

EEG Alt Bandlarının Tekil Spektrumu ile Duygu Durumları Arasındaki İlişki

Intercorrelation Between Singular Spectrum of EEG Sub-bands and Emotional States

Abdullah MARAŞ¹, Serap AYDIN²

¹Enformatik Doktora Programı, Fen Bilimleri Enstitüsü
İstanbul Üniversitesi
abdullah.maras@gmail.com

²Biyomedikal Mühendisliği Bölümü
Bahçeşehir Üniversitesi
drserapaydin@hotmail.com , serap.aydin@eng.bau.edu.tr

Özet

Bu çalışmada, uluslararası 10-20 elektrot sistemine göre beyin 16 farklı noktasından (Fp1, Fp2, F3, F4, F7, F8, C3, C4, P3, P4, T3, T4, T5, T6, O1, O2) alınan elektroensafalogram (EEG) verilerinin alt frekans bantlarında duygu durumuna göre değişen tekil değerler hesaplanmış ve ilk atak şizofreni hastaları ile sağlıklı bireyler arasında veri madenciliği yaklaşımları kullanılarak sınıflandırma yapılmıştır. EEG alt frekans bantlarının elde edilmesinde çok-ölçekli dalgacık yaklaşımı (multi-resolution wavelet decomposition, MRWD) kullanılmıştır. Delta (0.5-4 Hz), Theta (4-8 Hz), Alpha (8-16 Hz), Beta (16-32 Hz) ve Gamma (32-64 Hz) isimleri ile adlandırılan EEG bantlarının tekil değerleri ise Tekil Dağılım Analiz (Singular Spectrum Analysis, SSA) kullanılmıştır. Üç duygu durumuna (hoşnut, hoşnut değil, nötr), kayıt yerine ve EEG bant aralıklarına göre düzenlenen sınıflandırmalarda en başarılı sonuçları veren veri madenciliği yöntemi rotasyon orman algoritmasıdır. En iyi sınıflandırma sonuçları Gamma ve Beta frekans bandında P3, P4, O1, O2, T5, T6 elektrotlarından alınan verilerle gözlemlenilmiştir.

Abstract

In this study, singular values changing in respect to emotional state in sub frequency bands of electroencephalography (EEG) data obtained from 16 different regions (Fp1, Fp2, F3, F4, F7, F8, C3, C4, P3, P4, T3, T4, T5, T6, O1, O2) of the brain based on international 10-20 electrode system were calculated and healthy individuals and first-episode schizophrenia patients have been classified by using data mining approaches. Multi-resolution wavelet decomposition (MRWD) approach has been used to acquire sub frequency bands of EEG. Single Spectrum Analysis (SSA) has been also applied to extract singular values of EEG bands so called Delta (0.5-4 Hz), Theta (4-8 Hz), Alpha (8-16 Hz), Beta (16-32 Hz), Gamma (32-64 Hz). The most successful data mining approach results in classification based on three emotional states (pleasant, unpleasant and neutral), recording place and EEG sub-bands is Rotation Forest algorithm. The best

classification results have seen by using data gathering from P3, P4, O1, O2, T5, T6 electrodes at Gamma and Beta frequency bands.

1. Giriş

Son yıllarda makinalar ile insanlar arasındaki iletişimde duygu sınıflandırılması, insan makina etkileşimde başarıyı yakalamak için önemli bir rol oynamaya başlamıştır. Duygu sınıflandırılması konuşmacının yüz ifadelerinden, ses tonlarından veya vücut hareketlerinden elde edilen verilerle gerçekleştirilebilir [1]. Ancak bu veriler konuşmacı tarafından kolaylıkla manipüle edilebilir [1]. Ses tonu ve vücut hareketleri gibi verilerin yanıltıcı olabileceğinden dolayı son yıllarda duygu sınıflandırmasında fizyolojik ve elektriksel işaretlerinin kullanılması üzerine araştırmalar artmıştır.

Duygu sınıflandırılmasında sıklıkla kullanılan işaretlerden biri elektroensafalogram (EEG)'dir. EEG, saç derisi üzerinden elektrotlarla algılanan, frekans bandı 0.5-60 Hz arasında değişen düşük genlikli biyolojik işaretlerdir.

Duygu sınıflandırmasında elde edilen verilerin analizi için veri madenciliği tekniklerinden faydalanılır. Veri madenciliği, çeşitli şekillerde ve çeşitli kaynaklardan toplanan verilerin üzerinde işlem yapılarak anlamlı bilgilerin çıkarılmasıdır [2]. Bir veri yığını üzerine amaca yönelik farklı veri madenciliği teknikleri kullanılabilir. Bu tekniklerden en çok kullanılanları sınıflandırma (classification), kümeleme (clustering) ve birliktelik kuralları (association rules)'dır. Sınıflandırma kavramı, basitçe bir veri kümesi (data set) üzerinde tanımlı olan çeşitli sınıflar arasında veriyi dağıtmaktır [2]. Bu çalışmada sınıflandırma algoritmalarından faydalanılmıştır.

K-en yakın komşu (KNN), Destek Vektör Makinaları (SVM) ve Naive Bayes sınıflandırma teknikleri, IAPS (International Affective Picture System) veritabanından alınan resimler kullanılarak elde edilen EEG işaretlerinden duygu tahmini gerçekleştirilmesinde kullanılmıştır [3]. EEG ölçümlerinden duygu durumlarının kestirimi için sınıflandırma tekniklerinin dışında ANOVA ve t-test gibi istatistiksel yöntemlerden faydalanılmıştır [4]. Schuster ve arkadaşları araştırmalarında

duygu uyarımını gerçekleştirmek için IAPS veritabanından seçtikleri resimleri kullanmışlardır. Mutlu, mutsuz ve nötr duygu sınıflandırması yapmak için KNN sınıflandırıcısını kullanılmıştır. 1-en yakın komşu için yüzde 72.2, 3-en yakın komşu için yüzde 62.9 sınıflandırma doğruluğu elde etmişlerdir [5]. Mehmood ve arkadaşları yayınladıkları makalede 12-14 yaşları arasındaki dört katılımcıdan toplanan EEG işaretlerini dört sınıfa (korkmuş, mutlu, üzgün ve sakin) ayırmışlardır. Kullandıkları KNN sınıflandırma yöntemiyle sınıflandırma başarısını yüzde 61 olarak bulmuşlardır [6]. EEG verilerini sınıflandırırken çoğunlukla kullanılan makine öğrenimi algoritmalarını değerlendirmeyi amaçlayan çalışmada 15 katılımcıdan alınan EEG işaretleri KNN, Regresyon Ağaçları, Bayesian Ağ, SVM ve Yapay Sinir Ağları(YSA) algoritmaları kullanılarak sınıflandırılmıştır [7]. Conneau ve arkadaşları yayınladıkları makalede duygu analizinde EEG işaretlerinden çıkarılan özelliklere yenilerini önermişlerdir. Yeni önerdikleri özellikler ile duyguları pozitif ve negatif olmak üzere sınıflandırılması amaçlanmıştır [8]. Bir diğer çalışmada 35 katılımcıdan alınan EEG işaretleri yedi kategoride (mutlu, üzgün, nötr, sinirli, korkmuş, şaşkın ve iğrenme) sınıflandırılmıştır. Sınıflandırma için kullanılan SVM ve LDA algoritmalarından sırasıyla yüzde 74.13 ve yüzde 66.5 sınıflandırma başarısı elde edilmiştir [9]. Aydın ve arkadaşları yaptıkları araştırmada Alpha, Beta, Theta, Gamma ve Delta dalga boylarında EEG işaretlerinden faydalanarak duyguları mutlu, mutsuz ve nötr olarak sınıflandırmışlardır [10].

Bu çalışmada uluslararası standartlarda, saçlı kafa derisi üzerinden ölçülen kortikal duygulanım kayıtlarının öz-değerleri; elektro fizyolojik frekans alt bantlarına, duygu durumuna, elektrot yerleşim yerine ve sağlık durumuna göre, WEKA yardımıyla veri madenciliği yöntemleri kullanılarak sınıflandırılmıştır. Sınıflandırmada sağlıklı bireylerden (10 kişi) oluşan kontrol grubu ve ilk atak psikoz tanısı alan (10 kişi) hastalardan oluşan hasta grubu mevcuttur. Elde edilen sonuçlar beyin aktivasyonları cinsinden yorumlanmıştır.

Çalışmanın bundan sonraki bölümünde sırası ile kullanılan EEG işaretlerinin nasıl ve hangi şartlarda toplandığına yer verilmiştir. Yöntem olarak adlandırılan bu bölümde kullanılan yöntem ve algoritmalara da yer verilmiştir. Elde edilen bulgular üçüncü bölümde gösterilmiştir. Tartışma ve sonuç olarak adlandırılan dördüncü bölümde ise üçüncü bölümde elde edilen bulgular yorumlanmıştır.

2. Yöntem

Bu araştırmada temel olarak iki soruya cevap aranılmıştır. İlk olarak her bir duygu durumunda (mutlu, mutsuz ve nötr), beş farklı frekans bandında (Alpha, Beta, Theta, Delta ve Gamma) beynin hangi bölgesinden alınan EEG işaretlerinin katılımcıları hasta ve sağlıklı olarak sınıflandırmamızı sağlayacağı araştırıldı. İkinci olarak ise beş farklı frekans bandında , hasta ve sağlıklı katılımcılar için ayrı ayrı duygu sınıflandırma çalışması gerçekleştirildi.

Bu çalışmadaki EEG kayıtlarının toplanması Sağlık Bilimleri Üniversitesi Tıp Fakültesi tarafından gerçekleştirilmiştir. EEG verilerin elde edilmesi ve duygu sınıflandırılması için kullanılan yöntemler takip eden bölümlerde anlatılmıştır.

2.1. Deneysel Veri

Bu çalışmada yaşları 19 ile 23 arasında değişen 10 sağlıklı ve yaşları 19 ile 47 arasında değişen 10 hasta bireyden EEG işaretleri alınmıştır. Katılımcıların hepsinde baskın el kullanımı sağ el olup, hiçbirisinde sigara kullanma alışkanlığı ve epilepsi geçmişi yoktur. Hasta grubu, ilk atak psikoz tanısı alan genç erkek hastalardan oluşturulmuştur. Kontrol grubu ise hastalarla aynı cinsiyette gönüllü genç bireylerden oluşmuştur. Katılımcılarda 3 tipik duygu durumunu oluşturmak için uluslararası geçerliliği olan IAPS [11] veritabanından 56 resim (2 adaptasyon, 18 mutlu, 18 mutsuz, 18 nötr) duygu seçilmiş ve bilgisayar ekranından pasif olarak gösterilmiştir. Resimler duygu durumlarını ifade etmektedir.

Her deneysel bölümün başında, EEG kaydı alınmadan, adaptasyon amacıyla 2 adet nötr resim gösterilmiştir. Adaptasyon resimlerini takiben, 54 resim katılımcılara 3 blok halinde gösterilmiştir. Birinci blokta sırasıyla 6 mutlu duygu uyandıran resim, 6 nötr duygu uyandıran resim ve 6 mutsuz duygu uyandıran resim gösterilmiştir. İkinci blokta önce 6 nötr duygu uyandıran resim, 6 mutsuz duygu uyandıran resim ve 6 mutlu duygu uyandıran resim gösterilmiştir. Üçüncü blokta ise 6 mutsuz duygu uyandıran resim, 6 nötr duygu uyandıran resim ve 6 mutlu duygu uyandıran resim gösterilmiştir. Her resim ekranda ortalananarak 6 saniye gösterilmiştir. Gösterilen her resimden sonra bir sonraki resmin etkisini sağlamlaştırmak için katılımcılara siyah bir ekran gösterilmiştir. Siyah ekranın süresi 6 ve 12 saniye olmak üzere rastgele seçilmiştir. Her resim katılımcıya sadece bir defa gösterilmiştir.

Kortikal EEG işaretleri, katılımcıların kafa derisi yüzeylerinden 16 kanal Glonner Neurosys System-2000 (Glonner, Münih, Almanya) kayıt sistemiyle alınmıştır. Ag/Agcl yüzeyli elektrodlar katılımcıların kafa derisi yüzeylerine uluslararası 10-20 elektrot sistemine uyumlu olacak şekilde yerleştirilmiştir. 10-20 elektrot yerleştirme sistemi prefrontal (Fp1, Fp2), frontal (F3, F4, F7, F8), central (C3, C4), parietal (P3, P4), temporal (T3, T4, T5, T6) ve occipital (O1, O2) kayıt dilimlerinden oluşmaktadır.

2.1.1 Öznitelik Çıkarımı

Öznitelik vektörlerinin çıkartılması için birincil yöntem olarak her bir EEG ölçüm kanalından alınan duygulanım kayıtlarına 6-seviyeli MRWD (Multi Resolution Wavelet Decomposition) uygulanmış ve EEG alt-bantları (Delta, Theta, Alpha, Beta, Gamma) elde edilmiştir. İkincil adımda ise; duygulanım tipine göre her bir alt banda ayrı ayrı SSA (Single Spectrum Analysis) uygulanarak EEG alt-bantlarına ait özdeğer dağılımları elde edilmiştir.

2.2. Duygu Durumu Tespitinde Veri Madenciliği Yöntemleri

Günümüzde veri madenciliği problemlerinin çözümünde birçok farklı sınıflandırma algoritması kullanılmaktadır. Bu çalışmada sınıflandırıcı algoritmaları olarak veri madenciliğinde kullanılan bir program olan WEKA'da yer alan Rotasyon Orman, Basit Lojistik ve YSA algoritmaları kullanılmıştır.

Rotasyon Orman algoritması bir topluluk sınıflandırıcısıdır. Topluluk sınıflandırıcıları ile tek bir sınıflandırıcı

algoritmasına göre sınıflandırma yapmak yerine, birden çok sınıflandırma algoritmasının sonucu birleştirilerek daha başarılı bir sınıflandırma sonucu elde etmek amaçlanmıştır.

Basit Lojistik: Lojistik Regresyon Analizi en az değişken ile en iyi uyuma sahip olacak bağımlı ve bağımsız değişkenler arasındaki ilişkiyi tanımlamayı hedefleyen bir yöntemdir. WEKA'daki basit lojistik algoritması lojistik regresyon analiz çeşitlerinden biridir.

YSA, biyolojik sinir sisteminin temelini oluşturan nöronların işleyişinden esinlenerek geliştirilmiştir. YSA, yapay sinir hücrelerinin birbirileri ile çeşitli şekillerde bağlanmasından meydana gelir ve katmanlar şeklinde düzenlenir [2].

2.3. Değerlendirme Kriterleri

Veri madenciliği yaklaşımları uygulanarak çözümlenen problemlerin başarısını ölçmek için literatürde birçok kriter bulunur. Doğruluk (accuracy), hassaslık (sensitivity), duyarlılık (precision), ortalama hata kareleri kökü (Root mean squared error, RMSE), ve özel etken oranı (specificity) en çok kullanılan kriterlerdir[10]. Bir modelin başarısı doğru ve yanlış sınıflara atanan örneklerin sayılarıyla belirlenir. Bir model sonucunda ulaşılan başarımlar bilgileri bir tablo aracılığıyla ifade edilir. Bu tablo karışıklık matrisi (confusion matrix) olarak adlandırılır.

Karışıklık matrisi kullanılarak elde edilen özel etken oranı, doğruluk, duyarlılık ve hassaslık değerleri yüzde yüze ne kadar yakın ise sınıflandırma o kadar başarılıdır. RMSE değeri ise yüzde yüzden ne kadar uzak ise o kadar başarılıdır.

3. Bulgular

İlk olarak uluslararası 10-20 elektrot sistemine göre beynin 16 farklı noktasından (Fp1, Fp2, F3, F4, F7, F8, C3, C4, P3, P4, T3, T4, T5, T6, O1, O2) alınan EEG kayıtlarının her biri ile Bölüm 2.2'de belirtilen sınıflandırma algoritmaları kullanılarak araştırma sorularına göre WEKA yardımıyla sınıflandırma çalışması yapılmıştır. Bölüm 2.3'de belirlenen değerlendirme kriterlerine göre sınıflandırma başarıları incelendiğinde niteliklerin tek başlarına kullanılmasıyla elde edilen sonuçların yeterli olmadığı gözlemlenmiştir. Bu nedenle EEG işaretlerinden elde edilen 16 nitelik beynin bölgelerine göre üç gruba ayrılmıştır. SET 1 olarak adlandırılan birinci grup Fp1, Fp2, F3, F4, F7, F8

niteliklerinden, SET 2 olarak adlandırılan ikinci grup C3, C4, T3, T4 niteliklerinden ve SET 3 olarak adlandırılan üçüncü grup P3, P4, O1, O2, T5, T6 niteliklerinden oluşturulmuştur. Oluşturulan gruplara sınıflandırma algoritma algoritmaları uygulanarak araştırmanın soruları olan katılımcı sınıflandırması ve duygu sınıflandırması gerçekleştirilmiştir.

Sınıflandırma başarısının belirlenmesi için test ve eğitim kümeleri 2 ayrı yöntemle belirlenmiştir. Birinci yöntemde 10 katlamalı çapraz doğrulama yöntemi uygulanırken, ikinci yöntemde ise veri kümesi yüzdesel ayırım (percentage split) kullanılarak bölünmüştür. Yüzdesel ayırım yönteminde veri kümesinin yüzde 66'sı eğitim için, yüzde 33'ü test için kullanılmıştır. Sınıflandırma başarısı için doğruluk kriteri kullanılmıştır. Doğruluk kriterine göre en yüksek başarıyı gösteren sınıflandırıcının hassaslık, duyarlılık, RMSE ve özel etken oranı kriterlerinin sonuçları da bu bölüm içerisinde paylaşılmıştır.

Çizelge 1'de katılımcılar her bir frekans bandında ve her bir duygu durumunda sınıflandırıldığında en yüksek başarının elde edildiği durumlar tablo ile ifade edilmiştir. Katılımcıları sağlıklı ve hasta olarak sınıflandırdığımızda en yüksek sınıflandırma doğruluğuna nötr duygu durumunda, Gamma frekans bandında ve SET 3 nitelik grubu kullanılarak ulaşılmıştır. En yüksek sınıflandırma başarısı yüzde 91,1 olarak gözlemlenmiştir ve bu sınıflandırma için Rotasyon Orman kullanılmıştır. Yine en yüksek sınıflandırma başarısının elde edildiği sınıflandırma algoritmasında test ve eğitim kümelerinin belirlenmesinde 10 katlamalı çapraz doğrulama yöntemi kullanılmıştır.

İkinci olarak duygu sınıflandırma çalışması gerçekleştirilmiştir. Duygu sınıflandırmasında hasta ve sağlıklı bireylerden elde edilen EEG verileri duyguları mutlu, mutsuz ve nötr olarak sınıflandırmak için kullanılmıştır. Çizelge 2'de duygu sınıflandırmasından elde edilen en başarılı sonuçlar gösterilmiştir.

En yüksek sınıflandırma doğruluğuna hasta katılımcılarda Beta frekans bandında ve SET 3 nitelik grubu kullanılarak ulaşılmıştır. En yüksek sınıflandırma başarısı yüzde 98,3 olarak gözlemlenilmiştir ve bu sınıflandırma için bir yapay sinir ağı çeşidi olan multilayer perceptron algoritması kullanılmıştır. En yüksek sınıflandırma başarısı için test ve eğitim grupları 10 katlamalı çapraz doğrulama yöntemi ile elde edilmiştir.

Çizelge 1: Katılımcı Sınıflandırması

	Algoritma	Duygu Durumu	Nitelik Grubu	Doğruluk (%)	RMSE	Duyarlılık (%)	Hassaslık (%)	Özel Etken Oranı (%)
DELTA	Rotasyon orman	Mutlu	SET 3	69,2	0,46	69,2	75	63,3
THETA	YSA	Nötr	SET 3	68,3	0,46	68,7	61,7	68,3
ALPHA	Rotasyon orman	Nötr	SET 3	82,8	0,34	83	78,9	86,6
BETA	Rotasyon orman	Nötr	SET 3	82,5	0,33	82,5	81,1	83,9
GAMMA	Rotasyon orman	Nötr	SET 3	91,1	0,26	91,2	93,9	88,3

Çizelge 2: Duygu Sınıflandırması

	Algoritma	Katılımcı Grubu	Nitelik Grubu	Doğruluk (%)	RMSE	Duyarlılık (%)	Hassaslık (%)	Özel Etken Oranı (%)
DELTA	Rotasyon orman	Sağlıklı	SET 2	75,4	0,34	75,3	83,5	83,6
THETA	Basit lojistik	Sağlıklı	SET 1	94,6	0,17	94,6	96,5	96,5
ALPHA	Rotasyon orman	Hasta	SET 2	87,2	0,25	87,1	91,2	85,7
BETA	YSA	Hasta	SET 3	98,3	0,1	98,3	98,7	98,9
GAMMA	Rotasyon orman	Sağlıklı	SET 3	96,3	0,15	96,4	97,6	97,4

4. Tartışma ve Sonuçlar

Bu çalışmada, uluslararası 10-20 elektrot sistemi kullanılarak elde edilen EEG işaretlerinin sınıflandırma çalışmalarındaki başarısı incelenmiştir. EEG işaretlerinden elde edilen verilere sınıflandırma algoritmaları uygulanarak katılımcı (sağlıklı ve ve ilk atak psikoz tanısı alan hasta) ve duygu (mutlu, mutsuz ve nötr) sınıflandırması gerçekleştirilmiştir. YSA, Basit Lojistik ve Rotasyon Orman algoritmalarının kullanıldığı çalışmada Rotasyon Orman algoritmasının her iki sınıflandırma çalışmasında da daha başarılı sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir.

Test ve eğitim kümelerinin belirlenmesinde kullanılan yüzdesel ayırım ve 10 katlamalı çapraz doğrulama yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntemler 10 katlamalı çapraz doğrulama yöntemi ile yüzdesel ayırım yöntemleridir. Sınıflandırma sonuçları incelediğinde bu veri kümesi için test ve eğitim gruplarının farklı şekilde seçilmelerinin sonuca çok fazla etki etmediği gözlemlenmiştir. Ancak farklı çalışmalarda test ve eğitim gruplarının seçimi sınıflandırma doğruluğunu etkileyebilmektedir.

En iyi sınıflandırma performansı Gamma frekans bandı için hesaplanan tekil değerler kullanıldığında elde edilmiştir. Bu çalışmada göreceli olarak yüksek frekanslarda (Beta ve Gamma) sınıflandırma başarısının daha yüksek olduğu ve duyguların sınıflandırılmasıyla ilişkili olduğu gözlemlenmiştir. Bulunan sonuçlar bu açıdan daha önceki çalışmalarla örtüşmektedir [10]. Daha iyi sonuçlar elde edilen Beta ve Gamma frekans bantlarında SET 3 (P3, P4, O1, O2, T5, T6) nitelik grubu ile daha başarılı sonuçlar elde edilmiştir. SET 3 nitelik grubunda beynin occipital, parietal ve temporal bölgelerinden alınan EEG işaretlerinden oluşmuştur. Bu bölgelerin görsel işlemlerde rol aldığı bilinmektedir. Bu açıdan sonuçlarımız anlamlıdır. Sınıflandırmada öz-değer hesabı yapılan tüm elektrotlar birlikte sınıflandırıldığı gibi, WEKA programının InfoGainAttributeEval özelliği ile otomatik nitelik seçimi de uygulanmıştır. Fakat; en iyi sınıflandırma performansı, var olan tüm ölçümlerin (16 elektrottan toplanan kayıtlar) öz-nitelik olarak değerlendirilmesi sonucunda elde edilmiştir. Diğer bir deyişle, otomatik nitelik seçimi; beyin aktivitelerinden duygu durumu tanıma ve hastalık tespitinde elverişli bulunmamıştır.

5. Bilgilendirme ve Teşekkür

Deneysel verilerin gönüllülerden toplanmasını sağlayan Sağlık Bilimleri Üniversitesi'nde görev alan Prof.Dr. Cüneyt Göksoy ve ekibine, ayrıca uyarıcı olarak kullanılan resimleri temin

eden Sağlık Bilimleri Üniversitesi Psikiyatri Uzmanı Dr. Taner Öznur'a katkılarından dolayı teşekkür ederiz.

Kaynaklar

- [1] Goyal, M. , Singh, M., ve Singh, Ma., "Classification of emotions based on ERP feature extraction", *IEEE 1st International Conference on Next Generation Computing Technologies*, 2015, ss. 660-662.
- [2] Witten, I.H. ve Frank, E. *Data Mining: Practical Machine Learning Tools and Techniques*, 2nd Ed., (Ed. by M. Kaufmann in data management Systems), Elsevier, ABD, 2005
- [3] Nicholson, A. ve Li, X. (eds). *Classification of EEG for Affect Recognition: An Adaptive Approach*, AI 2009, LNAI 5866, Springer, Heidelberg, 2009, ss. 52–61
- [4] Goshypour, A., Abbasi, A. ve Goshypour, A. "Dynamical analysis of emotional states from electroencephalogram signals", *Biomedical Engineering: Applications, Basis and Communications* Vol. 28, No. 02, 1650015, 2016
- [5] Schuster T., Gruss S., Kessler H., Scheck A., Hoffman H. ve Traue H., "EEG pattern classification during emotional picture processing", *Proceedings of the 3rd international conference on pervasive technologies related to assistive environments*. 2010.
- [6] Mehmood, R.M. ve Lee, H.J., "Emotion classification of eeg brain signal using SVM and KNN", *International Conference on Multimedia & Expo Workshops (ICMEW)*, 2015, ss 1-5
- [7] Sohaib, A.T., Qureshi, S., Hagelback, J., Hilborn, O. ve Jercic, P., "Evaluating classifiers for Emotion Recognition using EEG", *7th International Conference, AC*, 2013, ss 492-501.
- [8] Conneau A.C. ve Essid S., "Assessment of new spectral features for eeg-based emotion recognition", *IEEE International Conference on Acoustic, Speech and Signal Processing (ICASSP)*, 2014, ss 4698-4702.
- [9] Bhardwaj A., Gupta A., Jain P., Rani A. ve Yadav J., "Classification of human emotions from eeg signals using SVM and LDA classifiers", *IEEE 2nd International*

Conference on Signal Processing and Integrated Networks (SPIN)., 2015, ss 180-185.

- [10] Aydın S., Demirtaş S.,Tunga M.A. ve Ateş K., "Emotion recognition with eigen features of frequency band activities embedded in induced brain oscillations mediated by affective pictures", *International Journal of Neural Systems*., 26(3),2016.
- [11] Lang P.J., Bradley M.M. ve Cuthbert B.N., "International affective picture system (IAPS): instruction manual and affective ratings" , *Technical Report A-4 ,Florida: The Center for Research in Psychophysiology*, University of Florida,1999