınmıştır. Her bir deneme için veriler önce harmanlanıp daha sonra 100 tanesi eğitim 40 tanesi test için kullanılmış ve bu işlem 10 kez tekrar edilerek ortalamaları kaydedilmiştir. Çalışmada kullanılan veri seti iki gruba ayrılmaktadır. Birinci grup sağ yön (sınıf 0) ve diğer grup ise sol yön (sınıf 1) yer almaktadır. Yön tespiti iki aşamadan oluşmaktadır. Birinci aşamada sym5 dalgacığı ile 5. seviye dalgacık katsayıları hesaplanmış ve öznitelik olarak bu katsayıların istatistiksel değerleri kullanılmıştır. Tablo 2'de istatistiksel değerlere yer verilmiştir.

Tablo 2. Veri setine ait işaretlerin istatistiksel değerleri

Elektrod		Ortalama	Standart Sapma	Maksimum	Minimum
	Sağ	-2.3583e-04	0,0209	0,4912	-0,6509
C3	Sol	2.9000e-04	0,0203	0,6943	-0,8662
	Sağ	3.5347e-04	0,0157	0,5962	-0,4502
CZ	Sol	5.0170e-04	0,0160	0,6294	-0,4629
	Sağ	1.1345e-04	0,0160	0,3774	-0,4976
C4	Sol	4.5383e-04	0,0166	0,7529	-0,6831

İkinci aşamada ise öznitelikler kullanılarak, imlecin yön bilgisini içeren kaydın YSA ile tespiti sağlanmıştır. Elde edilen sonuçların C3 elektrot grubu için %95, CZ elektrot grubu için %97.5, C4 elektrot grubu için %100 olması, seçilen öznitelik parametrelerinin doğru parametreler olduğunu göstermiştir. Her üç elektrot grubu için sağ ve sol korteks'ten alınan kayıtların

birbirlerini desteklediği ve birbirine benzer karakteristiklere sahip oldukları sonuçlara göre söylenebilir. Her üç elektrota ait YSA sınıflandırma başarı sonuçları Tablo 3'de gösterilmiştir [20].

Tablo 3. Tüm Elektrotlara ait YSA sınıflandırma sonuçları

	C3 (%)	**CZ (%)**	**C4 (%)**
SEN (sensitivity)	90	100	100
SPE (specificity)	100	95	100
ACC (accuracy)	95	97,5	100

Bu çalışmada, EEG kayıtları kullanılarak İmlecin sağa veya sola hareketinin sınıflandırılması gerçekleştirilmiştir. Hareket yönü EEG kaydı tespiti bu çalışmanın amacını oluşturmaktadır. Aynı veri seti farklı çalışmalarda da kullanılmıştır. Yapılan çalışmalarda farklı önişlem ve farklı sınıflandırma yöntemleri kullanılarak başarı sonuçları karşılaştırılmıştır. Tablo 4'te yapılan çalışmaların bir kısmına yer verilmiştir.

Tablo 4. Aynı veri setini kullanan çalışma sonuçları

Çalışma Grubu	**Kullanılan Yöntemler**	**Başarı Sonuçları (%)**
Schaefer ve Lemm	DD ve Bayesian	89,0
Narayana ve ark.,	AR ve LDA.	84,0
Xiaorong ve ark	ERD ve LDA	86,0
Saffari ve ark.	AAR ve YSA	83,0
Vera	PCA ve YSA	68,0
Zander ve ark	AAR ve LDA	83,0
Sadashivaiah ve ark	AR ve LDA	83,0
Mbwana ve Laubach	DVM	51,0
Rissacher	YSA	76,0
Önerilen Yöntem	DD ve YSA	97,5

Bu çalışmada elde edilen sonuçlar incelendiğinde önceki yapılan çalışmalara göre oldukça başarılı sonuçlar elde edilmiştir. Önceki çalışmalar mevcut BCI II Dataset III EEG verileri ham olarak değerlendirmektedir. Ancak çalışmamızda mevcut verileri Dalgacık Dönüşümü ile frekans uzayına aktarılmakta ve elde edilen sonuçlara ait istatistiksel öznitelikler çıkarılmaktadır. Böylelikle makine öğrenme yöntemi olan YSA ile sınıflandırma da kullanılan verinin boyutu ciddi oranda azaltılmakta ve daha başarılı bir sınıflandırma işlemi elde edilmektedir.

KAYNAKLAR

[1] T. Collura, "History and Evolution of Electroencephalographic Instruments and Techniques", Journal of Clinical Neurophysiology, vol. 10, no. 4, pp. 476-504, 1993. Available: 10.1097/00004691-199310000-00007.

[2] B. Xu and A. Song, "Pattern Recognition of Motor Imagery EEG using Wavelet Transform", Journal of Biomedical Science and Engineering, vol. 01, no. 01, pp. 64-67, 2008. Available: 10.4236/jbise.2008.11010.

[3] W. Weng and K. Khorasani, "An Adaptive Structure Neural Networks with Application to EEG Automatic Seizure Detection", Neural Networks, vol. 9, no. 7, pp. 1223-1240, 1996. Available: 10.1016/0893-6080(96)00032-9.

[4] G. Chen, "Are electroencephalogram (EEG) signals pseudo-random number generators?", Journal of Computational and Applied Mathematics, vol. 268, pp. 1-4, 2014. Available: 10.1016/j.cam.2014.02.028.

[5] J. R. Wolpaw, N. Birbaumer, D. J. McFarland, G. Pfurtscheller, and T. M. Vaughan, "Brain-computer interfaces for communication and control," Electroenceph. Clin. Neurophysiol., vol. 113, no. 6, pp. 767–791, June 2002.

[6] J. Minguillon, M. Lopez-Gordo and F. Pelayo, "Trends in EEG-BCI for daily-life: Requirements for artifact removal", Biomedical Signal Processing and Control, vol. 31, pp. 407-418, 2017. Available: 10.1016/j.bspc.2016.09.005.

[7] S. Foldes and D. Taylor, "Speaking and cognitive distractions during EEG-based brain control of a virtual neuroprosthesis-arm", Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation, vol. 10, no. 1, p. 116, 2013. Available: 10.1186/1743-0003-10-116.

[8] A. K. Mohamed, T. Marwala, L. R. John, "Single-trial EEG discrimination between wrist and finger movement imagery and execution in a sensorimotor BCI", Proceedings of the 33th Annual International IEEE EMBS Conference, vol. 2011, pp. 6289-93, 2011.

[9] M. Choubisa and P. Trivedi: Analysing EEG signals for detection of mind awake stage and sleep deprivation stage, In Proceedings of the 2015 International Conference on Green Computing and Internet of Things (ICGCIoT 2015) Noida, India, 2015, pp. 1209-1211.

[10] A. Athanasiou, G. Arfaras, I. Xygonakis et al., "Commercial BCI Control and functional brain networks in spinal cord injury: a proof-of-concept," in Proceedings of the 30th IEEE International Symposium on Computer-Based Medical Systems, pp. 262–267, 2017.

[11] Ö. Aydemir and T. Kayıkçıoğlu, "Investigation of the most appropriate mother wavelet for characterizing imaginary EEG signals used in BCI systems", TURKISH JOURNAL OF ELECTRICAL ENGINEERING & COMPUTER SCIENCES, vol. 24, pp. 38-49, 2016. Available: 10.3906/elk-1307-17.

[12] M. Khan and K. Hong, "Hybrid EEG–fNIRS-Based Eight-Command Decoding for BCI: Application to Quadcopter Control", Frontiers in Neurorobotics, vol. 11, 2017. Available: 10.3389/fnbot.2017.00006.

[13] A. Myrden and T. Chau, "Effects of user mental state on EEG-BCI performance", Frontiers in Human Neuroscience, vol. 9, 2015. Available: 10.3389/fnhum.2015.00308.

[14] "BCI Competition II: Results", Bbci.de, 2017. [Online]. Available: http://www.bbci.de/competition/ii/results. [Accessed: 13- Nov- 2017].

[15] BCI-experiment, Department of Medical Informatics, Institute for Biomedical Engineering, University of Technology Graz. (Gert Pfurtscheller)

[16] K. Karadag and M. Ozerdem, "Classification of ECoG patterns related to finger movements with wavelet based SVM methods", 2014 22nd Signal Processing and Communications Applications Conference (SIU), 2014.

[17] P. Erdoğmuş and A. Peşçaker, "Dalgacık Dönüşümü ile EKG Sinyallerinin Özellik Çıkarımı ve Yapay Sinir Ağları ile Sınıflandırılması", 5.Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu (IATS'09), 2009.

[18] X. Wu et al., "Top 10 algorithms in data mining", Knowl. Inform. Syst., vol. 14, no. 1, pp. 1-37, 2007.

[19] Y. Kaya, H. Pehlivan, "KNN NN Bayes DT ve SVM Kullanılarak EKG Vurularının Sınıflandırılması", 2ND International Symposium on Innovative Technologies In Engineering and Science, pp. 1-10, 2014.

[20] A. Gümüşçü, M.E. Tenekeci, "Estimation of active sperm count in spermiogram using motion detection methods", JOURNAL OF THE FACULTY OF ENGINEERING AND ARCHITECTURE OF GAZI UNIVERSITY, vol.34, no. 3, p. 1274-1280, 2019. Available: 10.17341/gazimmfd.460524.