

KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

EEG İŞARETLERİNDEN BİLİŞSEL GÖREVLERİN VE MÜZİK DİNLEME
GÖREVLERİNİN ANALİZİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Makine Müh. Ebru DURMUŞ

ARALIK 2015
TRABZON



KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MAKİNE ANABİLİM DALI

EEG İŞARETLERİNDEN BİLİŞSEL GÖREVLERİN VE MÜZİK DİNLEME
GÖREVLERİNİN ANALİZİ

Ebru DURMUŞ

Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde
“MAKİNE YÜKSEK MÜHENDİSİ”
Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 08.12.2015
Tezin Savunma Tarihi : 23.12.2015

Tez Danışmanı : Yrd. Doç. Dr. Nurhan GÜRSEL ÖZMEN

Trabzon

KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Makine Anabilim Dalında
Ebru DURMUŞ Tarafından Hazırlanan

EEG İŞARETLERİNDEN BİLİŞSEL GÖREVLERİN VE MÜZİK DİNLEME
GÖREVLERİNİN ANALİZİ

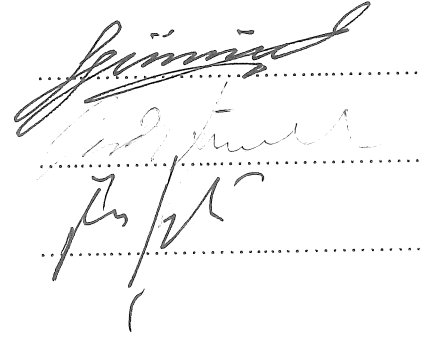
başlıklı bu çalışma, Enstitü Yönetim Kurulunun / / gün ve sayılı
kararıyla oluşturulan jüri tarafından yapılan sınavda
YÜKSEK LİSANS TEZİ
olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

Başkan : Prof.Dr. Levent GÜMÜŞEL

Üye : Yrd.Doç.Dr. Nurhan GÜRSEL ÖZMEN

Üye : Yrd.Doç.Dr. Ömer ŞAYLI



Prof. Dr. Sadettin KORKMAZ
Enstitü Müdürü

ÖNSÖZ

Bilim ve teknolojiye yaşanan ve devam eden gelişmelerin tümü insan yaşam kalitesinin arttırılmasını amaçlar. Bu nedenle, bilim adamları yaşlıların, engellilerin, hastaların ve ağır iş şartları altında çalışan kişilerin yaşam standartlarının yükseltilmesi için pek çok yeni araştırma konusu üzerinde çalışmaktadırlar. Beyin bilgisayar arayüzü tasarımı da bu yeni çalışma alanları arasındadır. Son yıllarda ülkemizde BBA üzerine çok sayıda AR-GE çalışması ve buna paralel olarak da birçok proje yerini almıştır. Bu tez çalışması kapsamında da nörofizyolojik bozukluğu olan kişiler hedef alınarak, elektroensefalogram (EEG) sinyallerinden belirlenen öz nitelikler doğrultusunda farklı sınıflandırma algoritmaları ile sınıflandırmalar yapılmış ve sonuçlar irdelenmiştir.

Yüksek lisans süresince bana yol gösteren ve çalışmalarım esnasında bilgi ve desteğini benden esirgemeyen ve tez çalışmasında büyük emeği olan danışman hocam Sayın Yrd. Doç. Dr. Nurhan GÜRSEL ÖZMEN'e saygılarımı sunar, teşekkürü bir borç bilirim.

Aynı zamanda çalışmalarım esnasında bana destek olan Makine Teorisi ve Dinamiği Anabilim Dalı Öğretim Üyesi saygıdeğer hocam Prof. Dr. Levent GÜMÜŞEL'e çok teşekkür ederim.

Ayrıca bana maddi ve manevi her koşulda destek olan, her konuda beni cesaretlendirip, her zaman yanımda olduklarını bildiğim canım ailem ve sevgili nişanlım Kıvanç SAYILGAN'a sonsuz teşekkür ederim.

Ebru DURMUŞ
Trabzon, 2015

TEZ ETİK BEYANNAMESİ

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “EEG İşaretlerinden Bilişsel Görevlerin ve Müzik Dinleme Görevlerinin Analizi” başlıklı bu çalışmayı baştan sona kadar danışmanım Yrd. Doç. Dr. Nurhan GÜRSEL ÖZMEN’in sorumluluğunda tamamladığımı, verileri kendim topladığımı, analizleri ilgili laboratuvarlarda yaptığımı, başka kaynaklardan aldığım bilgileri metinde ve kaynakçada eksiksiz olarak gösterdiğimi, çalışma sürecinde bilimsel araştırma ve etik kurallara uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim. 23/12/2015

Ebru DURMUŞ

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ.....	III
TEZ ETİK BEYANNAMESİ.....	IV
İÇİNDEKİLER.....	V
ÖZET	VII
SUMMARY	VIII
ŞEKİLLER DİZİNİ	IX
TABLolar DİZİNİ.....	XI
SEMBOLLER DİZİNİ	XIII
1. GENEL BİLGİLER.....	1
1.1. Giriş	1
1.2. Beyin ve Sinir Hücresi.....	2
1.2.1. Biyolojik İşaret Oluşumu.....	6
1.3. Elektroensefalografi (EEG)	6
1.3.1. EEG Dalga Şekilleri	7
1.3.2. EEG İşaretlerinin Ölçülmesi.....	11
1.3.3. EEG ve Müzik	13
1.4. Beyin Bilgisayar Arayüzleri (BBA)	14
1.4.1. BBA'nın Yapısı	16
1.5. Kapsam	17
1.6. Amaç.....	17
1.7. Yöntem	17
2. YAPILAN ÇALIŞMALAR.....	19
2.1. EEG Ölçüm Sistemi.....	19
2.2. EEG DeneYleri.....	20
2.3. Sinyal Analizi	22
2.3.1. Ön İşleme.....	24
2.3.2. Öznitelik çıkarma.....	24
2.3.2.1. Dalgacık Dönüşümü (Wavelet Transform)	25
2.3.2.1.1. Sürekli Dalgacık Dönüşümü (CWT) ile Öznitelik Çıkarımı	27
2.3.2.2. Bağımsız Bileşen Analizi (ICA).....	29
2.3.2.2.1. ICA Uygulama Prensipleri	29

2.3.2.2.2.	ICA Uygulama Alanları.....	32
2.3.2.2.3.	ICA yöntemiyle öznitelik çıkarımı	32
2.3.3.	Sınıflandırma	32
2.3.3.1.	Destek Vektör Makinesi ile Sınıflandırma	33
2.3.3.1.1.	Doğrusal Olarak Ayrılabilme Durumu	33
2.3.3.1.2.	Doğrusal Olarak Ayrılamama Durumu	37
2.3.3.2.	Yapay Sinir Ağları ile Sınıflandırma.....	40
2.3.3.2.1.	Yapay Sinir Hücresinin Yapısı	40
2.3.3.2.2.	Yapay Sinir Ağının Yapısı	42
2.3.3.2.3.	Yapay Sinir Ağlarının Eğitilmesi	43
2.3.3.3.	Sınıflandırma Performansı Kriteri	44
3.	BULGULAR.....	47
3.1.	KTÜ Verilerine Ait Öz Niteliklerden Elde Edilen Bulgular	47
3.1.1.	CWT Yöntemi ile Çıkarılan Özniteliklere Ait Bulgular.....	47
3.1.2.	ICA Yöntemi ile Çıkarılan Özniteliklere Ait Bulgular.....	51
3.1.3.	KTÜ Verilerinin Sınıflandırma Sonuçlarına Ait Bulgular	55
3.2.	BCI IIIa Verilerine Ait Öz Niteliklerden Elde Edilen Bulgular	111
3.2.1.	CWT Yöntemi ile Çıkarılan Özniteliklere Ait Bulgular.....	112
3.2.2.	ICA Yöntemi ile Çıkarılan Özniteliklere Ait Bulgular.....	114
3.3.	Sınıflandırma Performanslarına Ait Bulgular.....	126
4.	İRDELEME	128
4.1.	KTÜ Verileri.....	128
4.1.1.	Öz Niteliklere Ait İrdeleme	128
4.1.2.	Sınıflandırma Sonuçlarına Ait İrdeleme.....	131
4.1.3.	Müzik Verileri Sınıflandırmasına Ait İrdeleme.....	132
4.2.	BCI IIIa Verilerine Ait İrdeleme	132
4.2.1.	BCI IIIa Verilerinin Sınıflandırma Sonuçlarına Ait İrdeleme	133
4.3.	Sınıflandırma Performanslarına Ait İrdeleme	133
5.	SONUÇLAR.....	134
6.	ÖNERİLER.....	136
7.	KAYNAKLAR	137

ÖZGEÇMİŞ

Yüksek Lisans Tezi

ÖZET

EEG İŞARETLERİNDEN BİLİŞSEL GÖREVLERİN VE MÜZİK DİNLEME
GÖREVLERİNİN ANALİZİ

Ebru DURMUŞ

Karadeniz Teknik Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı
Danışman: Yrd. Doç. Dr. Nurhan GÜRSEL ÖZMEN
2015, 143 Sayfa

Bu tez çalışmasında, altı sağlıklı bireyden alınan farklı zihinsel, motor ve müzik görevlerine ait EEG kayıtları analiz edilmiştir. Zihinden gerçekleştirilen yedi farklı görevin ortaya konması esnasında, 64 kanallı Biosemi ActiveTwo System EEG cihazı kullanılarak, kaydedilen EEG verilerinden bağımsız bileşen analizi (ICA) ve dalgacık yöntemleri (CWT) ile öznitelikler çıkarılmış, destek vektör makinesi (DVM) ve yapay sinir ağları (YSA) sınıflandırıcıları ile sınıflandırılmıştır. Çalışmanın amacı, EEG tabanlı BBA sistemleri için verimli ve uygulama kolaylığı olan bir öznitelik yöntemine karar vermek ve müzik görevinin BBA uygulamaları için kullanılabilirliğini araştırmaktır. Müzik görevlerinin BBA uygulamaları için kullanımı bu tez kapsamında ilk kez araştırılmaktadır. Zihinsel ve motor görevlere ait deneysel verilerin sınıflandırma performansı, doğruluğu kabul edilmiş olan BCI IIIa veri seti ile karşılaştırılmıştır. Sistemin doğruluğu Kappa istatistiği ile test edilmiştir.

Çalışmanın sonuçları değerlendirildiğinde, CWT yöntemi kullanıldığında YSA sınıflandırıcısının üstün performans gösterdiği görülmüştür. Son olarak, müzik görevlerinin sınıflandırma performansının yüksek oluşu da, Beyin Bilgisayar Arayüzü (BBA) uygulamalarında kullanılabileceğini göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: EEG sinyal analizi, Beyin bilgisayar arayüzü, Öznitelik çıkarımı, CWT, ICA, Müzik sınıflandırma.

Master Thesis

SUMMARY

ANALYSIS OF MENTAL AND MUSIC TASKS FROM EEG SIGNALS

Ebru DURMUŞ

Karadeniz Technical University
The Graduate School of Natural and Applied Sciences
Mechanical Engineering Graduate Program
Supervisor: Assist. Prof. Nurhan GÜRSEL ÖZMEN
2015, 143 Pages

In this study, EEG records of different mental, motor and music tasks from six healthy subjects were analyzed. A 64-channel Biosemi ActiveTwo System was used for recording during imagination of seven different tasks. Features were extracted with independent component analysis (ICA) and wavelet methods (CWT) and further they were classified by support vector machine (SVM) and artificial neural networks (ANN) classifiers. The purpose of this study is to decide on a feature extraction method for EEG-based BCI systems which is efficient and easy to implement and moreover to investigate the availability of music task for BCI applications. Using music tasks for BCI applications is firstly introduced in this study. Classification performance of the experimental data of mental and motor tasks was compared with scientifically proven BCI III data set. The accuracy of the system is tested with Kappa statistics.

The results of the study showed that the NN classifier exhibited superior performance with the CWT method. Finally, it was proven that the music tasks with the high classification performance can be used for Brain Computer Interface (BCI) applications.

Key Words: EEG signal analysis, Brain Computer Interface, Feature extraction, CWT, ICA, Music Classification.

ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1.1. Çeşitli sinir yapılarının beyindeki konumları.....	3
Şekil 1.2. Beynin bölümleri.....	4
Şekil 1.3. Bir nöronun yapısı.....	5
Şekil 1.4. Beyinde sinir hücreleri arası iletim	6
Şekil 1.5. Bu çalışmada kullanılan Biosemi ActiveTwo cihazından alınan sağlıklı bir bireyin çok kanallı EEG'si.....	7
Şekil 1.6. Delta dalga şekli.....	8
Şekil 1.7. Teta dalga şekli.....	9
Şekil 1.8. Alfa dalga şekli.....	9
Şekil 1.9. Beta dalga şekli	10
Şekil 1.10. Gama dalga şekli	10
Şekil 1.11. EEG frekans bantları (Delta, Teta, Alfa, Beta, Gama).....	11
Şekil 1.12. Uluslararası 10-20 elektrot yerleşim sistemi ve bu çalışmada kullanılan elektrotlar	12
Şekil 1.13. BBA sisteminin temel bileşenleri.....	16
Şekil 2.1. Biosemi ActiveTwo EEG ölçüm sistemi ve bileşenleri.....	20
Şekil 2.2. Deney hazırlık aşaması.....	22
Şekil 2.3. Bu çalışmada izlenen EEG işaret analiz adımları	23
Şekil 2.4. a. Zaman tanım alanındaki (domenindeki) işaret, b. İşaretin frekans tanım alanında (Fourier) incelenmesi, c. İşaretin zaman ve frekans tanım alanında incelenmesi, d. İşaretin zaman ve frekans (1/ölçek) tanım alanında dalgacık dönüşümü ile incelenmesi.	26
Şekil 2.5. a. Bir Mexican Hat dalgacığının zaman eksenini boyunca ötelenmesi, b. Bir Mexican Hat dalgacığının zaman eksenini üzerinde ölçeklenmesi (a ₁ >a ₂ >a ₃).	28
Şekil 2.6. Temel ICA modeli.....	31
Şekil 2.7. İki boyutlu uzayda doğrusal olarak ayrılabilen verilerin görünümü	34
Şekil 2.8. Doğrusal olarak birbirinden ayrılabilen veriler arasındaki OAD ve destek vektörleri	35
Şekil 2.9. Doğrusal olarak ayrılamama durumu	38
Şekil 2.10. Gözlem uzayındaki verilerin doğrusal ayırma düzlemi oluşturacak şekilde bir özellik uzayına taşınması.....	39
Şekil 2.11. Yapay sinir hücresinin yapısı	41
Şekil 2.12. Yapay sinir ağının yapısı.....	42

Şekil 3.1.	Rahat durum görevi.....	48
Şekil 3.2.	Matematiksel işlem görevi	48
Şekil 3.3.	Sağ el hareketi hayali görevi	49
Şekil 3.4.	Sol el hareketi hayali görevi.....	49
Şekil 3.5.	A harfi hayali görevi	50
Şekil 3.6.	Klasik müzik dinleme görevi	50
Şekil 3.7.	Rock müzik dinleme görevi	51
Şekil 3.8.	Rahat durum	52
Şekil 3.9.	Problem çözümü.....	52
Şekil 3.10.	Sağ el hareketi hayali	53
Şekil 3.11.	Sol el hareketi hayali	53
Şekil 3.12.	A harfi hayali.....	54
Şekil 3.13.	Klasik müzik dinleme.....	54
Şekil 3.14.	Rock müzik dinleme.....	55
Şekil 3.15.	Sağ el hareketi hayali görevi	112
Şekil 3.16.	Sol el hareketi hayali görevi.....	113
Şekil 3.17.	Ayak hareketi hayali görevi	113
Şekil 3.18.	Dil hareketi hayali görevi.....	114
Şekil 3.19.	Sağ el hareketi hayali	115
Şekil 3.20.	Sol el hareketi hayali	115
Şekil 3.21.	Ayak hareketi hayali.....	116
Şekil 3.22.	Dil hareketi hayali	116

TABLolar DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 1.1. Beyinin kortikal alanları ve onların fonksiyonları	4
Tablo 1.2. En çok kullanılan frekans bantları.....	8
Tablo 1.3. Mevcut BBA sinyali toplama teknikleri.....	15
Tablo 2.1. Landis ve Koch'a göre kappa katsayısı yorumu	46
Tablo 3.1. K1'in DVM ile ikili sınıflandırma performansı (%)	57
Tablo 3.2. K2'nin DVM ile ikili sınıflandırma performansı (%)	61
Tablo 3.3. K3'ün DVM ile ikili sınıflandırma performansı (%)	65
Tablo 3.4. K4'ün DVM ile ikili sınıflandırma performansı (%)	69
Tablo 3.5. K5'in DVM ile ikili sınıflandırma performansı (%)	73
Tablo 3.6. K6'nın DVM ile ikili sınıflandırma performansı (%)	77
Tablo 3.7. Katılımcıların DVM sınıflandırıcısı ile ortalama sınıflandırma performansları (%)	81
Tablo 3.8. K1'in YSA ile ikili sınıflandırma performansı (%)	83
Tablo 3.9. K2'nin YSA ile ikili sınıflandırma performansı (%)	87
Tablo 3.10. K3'ün YSA ile ikili sınıflandırma performansı (%).....	91
Tablo 3.11. K4'ün YSA ile ikili sınıflandırma performansı (%).....	95
Tablo 3.12. K5'in YSA ile ikili sınıflandırma performansı (%)	99
Tablo 3.13. K6'nın YSA ile ikili sınıflandırma performansı (%)	103
Tablo 3.14. Katılımcıların YSA sınıflandırıcısı ile ortalama sınıflandırma performansları (%)	107
Tablo 3.15. EEG sinyal işleme süreleri	109
Tablo 3.16. Kanal bazında ortalama sınıflandırma performansları.....	110
Tablo 3.17. k3b'nin DVM ile ikili sınıflandırma performansı (%).....	118
Tablo 3.18. k6b'nin DVM ile ikili sınıflandırma performansı (%).....	119
Tablo 3.19. 11b'nin DVM ile ikili sınıflandırma performansı (%).....	120
Tablo 3.20. DVM ile üç katılımcının ikili sınıflandırma performanslarının ortalaması (%)	121
Tablo 3.21. k3b'nin YSA ile ikili sınıflandırma performansı (%)	122
Tablo 3.22. k6b'nin YSA ile ikili sınıflandırma performansı (%)	123
Tablo 3.23. 11b'nin YSA ile ikili sınıflandırma performansı (%).....	124
Tablo 3.24. YSA ile üç katılımcının ikili sınıflandırma performanslarının ortalaması (%)	125

Tablo 3.25. Kanal bazında ortalama sınıflandırma performansları	126
Tablo 3.26. KTÜ verilerine ait Kappa istatistiği sonuçları.....	126
Tablo 3.27. BCI IIIa verilerine ait Kappa istatistiği sonuçları	127

SEMBOLLER DİZİNİ

ALS	: Amyotrofik Lateral Skleroz
AgCl	: Gümüş Klorür
Au	: Altın
BBA (BCI)	: Beyin Bilgisayar Arayüzü (Brain Computer Interface)
BSS	: Blind Source Separation (Gizli Katmanların Ayrıştırılması)
CWT	: Continuous Wavelet Transform (Sürekli Dalgacık Dönüşümü)
DVM	: Destek Vektör Makineleri
ECoG	: Elektrokortikogram
EEG	: Elektroensefalogram
EKG	: Elektrokardiyografi
EMG	: Elektromiyografi
EOG	: Elektrookülografi
FIR	: Finite Impuls Response (Sonlu İmpuls Cevap)
fMRI	: Fonksiyonel Manyetik Rezonans Görüntüleme
ICA	: Independent Component Analysis (Bağımsız Bileşen Analizi)
KZFD	: Kısa Zaman Fourier Dönüşümü
MEG	: Manyetoensefalogram
MSS	: Merkezi Sinir Sistemi
MR	: Manyetik Rezonans
PET	: Pozitron Emisyon Tomografi
PSD	: Power Spectral Density (Güç Spektral Yoğunluğu)
SCCN	: Swartz Center for Computational Neuroscience
YSA	: Yapay Sinir Ağları
<u>C</u>	: Korelasyon Katsayısı
κ	: Kappa Katsayısı

1. GENEL BİLGİLER

1.1. Giriş

İnsanların doğrudan düşüncelerini kullanarak, bir bilgisayarı, bir cihazı kontrol edebilmeleri fikri “beyin bilgisayar arayüzü (BBA)” kavramını doğurmuştur. BBA insanın düşüncelerini dış dünyaya olağan yollar olan çevresel sınırlar ve kaslar olmadan aktardıkları bir iletişim şeklidir [1]. BBA terimini ilk kullanmış olanlardan biri Jacques J. Vidal'dir. Vidal, 1973 yılında EEG sinyallerini algılayıp, çözümleyip, belli örüntüleri bulup, bunları önceden tanımlanmış hareket komutları olarak yorumlayan karmaşık bir bilgisayar sistemi geliştirmiştir. “Bağımlı BBA” olarak tanımlanan bu sistem kullanıcının göz hareketlerini kontrol etme kabiliyetine dayanmaktadır [2]. Yaklaşık 40 yıldır beyin bilgisayar arayüzleri konusunda yapılan çalışmalar, hastalıklarla mücadelede yardımcı yöntem olarak ve insan bilgisayar etkileşimine dayalı sistemler (savunma sanayii ve eğlence sektörü gibi...) olarak yoğunlaşmıştır. Merkezi sinir sisteminde, omurilik ve beyin sapı adı verilen bölgede motor sinir hücrelerinin (nöronlar) kaybıyla ortaya çıkan “Amyotrofik Lateral Skleroz (ALS)”, beyin felci ve inme gibi hastalıklarda insanların istemli hareketleri engellenmekte fakat zeka, hafıza, karakter, görme, duyma, koklama gibi özellikleri korunmaktadır. Dolayısıyla beyin bilgisayar arayüzü teknolojisi bu hastalıklarla mücadele edenlere iletişim imkânı sunmaktadır.

Bu tez çalışması kapsamında, sağlıklı bireylerin farklı zihinsel, motor ve müzik görevlerini yerine getirmesi esnasında kaydedilen EEG verilerinden farklı öznelik çıkarma yöntemleri denenerek, beyin bilgisayar arayüzü girişi olabilecek öznelikler belirlenmiş ve çıkış performansları açısından farklı sınıflandırıcılar ile değerlendirilmiştir. Ayrıca, müzik görevlerinin insan beyninde hangi bölgeleri aktive ettiği ve bu görevlerin BBA uygulamaları için kullanılabilirliği araştırılmıştır. Deneysel veri setinin sınıflandırma performansı, literatürde yer alan hazır veri seti performansı ile kıyaslanarak, deneylerin ve analiz aşamalarının doğruluğu test edilmiştir.

1.2. Beyin ve Sinir Hücresi

Vücut organlarının fonksiyonları hormonal ve sinirsel olmak üzere iki şekilde kontrol edilir. Hormonlar kimyasal bilgi iletilicilerdir ve hormonlarla yapılan kontrol yavaştır. Sinirsel kontrolde ise, merkezi sinir sistemini oluşturan beyin ve omurilikten gelen komutlar, sinirler vasıtasıyla organlara gönderilerek, onların fonksiyonlarını düzenler. Omurilikten kodlanmış sinir darbeleri halindeki komutlar, sinirler yoluyla organlara gönderilerek onların faaliyetlerini düzenler.

Beyin (Serebrum): Kafatası boşluğunda yer alan beyin, 100 milyar sinir hücresi (nöron) ve trilyonlarca “glia” denilen destek hücrelerinden oluşur. Ortalama bir erişkinin beyni 1300-1400 gramdır.

Beyin dört ana yapıdan meydana gelir: *Beyin, Beyincik, Köprü, Soğancık.*

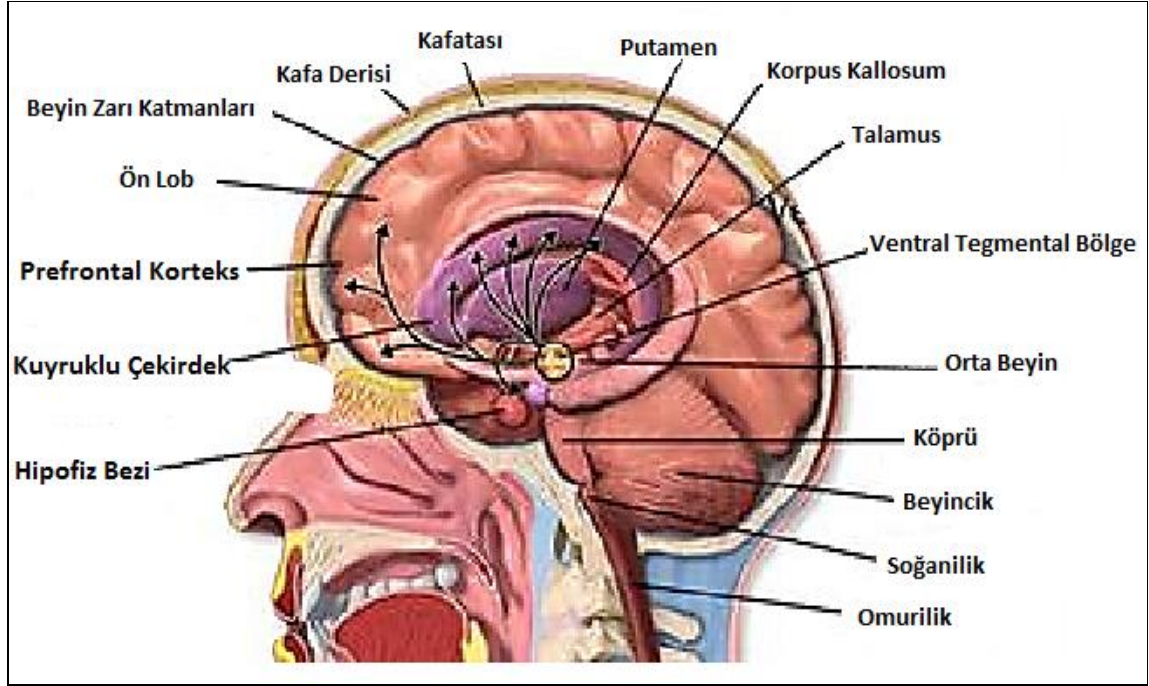
Beyin, en büyük alanı oluşturur. Sağ ve sol beyin yarımküre olmak üzere iki yarım küreden oluşur. Sağ beyin yarım küresi, vücudun sol tarafını, sol yarımküre de sağ tarafı kontrol eder. Beyin zarı olarak adlandırılan beynin dıştaki katmanı gri maddeden, iç kısım beyaz maddeden meydana gelir. Gri madde sinir hücrelerinden oluşur. Bu hücreler beyin aktivitelerini kontrol eder. Beyaz madde, beyindeki sinir hücreleri ile omurilik arasında bilgi taşıyan aksonlardan oluşur.

Beyincik ikinci büyük alanı oluşturur. Beyincik beyin sapına bağlanır. Beyincik, beyin ve talamus ile birlikte kas koordinasyonunu kontrol eder.

Pons (Köprü), omurilik ve beyin-beyincik arasında iletilen dürtülerle beyin ve beyinciğin aktivitelerini kontrol eder. Pons yüz, göz, duyma ve denge ile ilgili sinirlerin merkezidir.

Soğancık, solunumu ve kalp atışını kontrol eder. Omurilik ile beyne bağlanır. Tat alma, istemsiz kaslar, boyun kası ve dil hareketleri ile ilgili sinirlerin merkezidir.

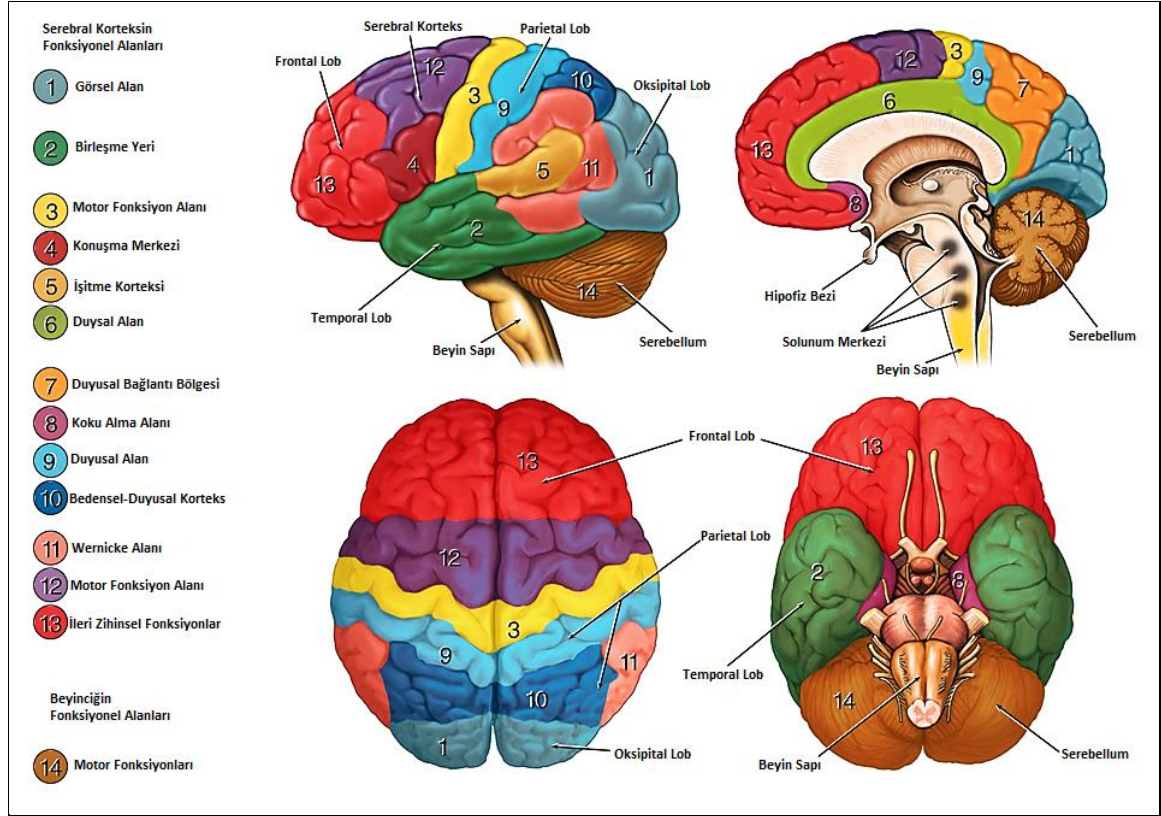
Ayrıca, bu dört yapı (beyin, beyincik, pons ve soğancık) ve Şekil 1.1’de görülen uzmanlaşmış bir çok yapı beyne yardım eder [3,4].



Şekil 1.1. Çeşitli sinir yapılarının beyindeki konumları, [3,4]

İnsanlarda serebral korteksin yüzeyi pek çok girinti ve çıkıntıyla kaplıdır. Korteksteki çıkıntılara girus, girintilere ise sulkus denir. Bunlar yüzey alanının artırılmasını sağlarlar. Serebral korteksin fonksiyonu, düşünme, istemli hareket, dil, sonuç çıkarma, algılamadır. Beyin Bilgisayar arayüzü araştırmalarında en çok kullanılan kısımdır. Serebral yarı kürelerden her biri vücudun zıt tarafını kontrol eder. İnsanların % 90-95'inde sol yarı küre baskındır. Sol serebral yarı küre, sağ elin kontrolü, konuşma ve yazma dili, bilimsel ve sayısal yetenek, düşünme ve mantık ve çözümlenme gibi motor alanlara sahiptir. Sağ serebral yarı kürede ise sol elin kontrolü, görme ve hayal, müzik ve sanat yeteneği, yüzlerin ve üç boyutlu şekillerin tanınması ve idrakın tamamlanması gibi özelliklere sahip motor alanlar bulunur.

Serebral korteksin her bir yarı küresi frontal, parietal, oksipital ve temporal olmak üzere dört loba ayrılır (Şekil 1.2). Korteks de her biri özel bir görev için uzmanlaşmış farklı bölümlere ayrılır.



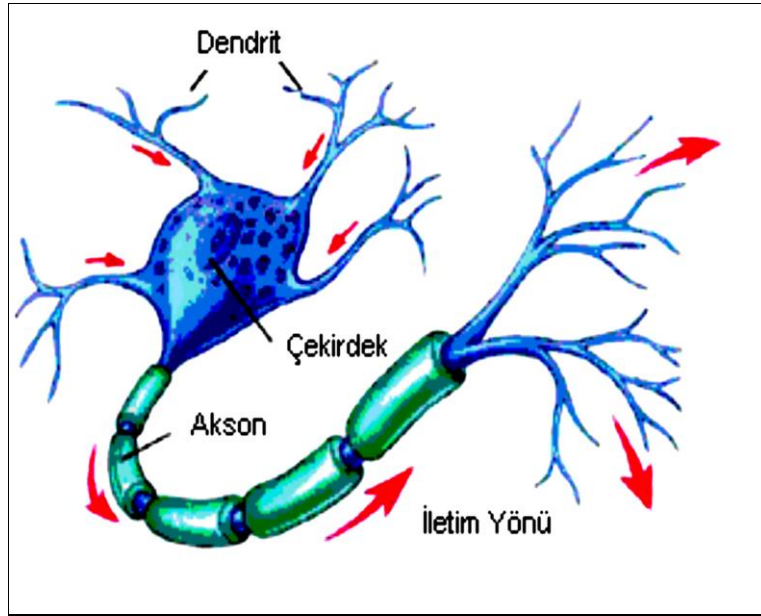
Şekil 1.2. Beynin bölümleri

Tablo 1.1. Beynin kortikal alanları ve onların fonksiyonları

Kortikal Alan	Fonksiyon
İşitsel Çağırışım Alanı (Auditory Association Area)	İşitsel bilginin kompleks süreci
İşitme Korteksi (Auditory Cortex)	Ses kalitesinin tespiti (ses yüksekliği, ton)
Konuşma Merkezi (Broca's Area)	Konuşmanın gerçekleşmesi ve telaffuz
Alın Korteksi (Prefrontal Cortex)	Problem çözümü, şiddetli duygusallık, karmaşık düşünceler
Motor Bağlantı Korteksi (Motor Association Cortex)	Kompleks hareket koordinasyonu
Temel Motor Korteks (Primary Motor Cortex)	İstenilen hareketleri başlatma merkezi
Birincil Bedensel-Duyusal Korteks (Primary Somatosensory Cortex)	Dokunsal duyunun algılanışı
Duyusal Bağlantı Bölgesi (Sensory Association Area)	Çok algılı bilginin işlenmesi
Görsel İlişki Alanı (Visual Association Area)	Görsel bilginin işlenmesi
Wernicke Alanı (Wernicke's Area)	Lisan anlama bölgesi

Beyin temel olarak iki tip hücreden meydana gelir; glia ve nöronlar. Glia'nın temel işlevi nöronları korumak ve desteklemektir. Nöronlar elektrik sinyalleri biçimindeki bilgileri taşırlar. [3, 4, 5].

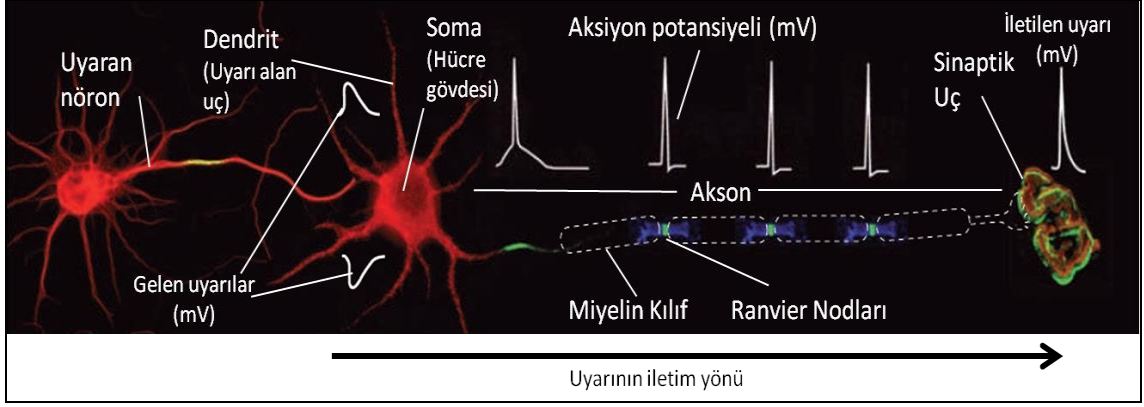
Beynimizde yaklaşık 10^{10} adet sinir hücresi (nöron) ve bunların diğer sinirlerle 6×10^{13} 'ten fazla sayıda bağlantısı vardır. Her bir nöronun diğer nöronlarla bağlantıya sahip olduğu bu yapı, "Biyolojik Sinir Ağı" olarak adlandırılmaktadır. Bu çok geniş bir hesaplama gücü ve hafıza sağlamaktadır [6, 7].



Şekil 1.3. Bir nöronun yapısı

Nöronlar, hücre çekirdeğini içinde barındıran, "işlemci" parçası gövde (veya soma); diğer nöronlardan aktivasyon bilgilerini alan "alıcı" parçaları dendritler, somadan ve diğer hücrelerden gelen bilgileri taşıyan ve sinaptik iletimle kendisinden sonra gelen hücelere ileten "verici" parçası olan bir tek uzun fiber yapısındaki aksondan oluşurlar (Şekil 1.3) [5].

İki hücre arasındaki bilgi alışverişi Şekil 1.4' te gösterilmektedir.



Şekil 1.4. Beyinde sinir hücreleri arası iletim

1.2.1. Biyolojik İşaret Oluşumu

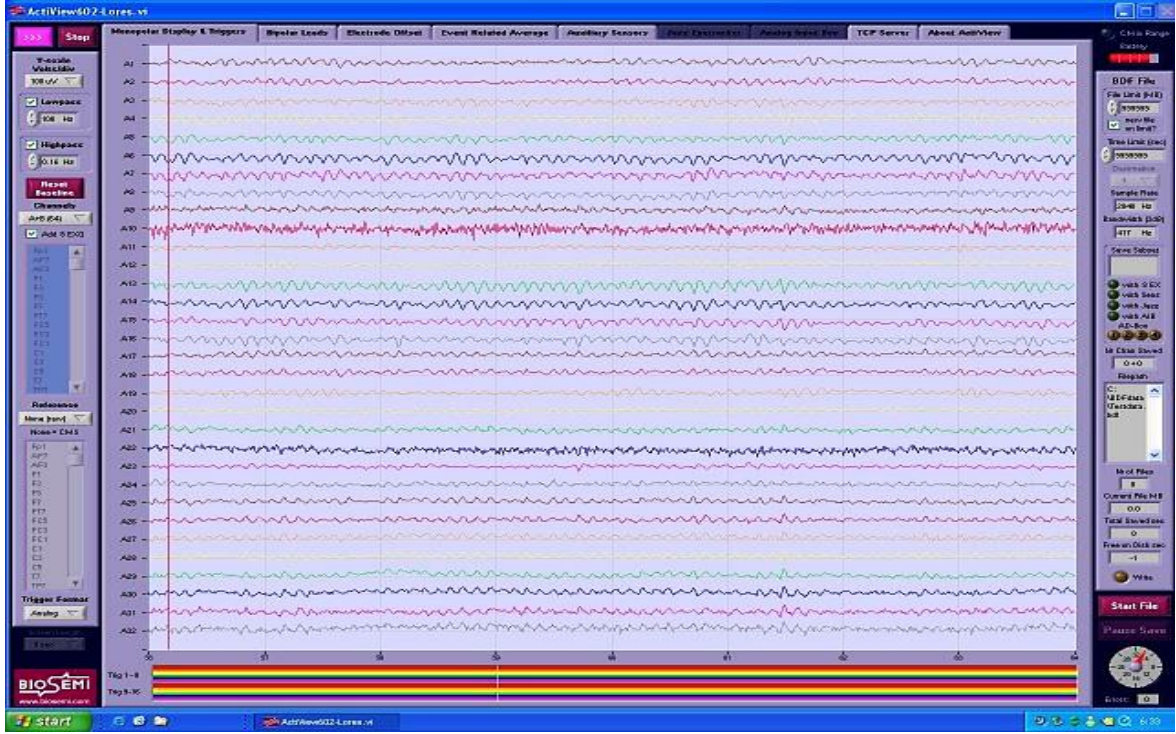
Canlı vücudundan elektrotlar veya dönüştürücüler aracılığıyla algılanan, elektrik kökenli olan veya olmayan işaretler biyolojik işaretler olarak adlandırılır. Biyolojik işaretlerin anlaşılabilmesi için, elektrotlar yardımıyla algılanan bu işaretlerin işlenip yorumlanmaları gerekir. Hücrelerdeki elektro-kimyasal olayların sonucu oluşan iyonik akımlar elektrotlar yardımıyla alınıp, işaret işleme işlemlerinden geçirildikten sonra çeşitli amaçlar (tedavi, araştırma, vb...) için kullanılırlar.

1.3. Elektroensefalografi (EEG)

Beyindeki elektriksel aktivite sonucunda ölçülen biyolojik işaretlere elektroensefalogram (EEG) ve ölçüm yöntemine de elektroensefalografi denir. 1929 yılında Hans Berger'in ilk EEG ölçümünü yapmasından bugüne EEG ile yapılan araştırmalarda oldukça fazla yol kat edilmiştir [3, 4, 6]. Günümüzde EEG, hem klinik tedavi amaçlı hem de sinir bilimi araştırmalarında kullanılmaktadır.

EEG'nin zamansal çözünürlüğü çok iyi fakat uzaysal çözünürlüğü kötü olabilmektedir, bu durum elektrot sayısına bağlı olmaktadır. Süregiden EEG genlik ve frekans ile karakterize edilir. EEG sinyallerinin genlikleri genellikle 10 ile 100 μV arasında değişkenlik göstermektedir (yetişkinlerde daha yaygın olarak 10 ile 50 μV arasında değişkenlik göstermektedir) [7, 8].

Çoğu zaman, beyin dalgaları düzensizdir ve genel düzeni yok gibi görülebilmektedir [9]. Genel bir durum için sağlıklı bireyden elde edilen çok kanallı EEG görüntüsü Şekil 1.5'te verilmiştir.



Şekil 1.5. Bu çalışmada kullanılan Biosemi ActiveTwo cihazından alınan sağlıklı bir bireyin çok kanallı EEG'si

1.3.1. EEG Dalga Şekilleri

EEG işaretlerinin frekans bileşenleri son derece önemlidir. Farklı bölgelerden alınan benzer EEG işaretleri arasındaki faz ilişkileri de farklılık göstermektedir.

EEG içerdiği frekanslara göre değerlendirilmektedir. Çünkü EEG işaretleri periyodik değildir; genlik, faz ve frekansları sürekli olarak zaman içerisinde değişir. Bu sebeple anlamlı bir veri elde edebilmek için ölçümlerin yeterince uzun bir sürede yapılması gerekir. EEG işaretlerinin frekansı ile beyin aktivitesi yakından ilişkilidir.

Herhangi bir hareket yaparken veya bir şey düşünürken, insanlarda farklı ritmik beyin aktiviteleri gerçekleşir, örneğin bir bardağı elinize almayı düşündüğünüzde beyinde bir aktivite uyarılır veya düşüğe geçer. Bu olay EEG işaretinin içerdiği farklı frekans bantları ile ifade edilebilir. EEG işaretleri, kapsadıkları frekans bantlarına göre alfa, beta,

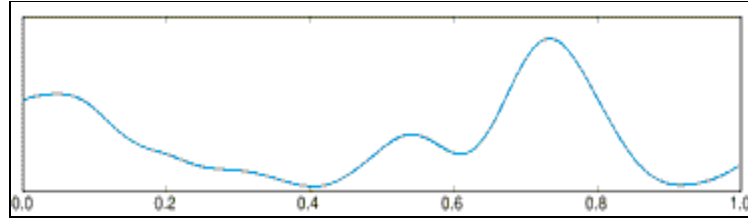
delta, teta ve gama ritimleri olarak ayrılırlar. Bu beyin ritimleri Tablo 1.2,'de frekans aralıkları ve genlikleri ile birlikte verilmiştir.

Tablo 1.2. En çok kullanılan frekans bantları

Frekans Bandı	Frekans [Hz]	Genlik [μV]
Delta	0.5 - 4	0.5 - 100
Teta	4 - 8	1 - 30
Alfa	8 - 12	2 - 50
Beta	12 - 25	4 - 25
Gama	25 - 60	0.5 - 2

Delta: Delta dalgaları 0.5-100 μV arasında genliğe ve 0.5-4 Hz arasındaki frekansa sahiptirler. Genlikleri 100 μV ' dan küçüktür.

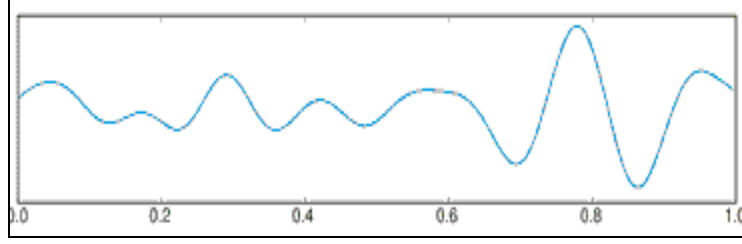
Delta dalgaları derin uyku ve beynin çok düşük aktivite gerektirdiği durumlarda ortaya çıkarlar, uyanık durumda gözlenmesi halinde beyinde ağır organik beyin hastalıkları olduğu düşünülür. Fakat bir yaşına kadar olan yeni doğmuş bebeklerde derin uykuda görülmesi normaldir [10]. Şekil 1.6'da delta dalgaları gösterilmektedir.



Şekil 1.6. Delta dalga şekli

Teta: Teta dalgalarının frekansı saniyede 4-8 Hz arasındadır ve 1-30 μV değerleri arasında genliğe sahiptirler.

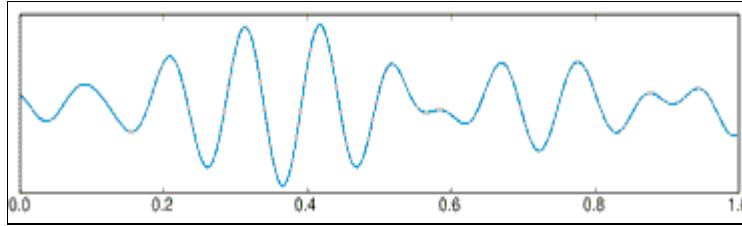
Teta dalgaları çoğunlukla hüsrana ve hayal kırıklıkları gibi duygusal stres ve üzüntü sonucunda ortaya çıkar. Uyanık durumdaki mutsuz olmayan yetişkinlerde görülmesi normal değildir fakat 13 yaşına kadar uyku esnasında çocuklarda gözlenmesi doğaldır. Bilinç dışı, yoga ve meditasyon halleriyle ilişkilendirilebilir [10].



Şekil 1.7. Teta dalga şekli

Alfa: Saniyedeki frekansları 8-13 Hz altındaki, sinüsoidal biçime en yakın olan beyin dalgalarıdır. Çoğunlukla yetişkinlerde genelde tüm yaş guruplarında görülür. Uyanık, normal ve sakin kimselerde görülür. Yoğun bir şekilde *oksipital* bölgede ortaya çıkar, genlikleri en fazla 50 μ V kadardır. Uykuya dalma halinde yok olurlar. Uyanık kişi dikkatini başka bir faaliyete yöneltirse (zihinsel aritmetik, stres, gözlerini açma gibi) alfa dalgaları yerine daha yüksek frekanslı fakat düşük genlikli beta dalgaları meydana gelir.

Beynin her iki yarı küresinde de ritmik olarak ortaya çıkar, ancak özellikle sağ elini kullanan bireyler gibi baskın beyin tarafında genlik biraz daha yüksektir. Çoğu örnekte alfa dalgaları normal dalga şekli olarak ortaya çıkar. Anormal dalga şekilleri alfa koması olarak adlandırılır ve beyin kanaması gibi durumlarda saptanır [1-4]. Şekil 1.8.'de alfa şekli gösterilmektedir.



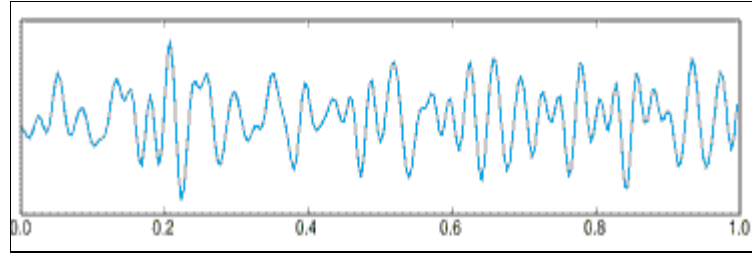
Şekil 1.8. Alfa dalga şekli

Beta: 12 Hz ve üzeri frekansta, 4 - 25 μ V genlikte beyin dalgalarıdır. Beta aktivitesi "hızlı" aktivite olarak adlandırılır. Beta dalgaları özellikle aktif düşünürken, çok stresli durumlarda, herhangi bir konuya odaklanmış, dış dünyadaki olaylara kafa yorarken veya somut problemler çözerken ortaya çıkar.

Beynin her iki yarı küresine simetrik dağılmış olarak görülür. Ancak saçlı derinin *parietal* ve *frontal* bölgelerinden belirgin olarak kaydedilebilir. Sakinleştirici uyutucu

ilaçlar tarafından şiddetlenir. *Kortikal* hasarlı bölgelerde azalır veya yok olur. Normal ritimdedir, fakat uyarılmış, endişeli veya gözleri açık durumda baskın ritim oluşturur. Tüm yaş gruplarında gözlenir. Küçük genlikli ve genelde simetrikdir [1-4].

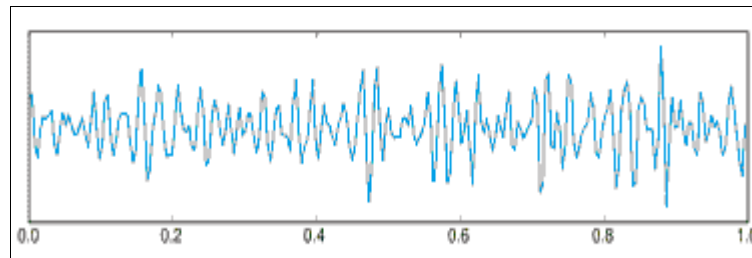
Beta-I ve Beta-II olarak ikiye ayrılırlar. Şekil 1.9'da beta dalgaları görülmektedir.



Şekil 1.9. Beta dalga şekli

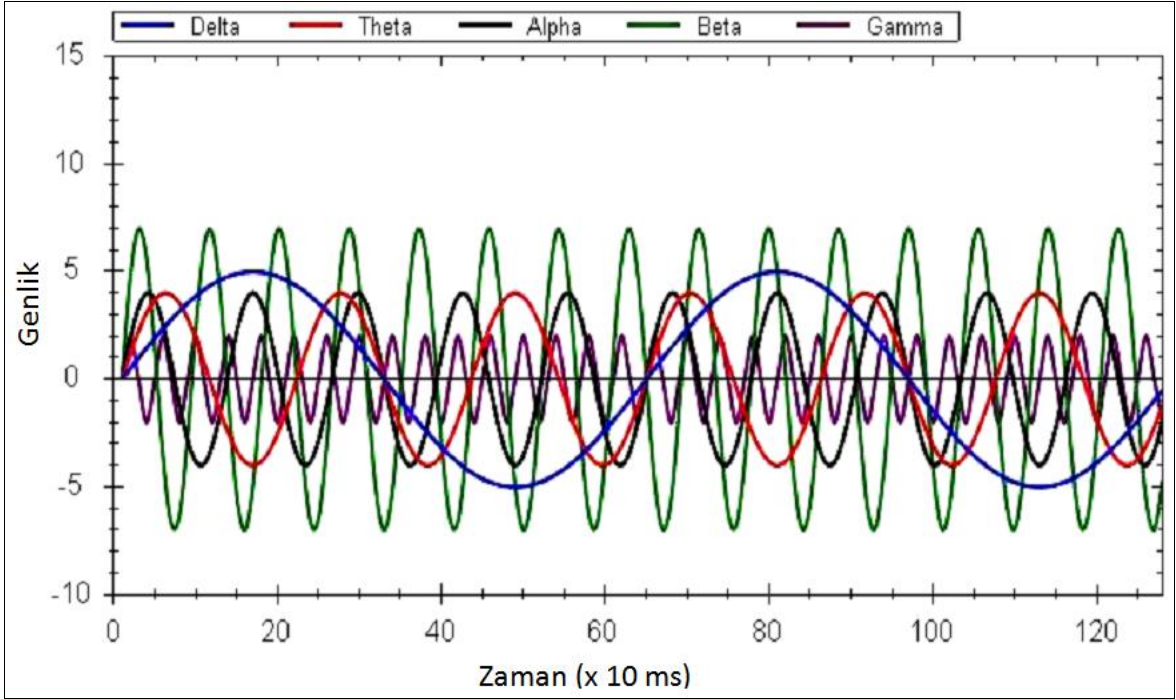
Gama: Gama dalgaları saniyede 25 Hz ve üzerindeki frekanslarda, 0.5-2 μ V genlikte gözlenir. Bazı araştırmacılar tarafından kullanılmaktadır, bazıları bu dalgaların yerine Beta-II dalgalarını kullanır.

Bu frekans bandının bilinç mekanizmasını yansıttığı düşünülmektedir, farklı modüler beyin fonksiyonlarının bir araya gelmesiyle yeniden yapılanabilir bir şekilde hareket ederler (bilinç akışı hissini yaratabilmek için zaman içinde kendileri üzerinde geri besleme yaparlar). *Central* bölgede genlikleri daha büyüktür. Uyku halinin karakteristik belirtisini taşırlar [4, 10].



Şekil 1.10. Gama dalga şekli

Bütün EEG dalga çeşitleri (Delta, Teta, Alfa, Beta, Gama) frekans ve genlikleri (amplitude) ile birlikte, Şekil 1.11'de verilmiştir.



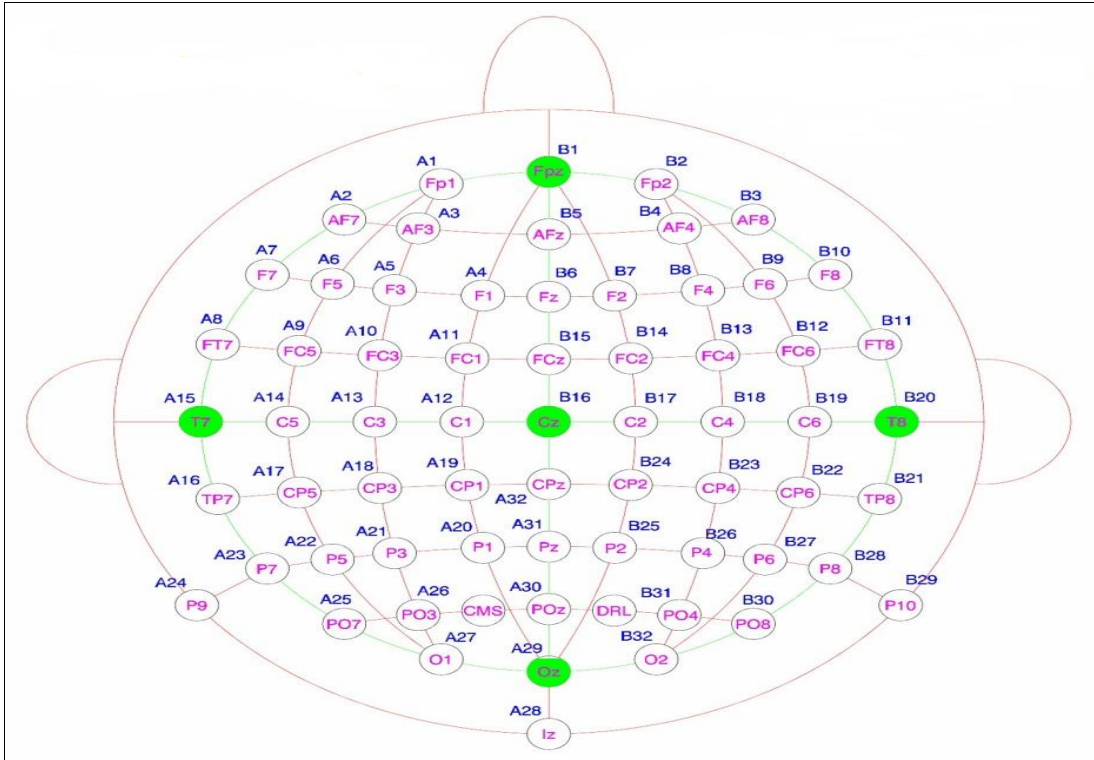
Şekil 1.11. EEG frekans bantları (Delta, Teta, Alfa, Beta, Gama)

1.3.2. EEG İşaretlerinin Ölçülmesi

EEG kaydı genellikle kafatasını saran bir başlık ve başlığa yerleştirilmiş olan elektrotlar yardımı ile alınır. Çeşitli tipte başlık ve elektrotlar mevcuttur ve kullanım amacına göre değişebilir. Bunlar arasında en yaygın olan gümüş klorür (AgCl) veya altın (Au) gibi iletken maddelerden yapılmış “iğne uçlu” elektrotlar, bir elektrobaşığa iletken bir krem veya jel (tuz solüsyonu gibi) yardımıyla deriye temas ettirilecek şekilde yapıştırılır. Deneğe hiçbir zarar vermemesi amacıyla elektrot temas direnci 10 kOhm’un altına düşürülür.

Elektrotların bağlantısında uluslararası standartlar kullanılmaktadır. Bu çalışmada da uluslararası 10-20 elektrot yerleşim sistemi kullanılmıştır. Bu yerleşim düzenine göre baş dört standart nokta ile işaretlenmiştir; burun hizası (Nasion), başın arka kısmı (Inion), sol ve sağ kulak arkalarıdır (Preauriculars). Nasyon, burunun başladığı nokta ile gözler arasında kalan çukur kısım, inyon ise kafatasının arkasındaki şiş kısma verilen isimdir. Bu noktalara göre kafatasına yerleştirilen başlık, beynin bölümlerini ifade eden isimlerle sırasıyla beş bölüme ayrılmıştır; frontal kutup (Fp), frontal (F), sentral (C), parietal (P), temporal (T), oksipital (O) ve bu elektrotlar, harflere bitişik rakamlar ve diğer küçük

harfler hemisferik lokalizasyonu göstermektedir. Buna göre çift rakamlar (2, 4, 6, 8) sağ hemisferi ve tek rakamlar (1, 3, 5, 7) sol hemisferi gösterir, z (zero) harfi de orta hatta yerleşen elektrotları göstermek için kullanılır. Nasyon ve inyon arasına sırasıyla %10-%20-%20-%20-%10 olacak şekilde bölünerek yerleştirilir (Şekil 1.12). Kepi kafatasına yerleştirirken kafatasının nasyon ve inyon arasındaki uzaklık ölçülür ve çıkan sonucun %10'u alınır (10-20 sistemine uymak için). Elde edilen uzunluk kepin ön (nasyon) ve arka kısmının (inyon) yerleşmesi gereken noktayı ifade eder. Kep takıldıktan sonra elektrotlar Şekil 1.12.'deki gibi kepin üzerindeki elektrot adaptörlerine yerleştirilir. Bu düzende yerleştirilen elektrotlardan iki nokta birleştirilerek aralarındaki potansiyel fark ölçülür. Tek kutuplu ve çift kutuplu olarak iki tür birleştirme yöntemi vardır. Tek kutuplu birleştirmede, genellikle Cz veya kulakların arkası referans nokta olarak alınır, çift kutuplu birleştirmede referans alma olayı yoktur. Elektrot çiftleri birbirine yakın seçilerek ortak gerilim önlenmeye çalışılır [10, 11].



Şekil 1.12. Uluslararası 10-20 elektrot yerleşim sistemi ve bu çalışmada kullanılan elektrotlar

1.3.3. EEG ve Müzik

İnsanların bilinen en eski ve temel sosyo-bilişsel alanlarından biri müziktir. Düzenli olarak müzik dinlemek nöron ve sinapsları daha aktif hale getirdiği gibi, sevilen müzikleri dinlemek zihinsel yorgunluğu azaltmaya yardımcı olmaktadır. Ses dalgaları incelendiğinde, ses dalgalarının insanların nörolojik (beyin ve sinir) sisteminde büyük etkisi olduğu saptanmıştır. Dolayısıyla yapılan nörolojik çalışmalar müziğin beyin sistemini değerlendirmek için önemli bir araç olduğunu göstermektedir [12].

Günümüze kadar yapılan çalışmalar müzik algısı ve performansının, beynin şakak bölgesinde (*sağ temporal lob*) gerçekleşen bir süreç olduğunu göstermektedir. Bu çalışmalar sayesinde müzik algısının sinirsel (nöral) temellerini bulma konusunda önemli adımlar atılmıştır [13, 14, 15].

Platel ve arkadaşları yaptıkları araştırmalarda, ritim duygusunun beynimizin sol alt – ön alın (*sol inferior - frontal girus*) bölgesindeki girus insula olarak adlandırılan bölge ile ilişkili olduğunu bulmuşlardır. Buna karşın tınının ayırt edilmesinin sağ ön alın ve şakak bölgeleri (*sağ frontal ve temporal*) tarafından kontrol edildiği saptanmıştır. Yani, sağ yarım küre ezgi ve vurguları tanımlarken, dil ve çözümlene yetisini denetleyen sol yarım küre, ritim ve nota gibi daha çok müziğin çözümsel yönleriyle ilgilenmektedir [15].

Sağ şakak lobu çıkarılmış (*sağ temporal lobektomili*) hastaların üzerinde yapılan bir araştırmada, bu hastaların müzikal perdeleri ayırt etmede güçlükler yaşadıkları görülmüştür. Bu bulgu bizlere sağ şakak bölgedeki lobun, kulağa gelen sesin konuşma veya müzik olup olmadığına bakmaksızın perdeyi normal sestten ayırt edebildiğini göstermektedir. Bunun önemli bir bulgu olduğu düşünülmektedir. Çünkü konuşmada perde, ses tonuna katkıda bulunmaktadır. Bu durum müzikte “prozodi” olarak bilinmektedir [16].

Müzik icrası esnasında müziğin temel öğelerinin kullanılması, hızlı ve etkin bir şekilde algılanması ve bu algıların görsel-motor sisteme dönüştürülmesi gerekmektedir. Ayrıca bu eylemler, beyinde çok karmaşık işlemler içeren bir beden-devinişsel motor harekettir. Bu konuda Meister ve arkadaşları tarafından 12 piyano öğrencisi üzerinde yapılan araştırmada, deneklerin bir müzik parçasını çalarken (sağ ellerini kullananlar) oluşan beyin hareketlilikleri manyetik rezonans (MR) görüntüleme aleti ile incelenmiş ve bu icra sırasında, yan-karşı birinci motor korteks ve arka pariyetal korteksin çift taraflı olarak aktif hale geldiği görülmüştür [17]. Bu bilgiler ışığında, müzik algısı ve

performansının beyin sağ şakak bölgesinde, fakat ritim duygusunun ise beyin sol tarafında (girus insula) gerçekleşen bir süreç olduğu görülmüştür. Fakat, bir bütün olarak müziksel bir eylem, sadece sağ ve sol şakak lobları ile de sınırlı değil, beynimizin sağ ve sol yarı bölgelerinin her ikisinin de işleme katıldığı bir süreçtir.

Müzik türlerinin her birinin insan vücudunda oluşturduğu kendi frekansları vardır ve beyin ile ilişkili olan frekans bantlarını da Elektroansefalogram (EEG) ile ölçüp incelemek mümkündür [18]. EEG tabanlı Beyin Bilgisayar Arayüzü (BBA) literatüründe müzik dinletilerek kişilerin farklı görevler yerine getirdikleri çalışmalar mevcuttur. Bu çalışmalar iki açıdan ele alınmıştır. Birincisinde, müzik dinletilerek ve müzik dinletilmeden zihinsel görevleri yerine getirenler incelenmiş [19], ikincisinde ise müzisyen ve müzisyen olmayan insanlar arasında müzik türlerine göre farklılıklar EEG sinyallerinden ayırt edilmeye çalışılmıştır [20]. Son dönem ortaya koyulan iki BBA çalışmasından ilkinde müzik tabanlı bir BBA uygulamasında kullanıcıların duyguları tanınmaya çalışılmış [21], ikincisinde ise, BBA vasıtasıyla beste yapılması denenmiştir [22].

Bu çalışmada, literatürden farklı olarak müzik dinleme görevi farklı bir görev olarak ele alınmış ve farklı iki müzik türünün, sağlıklı bireylerin beyin hareketliliklerindeki etkileri araştırılmıştır. Ayrıca, farklı müzik türleri (klasik, rock) hem kendi aralarında karşılaştırılmış hem de diğer zihinsel ve motor görevlerle karşılaştırılarak, müzik görevlerinin BBA uygulamaları için uygun bir seçenek olup olmadığı araştırılmıştır.

1.4. Beyin Bilgisayar Arayüzleri (BBA)

Beyin Bilgisayar Arayüzü kas aktivitesi veya çevre nöronlar kullanılmadan sadece beyin sinyalleri aracılığıyla bir cihazı kontrol etmek üzere geliştirilen bir sistem olarak tanımlanmaktadır. Burada kontrol edilen cihaz, bir tekerlekli sandalye, bir nöroprotez ya da bir bilgisayar olabilir [2, 23].

İlk BBA sistemleri temel olarak, özellikle Amiyotrofik Lateral Skleroz ve omurilik yaralanmaları gibi sebeplerle dış dünya ile iletişim yeteneklerini kaybetmiş hastalar için geliştirilmiştir [23]. Eğer beyinleri hala işlevselliğini kaybetmemiş ise, BBA bu hastaların diğer kişilerle iletişim kurabilmeleri için son çare olmaktadır. Ayrıca BBA kolunu, elini ve bacağı kaybetmiş hastaların daha rahat bir yaşam sürmeleri için de yardımcı olmaktadır.

Son yıllarda, sağlıklı insanlar için oyun gibi uygulamaları ve alternatif bir insan makine etkileşim biçimi olarak da ilgi görmektedir. Ancak BBA uygulamaları hala bireysel

uygulamalarla sınırlıdır ve yaygın kullanım seviyesine ulaşılmamıştır. Bu nedenle, araştırmalar pek çok açıdan sürdürülmektedir.

Günümüzde beyin aktivitelerini gözlemlemek için Elektroensefalogram (EEG), İnvaziv elektro-fizyolojik yöntemler, Fonksiyonel manyetik rezonans görüntüleme (fMRI), Manyetoensefalogram (MEG), Pozitron emisyon tomografi (PET) gibi yöntemler kullanılmaktadır. fMRI ve MEG yöntemleri, çözünürlükleri yüksek fakat çok pahalı ve pratik uygulamaya elverişli değildir. Bu nedenle BBA uygulamalarında çoğunlukla EEG yöntemi kullanılmaktadır [24].

Tablo 1.3. Mevcut BBA sinyali toplama teknikleri, [24]

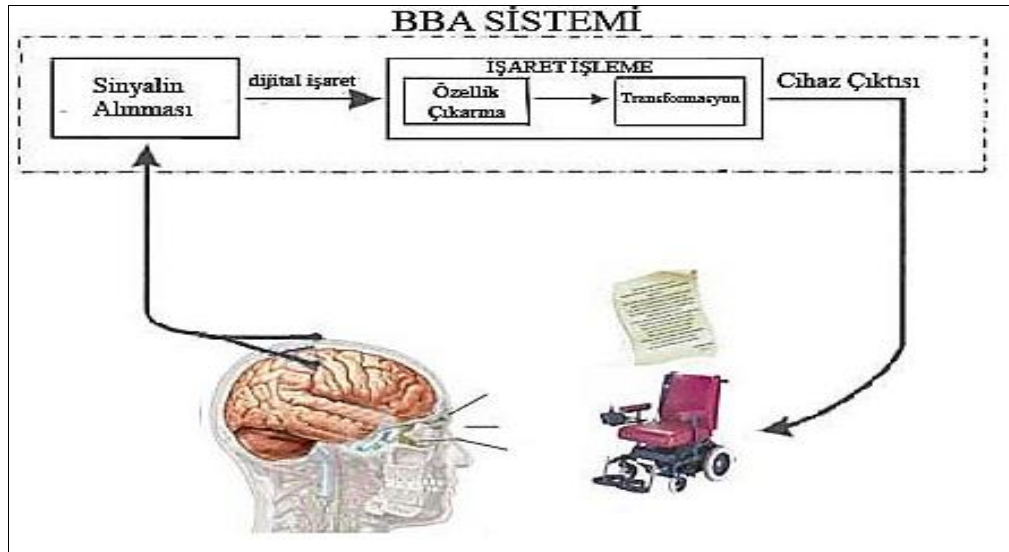
TEKNİK	KULLANIM BİÇİMİ	UZAMSAL VE ZAMANSAL ÇÖZÜNÜRLÜK	RİSK	BBA İÇİN KULLANIMI
MeA: Çoklu elektrot dizini	Tek tek nöronların aksiyon potansiyelini ölçmek üzere serebral kortekse yerleştirilen elektrotlar	U: Yüksek Z: Yüksek	Fazla invaziv olduğu için çok riskli	Maymunlarda uygulanmış, insan uygulaması az
ECoG: Elektrokortikogram	Nöronların toplu olarak yarattığı elektrik alanını yüksek SNR ile ölçmek üzere kafatası ile beynin arasında yerleştirilen elektrotlar	U: Uygun Z: Yüksek	İnvaziv olduğu için riskli	BBA amacıyla kullanımı önerilmiş
PET: Pozitron Emisyon Topografi	İçilerek vücuda alınan radyoaktif madde içeren glikoz vb. kimyasal maddenin vasküler yolla yayılımı	U: Yüksek Z: Yok	Radyoaktif madde riski	Çok pahalı ve genel ortamlarda uygulanması zor
fMRI: Fonksiyonel Manyetik Yanıt Görüntüleme	Yüksek Manyetik alan altında vücuttaki hidrojen dipollerinin etkilemesi	U: Yüksek Z: Çok düşük	Varsa manyetik alan riski	Çok pahalı ve genel ortamlarda uygulanması zor
NIRS: Kızılötesi yakını Spektroskopi	Kan akışı ve elektrik aktiviteye bağlı olarak beyin hücrelerinin optik özelliklerindeki değişimler	U: Düşük Z: Düşük	Uygun değil kızıl ötesi ışın riski	Uygun değil
MEG: Magnetoensefalografi	Beyindeki elektriksel akımların kafa üzerinde yarattığı toplu manyetik alanların dışarıdan elektrotlarla ölçülmesi ile elde edilen EEG benzeri sinyaller	U: Yüksek Z: Yüksek	Varsa Manyetik alan riski	Pahalı ve genel Ortamlarda uygulanması kısmen zor. BBA'da kullanılmış
EEG: Elektroensefalografi	Korteksteki çok sayıda nöronun birlikte aktivite göstermesiyle kafatasına yakın olanların toplam etkisinin dışarıdan elektrotlarla ölçülmesi	U: Uygun Z: Uygun	Yok	Ucuz ve BBA için uygun, BBA'da en yaygın kullanılan teknik

1.4.1. BBA'nın Yapısı

EEG tabanlı bir BBA tasarlamak için kafatası üzerine yerleştirilen elektrotlar, beyin içerisinde gerçekleşen elektriksel etkinliği tespit etmektedir. Fakat bu sinyallerin tespit edilmesi, bir EEG verisinin etkin olarak doğrudan bir ara yüzde kullanılması için yeterli olmamaktadır. Çünkü elektriksel aktivitelerden elde edilen veriler net ve berrak değildir. Bu nedenle, sinyallerin işlenmesi ve okunabilmesi için bilim insanları çeşitli yöntemler geliştirmiştir. Örüntü tanımlama ve sınıflandırma adı verilen bu yöntemler, bir ön işlem olarak da düşünülmektedir. Beyinden alınan EEG verilerini çözümlmek için geliştirilmiş çeşitli ön işlem algoritmaları bulunmaktadır. Böylece beyin dalgaları tanımlanabilir bir veriye dönüşmekte ve çeşitli arayüzler aracılığıyla kullanılabilir duruma gelmektedir [2, 23, 24, 25].

EEG tabanlı BBA tasarımı için kullanılan temel bileşenler Şekil 1.13.'te gösterilmektedir. Bunlar;

1. Sinyalin alınması
2. a) Sinyal ön işleme - özellik çıkarma
b) Sinyal işleme - dönüştürme algoritması
3. Cihaz çıktısı
4. İşletim protokolü



Şekil 1.13. BBA sisteminin temel bileşenleri

1.5. Kapsam

Bu tez çalışması kapsamında, Elektroensefalogram (EEG) tabanlı gerçek zamanlı beyin bilgisayar arayüzü uygulamasında etkili bir öznitelik çıkarma yöntemine karar verebilmek için altı sağlıklı birey ile yedi farklı (zihinsel aktivite hayali, motor hareket hayali ve müzik dinleme,) görev gerçekleştirilmiştir.

Öznitelik yöntemleri olarak kullanılan Sürekli Dalgacık Dönüşüm (CWT) ve Bağımsız Bileşen Analizi (ICA) yöntemleri ayırt edicilik özellikleri bakımından, beyin farklı bölümlerini ifade eden elektrot kanalları ayrı ayrı ele alınarak incelenmiştir. Her iki yöntemin sınıflandırma performansları, destek vektör makineleri (DVM) ve yapay sinir ağları (YSA) yöntemleriyle değerlendirilmiştir.

Çalışma sonuçları BCI IIIa veri setinin sınıflandırma sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Sınıflandırma sonuçlarının etkinliği ise Kappa istatistiği ile değerlendirilmiştir.

1.6. Amaç

Bu tez çalışması iki amaca hizmet etmektedir. Birincisi, EEG tabanlı BBA sistemleri için verimli ve uygulama kolaylığı olan bir öznitelik yöntemine karar vermektir. İkincisi ise müzik görevinin BBA uygulamaları için, kullanılabilirliğini araştırmaktır. Ayrıca,

1. Sağlıklı ve başarı oranı yüksek EEG sinyalleri elde edebilmek için EEG sinyal analiz adımlarının öğrenilmesi ve sinyale uygulanması,
2. Gerçek zamanlı bir BBA uygulaması için alt yapının hazırlanması yan amaçlar olarak sıralanabilir.

1.7. Yöntem

“GENEL BİLGİLER” ana başlığı altındaki Bölüm 1 ‘de, tez konusuyla ilgili ön bilgiler ve bu tez çalışmasının temel hedefleri hakkında bilgiler verilmiştir. Tezin kalan kısmında, bu amaçlara ulaşmada etkili rol oynayan çalışmalara değinilecektir.

“YAPILAN ÇALIŞMALAR” ana başlığı altındaki Bölüm 2 ‘de, tez çalışmasında kullanılan materyal ve metotlar ile ilgili tanımlamalar ve kuramsal bilgiler hakkında kısa, gerekli detaylar verilecektir.

“BULGULAR” ana başlığı altındaki Bölüm 3’de, tezin amacına yönelik EEG sinyal analizinde, öznitelik çıkarma işleminden sınıflandırma sonuçları aşamasına kadar, yazılım olarak kullanılan MATLAB analiz sonuçları grafik ve tablolar halinde sunulmuştur.

“İRDELEME” ana başlığı altındaki Bölüm 4’te, Bölüm 3’te elde edilen bulgular yorumlanacak ve doğruluğu tartışılacaktır.

“SONUÇLAR” ana başlığı altındaki Bölüm 5’te, elde edilen sonuçlar hakkında bilgiler verilecek ve sonuçlar arasında genel karşılaştırmalar yapılacaktır.

“ÖNERİLER” ana başlığı altındaki Bölüm 6’da ise, yapılan çalışmalardaki sınırlayıcı etkenler incelenecek ve tez çalışmasıyla ilgili gelecekte yapılabilecek çalışmalardan bahsedilecektir.

“KAYNAKLAR” ana başlığı altındaki Bölüm 7’de, tez çalışması boyunca yararlanılan kaynaklar verilecektir.

2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

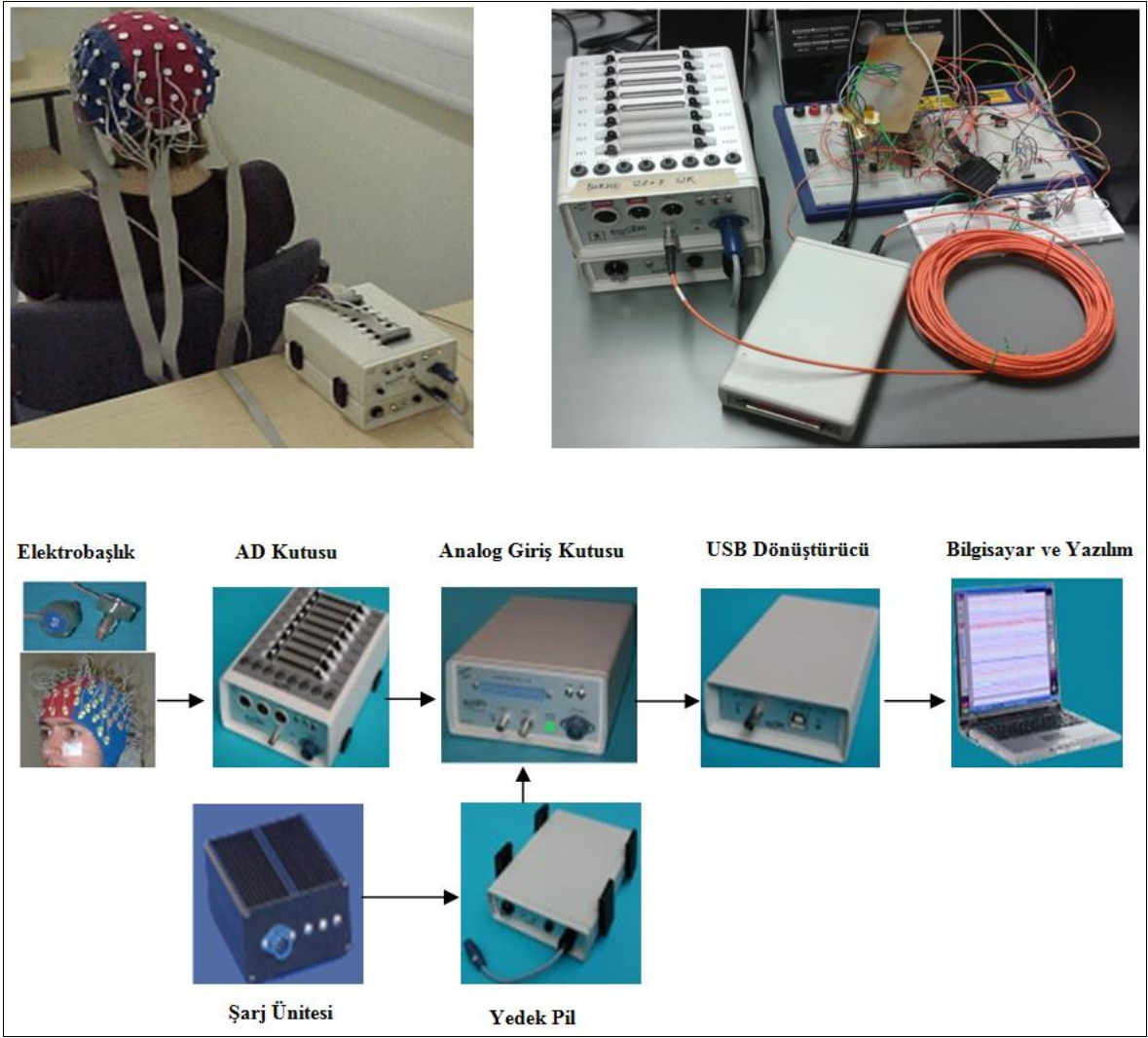
2.1. EEG Ölçüm Sistemi

Bu tez çalışmasında “BioSemi ActiveTwo System” isimli EEG ölçüm cihazı kullanılmıştır. Bu cihaz sadece araştırma amaçlı üretilmiş olup 64 kanaldan ölçüm yapabilmektedir. Yüksek çözünürlük ve örnekleme oranları sağlamakla birlikte fazla yer kaplamaması ve düşük enerji tüketimi gibi avantajları vardır. ActiveTwo sistem bileşenleri, aşağıdaki gibidir:

1. 64 adet elektrot ve elektrotların takıldığı elektrobaşlık,
2. 256 elektrot girişine uygun AD kutusu,
3. USB dönüştürücü,
4. Şarj ünitesi,
5. Yedek Pil,
6. Analog giriş kutusu,
7. EEG kayıtlarını yapıp sonradan gözden geçirmeye olanak sağlayan LabView

grafik programlama tabanlı bir yardımcı yazılım olan ActiView ve bir bilgisayardan oluşmaktadır. Şekil 2.1’de Biosemi ActiveTwo EEG sistem bileşenleri verilmiştir [10, 26].

EEG sinyallerinin elde edilmesinde kullanılan elektrotlar iğne uçlu tipte, sinterlenmiş Ag-AgCl ‘den imal edilmiş olup, gürültüyü en aza indirecek şekilde tasarlanmıştır. Bu elektrotlar elektrobaşlığa yapışkan bir jel sürüldükten sonra, uluslararası 10-20 elektrot yerleşim düzenine göre konumlandırılır. EEG kaydının kanal sayısını, örnekleme oranını, kayıt süresini bilgisayardan belirlemek mümkündür. EEG ölçümlerinin yanı sıra ekstra sekiz kanal da EKG, EMG, EOG ve ışık duyarlılığı gibi değişimlerin ölçümü için ayrılmıştır. Kanallar üzerinde süzgeç tipleri seçmek ve hassasiyet ayarı yapmak mümkündür.



Şekil 2.1. Biosemi ActiveTwo EEG ölçüm sistemi ve bileşenleri

2.2. EEG Deneyleri

Denekler: Çalışmamız altı farklı kişi ile gerçekleştirilmiştir. Bu denekler, Karadeniz Teknik Üniversitesi Makine Mühendisliği öğrencileri olup, yaşları 20 ile 28 arasında değişen ve herhangi bir nörolojik, psikolojik, kronik hastalık tanısı olmayan gönüllü ve sağ elini kullanan bireylerdir. Denekler, deneylerde gönüllü olarak yer aldıklarını ve istedikleri zaman ayrılacaklarını ifade eden “Rıza Formunu” imzalamışlardır.

Deney ortamı: EEG kayıtları sessiz, sakin, gün ışığı ile aydınlatılmış bir odada gerçekleştirilmiştir. Denekler rahat bir sandalyede oturmaktadırlar ve deney esnasında gözlerini açık tutmaları ve hareket etmemeleri söylenmektedir.

Deney tanımı: Deneylede kullanıcının bir takım istemli görevleri yerine getirmesi istenmiştir. Farklı görevler ile deney yapmanın nedeni, beynin birbirinden farklı aktiviteleri yerine getirirken ne tür değişimlere uğradığını ve bu aktivitenin beynin hangi bölümünde oluştuğunu görmektir. Bu görevlerin her birinin prensipte farklı bir örüntü oluşturacağı düşünüldüğünden, eğer bu farklı örüntüler ortaya çıkarılabilirse, bunun sonucunda bu örüntüler nöromüsküler bozukluğu olan veya fiziksel engelli insanlar için geliştirilecek bir cihaza girdi olarak verilebilir. Deneylede önce deneklere işlem adımları araştırmacı tarafından anlatılır. Her ölçüm öncesinde denekler bir araştırmacı tarafından hangi görevin yapılacağı, başlama ve bitiş zamanları konusunda bilgilendirilirler [10, 26]. Her bir deneme 10 saniyelik bir kaydı içermektedir ve ardışık deneylede arasında 2-3 saniyelik ara verilmektedir. Görev tanımları aşağıdaki şekildedir:

Rahat durum: Temel görev olarak adlandırılan bu görev esnasında deneklerin rahat bir şekilde hiçbir şey düşünmeden ve hiç hareket etmeden beklemeleri istenmektedir. Bu görev, ayırt edici nitelik taşıması nedeniyle diğer görevlerle kıyaslama yapılabilmesi amacıyla seçilmiştir.

Problem Çözümü: Bu görev sırasında deneklerin zihinlerinden iki basamaklı bir çarpma problemini çözmeleri istenir (Ör. 36x45). İşlemler her defasında değişkendir ve 10 saniye sonunda deneyin sonucu doğru bulup bulamadığı kontrol edilir.

Sağ el hareketi hayali: Bu esnada deneklerin sağ ellerini ardışık hareket ettirdiklerini hayal etmeleri istenir. Bu hareketlerin seçilme nedeni, motor görevlerle sezgisel görevler arasındaki ayrımları ortaya koyabilmek içindir.

Sol el hareketi hayali: Bu görev sağ el hareketi hayali ile aynıdır ve sağ el hayali ile ilgili yapılan zihinsel işlemlerin benzeri sol el hayali için tekrarlanmıştır.

A harfi hayali: A harfi hayali olarak adlandırılan bu görevde, beynin görme merkezinin aktive edilmesi hedeflenmiştir. Bu görev esnasında deneklerin gözleri açık bir şekilde zihinlerinde yanıp sönen veya bir ekrana yazılmış şekilde A harfini canlandırmaları istenir. Ayrıca kişinin beyin örüntülerinden farklı nesnelere hayal ettiğinin çıkarılıp çıkarılamayacağı görülmek istenmiştir. Eğer kişinin beyin örüntülerinden, harflere ait farklılıklar çıkarılabilirse, o zaman daha ileriki aşamalarda zihinden geçenleri ekrana yazdırma fikri denenebilir.

Klasik müzik dinleme: Bu görev sırasında denek gözleri açık bir pozisyonda kulaklık ile sözsüz klasik müzik dinlemektedir. Bu görevi uygulamanın amacı, müzik dinleme

görevinin zihinsel ve motor hareket hayali görevleri arasındaki ayırt ediciliğini inceleyebilmek ve BBA sistemlerinde uygulanabilirliğini göstermektir.

Rock müzik dinleme: Bu görev de klasik müzik dinleme görevine benzer şekilde uygulanmakta olup, denek gözleri açık bir pozisyonda kulaklık ile sözsüz rock müzik dinlemektedir [10, 26].

Yedi farklı görev için toplamda 100 farklı kayıt gerçekleştirilmiştir. Her bir dosya ActivView ortamında kaydedildikten sonra “.bdf ” formatındaki ham veri dosyaları, EEG sinyallerinin analiz edileceği ve sınıflandırılmasının yapılacağı MATLAB ortamına aktarılmıştır.



Şekil 2.2. Deney hazırlık aşaması

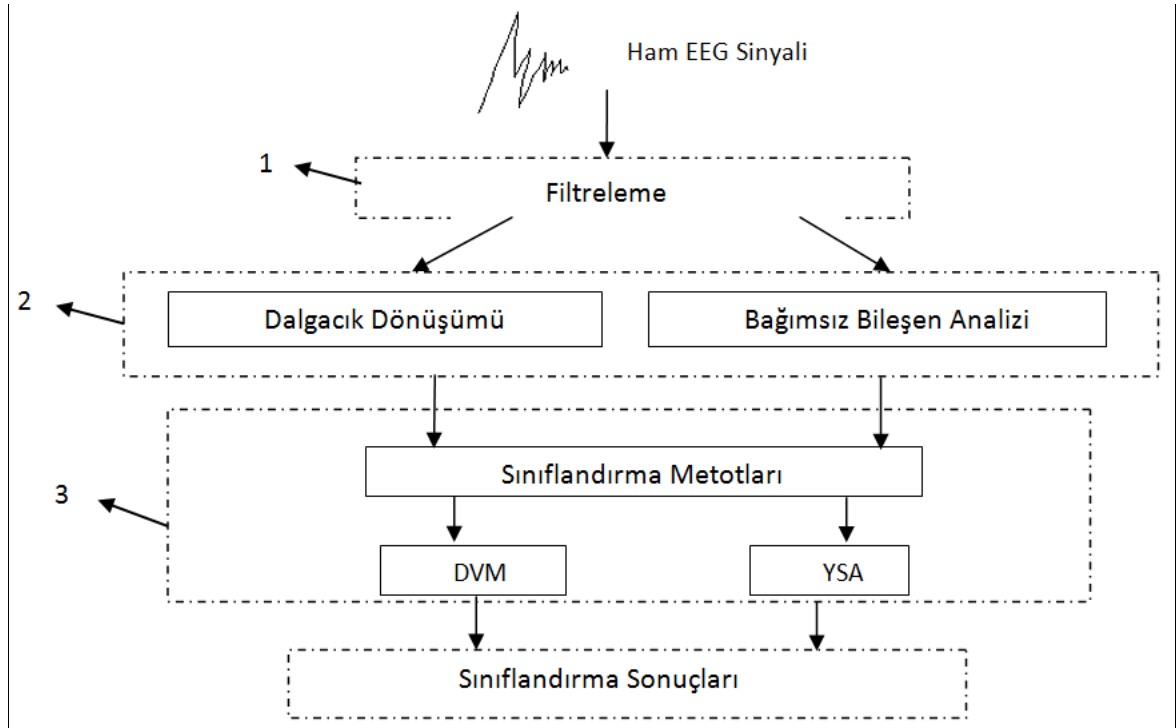
2.3. Sinyal Analizi

EEG sinyallerinin elektrokardiyogram sinyalleri gibi özel bir yapısı olmadığından, bu sinyallerin analizinde, istatistiksel ve parametrik analiz metotları kullanılır. Bir EEG

incelemesinin yapılabir yargıya varılabilmesi için çok sayıda veriye ihtiyaç vardır. Bu nedenle EEG işaretlerinin incelenmesi uzun zaman alan bir işlemdir. Dolayısıyla değerlendirmeyi basitleştirmek ve veri sayısının azaltılması için otomatik yöntemler geliştirmek amacıyla yoğun çalışmalar yapılmaktadır [3].

EEG işaretlerinin frekans ve fazları analiz edilerek elde edilen parametreler, diğer kanalda daha önceden elde edilen işaretlerin frekans ve fazlarıyla karşılaştırılır. Amaç, sinyalin bilgi kaybına uğratılmadan bu boyutlardan birisine dönüşümü yapılarak işlenmemiş haldeki verilerden sağlıklı seçilemeyen anlamlı detay bilgilerine ulaşmaktır. Bunun için EEG işaretlerinin analizini yapan çeşitli yöntemler geliştirilmiştir. Bunlardan bazıları, Fourier Analiz, Transient Analiz, Bilgisayar Destekli Beyin Elektriksel Aktivitesinin Haritalanması, Dalgacık Analizi ve Bağımsız Bileşen Analizi gibi [3, 4, 27].

Bu çalışmada analiz yöntemlerinden Dalgacık Analizi ve Bağımsız Bileşen Analizi yöntemleri EEG sinyallerine uygulanıp, bu iki yöntemden elde edilen özniteliklerin sınıflandırma performansları karşılaştırılmıştır. Bu çalışmada izlenen işlem adımları (Şekil 2.3)'te gösterilmiştir. Burada; 1. Ön işleme, 2. Öznitelik çıkarma ve 3. Sınıflandırma'dır.



Şekil 2.3. Bu çalışmada izlenen EEG işaret analiz adımları

2.3.1. Ön İşleme

EEG işaretleri çeşitli gürültüler barındırmaktadır. Birçok gürültü kaynağı içeren bir EEG verisi üzerinde matematiksel incelemeler yapmak ise oldukça zordur. Bu nedenle bir ön işleme arabirimi ile EEG işaretlerine karışan gürültüler giderilmelidir. Literatürde bu gürültüleri EEG işaretlerinden arındırmak için çeşitli yöntemler kullanılmaktadır. En yaygın olanları bağımsız bileşenler analizi (ICA) [28-31] ve filtreleme (lineer ve lineer olmayan) [32, 33] teknikleridir. Dalgacık dönüşümü (WT) [34, 35], temel bileşenler analizi [36], kaynak dipol analizleri [37] gibi yöntemler de nörolojik bilgiyi kaybetmeden gürültü arındırma yöntemi olarak kullanılmaktadır.

Bu tez çalışmasında, EEG verilerini gürültülerinden arındırmak için EEGLAB yazılımı kullanılmıştır. Swartz Center for Computational Neuroscience (SCCN) laboratuvarı tarafından sağlanan açık kaynak kodlu bir araç kutusu olarak adlandırılan EEGLAB, MATLAB'ın çapraz platform ortamında çalışan ve EEG verilerinin hem ön işleme hem de analizi için kullanılmasını sağlayan bir toolbox'tur [38]. Biosemi sistemi ile çevrimdışı olarak kaydedilen “.bdf” formatındaki EEG verileri sayısal ortama 512 Hz ile aktarılmış ve MATLAB ortamında EEGLAB programları ile analiz edilmiştir.

EEG kayıtları esnasında bozucuların etkisini azaltabilmek için deneklerden gözlerin açık tutmaları fakat deney esnasında (her bir 10 saniyelik periyotta) mümkün olduğunca gözlerini kırpmamaları ve hareket ettirmemeleri istenmektedir. Deneyler sonrasında elde edilen veriler göz ile taranmış ve bozucu etkisi görülmek istenmiştir. Mevcut verilerden hiçbiri işlem dışı bırakılmamıştır. Cz elektrot kanalı referans olarak seçilerek, her bir kanaldan Cz kanalı çıkarılarak normalleştirme yapılmıştır. Daha sonra işaretleri gürültüden ve artifaktlardan arındırmak için Matlab ortamında hazırlanan Sonlu Impuls Cevap (FIR) filtresi ile filtreleme işlemi gerçekleştirilmiştir. Çalışmada kullanılan EEGLAB programı, geniş bant, yüksek geçiren (0 yakınlarındaki kesim frekansı) ve alçak geçiren filtreleri (Nyquist yakınlarındaki kesim frekansı) üretmek için bu tekniği kullanmaktadır[39].

2.3.2. Öznitelik çıkarma

BBA uygulamalarında, sinyaller içerisinde en iyi özniteliklerin seçilmesi önemli bir aşamadır. Çünkü eğer çıkarılan öznitelikler istenen veriyi tam olarak yansıtmıyorsa, bu

öznitelikleri kullanarak sınıflandırma yapacak olan sınıflandırıcının başarısı da bu eksik değerlere bağlı olarak düşecektir. Bu da BBA uygulamasının hayata geçirilmesini zorlaştırmaktadır.

Bu çalışmada öz nitelik çıkarma aşaması, farklı zihinsel ve motor görev hayalleri esnasında kaydedilen EEG işaretlerinin önemli özelliklerinin çıkarılıp öznitelik vektörünün elde edilmesinden ibarettir. Bu sayede, bir taraftan sınıflandırıcı için en belirleyici öznitelikler seçilirken diğer taraftan da öznitelik vektörünün boyutunun küçültülmesi amaçlanmaktadır. Böylece kısa sürede sınıflandırma başarılarını dolayısıyla gerçek zamanlı BBA uygulamalarının performansını da arttırmak hedeflenmektedir [40,41].

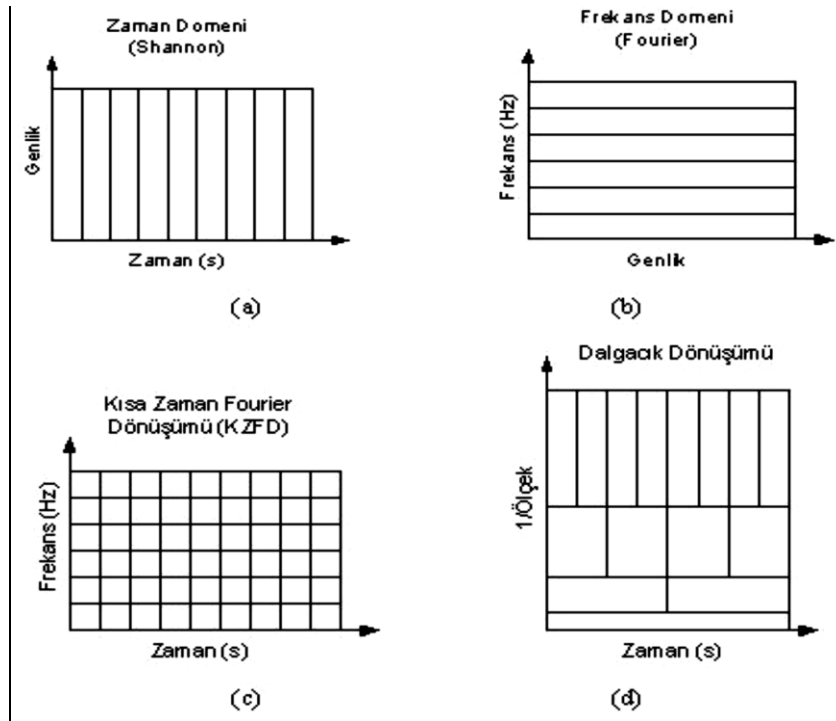
EEG sinyal analizi ve BBA çalışmalarının çoğunda öznitelik çıkarma yöntemi olarak Güç Spektral Yoğunluğu (PSD), Dalgacık Analizi, Ortak Uzaysal Örüntüler (CSP) gibi yöntemler kullanılmıştır [42]. Bu çalışmada öznitelik çıkarma işlemi için sürekli dalgacık yöntemi (CWT) ve bağımsız bileşen analizi yöntemleri kullanılmıştır. ICA geçmiş uygulamalarda, sıklıkla ön işleme ve veri boyutunu azaltmak için kullanılmıştır [43]. Literatürden farklı olarak, ilk kez bu çalışmada Bağımsız Bileşen Analizi (ICA) yöntemi öz nitelik çıkarma yöntemi olarak kullanılmıştır.

2.3.2.1. Dalgacık Dönüşümü (Wavelet Transform)

Birçok işaret pratikte zamanın bir fonksiyonu ile ifade edilir. Zaman tanım alanında verilmiş bir işaret, herhangi bir matematiksel dönüşüm uygulanarak işlenebilir ve böyle bir değişim işaret işleme olarak adlandırılabilir. Zaman tanım alanında ki bir işaretin grafiksel gösteriminde, eksenlerden biri işaretin genliğini (bağımlı değişken), diğer eksen ise zamanı (bağımsız değişken) ifade eder ve bu gösterim zaman-genlik değişimi olarak adlandırılır. Fakat bu gösterim, çoğu işaret işleme uygulamaları için yeterli bir gösterim şekli değildir. Çünkü bu uygulamalar için gerekli olan asıl bilgi, işaretin içerdiği frekans bilgisinde saklı olabilir. Bu durumda işaretin frekans spektrumunun incelenmesi gerekir. Frekans spektrumu, işaretin içerdiği farklı frekans bileşenlerini ve bu frekanslara ait genlik büyüklüklerini içermektedir [44].

Dalgacık dönüşümü, durağan olmayan ve anlık değişimlere sahip işaretlerin analizinde kullanılan oldukça faydalı bir araçtır. Dalgacık dönüşümü analizi, düşük frekans bilgisinin önem kazandığı araştırmalar için büyük zaman aralıklarının, yüksek frekans

bilgisinin önemli görüldüğü araştırmalar için ise daha küçük zaman aralıklarının kullanımına izin veren farklı ölçek bölgelerine sahip bir pencereleme tekniğidir [45,46]. Zaman tanım alanında bir işaretin zaman-genlik grafiğı Şekil 2.4. a'da gösterilmiştir. Bu tanım alanında gösterim, bir işaretin analizi için çok fazla değer ifade edemez. Dolayısıyla, işaretlerin frekans genlik spektrumlarının araştırılmasına ihtiyaç duyulur. Böyle bir durumda, Fourier dönüşümünü kullanmak yeterli olacaktır. Ancak bu da işaretin tamamı hakkında bilgi verecektir (Şekil 2.4. b.). İşaretin ayrı bölgelerde, farklı frekans bantlarında incelenmesi için, işaretin belirli bir ölçekteki bir pencere fonksiyonu ile çarpılmasını esas alan kısa zaman Fourier dönüşümü (KZFD) ortaya atılmıştır. Bu grafik, Şekil 2.4. c'de gösterilmiştir. Ancak pencerelerin eşit aralıkta olması, işaret analizinde daha küçük ve daha büyük frekansların incelenmesi için bir sıkıntı teşkil eder. Bu sorunu gidermek için oluşturulan dalgacık dönüşümü analizi, düşük frekans bilgisinin önem kazandığı araştırmalar için büyük zaman aralıklarının, yüksek frekans bilgisinin önemli görüldüğü araştırmalar içinse daha küçük zaman aralıklarının kullanımına yön vermektedir (Şekil 2.4. d.) [44,45,46].



Şekil 2.4. a. Zaman tanım alanındaki (domenindeki) işaret, b. İşaretin frekans tanım alanında (Fourier) incelenmesi, c. İşaretin zaman ve frekans tanım alanında incelenmesi, d. İşaretin zaman ve frekans (1/ölçek) tanım alanında dalgacık dönüşümü ile incelenmesi.

Dalgacık dönüşümü analizinde, bir zaman işareti üzerinde anlık değişimlerin kolayca incelenebilmesine olanak tanıdığından, EEG işaretleri üzerindeki anlık değişimlerin gözlenmesine de katkı sağlayacaktır. Bu nedenle, bu tez çalışmasında da dalgacık dönüşümü yöntemi ile öznitelik çıkarma tercih edilmiştir.

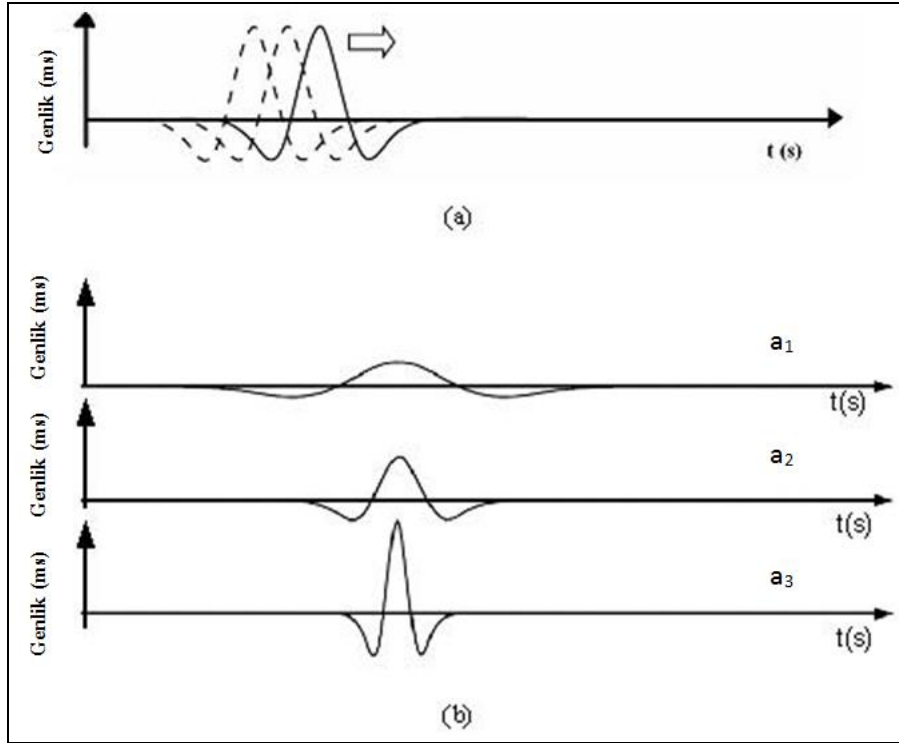
2.3.2.1.1. Sürekli Dalgacık Dönüşümü (CWT) ile Öznitelik Çıkarımı

Bir t 'ye bağlı $x(t)$, fonksiyonunun sürekli dalgacık dönüşümü analizi,

$$T_{a,b} = \int_{-\infty}^{\infty} x(t) \overline{\psi_{a,b}(t)} dt \quad (2.1)$$

$$\overline{\psi_{a,b}(t)} = \frac{1}{\sqrt{a}} \psi\left(\frac{t-b}{a}\right), \quad a \in R^+ - \{0\}, b \in R \quad (2.2)$$

şeklinde tanımlanır. (2.1) denkleminde $T_{a,b}$, $x(t)$ fonksiyonunun sürekli dalgacık dönüşümünü ifade ederken, $\psi(t)$ dalgacık çözümü olarak bilinen bir pencere fonksiyonunu, $\overline{\psi_{a,b}(t)}$ fonksiyonu ise, “a” genişleme faktörü olarak bilinen ölçekleme parametresi ve “b” öteleme parametresi ile dalgacık fonksiyonunu ifade etmektedir. $1/a$ parametresi, frekansın ölçümünü, b parametresi ise, zaman eksenini boyunca dalgacık penceresinin yerini göstermektedir (Şekil 2.5a). Yani, (a,b) 'nin değişimiyle, $T_{a,b}$, tüm zaman-frekans düzleminde hesaplanır. Dalgacıklar, ölçekleme faktörünün büyüklüğüne orantılı olarak sıkıştırılır ya da genişletilirler. Bir Mexican Hat dalgacığının ölçeklenmesi, $a1 > a2 > a3$ sırası ile Şekil 2.5b'de gösterilmiştir. Dolayısıyla buradaki eksenler EEG ölçümüne göre yatay eksen saniye, dikey eksen ise ms cinsinden olacaktır. Ölçekleme sayesinde, düşük ölçeklerde yüksek frekans davranışları, yüksek ölçeklerde ise düşük frekans davranışları daha iyi çözümlenir. Farklı frekans özelliklerine sahip işaretlerin çözümlenmesinde, bu metod mükemmel bir fayda sağlar [47].



Şekil 2.5. a. Bir Mexican Hat dalgacığının zaman eksenini boyunca ötelenmesi, b. Bir Mexican Hat dalgacığının zaman eksenini üzerinde ölçeklenmesi ($a_1 > a_2 > a_3$).

Bu tez çalışmasında kullanılan ve Matlab ortamında analizi yapılan sürekli dalgacık algoritması aşağıda sıralanan beş adımda tamamlanmaktadır [48], dalgacık tipi olarak Haar dalgacık fonksiyonu seçilmiştir;

1. Bir dalgacık alınır ve orijinal sinyalin başlangıç bölümüyle karşılaştırılır,
2. Dalgacık ile sinyal arasındaki korelasyon katsayısı \underline{C} hesaplanır. Katsayı ne kadar büyükse benzerlikte o kadar fazla olacaktır,
3. Dalgacık bir miktar sağa kaydırılır, adım 1 ve 2 tüm sinyal kaplanıncaya kadar tekrarlanır, bu adım hesaplanırken kullanılan CWT parametreleri tam sayı olup $b=5$, a ise 1 ve 100 arasından seçilmiştir.
4. Dalgacık “ a ” değerleri arasında ölçeklendirilir ve 1., 2. ve 3.adımlar tekrarlanır,
5. Tüm ölçekler için adım 1’den 4’e kadar tekrar uygulanır.

Bu işlemler yapıldıktan sonra sinyalin farklı bölgelerinde farklı ölçeklerde katsayılar elde edilir. Bu katsayılar orijinal sinyalin regresyon sonuçlarını gösterir ve bu katsayılar tez çalışması kapsamında kullanılan CWT özniteliklerini oluşturmaktadır.

2.3.2.2. Bağımsız Bileşen Analizi (ICA)

Bağımsız bileşen analizi (ICA), çok değişkenli istatistiksel verilerin, sahip oldukları kendilerine özgü faktörler veya özelliklerinin bulunması için uygulanan bir analiz yöntemidir [49, 50]. Herhangi bir niteliğin sadece belli bir grup veriye ait olması demek, bu niteliklerin diğer veri gruplarında bulunmuyor olması demektir. Buna göre, birden çok farklı niteliğe sahip grupların, herhangi bir niteliğinin sadece bu gruba özgü bir nitelik olabilmesi için, bu özel niteliğin diğer niteliklerle bir ilişkisinin var olmaması yani diğerlerinden bağımsız olması gerekir. Öyleyse, bu bağımsız niteliklerin aynı zamanda bir gruba özgü nitelikler de olduğunu ifade edecek başka bir özelliğin bilinmesine de gereksinim vardır. Kendine özgü niteliklere sahip iki ayrı veri grubu düşünülürse, bu veri gruplarının her birisine özgünlük kazandıran özgün değerlerin, bu grupları özgün yapacak düzeyde kendilerini grup verilerinin dağılımında fark ettirmesi bunun için de göze hemen çarpacak şekilde marjinal davranışlara sahip olması gerekir. Tekdüze davranışlara sahip olağan bir grubun özgün niteliklere sahip olduğu söylenemez. Çünkü o haliyle sahip olduğu nitelikler hemen hemen her grubun zaten sahip olduğu niteliklerdir. Olağan niteliklere sahip bir veri grubunun istatistiksel dağılımı, normal (olağan) dağılım fonksiyonu ile ifade edilir. Bir veri grubunun istatistiksel dağılımı normal dağılımdan ne kadar uzaksa, o grubun o kadar fazla özgün niteliklere sahip olduğu söylenebilir. Buna göre ICA yöntemi, hem bağımsız niteliklere sahip hem de normal dağılımdan oldukça uzak faktörlerin belirlenmesi için kullanılan bir analiz yöntemidir [51].

2.3.2.2.1. ICA Uygulama Prensipleri

ICA modelini tanımlamak için istatistiksel “doğrudan ölçülemeyen değişkenler veya dolaylı değişkenler modeli (latent variables model)” kullanılabilir. x_1, \dots, x_n ile gösterilen n tane rastgele değişken ölçülmüş olsun. Bu ölçülen değişkenler, s_1, \dots, s_n gibi başka n tane ölçülemeyen rastgele değişkenin lineer kombinasyonlarından oluşmuş olsun. Bu durum matematiksel olarak aşağıdaki (2.3) eşitliği ile ifade edilebilir:

$$x_i = a_{i1}s_1 + a_{i2}s_2 + \dots + a_{in}s_n, \quad i = 1, \dots, n \quad (2.3)$$

Burada, a_{ij} , $i, j = 1, \dots, n$ olmak üzere herhangi reel katsayılardır. ICA'nın tanımı gereği bütün s_i 'ler istatistiksel olarak birbirlerinden bağımsızdırlar. (2.3) eşitliği, temel ICA modeli olarak adlandırılır. Bu model, ölçülen rastgele değişkenlerin, bir karıştırma işlemi ile bağımsız s_i bileşenlerinin birbirine karıştırılması sonucunda oluşmuş istatistiksel bir süreçmiş gibi düşünülebilir. Buradaki s_i bağımsız bileşenleri doğrudan ölçülemeyen dolaylı değişkenlerdir (latent variables). a_{ij} karıştırma katsayıları da bilinmezler. (2.3) eşitliğinde bilinenler sadece x_i rastgele değişkenleridir. ICA'nın amacı, sadece bilinen x_i ölçülerini kullanarak bilinmeyen a_{ij} karıştırma katsayılarını ve s_i bağımsız bileşenlerini bulmaktır.

ICA modeli, “gizli katmanların ayrıştırılması (blind source separation, BBS)” yöntemiyle yakından ilişkilidir [52]. ICA'daki bağımsız bileşenlere “kaynak sinyaller” adı verilirse, ICA modeli BSS modeli ile özdeş olur. (2.3) eşitliği matris-vektör gösterimi ile yeniden yazılarak, (2.4) eşitliği ile gösterilebilir

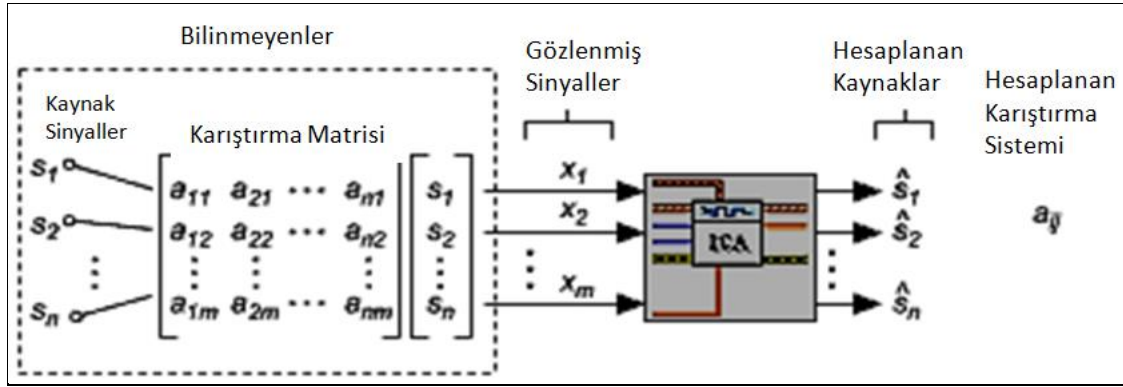
$$x = As \quad (2.4)$$

Burada x vektörü; elemanları x_1, \dots, x_n olan rastgele bir vektördür. Başka bir ifadeyle, bu vektörün bileşenleri karışım sinyalleridir. s vektörü ise elemanları s_1, \dots, s_n olan ve kaynak sinyalleri ifade eden rastgele vektördür. Elemanları a_{ij} olan A matrisi ise “karıştırma matrisi (mixing matrix)” olarak adlandırılır. Temel ICA modelinde A matrisi kare olarak yani kaynak ve bağımsız bileşen sayısı eşit olarak kabul edilir. Modeldeki varsayımlar kullanılarak; A matrisi kestirilir daha sonra da kaynaklar (2.5)'deki gibi hesaplanır:

$$s = W x \quad (2.5)$$

Burada W matrisi A matrisinin tersidir. Temel olarak imge modeli $a_i(p, q)$ öznitelikleri veya temel fonksiyonları cinsinden ifade edilebilir:

$$I(p, q) = \sum_{i=1}^n a_i(p, q) s_i \quad (2.6)$$



Şekil 2.6. Temel ICA modeli

ICA modelinin çözülebilmesi için bazı koşulların ileri sürülmesi gerekir. Bu sayede her yeni koşul, eksik yapı (2.3) ve (2.4) eşitliklerini koşullar arasında sınırlandırarak, sonlu bir çözüm uzayının oluşturulmasını sağlar. ICA için aşağıdaki koşulların gerçekleşmesi gerektiği varsayılır:

1. Bağımsız bileşenler, birbirlerinden istatistiksel olarak karşılıklı bağımsızdırlar.
2. Bağımsız bileşenlerin dağılımları normal dağılımdan çok farklıdır. (Normal dağılımdan çok farklı olan dağılımlar, kurtosis (basıklık) değerlerinin işaretlerine göre süper-gaussian veya sub-gaussian olarak adlandırılırlar).
3. Karıştırma matrisi, pozitif tanımlı kare matristir.

Bu üç koşulu sağlayacak şekilde bir optimizasyon tekniği ile bilinmeyenler bulunabilir. Optimizasyon için bir amaç fonksiyonu tanımlanır ve koşullarla birlikte bu fonksiyon optimize edilerek bilinmeyenlerin kestirimleri elde edilir. Amaç fonksiyonu olarak farklı metrik ölçütler kullanılabilir. Bu çalışmada amaç fonksiyonu, kaynakların dağılım fonksiyonlarını maksimum düzeyde normal dağılımdan uzaklaştıracak şekilde tanımlanmıştır. Bu amaçla metrik olarak dağılımların kurtosis (basıklık) ölçütü kullanılmıştır. Kaynak sinyallerin dağılım fonksiyonlarının pozitif ve maksimum basıklığa sahip olması gerektiği koşulu ile optimizasyon yapılmıştır. Optimizasyon için bilinmeyen kaynak sinyallerin dağılım fonksiyonlarının öncül bilgisine ihtiyaç vardır. Bu çalışmada, bilinmeyen kaynak sinyallerin öncül dağılım fonksiyonu olarak Laplace fonksiyonu model olarak alınmıştır. Bunun yerine, yine davranışları süper-gaussian fonksiyonlara benzeyen başka fonksiyonların kullanılması da mümkündür [38, 43, 53].

2.3.2.2.2. ICA Uygulama Alanları

ICA çok farklı alanlarda kullanılmaktadır. İlk uygulama alanlarından birisi, kokteyl partisi problemi olarak adlandırılan ve bir kokteyl partisinde konuşan insanların ve arka fonda çalan müziğin seslerinin birbirinden ayrıştırılmasını sağlamayı amaçlayan uygulamadır. Kokteyl salonunda birden çok sayıda ve farklı yerlere konulan mikrofonların kaydettiği sinyaller ayrıştırılarak problem çözülmektedir [49-51]. Benzer şekilde, elektrotlarla ölçülen EEG sinyallerinin ayrıştırılmasıyla, hangi sinyal tiplerinin hangi sinirden yayıldığını bulmak için de ICA kullanılmaktadır. Bu sayede insan vücudunun nörolojik özellikleri daha iyi anlaşılmakta ve nörolojik patolojilerin tedavisi daha etkin bir şekilde planlanmakta ve uygulanmaktadır [49].

Uzaktan algılamada değişim belirleme, öznitelik çıkarma, sınıflandırma, görüntü işleme uygulamalarında nesne çıkarma ve bölge bölümlenme gibi birçok farklı alanda yine ICA kullanılmaktadır [53-55].

2.3.2.2.3. ICA yöntemiyle öznitelik çıkarımı

ICA yöntemi ile öznitelik çıkarımı sırası ile şu şekilde yapılmaktadır: EEGLAB programının içine aktarılan *.bdf* formatındaki EEG kayıtları, öncelikle (*Remove Baseline*) normalleştirme uygulanarak referans hizasına getirilir. Daha sonra 64 kanal için başlık diyazını *Standard-10-20-Cap64* oluşturularak sinyallerin kanal yerleşimleri yapılır. Bu adım sonrasında 0.1–50Hz arasını geçiren *FIR (Finite Impuls Response)* filtresi kullanılarak gürültü ayıklama işlemi yapılan EEG işaretlerinden *RunICA* komutu ile ICA ağırlıkları çıkarılarak, bu ağırlıklar BBA tasarımı için gerekli olan öznitelik vektörleri olarak kullanılır. Alınan ICA sonuçlarından her bir görev için topografiler elde edilir.

2.3.3. Sınıflandırma

Bilinmeyen bir sinyali tanıyabilmek için öznitelik çıkarımı ve işlemlerinin ardından sınıflandırma işlemi gerçekleştirilir. Sınıflandırma işlemi için, hangi sınıfa ait olduğu önceden bilinen belirli sayıdaki öznitelik vektörünün oluşturduğu “veri kümeleri” bir eğitim sürecinden geçirilir. Bu eğitim sonucunda, bilinmeyen sinyali uygun sınıfa atamakta

kullanılan bir karar mekanizması oluşturulur [56]. İşaretin hangi sınıfa ait olduğuna karar verme hem hızlı hem de doğru olmalıdır. Literatürde birçok sınıflandırma yöntemleri mevcuttur. Bunlardan en çok kullanılanları destek vektör makineleri (support vector machines), sinir ağları (neural networks), k en yakın komşuluk (k nearest neighbor), doğrusal ayırt edici analizi (linear discriminant analysis)'dir [57].

Bu çalışmada sınıflandırma performansları yedi farklı görev için iki farklı sınıflandırıcının kendi aralarında ikili sınıflandırma yöntemleri ile değerlendirilmiştir. Sınıflandırıcı olarak seçilen yöntemler literatürde de yaygın olarak kullanılan “Destek Vektör Makinesi ve Yapay Sinir Ağları” yöntemleridir.

2.3.3.1. Destek Vektör Makinesi ile Sınıflandırma

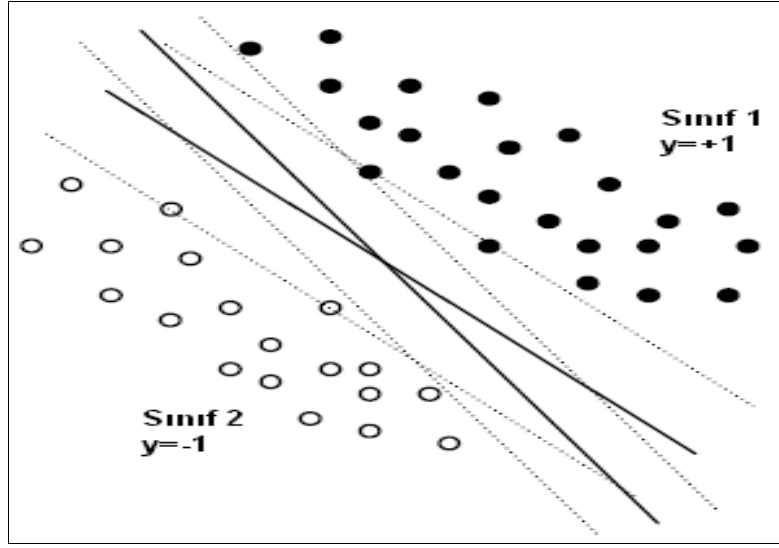
2.3.3.1.1. Doğrusal Olarak Ayrılabilme Durumu

Destek Vektör Makineleri (DVM), yapısal risk minimizasyonu prensibine göre çalışan dış bükey optimizasyona dayalı makine öğrenmesi algoritmalarıdır. [58]. DVM, örüntü tanıma ve sınıflandırma problemlerinin çözümü için Vapnik tarafından geliştirilmiştir [59]. Şekil 2.7’de DVM’nin ağ yapısı verilmiştir. D veri kümesinin $(x_1, y_1), (x_2, y_2) \dots (x_i, y_i)$ biçiminde olduğunu varsayalım. x_i eğitim kümesindeki örnekleri ve y_i de bu örneklerin sınıf etiketlerini göstermek üzere,

$$\begin{aligned} \{x_i, y_i\}, \quad i = 1, \dots, l \\ y_i \in \{-1, +1\} \end{aligned} \tag{2.7}$$

yazılır.

Sınıflandırma problemlerinde amaç, veriyi birbirinden ayıran doğrulardan veya hiperdüzlemlerden hangisinin seçileceğidir. Genel olarak birbirinden en uzak olan iki hiperdüzlem seçilir.



Şekil 2.7. İki boyutlu uzayda doğrusal olarak ayrılabilen verilerin görünümü

Pozitif (+1) etiketli örnekleri, negatif (-1) etiketli örneklerden ayırabilen bir hiperdüzlemimiz olsun. Bu hiperdüzlemin tam üzerine düşen x örnekleri (2.8) denklemini sağlayacaklardır:

$$x \cdot w + b = 0 \quad (2.8)$$

Burada, w hiperdüzleme normal bir vektörü temsil etmektedir. Ayrıca $|b|/\|w\|$ değeri de hiperdüzlemin merkez noktasına olan dik uzaklığıdır. Burada asıl amaç, bilinmeyen verileri doğru bir şekilde ayıracak bir sınıflandırıcı tasarlamaktır. Şekil 2.8' deki iki boyutlu uzayda, veriyi ayırabilecek pek çok doğrusal sınıflandırıcı görülmektedir, fakat her iki sınıf arasındaki mesafeyi maksimum yapan hiperdüzlem, diğerlerinden daha üstün olacaktır. En iyi ayırt etme yeteneğine sahip olan bu doğrusal sınıflandırıcı Optimum Ayırma Düzlemi (OAD) olarak adlandırılır. Orijin ile OAD arasındaki mesafe $-b/\|w\|$ ifadesi ile tanımlanır.

Sınıflandırıcı hiperdüzlemine ait hata, aşağıdaki şartları sağlamalıdır:

$$\begin{aligned} \langle w, x_i \rangle + b &> 1, y_i = 1 \quad \text{ve} \\ \langle w, x_i \rangle + b &< -1, y_i = -1 \end{aligned} \quad (2.9)$$

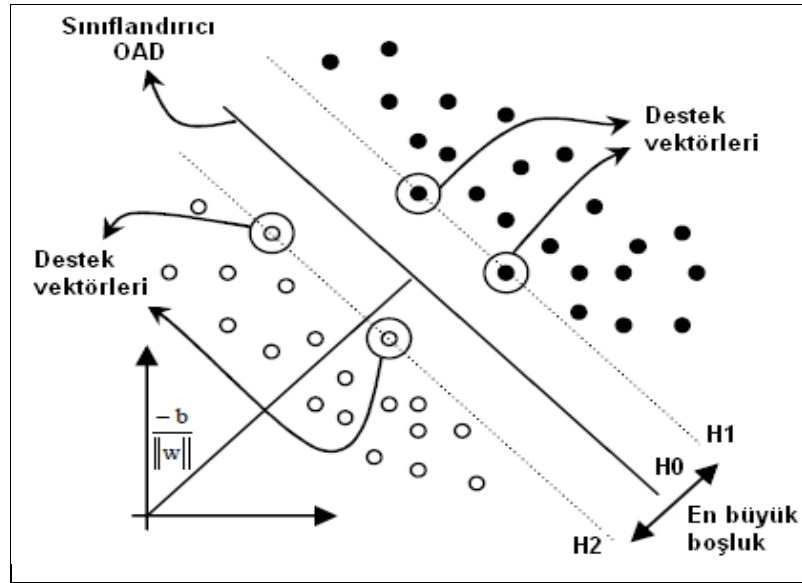
Bu iki eşitlik bir arada aşağıdaki şekilde verilebilir:

$$y_i [\langle w, x_i \rangle + b] \geq 1, i = 1 \dots n \quad (2.10)$$

H_1 ve H_2 hiperdüzleme en yakın olan pozitif ve negatif örneklerin hiperdüzleme olan uzaklığını göstermek üzere, H_1 ve H_2 mesafesi en büyük boşluk veya ayrımlık olarak tanımlanır. İşte DVM, bu ayrımlık değerini en yüksek yapacak şekilde bir hiperdüzlem bulmayı amaçlar.

Herhangi bir x noktasının (w, b) hiperdüzlemine olan $d(w, b; x)$ mesafesi (2.11) eşitliği ile temsil edilir.

$$d(w, b; x) = \frac{|\langle w, x \rangle + b|}{\|w\|} \quad (2.11)$$



Şekil 2.8. Doğrusal olarak birbirinden ayrılabilen veriler arasındaki OAD ve destek vektörleri

Optimum hiperdüzlem ayrımlık mesafesinin $\rho(w, b)$ maksimum olma hali ile açıklanır.

$$\rho(w, b) = \min_{\{x_i: y_i=1\}} d(w, b; x_i) + \min_{\{x_j: y_j=-1\}} d(w, b; x_j) \quad (2.12)$$

$$\rho(w, b) = \min_{\{x_i: y_i=1\}} \frac{|\langle w, x_i \rangle + b|}{\|w\|} + \min_{\{x_j: y_j=-1\}} \frac{|\langle w, x_j \rangle + b|}{\|w\|} \quad (2.13)$$

$$\rho(w, b) = \min_{\{x_i: y_i=1\}} \frac{|1|}{\|w\|} + \min_{\{x_j: y_j=-1\}} \frac{|-1|}{\|w\|} \quad (2.14)$$

$$\rho(w, b) = \frac{|2|}{\|w\|} \quad (2.15)$$

Ayrımlık mesafesinin maksimum yapılması aslında tersinin alınması işlemidir. Bu yüzden, optimum ayırma düzlemi aynı zamanda (2.16) eşitliğini en küçük yapan düzlemdir.

$$\mathcal{G}(w) = \frac{1}{2} \|w\|^2 \quad (2.16)$$

Bu problem zorlanmış optimizasyon problemi tipinde olduğundan, kritik noktaların çözümü için Lagrange yönteminden faydalanılır:

$$L(w, b; \alpha) = \frac{1}{2} \|w\|^2 - \sum_{i=1}^n \alpha_i \{[\langle w, x_i \rangle + b] y_i - 1\} \quad (2.17)$$

α_i 'ler Lagrange çarpanlarını göstermektedir. Kritik noktaları hesaplayabilmek için, birinci dereceden kısmi türevi alınarak Lagrange fonksiyonunun optimumu hesaplanır ve ikili formda (2.18) eşitliğindeki gibi elde edilir:

$$L(w, b; \alpha) = \sum_{i=1}^n \alpha_i - \frac{1}{2} \sum_{i,j=1}^n y_i y_j \alpha_i \alpha_j \langle x_i, x_j \rangle, \quad \alpha_i \geq 0 \quad (2.18)$$

-Kuhn-Tucker (KKT) teoremine göre optimum hiper düzlem için gerekli koşullar, ayırıcı hiperdüzlemin aşağıdaki şartları sağlamasına bağlıdır [61, 62, 63]:

$$\alpha_i \{ [\langle w, x_i \rangle + b] y_i - 1 \} = 0, \quad i = 1 \dots n \quad (2.19)$$

Yalnızca hata eşitliğini sağlayan x_i noktaları sıfırdan farklı Lagrange çarpanları olan α_i 'lere sahip olabilirler. Bu noktalar Destek Vektörleri olarak adlandırılır. Eğer veriler, doğrusal olarak birbirinden ayrılabilirse, tüm destek vektörleri en büyük boşluk boyunca yer alacaktır ve dolayısıyla destek vektörlerinin sayısı az olacaktır.

(2.19)'da verilen eşitliğin çözümü için kuadratik programlama optimizasyon teknikleri ve ileri sayısal çözüm yöntemleri gerekir. Bunun sonucunda elde edilen $\alpha = (\alpha_1; \dots; \alpha_n)$ vektörü, optimum ayırma hiper düzlemi aşağıdaki eşitlikteki gibidir:

$$w = \sum_{DV} \alpha_i x_i y_i \quad \text{ve} \quad b = -\frac{1}{2} w[x_r, x_s] \quad (2.20)$$

Burada x_r ve x_s her bir sınıfa ait Destek Vektörlerini (DV) temsil etmektedir. Sonuç olarak sınıflandırıcı aşağıdaki genel formda gösterilir.

$$f(x) = \text{sign}(\langle w, x \rangle + b) = \text{sign}\left(\sum_{DV} y_i \alpha_i \langle x_i, x \rangle + b\right) \quad (2.21)$$

2.3.3.1.2. Doğrusal Olarak Ayrılamama Durumu

Verilerin doğrusal bir düzlemle ayrılamaması durumunda negatif olmayan ve hataları ifade eden ξ_i gevşek değişkenlerinin optimizasyon modeline eklenmesi sağlanarak soruna çözüm aranır. Gevşek değişkenler kısıtlardaki sapma oranını ölçerler. Marjini yani en büyük boşluk mesafesini maksimize ederek, kısıtlardaki sapma oranına denk düşen bir ceza parametresi belirlenir. Problem aşağıdaki hale dönüşür;

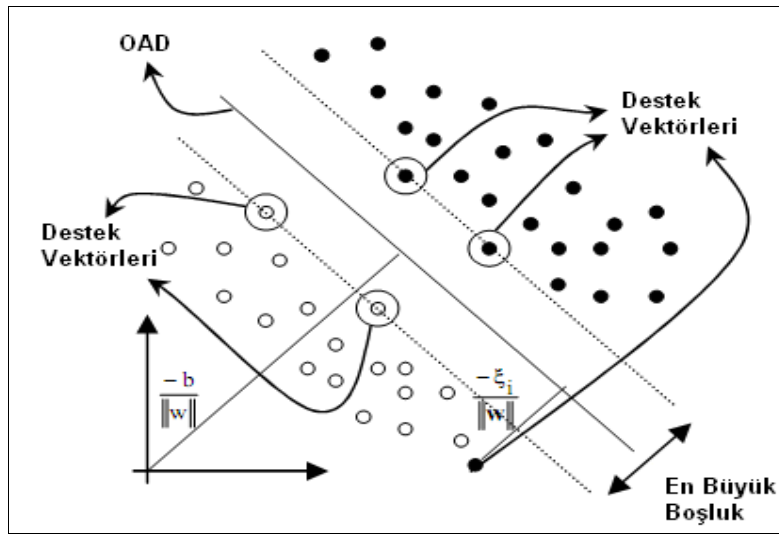
$$y_i [\langle w, x_i \rangle + b] \geq 1 - \xi_i, \quad \xi_i \geq 0 \quad i = 1 \dots n \quad (2.22)$$

olmak şartıyla,

$$g(w) = \frac{1}{2} \|w\|^2 + C(\sum \xi_i) \quad (2.23)$$

denklemini minimum yapar.

(2.23) denklemi, iki hedef olan, büyük marjlinli bir hiperdüzlem bulma ($\frac{1}{2} \|w\|^2$ 'yi minimum yapma) ve veriyi en iyi şekilde ayıran hiperdüzlemi bulma (ξ_i 'yi minimum yapma) arasında bir değiş tokuşu ifade eder. C ceza parametresi yanlış sınıflandırma hatasını kontrol eder ve kullanıcı tarafından seçilir. Şekil 2.9 'da doğrusal olarak ayrılamayan iki sınıfa ait sınıflandırma örneği görülmektedir. Beyaz ve siyah noktalar ayrı iki sınıfı temsil etmektedir. Doğrusal olarak ayrılan verilerde, her sınıfa ait veri optimum ayırma düzleminin her iki tarafına düşmesine rağmen burada bir tane ξ_i ile ölçülen yanlış sınıflandırma mevcuttur. Optimum ayırma düzlemi ile doğru sınıflandırılmayan veri arasındaki mesafe $\xi_i / \|w\|$ eşitliği ile verilir.



Şekil 2.9. Doğrusal olarak ayrılamama durumu

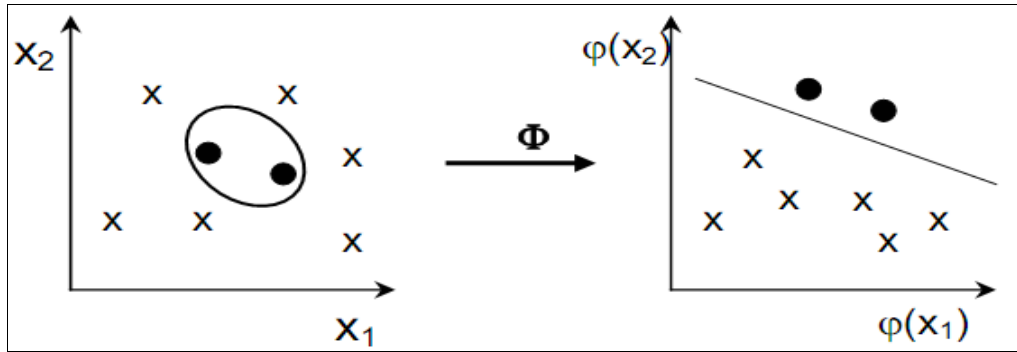
(2.23) denklemindeki optimizasyon probleminin çözümü için Lagrange ifadesinin yeniden oluşturulması gerekir:

$$L(w, b; \alpha) = \frac{1}{2} \|w\|^2 + C \left(\sum_{i=1}^n \xi_i \right) - \sum_{i=1}^n \alpha_i \{ [\langle w, x_i \rangle + b] y_i - 1 + \xi_i \} - \sum_{i=1}^n \mu_i \xi_i \quad (2.24)$$

Burada α_i ve μ_i Lagrange çarpanlarıdır ve α_i değerleri $0 \leq \alpha_i \leq C$ aralığıyla sınırlıdır. Daha önce olduğu gibi bu problemin çözümü de bu Lagrange fonksiyonunun kritik noktalarının tespiti ile mümkündür.

Doğrusal olmayan özellik uzayı durumunda, Destek Vektör Makinesi gözlem vektörü x 'i daha büyük boyutlu bir özellik uzayına taşır, bunu yaparken kendisine doğrusal olmayan bir taşıma yöntemi seçer (Φ). Daha sonra Destek Vektör Makinesi bu büyük boyutlu uzayda Şekil 2.10 'daki gibi bir doğrusal optimum ayırma düzlemi oluşturur. Bu durumda (2.17) deki optimizasyon problemine ait denklem aşağıdaki hale dönüşür:

$$L(w, b; \alpha) = \sum_{i=1}^n \alpha_i - \frac{1}{2} \sum_{i,j=1}^n y_i y_j \alpha_i \alpha_j \langle \varphi(x_i), \varphi(x_j) \rangle \quad (2.25)$$



Şekil 2.10. Gözlem uzayındaki verilerin doğrusal ayırma düzlemi oluşturacak şekilde bir özellik uzayına taşınması

Şekil 2.10.'da gözlem uzayı verilerinin doğrusal ayırma düzlemi oluşturacak şekilde bir özellik uzayına dönüştürülmesi görülmektedir. Soldaki şekilde doğrusal olarak ayrılamayan iki sınıflı veri görülmektedir. Sağda ise, gözlem uzayının doğrusal sınıflandırıcı ile ayrılabilirdiği dönüştürülmüş özellik uzayı görülmektedir [60-62].

Bu çalışmada destek vektör makinesi doğrusal olarak ayıramayan verilerin ikili sınıflandırılmasında kullanılmıştır. EEG verilerinin DVM ile sınıflandırılmasında eğitim ve sınıflandırma işlemleri MATLAB programı kullanılarak yapılmıştır.

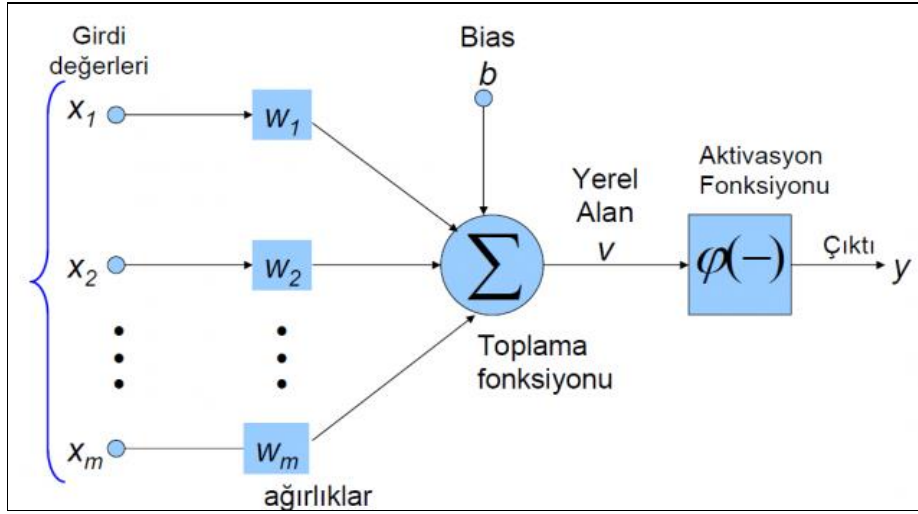
2.3.3.2. Yapay Sinir Ağları ile Sınıflandırma

Yapay sinir ağları (YSA), insan beyninin özelliklerinden olan öğrenme yolu ile yeni bilgiler türetebilme, yeni bilgiler oluşturabilme gibi yetenekleri, herhangi bir yardım almadan otomatik olarak gerçekleştirebilmek amacı ile geliştirilen bilgisayar sistemleridir. Bu konu üzerindeki çalışmalar ilk olarak beyni oluşturan biyolojik üniteler olan nöronların modellenmesi ve bilgisayar sistemlerinde uygulanması ile başlamış, daha sonraları bilgisayar sistemlerinin gelişimine de paralel olarak birçok alanda kullanılır hale gelmiştir. Karar hızı açısından insan beyni ile henüz yarışamaları bile, YSA'lar yapısallıkları ve hassas eşleştirmelerin başarı ile gerçekleştirebilmeleri ile gün geçtikçe daha fazla uygulama alanı bulmaktadır [63-66].

2.3.3.2.1. Yapay Sinir Hücresinin Yapısı

Yapay sinir hücreleri biyolojik sinir hücrelerine benzer yapıdadır. Yapay nöronlar da aralarında bağ kurarak yapay sinir ağlarını oluştururlar. Aynı biyolojik nöronlarda olduğu gibi yapay nöronların da giriş sinyallerini aldıkları, bu sinyalleri toplayıp işledikleri ve çıktılarını ilettikleri bölümleri bulunmaktadır (Şekil 2.11). Bir yapay sinir hücresi beş bölümden oluşmaktadır;

1. Girdi değerleri
2. Ağırlıklar
3. Toplama fonksiyonu (Birleştirme fonksiyonu)
4. Aktivasyon fonksiyonu
5. Çıktı değerleri



Şekil 2.11. Yapay sinir hücresinin yapısı

Girdi Değerleri: Girdiler nöronlara gelen verilerdir. Bu girdilerden gelen veriler biyolojik sinir hücrelerinde olduğu gibi toplanmak üzere nöron çekirdeğine gönderilir.

Ağırlıklar: Yapay sinir hücresine gelen bilgiler girdiler üzerinden çekirdeğe ulaşmadan önce geldikleri bağlantıların ağırlığıyla çarpılarak çekirdeğe iletilir. Bu sayede girdilerin üretilen çıktı üzerindeki etkisi ayarlanabilmektedir. Bu ağırlıkların değerleri pozitif, negatif veya sıfır olabilir. Ağırlığı sıfır olan girdilerin çıktı üzerinde herhangi bir etkisi olmamaktadır.

Toplama Fonksiyonu (Birleştirme Fonksiyonu): Toplama fonksiyonu bir yapay sinir hücresine ağırlıklarla çarpılarak gelen girdileri toplayarak o hücrenin net girdisini hesaplayan bir fonksiyondur.

Aktivasyon Fonksiyonu: Bu fonksiyon hücreye gelen net girdiyi işleyerek hücrenin bu girdiye karşılık üreteceği çıktıyı belirler. Aktivasyon fonksiyonu genellikle doğrusal olmayan bir fonksiyon seçilir. Yapay sinir ağlarının bir özelliği olan “doğrusal olmama” aktivasyon fonksiyonlarının doğrusal olmama özelliğinden gelmektedir. Günümüzde en yaygın olarak kullanılan “Çok katmanlı algılayıcı” modelinde genel olarak aktivasyon fonksiyonu olarak “Sigmoid fonksiyonu” kullanılır.

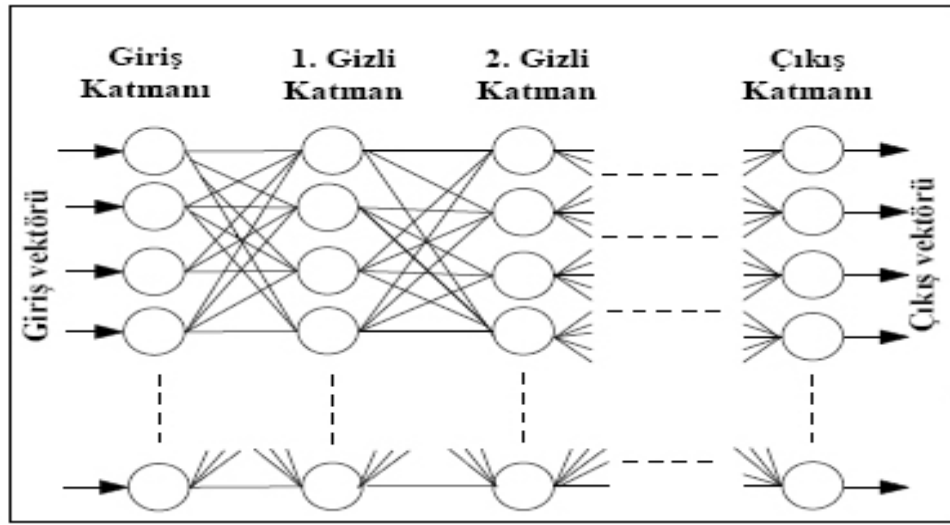
Çıktı Değerleri: Aktivasyon fonksiyonundan çıkan değer hücrenin çıktı değeri olmaktadır. Bu değer ister yapay sinir ağının çıktısı olarak dış dünyaya verilsin isterse tekrardan ağın içinde kullanılabilir. Her hücrenin birden fazla girdisi olmasına rağmen bir tek çıktısı olmaktadır. Bu çıktı istenilen sayıda hücreye bağlanabilir [63, 64].

2.3.3.2.2. Yapay Sinir Ağının Yapısı

Yapay sinir ağı yapay sinir hücrelerinin birbirine bağlanmasıyla oluşan yapıdır.

Yapay sinir ağı üç ana katmanda incelenir;

1. Giriş Katmanı,
2. Ara (Gizli) Katmanlar,
3. Çıkış Katmanı



Şekil 2.12. Yapay sinir ağının yapısı

Giriş Katmanı: Yapay sinir ağına dış dünyadan girdilerin geldiği katmandır. Bu katmanda dış dünyadan gelecek giriş sayısı kadar hücrenin bulunmasına rağmen genelde girdiler herhangi bir işleme uğramadan alt katmanlara iletilmektedir.

Ara (Gizli) Katman(lar): Giriş katmanından çıkan bilgiler bu katmana gelir. Ara katman sayısı ağdan ağa değişebilir. Ara katmanlardaki nöron sayıları giriş ve çıkış sayısından bağımsızdır. Birden fazla ara katman olan ağlarda ara katmanların kendi aralarındaki hücre sayıları da farklı olabilir.

Çıkış Katmanı: Ara katmanlardan gelen bilgileri işleyerek ağın çıktılarını üreten katmandır. Bu katmanda üretilen çıktılar dış dünyaya gönderilir. Geri beslemeli ağlarda bu katmanda üretilen çıktı kullanılarak ağın yeni ağırlık değerleri hesaplanır [63-65].

2.3.3.2.3. Yapay Sinir Ağlarının Eğitilmesi

Yapay sinir ağlarının öğrenme sürecinde dış ortamdan girişler alınır, aktivasyon fonksiyonundan geçirilerek bir tepki çıkışı üretilir. Bu çıkış yine tecrübeyle verilen çıkışla karşılaştırılarak hata bulunur. Çeşitli öğrenme algoritmalarıyla hata azaltılıp gerçek çıkışa yaklaşılmaya çalışılır. Bu çalışma süresince yenilenen yapay sinir ağının ağırlıklarıdır. Ağırlıklar her bir çevrimde yenilenerek amaca ulaşılmaya çalışılır. Amaca ulaşmanın veya yaklaşmanın ölçüsü de yine dışarıdan verilen bir değerdir. Eğer yapay sinir ağı verilen giriş-çıkış çiftleriyle amaca ulaşmış ise ağırlık değerleri saklanır.

Ağırlıkların sürekli yenilenerek istenilen sonuca ulaşılan kadar geçen zamana öğrenme adı verilir. Yapay sinir ağı öğrendikten sonra daha önce verilmeyen girişler verilip, sinir ağı çıkışıyla gerçek çıkış yaklaşımı incelenir. Eğer yeni verilen örneklere de doğru yaklaşıyorsa, sinir ağı işi öğrenmiş demektir. Sinir ağına verilen örnek sayısı optimum değerden fazla ise sinir ağı işi öğrenmemiş, ezberlemiş demektir.

1. *Örneklerin toplanması:* Ağın öğrenmesi istenilen olay için daha önce gerçekleşmiş örneklerin bulunması adımıdır. Ağın eğitilmesi için örnekler toplandığı gibi (eğitim seti) ağın test edilmesi için de örneklerin (test seti) toplanması gerekmektedir. Eğitim setindeki örnekler tek tek gösterilerek ağın olayı öğrenmesi sağlanır. Ağ olayı öğrendikten sonra test setindeki örnekler gösterilerek ağın performansı ölçülür. Hiç görmediği örnekler karşısındaki başarısı ağın iyi öğrenip öğrenmediğini ortaya koyar.
2. *Ağın topolojik yapısının belirlenmesi:* Öğrenilmesi istenen olay için oluşturulacak olan ağın topolojik yapısı belirlenir. Kaç tane girdi ünitesi, kaç tane ara katman, her ara katmanda kaç tane proses eleman kaç tane çıktı eleman olması gerektiği bu adımda belirlenmektedir.
3. *Öğrenme parametrelerinin belirlenmesi:* Ağın öğrenme katsayısı, proses elemanlarının toplama ve aktivasyon fonksiyonları, momentum katsayısı gibi parametreler bu adımda belirlenmektedir.
4. *Ağırlıkların başlangıç değerlerinin atanması:* Proses elemanlarını birbirlerine bağlayan ağırlık değerlerinin ve eşik değer ünitesinin ağırlıklarının başlangıç değerlerinin atanması yapılır. Başlangıç genellikle rasgele değerler atanır. Daha sonra ağ uygun değerleri öğrenme sırasında kendisi belirler.

5. *Öğrenme setinden örneklerin seçilmesi ve ağı gösterilmesi:* Ağın öğrenmeye başlaması ve Öğrenme kuralına uygun olarak ağırlıkları değiştirmesi için ağı örnekler belirli bir düzene göre gösterilir.
6. *Öğrenme sırasında ileri hesaplamaların yapılması:* Sunulan girdi için ağın çıktı değerleri hesaplanır.
7. *Gerçekleşen çıktının beklenen çıktı ile karşılaştırılması:* Ağın ürettiği hata değerleri bu adımda hesaplanır.
8. *Ağırlıkların değiştirilmesi:* Geri hesaplama yöntemi uygulanarak üretilen hatanın azalması için ağırlıkların değiştirilmesi yapılır.
9. *Öğrenmenin tamamlanması:* İleri beslemeli sinir ağı öğrenmeyi tamamlayıncaya, yani gerçekleşen ile beklenen çıktılar arasındaki hatalar kabul edilir düzeye ininceye kadar devam eder.

Eğer ağırlıklar küçük aralıkta seçilirse o zaman da ağırlıkların doğru değerleri bulması uzun zamanlar almaktadır. Bazı problemlerin çözümü sadece 200 iterasyon sürerken bazıları 5-10 milyon iterasyon sürmektedir [66-68].

Bu tez çalışmasında YSA ile sınıflandırmada tek katmanlı bir YSA modeli Matlab ortamında oluşturulmuştur. Oluşturulan modelde öğrenme kuralı olarak geri yayılım algoritması (traingdx) kullanılmış ve bu öğrenme kuralındaki parametrelerden öğrenme oranı (learning rate, lr), maksimum iterasyon sayısı (itnum) parametreleri için en uygun değerler araştırılmıştır.

Sınıflandırma işlemi esnasında toplam veri seti, eğitim, doğrulama ve test verileri olmak üzere üçe ayrılmıştır. Her bir denemeye ait verilerin %70'i eğitime, %5'i doğrulamaya ve %25'i ise test kümesine yerleştirilerek bir çözüm yapılmıştır.

2.3.3.3. Sınıflandırma Performansı Kriteri

Bu tez çalışması kapsamında sınıflandırma performansının karşılaştırılmasında literatürde yer alan BCI (Brain Computer Interface) yarışmalarında III. veri seti olarak kabul edilmiş olan BCI IIIa hazır veri seti kullanılmıştır. Bu veri setinin seçilme nedeni ise deneysel çalışmamızda kullanılan veri setine BCI IIIa veri setinin hem deneysel kayıtları aşamasında hem de uygulanan görevlerin benzerlik taşımasından dolayı kıyaslama yapmanın doğru olduğu düşünülerek seçilmiştir. BCI IIIa veri setini şu şekilde

tanımlayabiliriz: Vücudun dört farklı kısmının hareketinin hayali ile oluşturulmuş bir veri setidir. Bu hareket hayalleri sırasıyla; sol el, sağ el, ayak ve dil hareket hayalleridir. Bu çalışmada kaydedilen ve analiz edilen veri setine benzer şekilde BCI IIIa verileri kaydedilmiştir. Her bir görev için deneme süreleri 10 saniyedir. Deneyler üç katılımcı (k3b, k6b, 11b) ile gerçekleştirilmiştir. Her bir denemede örnekleme frekansı 250Hz olarak seçilmiş olup denemeler .gdf formatında kaydedilmiştir ve deneyler 64 elektrotlu bir başlıktan alınmıştır [69].

Doğruluğu kabul edilmiş olan BCI IIIa veri seti üzerine kendi veri setimize uygulanan bütün işlem adımları bire bir olarak uygulanmış ve sonuçlar birbirleri ile karşılaştırılarak, deneylerin ve analiz aşamalarının doğruluğu test edilmiştir. Ayrıca sınıflandırma performans değerlendirmesinde ise deneysel veri setinin sınıflandırma performansı, Kappa istatistiği ile ölçülmüştür.

Kappa katsayısı iki değerleyici arasındaki karşılaştırmalı uyuşmanın güvenilirliğini ölçen bir istatistik yöntemidir [70]. Doğruluğu araştırılan iki durumda aynı analiz adımları veya farklı analiz adımları uygulandığı durumlarda uyumluluk belirlenebilir. İki farklı veri sınıflandırma analizi arasındaki uyumluluğu ölçmede uyumluluğun genel yüzdesi veya etkin yüzdesi kullanılmaktadır. Bu değerler uyumluluğun ölçütlerini vermesine rağmen tesadüfen ortaya çıkan uyumluluğu hesaba katmaz. Eğer sınıflandırma sonuçları tesadüfen uyumlu oluyor ise, hiçbir şekilde gerçekten uyumlu değillerdir; sadece tesadüfen beklenenin dışındaki uyumluluğun “gerçek” uyumluluk olduğu düşünülebilir. Kappa, “gerçek” uyumluluk ölçütüdür. Kappa tesadüfen beklenenin dışındaki uyumluluğun oranını gösterir [71, 73]. Bu oran aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$\kappa = \frac{\text{gözlenen uyumluluk} - \text{tesadüfi uyumluluk}}{1 - \text{tesadüfi uyumluluk}} \quad (2.26)$$

P_o ; gözlenen uyumluluk oranı ve P_e ; rasgele beklenen uyumluluk oranı olmak üzere kappa sayısı formülasyon olarak aşağıdaki gibidir:

$$\kappa = \frac{P_o - P_e}{1 - P_e} \quad (2.27)$$

Kappa için şu değerler hemen yorumlanır:

1. $\kappa=1$: İki değerleyici tümüyle birbirine uyuşmaktadırlar.

2. $\kappa=0$: İki değerleyici için uyuşma sadece şansa ile belirlenmiştir ve diğer hallerde hiçbir uyuşma yoktur.

Landis ve Koch elde edilen κ değerlerini yorumlamak için şu tabloyu sunmuşlardır:

Tablo 2.1. Landis ve Koch'a göre kappa katsayısı yorumu

κ	Değerlendirme Aralığı
< 0	Hiç uyuşma olmaması
0.0 - 0.20	Önemsiz uyuşma olması
0.21 - 0.40	Orta derecede uyuşma olması
0.41 - 0.60	Ekseriyetle uyuşma olması
0.61 - 0.80	Önemli derecede uyuşma olması
0.81 - 1.00	Neredeyse mükemmel uyuşma olması

3. BULGULAR

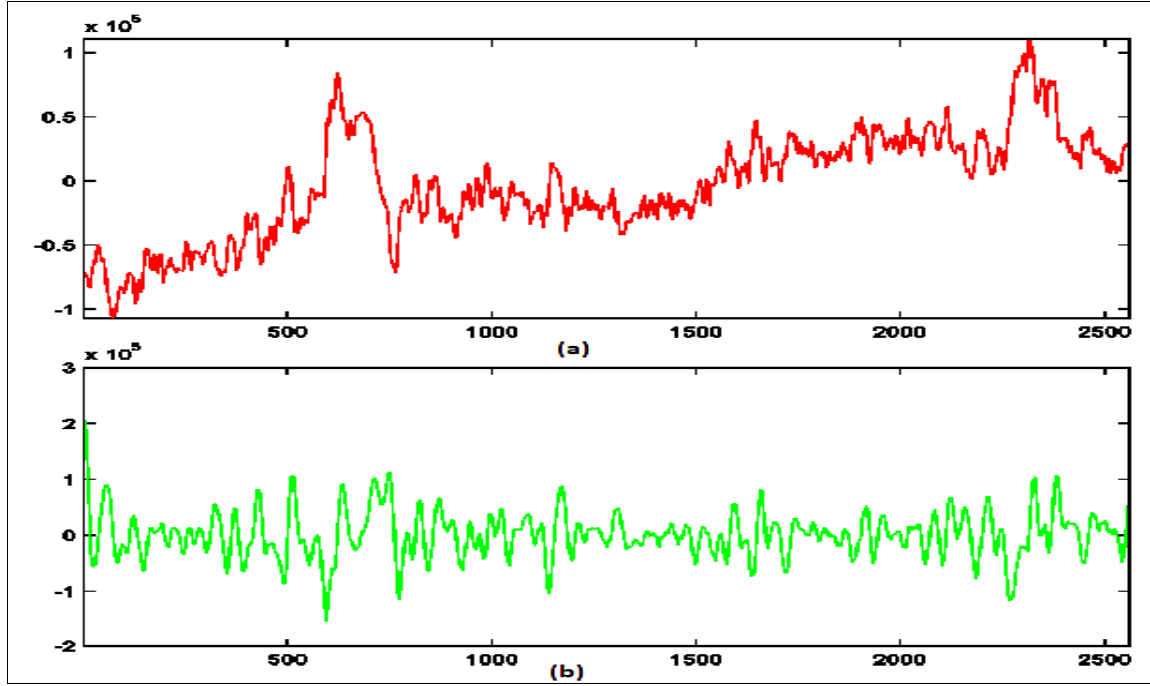
Bu bölümde, tez çalışması bünyesinde KTÜ’de gerçekleştirilen EEG deneylerine ait veriler ve literatürde bulunan hazır veri tabanından (BCI-IIIa) alınan veriler için, öz nitelik çıkarma, sınıflandırma ve sınıflandırma doğruluğu aşamalarına ait sonuçlar sunulmuştur. Her bir aşamaya ait bulgular alt bölüm başlıklarıyla ifade edilmiştir.

3.1. KTÜ Verilerine Ait Öz Niteliklerden Elde Edilen Bulgular

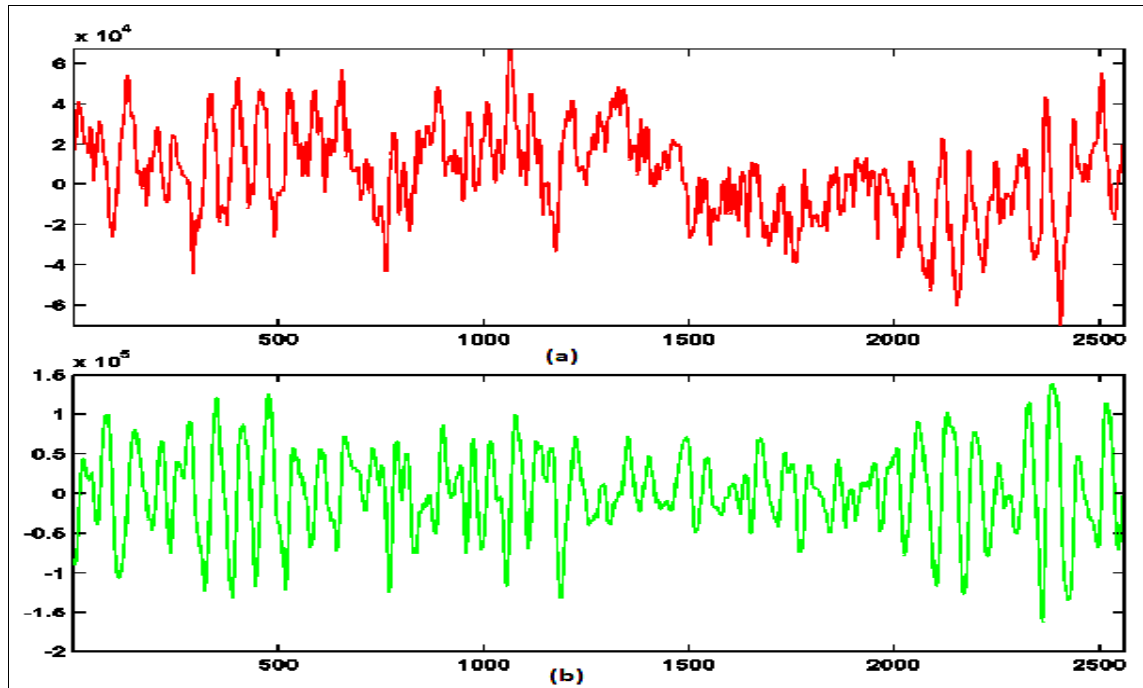
Bu tez çalışması kapsamında temel amaç, gerçek zamanlı beyin bilgisayar arayüzü uygulamasında az sayıda elektrot kullanarak etkili bir öz nitelik çıkarma yöntemine karar verebilmektir. Bu amaç doğrultusunda zihinsel, motor hareket hayali ve müzik dinleme deneyleri gerçekleştirilmiş, “Bağımsız Bileşen Analizi (ICA)” ve “Sürekli Dalgacık Dönüşüm (CWT)” yöntemleri ile öz nitelikler çıkarılmıştır. Çalışmanın bütününde elektrot sayısının azaltılması hedef alındığından, öz nitelikler ve sınıflandırma başarıları seçilen dokuz kanal için ayrı ayrı hesaplanmıştır.

3.1.1. CWT Yöntemi ile Çıkarılan Öz niteliklere Ait Bulgular

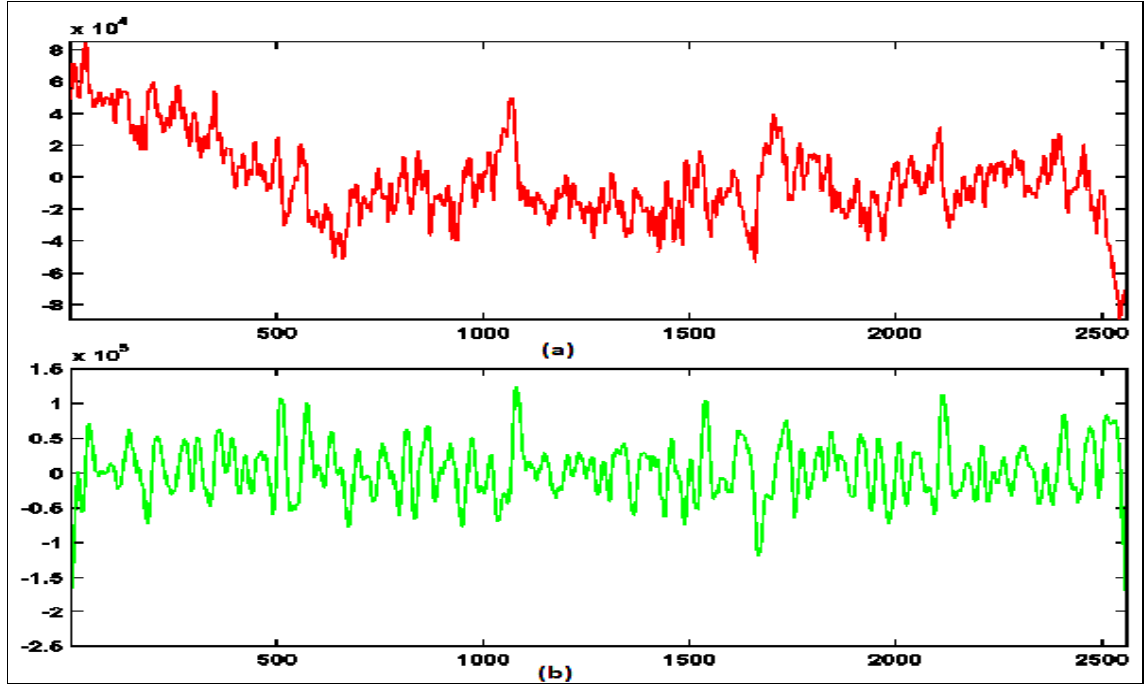
CWT yöntemi ile çıkarılan öz nitelikler belirlenen yedi görev ve altı katılımcı için ayrı ayrı elde edilmiştir. Şekil 3.1-3.7, rastgele seçilen bir denek ve rastgele seçilen bir deneme için, F3 elektrotundaki (a) ham sinyal ve (b) bu sinyal üzerine uygulanan sürekli dalgacık dönüşümü sonucunda ötelenip, ölçeklenen öz nitelik olarak elde edilmiş \underline{C} korelasyon katsayı sinyalini göstermektedir.



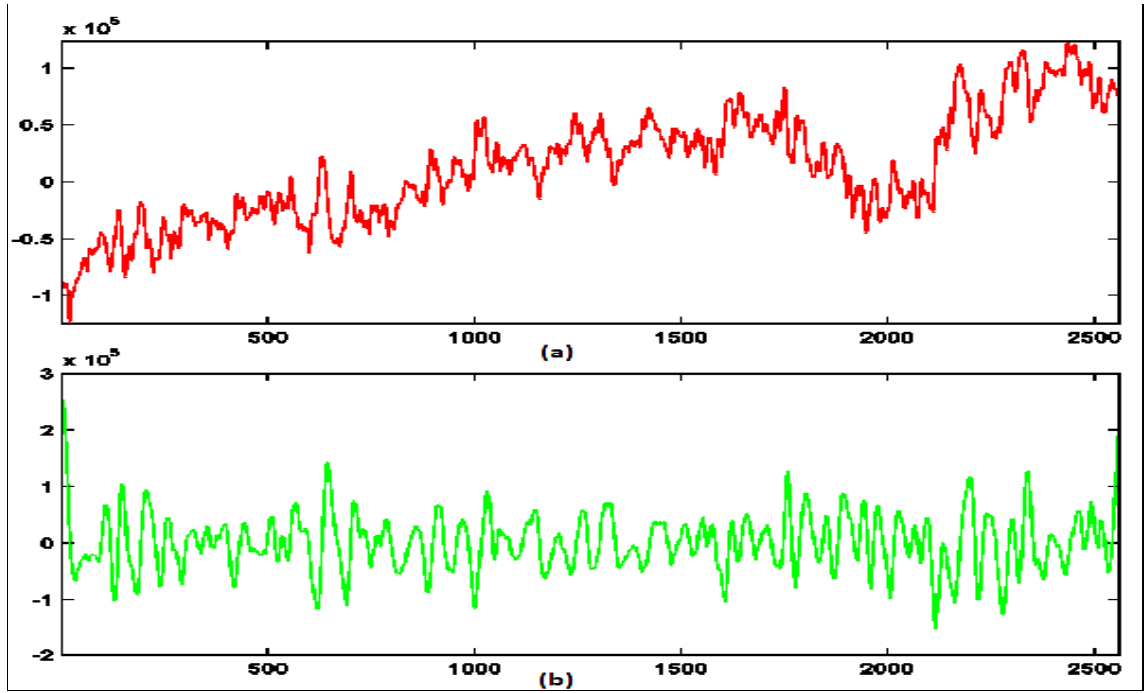
Şekil 3.1. Rahat durum görevi



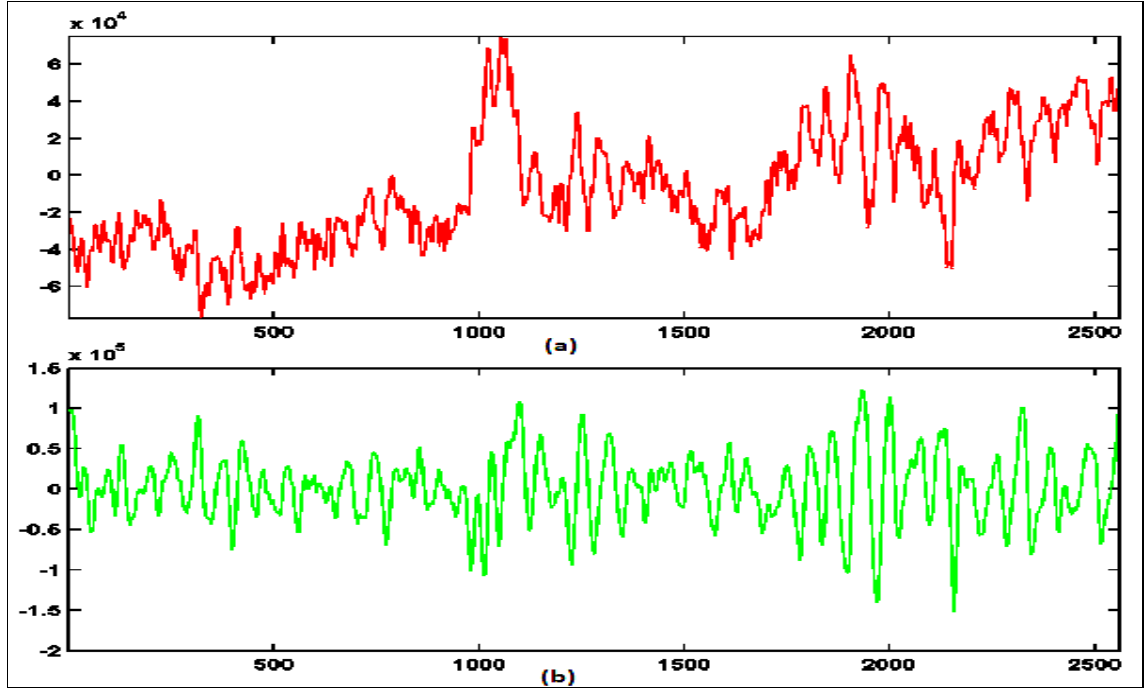
Şekil 3.2. Matematiksel işlem görevi



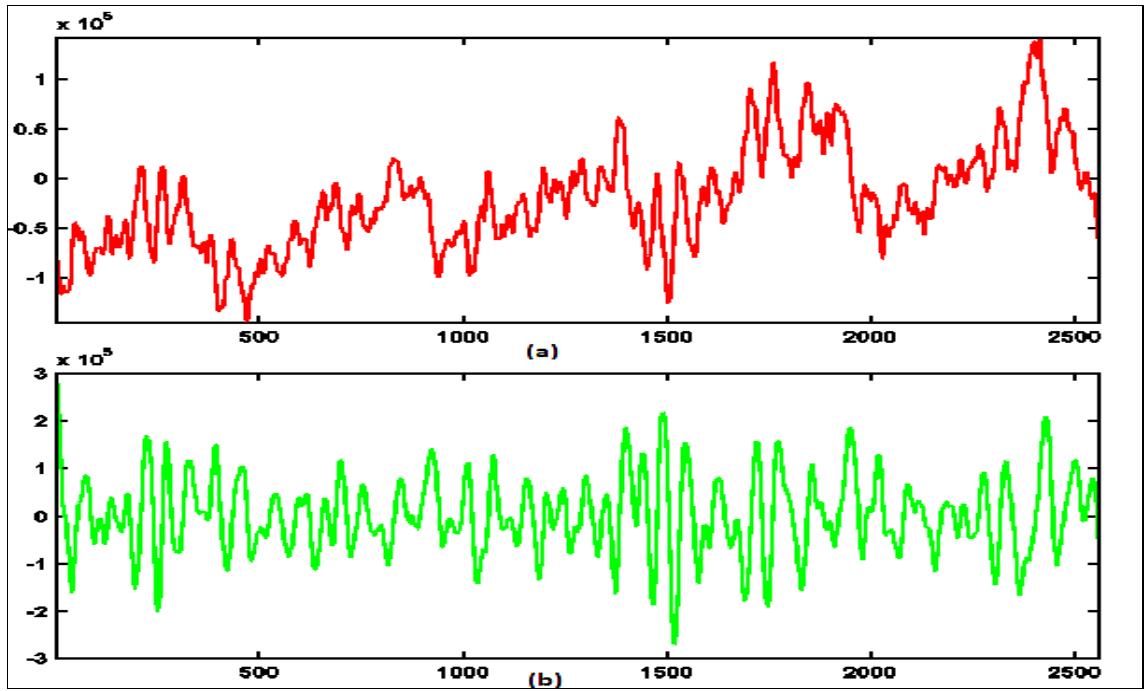
Şekil 3.3. Sağ el hareketi hayali görevi



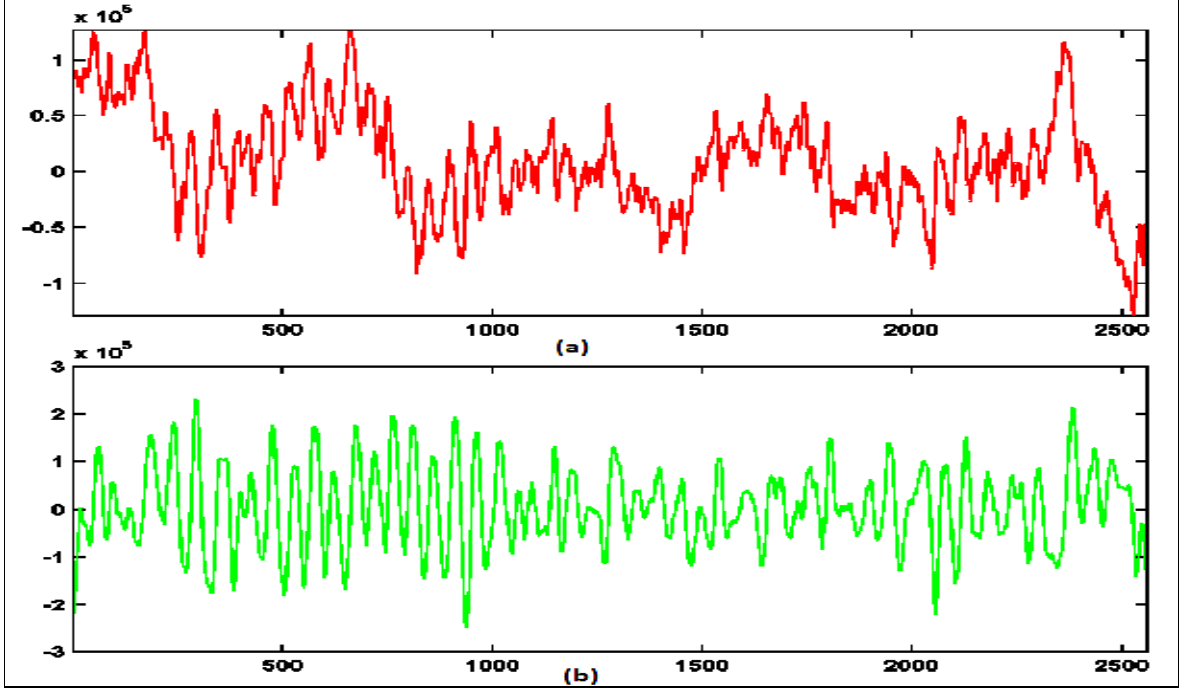
Şekil 3.4. Sol el hareketi hayali görevi



Şekil 3.5. A harfi hayali görevi



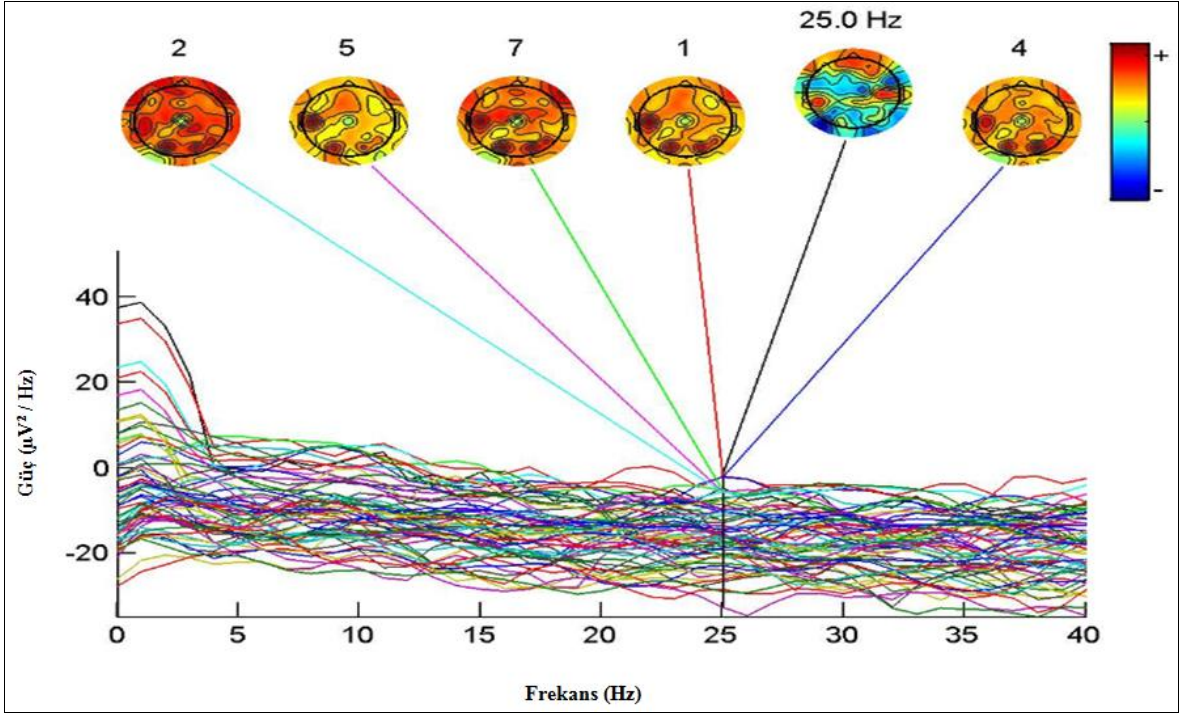
Şekil 3.6. Klasik müzik dinleme görevi



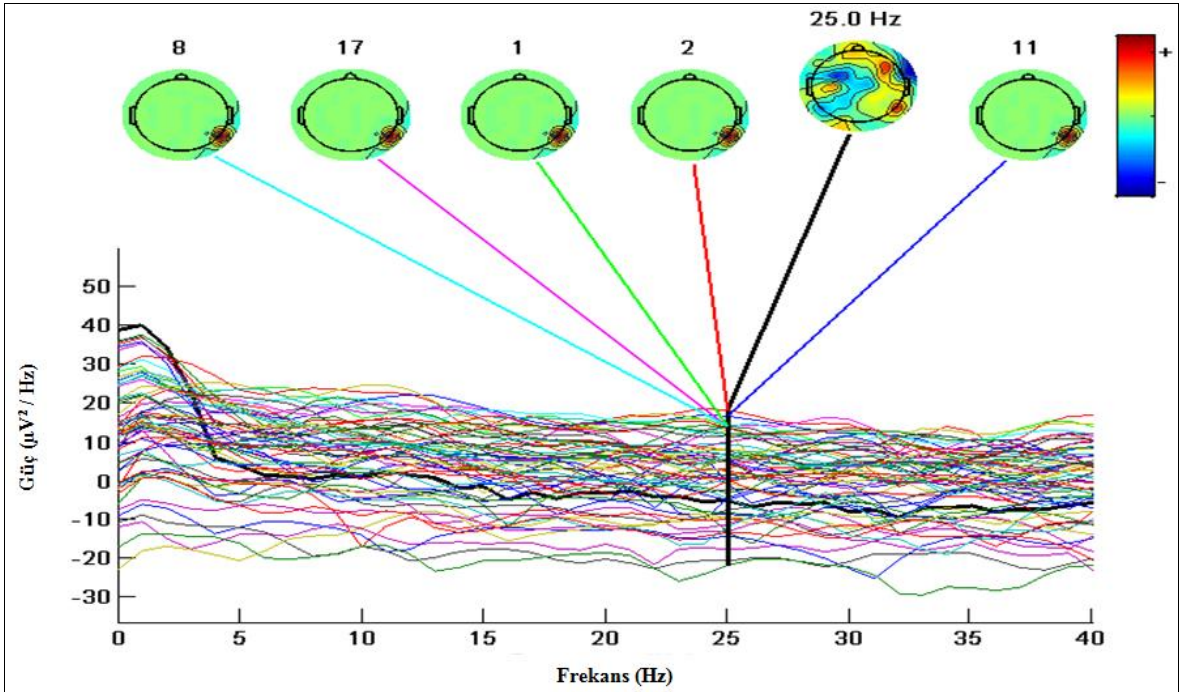
Şekil 3.7. Rock müzik dinleme görevi

3.1.2. ICA Yöntemi ile Çıkarılan Özniteliklere Ait Bulgular

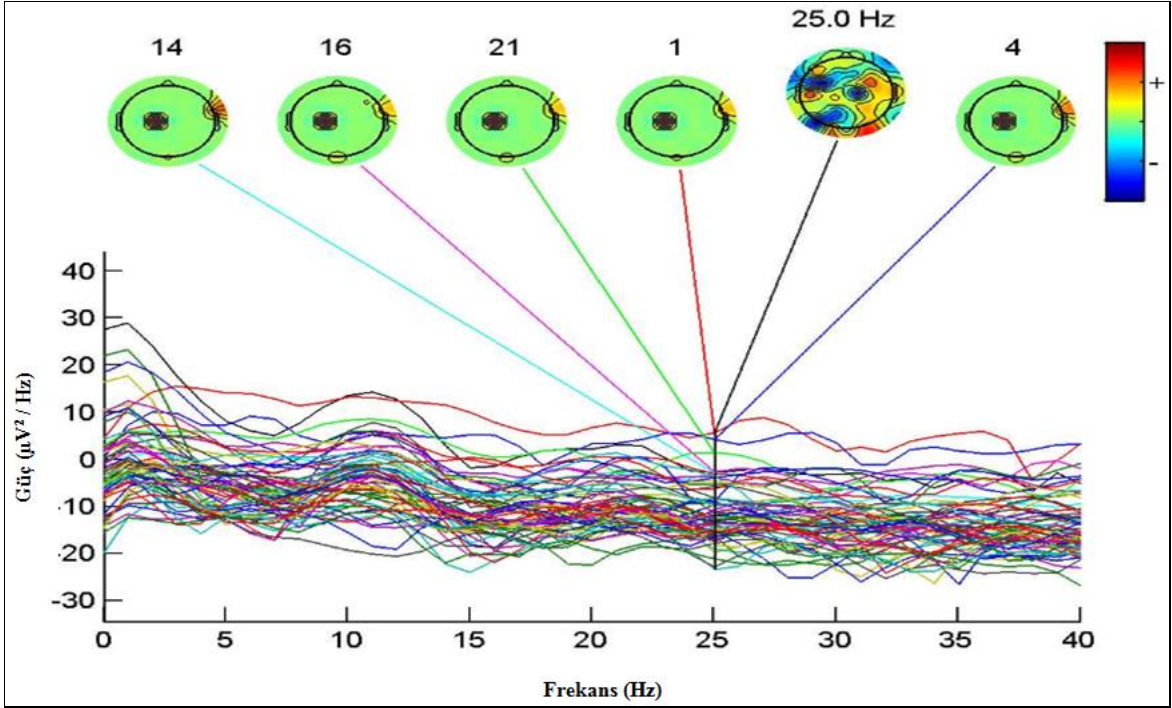
ICA yöntemi ile tüm katılımcılar için, yedi göreve ait verilere uygulanan analiz sonucunda, ICA katsayı vektörleri elde edilmiştir. Rastgele bir katılımcı için incelenen görevin beynin hangi bölgesinde en aktif (spektral yoğun) olduğunu gösteren, EEGLAB programında seçilen 2-25 Hz frekanslardaki topografik görüntüleri Şekil 3.8-3.14'de gösterilmektedir.



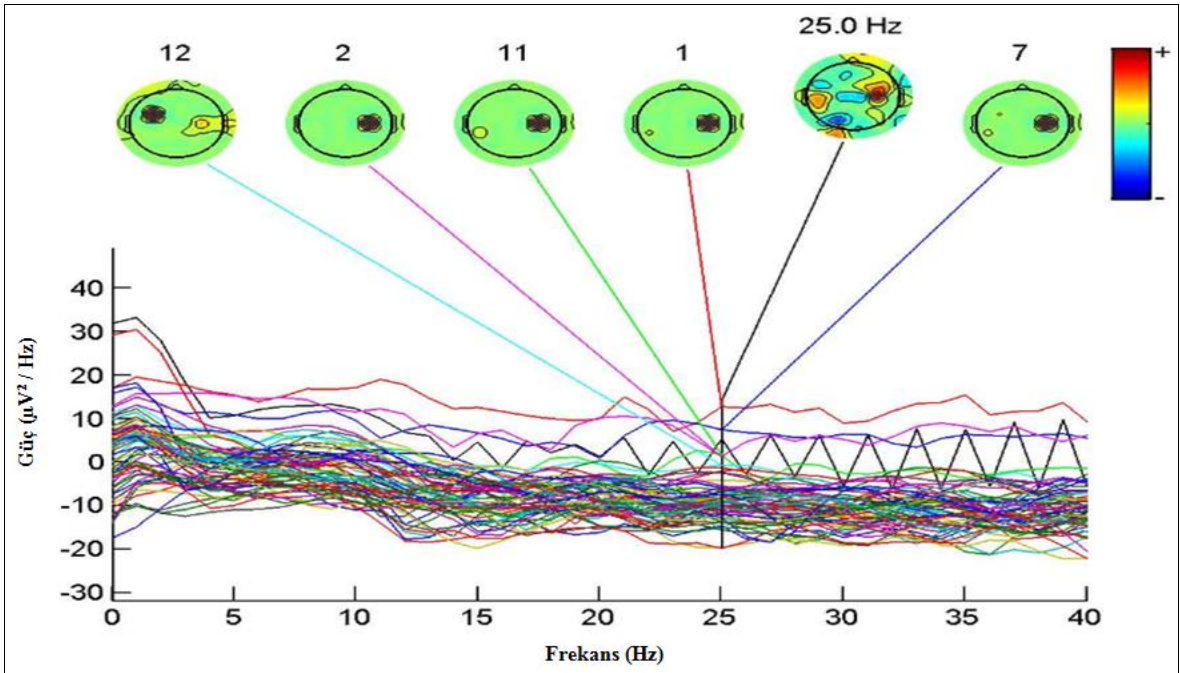
Şekil 3.8. Rahat durum



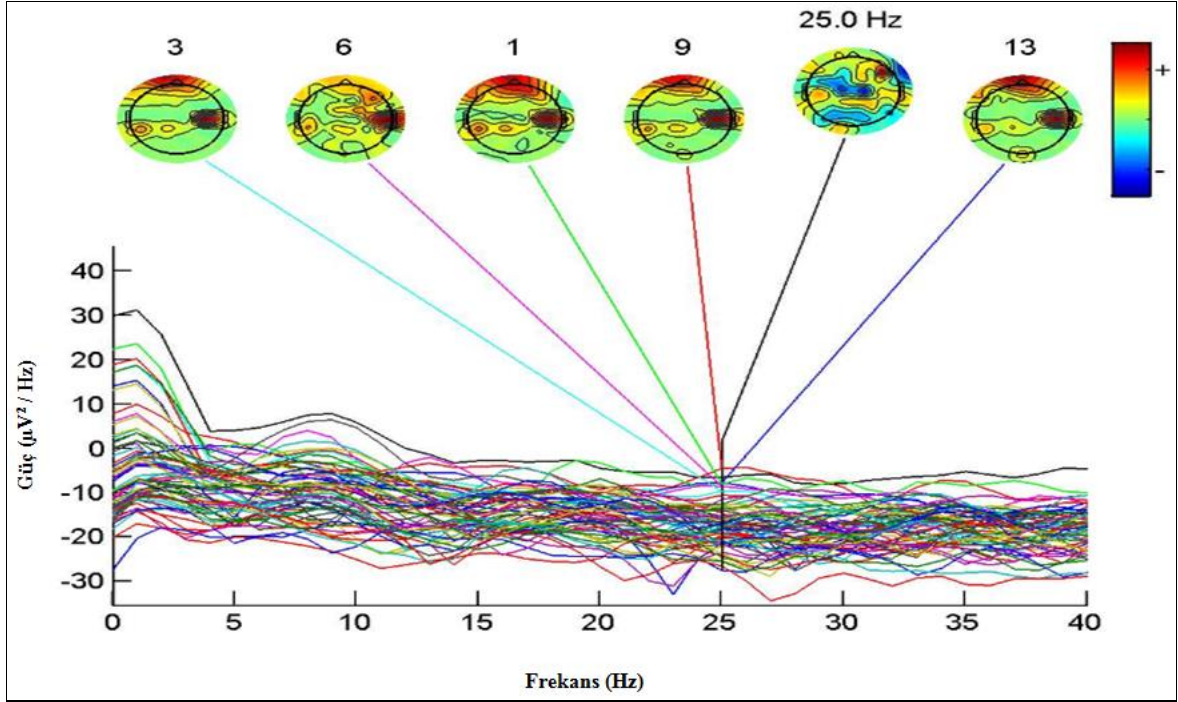
Şekil 3.9. Problem çözümü



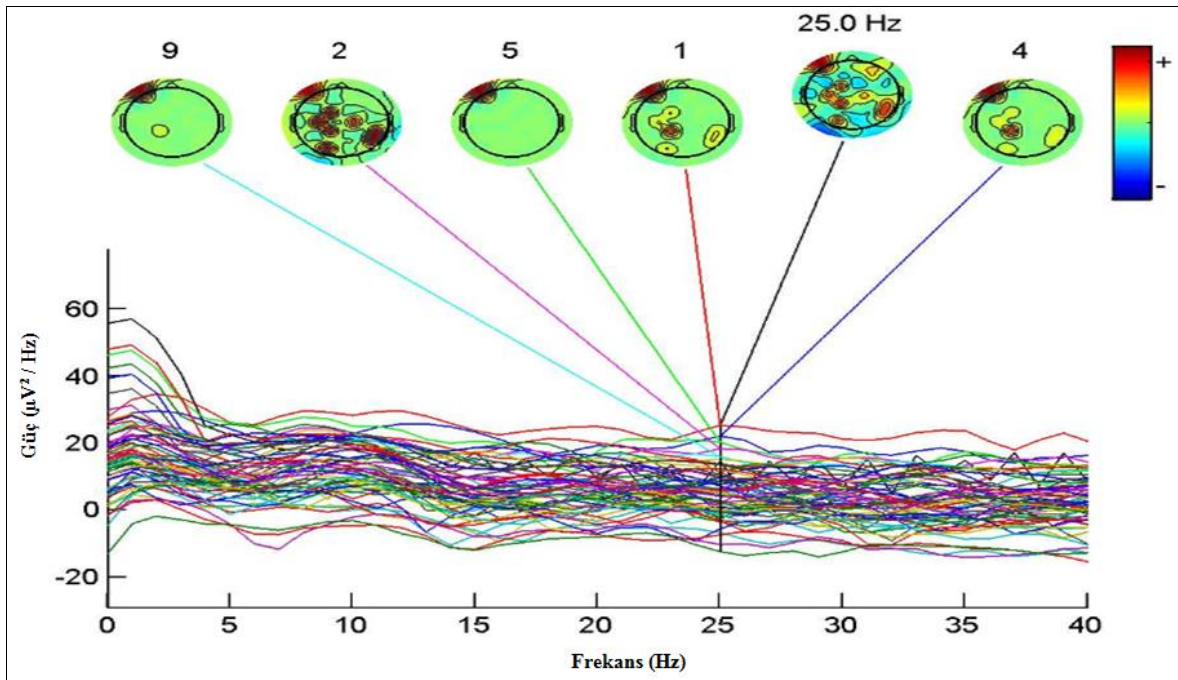
Şekil 3.10. Sağ el hareketi hayali



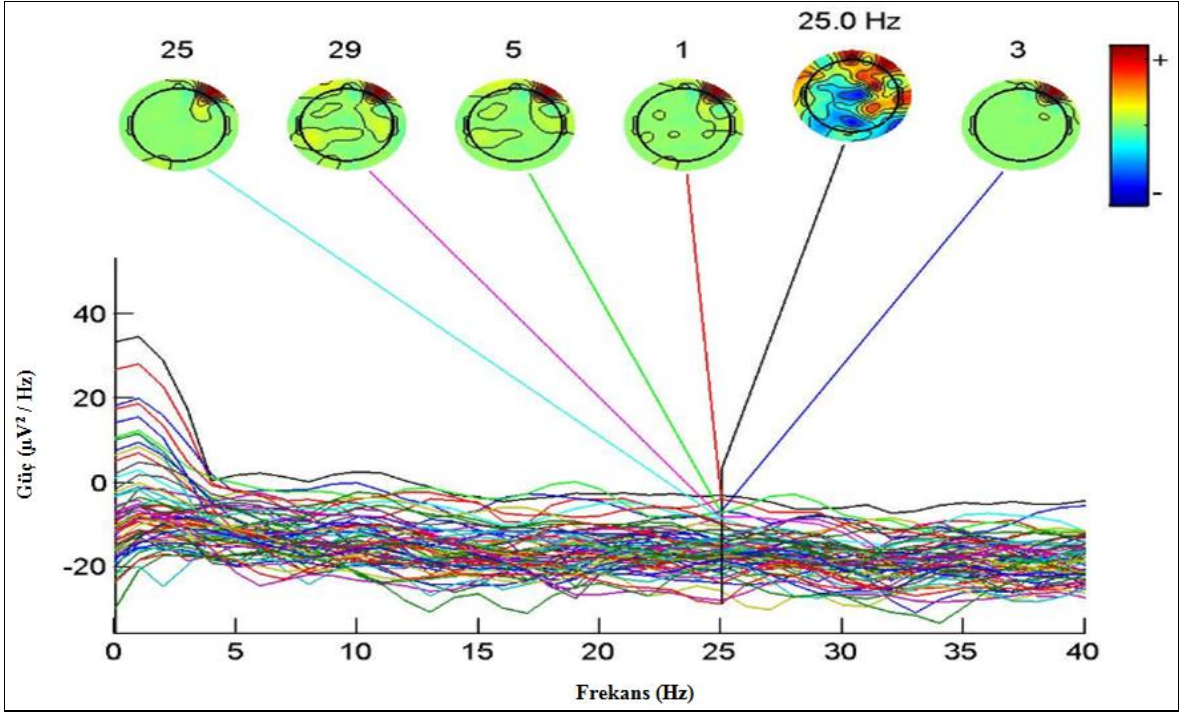
Şekil 3.11. Sol el hareketi hayali



Şekil 3.12. A harfi hayali



Şekil 3.13. Klasik müzik dinleme



Şekil 3.14. Rock müzik dinleme

3.1.3. KTÜ Verilerinin Sınıflandırma Sonuçlarına Ait Bulgular

Sinyal analizi sistemlerinin son aşaması olan sınıflandırma işleminde, bir önceki sinyal işleme adımında çıkarılan öznitelik vektörleri bir sınıflandırıcıya gönderilerek, sınıflandırma performansı belirlenir. Sınıflandırma sonuçlarının başarımı, öznitelik çıkarma ve sınıflandırma yöntemlerinin türüne bağlı olarak değişmektedir.

Bu tez çalışması kapsamında sınıflandırma performansları, BBA uygulamalarında sıklıkla tercih edilen Destek Vektör Makinesi ve Yapay Sinir Ağları sınıflandırma yöntemleri ile değerlendirilmiştir. İkili sınıflandırma işlemi için seçilen sınıflandırıcılar uygulama kolaylığı ve kısa sürede veri işleme ve sonuç verme kriterleri göz önüne alınarak seçilmiştir. Sınıflandırma işleminde farklı iki görevi temsil eden veri grubuna ait 70'er eğitim seti rastgele seçilmiştir. Daha sonra bu iki veri grubundan sınıflandırma başarısı ölçülecek göreve ait veri grubundan eğitim verilerinden farklı olan 30 test verisi ile sistem test edilmiştir. Bu değerlendirmeler sonucunda elde edilen ikili sınıflandırma performansları seçilen dokuz elektrot için tablolar halinde sunulmuştur. Altı katılımcı için DVM ile ikili sınıflandırma performansları Tablo 3.1-3.6'da dokuz kanal için sunulmuştur.

Tablolardaki yerleşim düzeni, en soldaki sütun birbiriyle karşılaştırılan görevlerin isimlerini, ikinci sütun test setinin hangi göreve ait olduğunu, üçüncü sütun öznelik yöntemini ve geri kalan dokuz sütun da seçilen her bir elektrot kanalındaki sınıflandırma yüzdesini gösterecek şekilde belirlenmiştir. Katılımcılar için K1, K2, K3, K4, K5 ve K6 kısaltmaları kullanılmıştır. Tablo 3.7, her bir görevin elektrot bazında ortalama sınıflandırma performansını göstermektedir.

YSA yöntemi ile ikili sınıflandırma performansları Tablo 3.8-3.13'te, Tablo 3.14'te ise görevlerin ortalama sınıflandırma performansları sunulmuştur.

Tablo 3.1. K1'in DVM ile ikili sınıflandırma performansı (%)

<u>Görevler</u>		<u>Elektrotlar</u>									
<u>Eğitim seti</u>	<u>Test seti</u>	<u>Öz nitelikler</u>	F3	F4	C3	C4	P3	P4	Pz	O1	O2
Rahat Durum	Rahat Durum	CWT	79	77	78	76	88	83	83	77	76
Problem Çözümü	Rahat Durum	ICA	70	65	64	67	67	74	76	71	66
Rahat Durum	Problem Çözümü	CWT	78	80	77	75	86	80	81	77	72
Problem Çözümü	Problem Çözümü	ICA	68	69	64	65	67	74	77	69	66
Rahat Durum	Rahat Durum	CWT	77	76	84	80	79	80	78	65	60
Sağ El Hayali	Rahat Durum	ICA	75	73	79	75	55	57	60	55	52
Rahat Durum	Sağ El Hayali	CWT	79	77	89	85	78	78	79	68	63
Sağ El Hayali	Sağ El Hayali	ICA	75	75	88	86	55	54	61	53	52
Rahat Durum	Rahat Durum	CWT	76	72	81	87	77	75	79	71	73
Sol El Hayali	Rahat Durum	ICA	73	75	84	86	62	65	69	69	66
Rahat Durum	Sol El Hayali	CWT	79	76	78	81	80	76	79	73	73
Sol El Hayali	Sol El Hayali	ICA	70	76	80	84	71	62	70	69	65
Rahat Durum	Rahat Durum	CWT	74	75	72	76	82	80	80	78	79
A Harfi Hayali	Rahat Durum	ICA	62	60	66	68	63	74	75	72	71
Rahat Durum	A Harfi Hayali	CWT	70	75	70	76	80	82	87	85	85
A Harfi Hayali	A Harfi Hayali	ICA	61	58	64	65	65	69	75	72	74
Rahat Durum	Rahat Durum	CWT	81	80	75	74	73	77	75	67	66
Klasik Müzik	Rahat Durum	ICA	84	84	67	65	64	67	66	47	46
Rahat Durum	Klasik Müzik	CWT	84	80	77	74	75	77	75	69	67
Klasik Müzik	Klasik Müzik	ICA	87	85	66	64	54	57	62	47	47
Rahat Durum	Rahat Durum	CWT	85	85	77	78	72	74	75	71	75
Rock Müzik	Rahat Durum	ICA	88	87	55	58	50	53	53	50	55
Rahat Durum	Rock Müzik	CWT	83	83	75	72	72	73	75	71	75
Rock Müzik	Rock Müzik	ICA	88	85	55	55	50	52	51	54	54

Tablo 3.1'in devamı

Problem Çözümü	Problem Çözümü	78	76	87	80	86	86	80	80	58	57
Sağ El Hayali	ICA	59	59	75	69	70	76	68	58	58	53
Problem Çözümü	CWT	79	76	88	85	88	87	80	59	59	59
Sağ El Hayali	ICA	58	60	75	70	70	74	71	58	58	55
Problem Çözümü	CWT	78	76	87	80	86	86	80	58	58	57
Sol El Hayali	ICA	59	59	75	69	70	76	68	58	58	53
Problem Çözümü	CWT	79	76	88	85	88	87	80	59	59	59
Sol El Hayali	ICA	58	60	75	70	70	74	71	58	58	55
Problem Çözümü	CWT	62	61	67	60	77	72	71	74	74	73
A Harfi Hayali	ICA	51	52	52	51	62	61	61	63	63	61
Problem Çözümü	CWT	60	64	65	60	75	75	76	77	77	76
A Harfi Hayali	ICA	51	51	53	55	63	64	65	63	63	61
Problem Çözümü	CWT	88	85	68	69	80	78	79	65	65	63
Klasik Müzik	ICA	89	89	59	60	65	63	61	51	51	57
Problem Çözümü	CWT	89	88	66	65	82	78	79	67	67	65
Klasik Müzik	ICA	89	89	58	59	65	62	62	55	55	59
Problem Çözümü	CWT	88	85	68	69	80	78	79	65	65	63
Rock Müzik	ICA	89	89	59	60	65	63	61	51	51	57
Problem Çözümü	CWT	89	88	66	65	82	78	79	67	67	65
Rock Müzik	ICA	89	89	58	59	65	62	62	55	55	59
Sağ El Hayali	CWT	69	66	79	81	65	66	69	64	64	63
Sol El Hayali	ICA	57	55	61	61	52	56	54	58	58	50
Sağ El Hayali	CWT	68	66	80	81	66	66	69	64	64	65
Sol El Hayali	ICA	57	56	62	60	54	56	55	54	54	50
Sağ El Hayali	CWT	67	66	79	76	77	79	76	77	77	78
A Harfi Hayali	ICA	50	47	67	65	60	59	60	61	61	58
Sağ El Hayali	CWT	68	69	82	80	78	80	79	78	78	78
A Harfi Hayali	ICA	55	50	67	66	62	60	62	61	61	60

Tablo 3.1'in devamı

Sağ El Hayali	CWT	90	89	87	87	70	68	70	65	67
Klasik Müzik	ICA	91	91	86	87	62	63	59	56	57
Sağ El Hayali	CWT	90	90	88	88	71	70	71	65	66
Klasik Müzik	ICA	89	90	87	86	61	63	60	57	58
Sağ El Hayali	CWT	89	88	88	89	77	74	70	67	64
Rock Müzik	ICA	90	90	89	91	65	66	60	58	60
Sağ El Hayali	CWT	89	90	89	87	75	71	70	65	64
Rock Müzik	ICA	93	90	87	87	57	56	58	60	60
Sol El Hayali	CWT	68	67	80	77	77	79	76	77	78
A Harfi Hayali	ICA	56	57	67	66	64	62	60	62	60
Sol El Hayali	CWT	68	69	82	81	78	82	77	78	78
A Harfi Hayali	ICA	55	54	67	66	62	65	62	65	65
Sol El Hayali	CWT	87	88	87	87	67	68	70	60	61
Klasik Müzik	ICA	91	91	76	77	57	63	59	56	57
Sol El Hayali	CWT	90	89	86	85	71	70	71	64	62
Klasik Müzik	ICA	93	91	77	76	61	62	60	57	58
Sol El Hayali	CWT	89	91	88	89	77	76	70	67	64
Rock Müzik	ICA	90	90	79	81	65	63	60	58	62
Sol El Hayali	CWT	90	90	89	87	75	71	70	66	64
Rock Müzik	ICA	92	89	77	77	59	59	58	55	57
A Harfi Hayali	CWT	76	75	70	73	79	78	77	75	73
Klasik Müzik	ICA	79	81	61	60	65	65	61	61	57
A Harfi Hayali	CWT	80	80	73	74	79	78	78	75	75
Klasik Müzik	ICA	85	86	65	65	63	62	61	64	60
A Harfi Hayali	CWT	79	78	66	65	69	68	67	75	73
Rock Müzik	ICA	80	81	61	60	65	65	61	61	57

Tablo 3.2. K2'nin DVM ile ikili sınıflandırma performansını (%)

<u>Görevler</u>		<u>Öz nitelikler</u>	<u>Elektrotlar</u>									
<u>Eğitim seti</u>	<u>Test seti</u>		F3	F4	C3	C4	P3	P4	Pz	O1	O2	
Rahat Durum	Rahat Durum	CWT	60	63	55	54	60	61	57	56	52	
Problem Çözümü	Rahat Durum	ICA	62	63	51	51	48	54	46	50	44	
Rahat Durum	Problem Çözümü	CWT	62	68	62	53	57	62	57	54	54	
Problem Çözümü	Problem Çözümü	ICA	61	62	57	51	53	56	46	50	47	
Rahat Durum	Rahat Durum	CWT	61	56	63	70	53	60	46	47	46	
Sağ El Hayali	Rahat Durum	ICA	52	51	63	64	51	55	37	40	36	
Rahat Durum	Sağ El Hayali	CWT	61	57	63	70	53	58	51	54	46	
Sağ El Hayali	Rahat Durum	ICA	50	52	62	60	51	53	37	38	40	
Rahat Durum	Rahat Durum	CWT	61	58	63	68	55	57	57	52	53	
Sol El Hayali	Rahat Durum	ICA	55	52	60	64	50	54	50	40	37	
Rahat Durum	Sol El Hayali	CWT	58	61	63	63	55	55	57	56	54	
Sol El Hayali	Rahat Durum	ICA	57	55	60	64	52	51	53	44	43	
Rahat Durum	Rahat Durum	CWT	50	50	63	65	62	65	57	63	60	
A Harfi Hayali	Rahat Durum	ICA	46	47	61	60	54	61	58	58	55	
Rahat Durum	A Harfi Hayali	CWT	47	48	62	65	62	64	57	62	59	
A Harfi Hayali	A Harfi Hayali	ICA	46	46	61	58	52	61	57	58	55	
Rahat Durum	Rahat Durum	CWT	73	71	62	63	52	47	49	50	47	
Klasik Müzik	Rahat Durum	ICA	66	67	62	61	42	40	47	49	46	
Rahat Durum	Klasik Müzik	CWT	74	70	62	65	50	47	49	51	47	
Klasik Müzik	Rahat Durum	ICA	65	66	63	60	41	41	46	49	46	
Rahat Durum	Rahat Durum	CWT	66	68	63	56	52	43	50	51	55	
Rock Müzik	Rahat Durum	ICA	70	65	62	57	48	47	48	47	52	
Rahat Durum	Rock Müzik	CWT	62	68	63	55	52	44	50	51	56	
Rock Müzik	Rock Müzik	ICA	66	67	61	57	49	48	47	46	52	

Tablo 3.2'nin devamı

Problem Çözümü	Problem	CWT	46	45	62	63	60	62	63	43	43
Sağ El Hayali	Çözümü	ICA	44	40	56	59	61	61	57	38	46
Problem Çözümü	Sağ El Hayali	CWT	47	44	62	64	60	62	63	43	43
Sağ El Hayali		ICA	46	41	57	59	61	61	57	38	46
Problem Çözümü	Sol El Hayali	CWT	51	47	64	61	61	66	60	47	48
Sol El Hayali		ICA	41	45	63	56	58	65	57	36	44
Problem Çözümü	Sol El Hayali	CWT	50	48	64	63	61	66	61	48	48
Sol El Hayali		ICA	41	47	63	58	59	68	56	37	45
Problem Çözümü	Problem	CWT	43	46	42	47	62	65	68	62	62
A Harfi Hayali	Çözümü	ICA	36	42	35	43	61	67	60	60	57
Problem Çözümü	A Harfi Hayali	CWT	41	45	42	44	57	62	66	60	57
A Harfi Hayali		ICA	34	40	36	40	58	63	58	59	57
Problem Çözümü	Problem	CWT	65	62	53	54	61	63	61	46	44
Klasik Müzik	Çözümü	ICA	70	60	54	52	57	65	63	42	40
Problem Çözümü	Klasik Müzik	CWT	65	61	51	50	56	62	61	46	43
Klasik Müzik		ICA	65	60	51	52	55	65	61	42	45
Problem Çözümü	Problem	CWT	63	65	54	51	62	64	61	47	48
Rock Müzik	Çözümü	ICA	66	65	50	48	60	66	60	40	43
Problem Çözümü	Rock Müzik	CWT	63	64	54	53	64	64	60	47	48
Rock Müzik		ICA	66	65	53	48	60	65	60	42	46
Sağ El Hayali	Sağ El Hayali	CWT	55	56	55	70	68	52	53	51	51
Sol El Hayali		ICA	54	51	50	70	64	44	50	40	43
Sağ El Hayali	Sol El Hayali	CWT	54	55	54	72	67	52	53	53	51
Sol El Hayali		ICA	54	51	53	68	64	46	54	40	42
Sağ El Hayali	Sağ El Hayali	CWT	44	45	64	60	63	66	60	55	54
A Harfi Hayali		ICA	42	42	61	62	61	60	57	51	53

Tablo 3.2'nin devamı

Sağ El Hayali	CWT	45	45	63	65	63	66	59	55	54
A Harfi Hayali	ICA	43	42	61	63	61	61	56	51	53
Sağ El Hayali	CWT	62	67	63	61	48	45	49	50	53
Klasik Müzik	ICA	66	68	64	62	47	47	44	46	43
Sağ El Hayali	CWT	61	66	63	65	46	45	47	49	50
Klasik Müzik	ICA	64	69	64	64	47	45	42	47	42
Sağ El Hayali	CWT	66	69	65	61	40	40	35	40	39
Rock Müzik	ICA	68	68	62	56	37	36	32	38	40
Sağ El Hayali	CWT	65	67	67	63	40	41	35	40	35
Rock Müzik	ICA	64	68	64	57	36	36	32	41	45
Sol El Hayali	CWT	46	50	64	65	66	60	63	60	59
A Harfi Hayali	ICA	47	51	60	62	60	63	65	55	57
Sol El Hayali	CWT	48	53	64	64	65	63	61	60	59
A Harfi Hayali	ICA	48	51	63	62	61	67	63	55	59
Sol El Hayali	CWT	61	67	63	60	48	45	49	50	53
Klasik Müzik	ICA	60	68	65	62	47	47	44	46	43
Sol El Hayali	CWT	61	67	63	67	47	45	47	49	50
Klasik Müzik	ICA	65	70	63	62	47	45	42	47	42
Sol El Hayali	CWT	65	72	65	61	40	40	35	42	41
Rock Müzik	ICA	66	69	62	57	39	36	38	38	40
Sol El Hayali	CWT	66	69	67	63	40	41	35	40	35
Rock Müzik	ICA	64	68	64	59	37	36	36	41	46
A Harfi Hayali	CWT	65	70	60	62	53	56	55	50	54
Klasik Müzik	ICA	65	67	54	57	42	50	46	50	49
A Harfi Hayali	CWT	63	69	62	61	55	55	54	50	54
Klasik Müzik	ICA	66	67	56	58	42	53	46	51	50

Tablo 3.2'nin devamı

A Harfi Hayali	CWT	63	61	60	62	55	55	52	57	52
Rock Müzik	ICA	65	69	53	51	47	52	46	44	48
A Harfi Hayali	CWT	60	61	63	64	56	55	52	56	52
Rock Müzik	ICA	67	70	56	53	48	53	47	44	46
Klasik Müzik	CWT	72	70	46	47	51	46	47	47	53
Rock Müzik	ICA	74	71	52	50	45	41	45	45	50
Klasik Müzik	CWT	71	70	45	48	50	46	45	47	53
Rock Müzik	ICA	70	73	50	48	44	43	47	45	51

Tablo 3.3. K3'ün DVM ile ikili sınıflandırma performansı (%)

<u>Görevler</u>		<u>Öz nitelikler</u>	<u>Elektrotlar</u>									
<u>Eğitim seti</u>	<u>Test seti</u>		F3	F4	C3	C4	P3	P4	Pz	O1	O2	
Rahat Durum	Rahat Durum	CWT	79	80	70	68	72	75	71	67	67	
Problem Çözümü	Rahat Durum	ICA	78	80	61	60	67	65	60	62	63	
Rahat Durum	Problem Çözümü	CWT	75	78	70	70	71	75	73	64	65	
Problem Çözümü	Problem Çözümü	ICA	72	77	62	60	66	65	63	62	64	
Rahat Durum	Rahat Durum	CWT	71	69	80	82	69	71	60	60	51	
Sağ El Hayali	Rahat Durum	ICA	68	68	78	79	65	68	50	55	41	
Rahat Durum	Sağ El Hayali	CWT	70	68	78	82	68	72	65	62	51	
Sağ El Hayali	Rahat Durum	ICA	65	66	76	79	64	68	55	58	49	
Rahat Durum	Rahat Durum	CWT	75	69	78	80	70	73	69	66	60	
Sol El Hayali	Rahat Durum	ICA	72	64	75	79	67	69	57	58	57	
Rahat Durum	Sol El Hayali	CWT	77	72	77	78	70	72	70	66	65	
Sol El Hayali	Rahat Durum	ICA	75	66	70	74	68	68	68	59	59	
Rahat Durum	Rahat Durum	CWT	66	64	81	79	79	77	76	77	77	
A Harfi Hayali	Rahat Durum	ICA	62	60	75	72	70	74	73	73	72	
Rahat Durum	A Harfi Hayali	CWT	67	66	80	80	78	77	78	77	77	
A Harfi Hayali	Rahat Durum	ICA	62	61	75	74	70	76	74	73	72	
Rahat Durum	Rahat Durum	CWT	82	81	75	76	63	62	65	64	67	
Klasik Müzik	Rahat Durum	ICA	83	82	76	75	59	60	66	67	66	
Rahat Durum	Klasik Müzik	CWT	83	82	74	75	65	63	65	66	69	
Klasik Müzik	Rahat Durum	ICA	85	82	77	75	60	64	66	67	68	
Rahat Durum	Rahat Durum	CWT	80	81	75	74	58	59	64	66	64	
Rock Müzik	Rock Müzik	ICA	80	82	77	75	59	61	64	65	65	
Rahat Durum	Rahat Durum	CWT	81	81	74	74	60	60	65	66	66	
Rock Müzik	Rock Müzik	ICA	82	83	76	75	61	60	64	67	65	

Tablo 3.3'ün devamı

Problem Çözümü	CWT	60	60	76	78	77	75	59	60
Sağ El Hayali	ICA	55	59	75	76	77	72	58	62
Problem Çözümü	CWT	58	60	75	79	78	76	59	60
Sağ El Hayali	ICA	54	59	75	77	77	71	58	62
Problem Çözümü	CWT	65	64	78	79	79	75	60	63
Sol El Hayali	ICA	58	60	76	77	76	72	57	62
Problem Çözümü	CWT	65	64	78	79	79	75	60	63
Sol El Hayali	ICA	58	60	76	77	76	72	57	62
Problem Çözümü	CWT	61	59	60	61	79	80	78	79
A Harfi Hayali	ICA	58	59	55	60	79	79	76	76
Problem Çözümü	CWT	60	59	58	61	79	80	78	78
A Harfi Hayali	ICA	60	60	57	63	79	81	77	76
Problem Çözümü	CWT	81	80	65	69	79	77	60	61
Klasik Müzik	ICA	83	82	68	69	79	76	58	62
Problem Çözümü	CWT	82	81	67	69	80	79	59	60
Klasik Müzik	ICA	83	82	68	70	79	77	57	61
Problem Çözümü	CWT	79	79	66	69	79	75	60	60
Rock Müzik	ICA	80	81	68	69	78	76	59	61
Problem Çözümü	CWT	78	78	67	69	80	79	59	58
Rock Müzik	ICA	79	81	68	70	79	77	57	55
Sağ El Hayali	CWT	68	65	68	82	66	68	64	63
Sol El Hayali	ICA	67	65	69	77	60	67	58	59
Sağ El Hayali	CWT	65	63	66	82	62	65	64	63
Sol El Hayali	ICA	67	62	62	80	60	63	58	59
Sağ El Hayali	CWT	55	58	75	75	76	74	70	70
A Harfi Hayali	ICA	60	60	73	73	74	72	65	69

Tablo 3.3'ün devamı

Sağ El Hayali	CWT	58	57	73	72	73	75	74	70	71
A Harfi Hayali	ICA	60	59	73	70	72	74	73	69	70
Sağ El Hayali	CWT	80	80	79	78	61	63	62	65	65
Klasik Müzik	ICA	82	81	80	79	61	61	59	65	65
Sağ El Hayali	CWT	82	81	80	77	61	61	60	64	63
Klasik Müzik	ICA	84	83	82	78	60	61	59	66	66
Sağ El Hayali	CWT	78	79	77	77	60	62	60	64	63
Rock Müzik	ICA	79	79	78	78	60	61	58	65	65
Sağ El Hayali	CWT	77	78	77	77	61	61	59	64	64
Rock Müzik	ICA	79	80	79	78	60	61	58	66	65
Sol El Hayali	CWT	61	62	75	75	79	79	78	72	71
A Harfi Hayali	ICA	60	62	75	76	76	77	75	69	71
Sol El Hayali	CWT	62	58	76	76	77	75	77	70	71
A Harfi Hayali	ICA	61	59	70	71	73	70	73	62	60
Sol El Hayali	CWT	81	80	79	77	62	61	62	65	64
Klasik Müzik	ICA	83	82	80	78	61	59	60	62	61
Sol El Hayali	CWT	81	81	78	76	61	61	60	64	65
Klasik Müzik	ICA	83	82	79	79	60	60	58	61	63
Sol El Hayali	CWT	84	81	75	77	60	60	62	63	63
Rock Müzik	ICA	82	80	72	76	61	59	55	54	51
Sol El Hayali	CWT	85	81	77	75	63	62	60	62	64
Rock Müzik	ICA	82	79	73	70	57	58	58	57	55
A Harfi Hayali	CWT	79	81	75	76	66	68	67	65	66
Klasik Müzik	ICA	80	80	69	70	60	61	59	61	57
A Harfi Hayali	CWT	82	81	76	76	67	68	67	63	65
Klasik Müzik	ICA	80	79	68	67	59	59	58	61	60

Tablo 3.3'ün devamı

A Harfi Hayali	CWT	79	78	73	71	69	68	69	70	69
Rock Müzik	ICA	79	80	61	60	61	62	61	58	59
A Harfi Hayali	CWT	80	78	74	73	70	69	69	71	71
Rock Müzik	ICA	82	82	62	62	63	63	61	65	62
Klasik Müzik	CWT	86	87	70	71	65	62	61	70	69
Rock Müzik	ICA	88	87	65	64	59	55	54	59	55
Klasik Müzik	CWT	87	87	75	73	68	69	62	67	68
Rock Müzik	ICA	89	90	66	67	65	60	64	57	56

Tablo 3.4. K4'ün DVM ile ikili sınıflandırma performansı (%)

<u>Görevler</u>		<u>Öz nitelikler</u>	<u>Elektrotlar</u>									
<u>Eğitim seti</u>	<u>Test seti</u>		F3	F4	C3	C4	P3	P4	Pz	O1	O2	
Rahat Durum	Rahat Durum	CWT	83	81	83	80	92	87	87	81	80	
Problem Çözümü		ICA	74	69	68	71	76	78	80	75	70	
Rahat Durum	Problem Çözümü	CWT	82	84	81	79	90	86	83	81	80	
Problem Çözümü		ICA	73	72	69	69	71	74	79	75	71	
Rahat Durum	Rahat Durum	CWT	71	70	89	83	81	80	78	65	60	
Sağ El Hayali		ICA	69	67	79	78	69	67	65	58	57	
Rahat Durum	Sağ El Hayali	CWT	72	71	92	89	78	78	79	68	63	
Sağ El Hayali		ICA	67	68	88	86	58	59	57	53	52	
Rahat Durum	Rahat Durum	CWT	74	74	83	85	77	75	75	71	73	
Sol El Hayali		ICA	63	65	84	86	66	65	63	66	64	
Rahat Durum	Sol El Hayali	CWT	81	80	83	84	83	80	83	77	73	
Sol El Hayali		ICA	71	73	84	87	74	66	73	68	67	
Rahat Durum	Rahat Durum	CWT	70	68	70	69	82	80	80	79	80	
A Harfi Hayali		ICA	60	61	61	60	70	74	75	72	71	
Rahat Durum	A Harfi Hayali	CWT	70	72	69	75	80	82	87	85	85	
A Harfi Hayali		ICA	61	58	63	63	70	71	74	72	74	
Rahat Durum	Rahat Durum	CWT	85	84	75	74	73	77	75	77	76	
Klasik Müzik		ICA	84	84	67	65	64	67	66	67	66	
Rahat Durum	Klasik Müzik	CWT	84	83	77	74	75	77	75	79	78	
Klasik Müzik		ICA	87	85	66	64	54	57	62	69	67	
Rahat Durum	Rahat Durum	CWT	77	75	67	68	62	64	65	61	65	
Rock Müzik		ICA	72	76	55	58	50	53	53	50	55	
Rahat Durum	Rock Müzik	CWT	73	73	65	62	62	63	65	61	65	
Rock Müzik		ICA	78	75	57	55	53	53	51	54	54	

Tablo 3.4'ün devamı

Problem Çözümü	Problem Çözümü	71	72	87	80	86	86	86	80	60	59
Sağ El Hayali	ICA	69	69	77	75	76	74	74	78	63	57
Problem Çözümü	CWT	71	72	87	83	89	83	83	83	66	64
Sağ El Hayali	ICA	68	67	75	75	70	73	73	71	63	59
Problem Çözümü	CWT	70	74	87	80	83	81	81	80	58	57
Sol El Hayali	ICA	60	63	73	68	70	76	76	68	58	53
Problem Çözümü	CWT	76	74	88	85	88	87	87	80	64	65
Sol El Hayali	ICA	58	60	73	70	70	74	74	71	58	55
Problem Çözümü	CWT	62	61	66	60	81	83	83	83	80	85
A Harfi Hayali	ICA	51	52	52	51	72	71	71	71	73	71
Problem Çözümü	CWT	60	64	65	60	85	85	85	86	87	86
A Harfi Hayali	ICA	54	55	53	55	73	74	74	75	73	71
Problem Çözümü	CWT	87	85	64	61	80	81	81	83	65	63
Klasik Müzik	ICA	88	89	59	60	79	74	74	71	55	57
Problem Çözümü	CWT	85	83	63	65	82	80	80	80	67	65
Klasik Müzik	ICA	86	86	58	59	75	72	72	72	55	59
Problem Çözümü	CWT	88	85	58	59	80	78	78	78	65	63
Rock Müzik	ICA	89	89	56	60	75	79	79	78	51	57
Problem Çözümü	CWT	89	88	68	65	82	84	84	79	67	65
Rock Müzik	ICA	89	90	58	59	68	69	68	68	55	59
Sağ El Hayali	CWT	70	69	87	87	65	66	66	69	64	63
Sol El Hayali	ICA	57	55	77	79	52	56	56	54	58	50
Sağ El Hayali	CWT	68	66	80	81	66	66	66	69	64	65
Sol El Hayali	ICA	60	66	72	78	54	56	56	55	54	50
Sağ El Hayali	CWT	67	66	89	86	87	89	87	86	87	88
A Harfi Hayali	ICA	50	47	77	75	70	69	69	70	71	68

Tablo 3.4'ün devamı

A Harfi Hayali																				
Rock Müzik	A Harfi Hayali	CWT	89	88	76	75	79	78	77	75	73									
A Harfi Hayali		ICA	86	91	61	60	65	65	61	61	67									
Rock Müzik	Rock Müzik	CWT	80	80	63	66	70	72	72	71	72									
Klasik Müzik		ICA	83	84	65	62	63	63	61	65	62									
Rock Müzik	Klasik Müzik	CWT	86	85	72	74	64	60	61	76	76									
Klasik Müzik		ICA	89	91	65	67	61	60	60	69	65									
Rock Müzik	Rock Müzik	CWT	87	87	75	76	68	69	62	77	78									
		ICA	93	85	67	67	67	70	64	65	66									

Tablo 3.5. K5'in DVM ile ikili sınıflandırma performansı (%)

<u>Görevler</u>		<u>Öz nitelikler</u>	<u>Elektrotlar</u>									
<u>Eğitim seti</u>	<u>Test seti</u>		F3	F4	C3	C4	P3	P4	Pz	O1	O2	
Rahat Durum	Rahat Durum	CWT	80	79	80	78	89	86	85	78	77	
Problem Çözümü	Rahat Durum	ICA	70	64	65	68	73	76	77	72	67	
Rahat Durum	Problem Çözümü	CWT	79	80	78	75	87	83	81	78	75	
Problem Çözümü	Problem Çözümü	ICA	70	69	66	65	68	71	76	70	66	
Rahat Durum	Rahat Durum	CWT	67	65	84	79	77	76	74	62	57	
Sağ El Hayali	Rahat Durum	ICA	65	61	74	75	66	64	63	55	55	
Rahat Durum	Sağ El Hayali	CWT	68	71	87	84	73	72	73	63	60	
Sağ El Hayali	Rahat Durum	ICA	60	64	82	82	50	54	53	50	47	
Rahat Durum	Rahat Durum	CWT	70	71	80	81	74	70	71	71	73	
Sol El Hayali	Rahat Durum	ICA	60	62	80	82	61	61	59	62	61	
Rahat Durum	Sol El Hayali	CWT	76	75	81	79	83	80	83	74	71	
Sol El Hayali	Rahat Durum	ICA	67	69	82	83	71	68	70	64	63	
Rahat Durum	Rahat Durum	CWT	67	63	66	62	78	77	76	73	75	
A Harfi Hayali	Rahat Durum	ICA	56	57	58	55	67	71	71	68	65	
Rahat Durum	A Harfi Hayali	CWT	66	67	65	71	76	78	81	82	81	
A Harfi Hayali	Rahat Durum	ICA	57	54	60	60	65	67	70	68	70	
Rahat Durum	Rahat Durum	CWT	81	80	71	70	68	73	70	72	71	
Klasik Müzik	Rahat Durum	ICA	81	81	63	61	60	63	61	63	61	
Rahat Durum	Klasik Müzik	CWT	78	79	73	71	72	71	70	73	75	
Klasik Müzik	Rahat Durum	ICA	83	80	62	60	51	52	58	63	61	
Rahat Durum	Rahat Durum	CWT	73	70	62	61	58	59	60	47	60	
Rock Müzik	Rahat Durum	ICA	68	71	50	53	47	49	49	45	48	
Rahat Durum	Rock Müzik	CWT	69	70	61	58	57	60	60	56	59	
Rock Müzik	Rock Müzik	ICA	73	71	53	50	47	50	47	50	51	

Tablo 3.5'in devamı

Problem Çözümü	Problem Çözümü	68	69	83	76	81	78	75	55	53
Sağ El Hayali	ICA	62	63	72	71	72	68	72	57	51
Problem Çözümü	CWT	67	67	81	78	82	79	78	60	60
Sağ El Hayali	ICA	62	61	70	71	66	68	67	57	56
Problem Çözümü	CWT	67	70	82	78	79	77	76	63	64
Sol El Hayali	ICA	56	60	69	63	66	72	64	54	55
Problem Çözümü	CWT	72	71	83	81	84	82	75	60	59
Sol El Hayali	ICA	54	55	68	67	67	69	68	51	50
Problem Çözümü	CWT	58	56	62	57	73	78	71	75	79
A Harfi Hayali	ICA	47	48	47	45	66	65	62	61	64
Problem Çözümü	CWT	54	61	61	60	78	80	81	83	82
A Harfi Hayali	ICA	50	51	48	55	67	69	70	68	67
Problem Çözümü	CWT	82	81	60	57	76	77	77	60	58
Klasik Müzik	ICA	84	84	55	55	73	70	71	51	52
Problem Çözümü	CWT	81	79	60	61	78	75	76	62	60
Klasik Müzik	ICA	80	81	55	59	70	69	66	53	52
Problem Çözümü	CWT	82	81	54	51	76	72	73	60	58
Rock Müzik	ICA	84	83	52	54	71	72	72	45	51
Problem Çözümü	CWT	81	85	63	61	78	80	76	63	61
Rock Müzik	ICA	80	87	52	56	64	65	62	52	54
Sağ El Hayali	CWT	63	63	82	85	61	59	63	62	60
Sol El Hayali	ICA	54	51	72	70	47	53	51	55	48
Sağ El Hayali	CWT	62	63	76	75	62	61	63	61	63
Sol El Hayali	ICA	56	61	70	73	53	52	51	50	48
Sağ El Hayali	CWT	64	62	83	80	81	83	81	80	83
A Harfi Hayali	ICA	45	40	71	70	65	63	70	69	65

Tablo 3.5'in devamı

Sağ El Hayali	CWT	67	65	77	80	76	75	79	78	78
A Harfi Hayali	ICA	51	49	74	71	68	65	69	71	70
Sağ El Hayali	CWT	82	83	79	77	70	68	70	69	67
Klasik Müzik	ICA	86	86	76	78	62	63	59	57	55
Sağ El Hayali	CWT	85	84	76	74	65	70	71	67	69
Klasik Müzik	ICA	83	86	80	71	61	63	60	57	59
Sağ El Hayali	CWT	81	84	77	81	71	68	66	71	72
Rock Müzik	ICA	87	86	75	78	61	62	55	55	57
Sağ El Hayali	CWT	84	87	80	78	70	67	65	71	70
Rock Müzik	ICA	89	86	79	76	53	51	53	56	56
Sol El Hayali	CWT	62	61	75	78	82	83	81	81	82
A Harfi Hayali	ICA	53	52	73	71	70	68	65	68	65
Sol El Hayali	CWT	64	62	76	77	75	77	76	81	85
A Harfi Hayali	ICA	51	46	74	71	67	71	67	69	73
Sol El Hayali	CWT	81	78	75	77	63	62	65	55	57
Klasik Müzik	ICA	82	81	71	75	52	57	52	51	53
Sol El Hayali	CWT	82	84	77	78	66	64	65	61	58
Klasik Müzik	ICA	88	86	72	71	56	58	53	55	59
Sol El Hayali	CWT	82	85	80	81	63	61	67	62	60
Rock Müzik	ICA	86	83	72	76	52	48	47	53	58
Sol El Hayali	CWT	86	81	81	78	70	67	70	73	71
Rock Müzik	ICA	87	80	73	72	52	55	58	55	57
A Harfi Hayali	CWT	82	81	66	68	73	78	77	75	73
Klasik Müzik	ICA	80	86	55	50	65	65	69	63	67
A Harfi Hayali	CWT	81	85	63	67	75	75	76	78	79
Klasik Müzik	ICA	83	83	57	59	63	65	63	64	60

Tablo 3.5'in devamı

A Harfi Hayali		CWT	82	84	70	68	79	78	77	75	73
Rock Müzik	A Harfi Hayali	ICA	81	88	55	51	64	67	65	61	67
A Harfi Hayali		CWT	78	75	60	61	70	72	71	71	72
Rock Müzik	Rock Müzik	ICA	81	79	57	58	63	63	61	65	62
Klasik Müzik		CWT	81	81	65	63	76	78	74	76	79
Rock Müzik	Klasik Müzik	ICA	83	86	58	52	65	65	60	69	65
Klasik Müzik		CWT	82	85	62	66	73	79	70	77	78
Rock Müzik	Rock Müzik	ICA	86	85	56	59	67	70	64	65	66

Tablo 3.6. K6'nın DVM ile ikili sınıflandırma performansını (%)

<u>Görevler</u>		<u>Öz nitelikler</u>	<u>Elektrotlar</u>									
<u>Eğitim seti</u>	<u>Test seti</u>		F3	F4	C3	C4	P3	P4	Pz	O1	O2	
Rahat Durum	Rahat Durum	CWT	72	70	70	68	78	78	75	73	71	
Problem Çözümü	Rahat Durum	ICA	65	58	55	60	64	71	72	67	63	
Rahat Durum	Problem Çözümü	CWT	79	72	71	75	77	73	76	72	65	
Problem Çözümü	Problem Çözümü	ICA	70	69	56	45	61	61	65	56	52	
Rahat Durum	Rahat Durum	CWT	67	65	81	79	77	76	74	62	57	
Sağ El Hayali	Rahat Durum	ICA	65	61	74	75	66	64	63	55	55	
Rahat Durum	Sağ El Hayali	CWT	59	62	80	76	65	72	65	63	60	
Sağ El Hayali	Rahat Durum	ICA	45	54	72	71	50	54	37	50	47	
Rahat Durum	Rahat Durum	CWT	62	65	72	74	67	64	61	66	64	
Sol El Hayali	Rahat Durum	ICA	53	55	74	73	58	41	39	43	48	
Rahat Durum	Sol El Hayali	CWT	66	65	71	76	63	60	63	64	51	
Sol El Hayali	Sol El Hayali	ICA	57	49	62	63	61	58	60	44	43	
Rahat Durum	Rahat Durum	CWT	57	53	56	52	68	67	66	63	65	
A Harfi Hayali	Rahat Durum	ICA	46	47	48	45	57	61	61	58	55	
Rahat Durum	A Harfi Hayali	CWT	56	47	55	51	66	68	71	72	71	
A Harfi Hayali	A Harfi Hayali	ICA	47	34	50	40	65	67	60	58	60	
Rahat Durum	Rahat Durum	CWT	71	70	61	60	58	63	60	62	61	
Klasik Müzik	Rahat Durum	ICA	61	60	53	51	50	53	51	53	51	
Rahat Durum	Klasik Müzik	CWT	68	69	63	61	62	61	60	63	65	
Klasik Müzik	Klasik Müzik	ICA	73	70	52	50	46	37	38	53	51	
Rahat Durum	Rahat Durum	CWT	63	66	52	51	49	48	52	37	48	
Rock Müzik	Rahat Durum	ICA	58	61	40	33	37	39	40	25	31	
Rahat Durum	Rock Müzik	CWT	65	60	51	48	47	50	50	46	49	
Rock Müzik	Rock Müzik	ICA	63	61	43	40	37	40	37	40	41	

Tablo 3.6'nin devamı

Problem Çözümü	Problem Çözümü	CWT	58	59	73	66	71	68	65	45	40
Sağ El Hayali	Problem Çözümü	ICA	52	53	62	61	62	58	60	39	31
Problem Çözümü	Sağ El Hayali	CWT	47	43	61	58	72	69	68	50	50
Sağ El Hayali	Sağ El Hayali	ICA	42	37	50	51	56	58	57	47	36
Problem Çözümü	Sol El Hayali	CWT	57	60	72	68	69	67	66	53	54
Sol El Hayali	Sol El Hayali	ICA	46	50	59	53	56	62	54	44	45
Problem Çözümü	Sol El Hayali	CWT	62	61	73	71	74	72	65	50	39
Sol El Hayali	Sol El Hayali	ICA	44	45	58	57	57	59	58	41	30
Problem Çözümü	Problem Çözümü	CWT	48	46	52	47	63	68	61	65	69
A Harfi Hayali	Problem Çözümü	ICA	37	38	37	35	56	55	52	51	54
Problem Çözümü	A Harfi Hayali	CWT	44	51	51	50	68	70	71	73	72
A Harfi Hayali	A Harfi Hayali	ICA	40	41	38	45	57	59	60	58	57
Problem Çözümü	Problem Çözümü	CWT	72	71	50	47	66	67	67	50	48
Klasik Müzik	Problem Çözümü	ICA	70	64	45	41	63	60	61	41	42
Problem Çözümü	Klasik Müzik	CWT	71	69	50	51	68	65	66	52	50
Klasik Müzik	Klasik Müzik	ICA	70	71	45	49	60	59	56	43	42
Problem Çözümü	Problem Çözümü	CWT	72	72	44	41	66	62	63	53	48
Rock Müzik	Problem Çözümü	ICA	74	73	42	44	61	62	61	34	39
Problem Çözümü	Rock Müzik	CWT	71	75	53	51	68	70	66	53	51
Rock Müzik	Rock Müzik	ICA	70	77	42	46	54	55	52	42	44
Sağ El Hayali	Sağ El Hayali	CWT	53	53	72	75	51	49	53	52	50
Sol El Hayali	Sağ El Hayali	ICA	44	38	62	60	37	43	41	45	38
Sağ El Hayali	Sol El Hayali	CWT	52	53	66	65	52	51	53	51	53
Sol El Hayali	Sol El Hayali	ICA	46	51	60	63	43	42	41	40	38
Sağ El Hayali	Sağ El Hayali	CWT	54	52	70	68	71	73	71	70	73
A Harfi Hayali	Sağ El Hayali	ICA	35	30	59	60	55	53	60	59	55

Tablo 3.6'nin devamı

Sağ El Hayali	CWT	57	55	67	70	66	65	69	68	68
A Harfi Hayali	ICA	41	39	64	61	58	55	59	61	60
Sağ El Hayali	CWT	77	74	69	67	60	58	60	59	57
Klasik Müzik	ICA	72	73	66	69	52	53	49	47	45
Sağ El Hayali	CWT	75	74	66	64	55	60	61	57	59
Klasik Müzik	ICA	75	76	70	61	51	53	50	47	49
Sağ El Hayali	CWT	71	74	67	70	51	58	56	61	61
Rock Müzik	ICA	77	76	65	68	40	52	45	40	37
Sağ El Hayali	CWT	74	77	70	68	60	57	55	61	57
Rock Müzik	ICA	79	76	69	66	43	41	43	46	46
Sol El Hayali	CWT	52	51	65	68	72	73	71	68	72
A Harfi Hayali	ICA	43	42	63	61	60	58	55	58	50
Sol El Hayali	CWT	54	52	66	67	65	67	66	71	75
A Harfi Hayali	ICA	41	36	64	61	57	61	57	59	63
Sol El Hayali	CWT	71	68	65	67	53	52	55	45	47
Klasik Müzik	ICA	72	71	61	65	42	47	42	31	33
Sol El Hayali	CWT	72	74	67	68	56	54	55	51	48
Klasik Müzik	ICA	78	76	62	61	46	48	43	45	49
Sol El Hayali	CWT	72	74	70	71	53	51	57	52	50
Rock Müzik	ICA	76	73	62	66	42	38	37	43	48
Sol El Hayali	CWT	76	71	71	68	60	57	60	63	61
Rock Müzik	ICA	77	70	63	62	42	45	48	45	47
A Harfi Hayali	CWT	72	71	56	58	63	68	67	65	63
Klasik Müzik	ICA	70	76	45	40	55	55	59	53	57
A Harfi Hayali	CWT	71	75	53	57	65	65	66	68	69
Klasik Müzik	ICA	73	73	47	49	53	49	53	54	50

Tablo 3.6'nin devamı

A Harfi Hayali		72	74	60	58	69	68	67	65	63
Rock Müzik	A Harfi Hayali	71	78	45	41	54	57	55	51	57
A Harfi Hayali		68	65	50	50	60	62	61	61	62
Rock Müzik	Rock Müzik	71	60	45	48	53	53	51	55	52
Klasik Müzik		71	71	56	54	66	68	64	66	69
Rock Müzik	Klasik Müzik	73	76	46	41	53	55	50	59	55
Klasik Müzik		71	75	52	55	63	69	60	57	68
Rock Müzik	Rock Müzik	76	70	46	49	57	60	54	55	53

Tablo 3.7. Katılımcıların DVM sınıflandırıcısı ile ortalama sınıflandırma performansları (%)

<u>Görevler</u>	<u>Öz nitelikler</u>	<u>Elektrotlar</u>										
		F3	F4	C3	C4	P3	P4	Pz	O1	O2		
Rahat Durum	CWT	77,1	75	72,3	72,7	77,6	75,1	75,5	71,4	67,1		
Problem Çözümü	ICA	69,4	69,4	59,8	53,5	63	64,5	66,6	60,6	57,4		
Rahat Durum	CWT	68,2	66,1	80,5	78,9	74,4	74,7	70,6	60,9	55,9		
Sağ El Hayali	ICA	65,4	62,5	74,3	74,6	63,6	63,1	59	53,8	51,6		
Rahat Durum	CWT	66,6	66,9	74,5	77,1	68,8	67	65,6	66,1	65,2		
Sol El Hayali	ICA	58,8	59,3	75,3	76,2	59,6	51,9	49,3	51	52,5		
Rahat Durum	CWT	60	56,3	62,1	62,2	70,6	72,3	74,5	75,1	74,2		
A Harfi Hayali	ICA	52,2	44,7	57,3	52	64,7	67,9	65	63,3	64,5		
Rahat Durum	CWT	75,7	74,6	66,3	65,7	61,9	65,1	63,4	64	63,2		
Klasik Müzik	ICA	70,3	69,8	60	58,2	53,9	56,2	56,1	55,8	54		
Rahat Durum	CWT	69,6	70,9	60,4	59,2	54,7	53,9	57,4	48,1	55,9		
Rock Müzik	ICA	66,8	68,6	49,9	46,6	43,9	45,8	46,7	38,2	43		
Problem Çözümü	CWT	61,3	61,7	76	70,7	74,6	72,9	69,8	50	47,2		
Sağ El Hayali	ICA	54,9	55,5	66,5	65,5	66,5	64,6	64,7	46,9	42,4		
Problem Çözümü	CWT	65,2	63,8	76,6	74,8	76,9	76,1	69,6	54,1	48,9		
Sol El Hayali	ICA	48,9	50,7	64,5	62,7	62,7	65,6	62,8	46,6	41,7		
Problem Çözümü	CWT	49,5	54,8	54,6	53,5	71,1	73,1	74,4	75	73,9		
A Harfi Hayali	ICA	44,9	46,2	43,7	49,3	62	64,4	64,9	63	61,7		
Problem Çözümü	CWT	76,3	74,8	56	54,5	70,5	71,3	71,2	54,6	52,9		
Klasik Müzik	ICA	76,4	72,4	52	50,1	66,8	65,1	64,7	46,2	47,8		
Problem Çözümü	CWT	75,5	77,8	58,3	56,8	72,4	73,6	70,3	56,8	55,2		
Rock Müzik	ICA	75,3	79,7	49,9	52,2	60,4	61,5	58,9	47,1	49,3		
Sağ El Hayali	CWT	59	58,4	73,1	78	59,4	55,4	58,7	56,5	55		
Sol El Hayali	ICA	50,9	46,7	63,9	65,7	47,8	48,4	48,1	49,4	44		
Sağ El Hayali	CWT	56,7	55,7	74	71,7	74	75,8	73,2	71,9	73,8		
A Harfi Hayali	ICA	42,2	38,6	64,4	64,5	60,7	59	62,9	61,2	58,8		

Tablo 3.7'nin devamı

Sağ El Hayali	CWT	78,7	77,8	73,8	71,9	61,9	60,2	62,1	61,3	60,4
Klasik Müzik	ICA	77,6	78,2	72,2	73,8	55,4	56,2	52,5	51,8	50,2
Sağ El Hayali	CWT	77,4	79,7	74,7	72,7	62,1	59,6	57,4	62,1	59,2
Rock Müzik	ICA	81,3	79,4	73,6	71,1	47,8	46,5	47,4	51,3	51,6
Sol El Hayali	CWT	56,5	56,2	69,9	71,7	75,1	75,5	73,9	71,7	73,8
A Harfi Hayali	ICA	49	49,1	66,7	65,6	64,4	63,2	61	61,6	57,3
Sol El Hayali	CWT	76,4	78	72,2	72,8	59,6	58	58,9	55,7	53,7
Klasik Müzik	ICA	81,2	80	67,8	66,9	51,5	52,7	48,8	50,6	52,7
Sol El Hayali	CWT	79,7	76,2	75,4	72,6	62,3	59,7	60,5	63,2	61,3
Rock Müzik	ICA	80,1	75,1	67,9	66,5	47,4	49,2	50,8	48,8	50,7
A Harfi Hayali	CWT	75,1	78	61,2	63,7	67,4	67,6	68,1	68,4	69,7
Klasik Müzik	ICA	76,7	76,9	54,6	55,9	55,5	54,9	55,9	57,4	54
A Harfi Hayali	CWT	75,2	75,9	64,5	63,1	69,6	68,7	67,7	67,7	65,5
Rock Müzik	ICA	74,6	79,9	51,6	48,7	57,2	59,6	56,9	54	58,3
Klasik Müzik	CWT	76,6	76,3	60,5	59,9	65	64,6	62,4	66,5	68,8
Rock Müzik	ICA	78,8	80,6	53,5	50,5	55,6	55,6	52,9	59,6	56,5

Tablo 3.8. K1'in YSA ile ikili sınıflandırma performansı (%)

<u>Görevler</u>		<u>Elektrotlar</u>									
<u>Eğitim seti</u>	<u>Test seti</u>	<u>F3</u>	<u>F4</u>	<u>C3</u>	<u>C4</u>	<u>P3</u>	<u>P4</u>	<u>Pz</u>	<u>O1</u>	<u>O2</u>	
Rahat Durum	Rahat Durum	90	87	88	86	98	93	93	87	86	
Problem Çözümü	Rahat Durum	80	75	74	77	77	84	86	81	76	
Rahat Durum	Problem Çözümü	88	92	87	85	96	90	91	88	82	
Problem Çözümü	Problem Çözümü	79	79	76	76	78	85	87	80	79	
Rahat Durum	Rahat Durum	87	86	94	90	89	90	89	76	70	
Sağ El Hayali	Rahat Durum	85	83	89	86	68	68	71	66	63	
Rahat Durum	Sağ El Hayali	89	88	100	96	88	87	89	79	76	
Sağ El Hayali	Rahat Durum	86	85	97	96	67	65	72	65	64	
Rahat Durum	Rahat Durum	86	82	91	97	98	86	90	81	83	
Sol El Hayali	Rahat Durum	82	86	94	95	75	75	80	79	86	
Rahat Durum	Sol El Hayali	85	86	88	91	90	86	89	83	84	
Sol El Hayali	Rahat Durum	80	86	90	94	81	72	80	79	77	
Rahat Durum	Rahat Durum	87	86	82	86	92	90	90	88	89	
A Harfi Hayali	Rahat Durum	75	71	76	78	73	83	84	81	81	
Rahat Durum	A Harfi Hayali	80	85	80	86	90	91	98	95	96	
A Harfi Hayali	Rahat Durum	71	67	75	76	74	78	84	82	83	
Rahat Durum	Rahat Durum	92	90	86	83	83	87	86	77	72	
Klasik Müzik	Rahat Durum	94	95	77	76	75	78	75	58	55	
Rahat Durum	Klasik Müzik	94	90	87	84	86	88	85	79	78	
Klasik Müzik	Rahat Durum	100	96	75	75	64	67	73	58	59	
Rahat Durum	Rahat Durum	95	95	87	88	82	85	86	82	85	
Rock Müzik	Rahat Durum	100	96	66	70	60	64	64	60	66	
Rahat Durum	Rock Müzik	94	92	85	83	81	83	85	81	85	
Rock Müzik	Rock Müzik	98	96	66	63	60	62	61	65	62	

Tablo 3.8'in devamı

Problem Çözümü	CWT	88	86	100	90	97	97	90	97	90	68	67
Sağ El Hayali	ICA	69	70	86	79	80	86	78	86	78	68	63
Problem Çözümü	CWT	89	90	100	96	99	98	90	98	90	69	69
Sağ El Hayali	ICA	70	67	83	82	83	83	82	83	82	67	60
Problem Çözümü	CWT	88	87	98	90	97	96	90	96	90	68	67
Sol El Hayali	ICA	70	64	86	78	81	85	78	85	78	68	63
Problem Çözümü	CWT	89	86	98	96	95	97	90	97	90	68	63
Sol El Hayali	ICA	65	70	85	80	81	84	81	84	81	61	63
Problem Çözümü	CWT	73	75	79	75	87	85	81	85	81	84	83
A Harfi Hayali	ICA	61	65	60	61	73	71	71	71	71	73	72
Problem Çözümü	CWT	70	74	74	77	86	86	76	86	76	88	85
A Harfi Hayali	ICA	61	61	63	66	73	76	74	76	74	70	66
Problem Çözümü	CWT	100	92	78	80	90	88	90	90	90	76	73
Klasik Müzik	ICA	100	98	68	70	76	74	71	74	71	61	67
Problem Çözümü	CWT	99	94	76	74	93	88	90	88	90	77	75
Klasik Müzik	ICA	96	96	67	69	75	73	73	73	73	65	67
Problem Çözümü	CWT	97	88	76	78	91	88	89	88	89	75	74
Rock Müzik	ICA	98	95	70	70	76	74	73	74	73	62	76
Problem Çözümü	CWT	94	94	77	76	90	88	89	88	89	77	76
Rock Müzik	ICA	92	96	68	69	75	71	70	71	70	65	66
Sağ El Hayali	CWT	80	77	87	93	76	76	82	76	82	74	78
Sol El Hayali	ICA	68	66	71	72	64	60	65	60	65	68	60
Sağ El Hayali	CWT	91	82	100	99	75	71	79	71	79	72	75
Sol El Hayali	ICA	79	73	82	85	65	68	60	68	60	65	61
Sağ El Hayali	CWT	76	79	90	85	89	90	86	90	86	87	86
A Harfi Hayali	ICA	60	55	77	75	70	66	68	66	68	70	68

Tablo 3.8'in devamı

Sağ El Hayali			79	77	93	91	88	90	88	86	82
A Harfi Hayali	A Harfi Hayali	CWT	60	57	75	73	72	70	73	68	70
Sağ El Hayali	Sağ El Hayali	CWT	100	97	96	94	80	78	80	78	78
Klasik Müzik	Sağ El Hayali	ICA	93	93	95	92	75	74	67	66	67
Sağ El Hayali	Klasik Müzik	CWT	97	98	96	93	81	80	79	76	76
Klasik Müzik	Klasik Müzik	ICA	95	93	90	89	70	74	75	62	62
Sağ El Hayali	Sağ El Hayali	CWT	95	98	98	99	86	83	80	76	72
Rock Müzik	Sağ El Hayali	ICA	98	100	99	100	76	74	72	68	64
Sağ El Hayali	Rock Müzik	CWT	99	100	98	94	86	82	80	76	74
Rock Müzik	Rock Müzik	ICA	100	96	95	90	66	68	69	71	68
Sol El Hayali	Sol El Hayali	CWT	76	78	90	88	89	90	85	82	86
A Harfi Hayali	Sol El Hayali	ICA	66	68	77	76	75	71	65	71	65
Sol El Hayali	A Harfi Hayali	CWT	80	82	93	91	89	90	88	89	87
A Harfi Hayali	A Harfi Hayali	ICA	66	63	75	75	71	76	79	73	71
Sol El Hayali	Sol El Hayali	CWT	93	95	90	89	75	71	77	69	71
Klasik Müzik	Sol El Hayali	ICA	95	92	76	77	63	67	64	64	62
Sol El Hayali	Klasik Müzik	CWT	96	99	95	92	78	79	80	73	71
Klasik Müzik	Klasik Müzik	ICA	98	100	86	81	67	69	68	67	66
Sol El Hayali	Sol El Hayali	CWT	99	99	97	95	84	82	78	73	73
Rock Müzik	Sol El Hayali	ICA	100	95	89	88	69	69	66	64	62
Sol El Hayali	Rock Müzik	CWT	95	97	99	97	86	80	78	75	72
Rock Müzik	Rock Müzik	ICA	94	90	86	87	67	66	68	64	61
A Harfi Hayali	A Harfi Hayali	CWT	86	84	80	80	89	88	86	84	79
Klasik Müzik	Klasik Müzik	ICA	88	90	70	68	76	73	70	67	66
A Harfi Hayali	A Harfi Hayali	CWT	90	92	83	87	89	88	87	85	85
Klasik Müzik	Klasik Müzik	ICA	93	89	74	78	70	72	69	68	60

Tablo 3.8'in devamı

A Harfi Hayali			87	89	76	74	79	78	77	85	83
Rock Müzik	A Harfi Hayali	CWT	85	84	70	68	74	71	67	70	65
A Harfi Hayali		CWT	90	88	73	74	79	78	76	71	72
Rock Müzik	Rock Müzik	ICA	93	91	75	70	68	71	70	65	62
Klasik Müzik		CWT	96	95	82	84	74	70	67	75	77
Rock Müzik	Klasik Müzik	ICA	99	100	75	77	71	68	65	66	60
Klasik Müzik		CWT	95	96	85	86	78	79	72	78	78
Rock Müzik	Rock Müzik	ICA	97	97	77	74	73	76	74	65	67

Tablo 3.9. K2'nin YSA ile ikili sınıflandırma performansı (%)

Görevler		Elektrotlar									
Eğitim seti	Test seti	F3	F4	C3	C4	P3	P4	Pz	O1	O2	
Rahat Durum	Rahat Durum	66	70	60	55	63	63	60	58	54	
Problem Çözümü	ICA	67	66	56	55	54	57	50	52	50	
Rahat Durum	Problem Çözümü	65	71	63	55	60	64	60	58	54	
Problem Çözümü	ICA	63	66	59	53	54	58	50	53	51	
Rahat Durum	Rahat Durum	63	60	68	75	57	63	51	50	47	
Sağ El Hayali	ICA	57	57	66	68	56	57	40	44	39	
Rahat Durum	CWT	65	61	69	74	57	62	54	58	49	
Sağ El Hayali	ICA	52	55	67	66	56	58	42	43	45	
Rahat Durum	CWT	66	61	66	72	58	62	62	58	57	
Sol El Hayali	ICA	60	57	64	69	54	57	54	47	42	
Rahat Durum	CWT	63	66	69	69	58	60	62	59	57	
Sol El Hayali	ICA	61	60	64	69	57	57	57	47	48	
Rahat Durum	CWT	55	53	68	70	66	68	61	68	65	
A Harfi Hayali	ICA	51	50	66	64	59	63	62	62	60	
Rahat Durum	CWT	56	56	66	69	67	68	60	65	65	
A Harfi Hayali	ICA	54	51	62	63	60	59	62	59	55	
Rahat Durum	CWT	78	75	67	66	55	52	55	56	52	
Klasik Müzik	ICA	70	73	65	64	48	44	52	55	50	
Rahat Durum	CWT	75	72	66	65	57	52	56	56	57	
Klasik Müzik	ICA	66	70	63	64	48	49	53	55	52	
Rahat Durum	CWT	70	74	66	62	57	49	54	55	58	
Rock Müzik	ICA	74	71	68	61	52	52	53	51	55	
Rahat Durum	CWT	72	72	67	65	58	49	54	55	58	
Rock Müzik	ICA	75	70	64	63	52	51	53	52	55	

Tablo 3.9'un devamı

Problem Çözümü	Problem	CWT	51	50	66	67	65	68	69	47	50
Sağ El Hayali	Çözümü	ICA	49	44	62	66	66	66	60	43	52
Problem Çözümü	Sağ El Hayali	CWT	50	51	67	67	65	68	69	47	50
Sağ El Hayali		ICA	47	45	63	67	66	66	60	45	51
Problem Çözümü	Sol El Hayali	CWT	55	52	69	66	67	70	62	52	53
Sol El Hayali		ICA	46	49	68	62	62	71	60	42	48
Problem Çözümü	Sol El Hayali	CWT	54	52	70	67	70	75	62	52	55
Sol El Hayali		ICA	48	50	68	64	61	73	62	45	48
Problem Çözümü	Problem	CWT	48	50	47	53	69	70	72	69	67
A Harfi Hayali	Çözümü	ICA	41	48	41	49	66	71	64	64	63
Problem Çözümü	A Harfi Hayali	CWT	48	50	47	53	69	70	72	69	67
A Harfi Hayali		ICA	41	48	41	49	66	71	64	64	63
Problem Çözümü	Problem	CWT	70	68	58	60	65	68	67	50	50
Klasik Müzik	Çözümü	ICA	74	66	59	55	62	67	67	47	42
Problem Çözümü	Klasik Müzik	CWT	66	67	60	60	62	69	70	50	52
Klasik Müzik		ICA	70	66	59	57	62	67	67	46	42
Problem Çözümü	Problem	CWT	69	66	59	55	67	66	65	51	51
Rock Müzik	Çözümü	ICA	72	68	57	51	67	69	66	43	49
Problem Çözümü	Rock Müzik	CWT	70	69	59	55	65	66	65	50	51
Rock Müzik		ICA	72	67	59	53	67	67	66	44	50
Sağ El Hayali	Sağ El Hayali	CWT	59	56	58	75	72	58	57	55	53
Sol El Hayali		ICA	59	52	52	76	68	49	54	43	47
Sağ El Hayali	Sol El Hayali	CWT	61	56	56	75	74	57	57	55	58
Sol El Hayali		ICA	60	54	52	78	69	50	55	47	47
Sağ El Hayali	Sağ El Hayali	CWT	46	48	66	62	68	64	64	58	60
A Harfi Hayali		ICA	48	42	63	63	66	64	61	56	58

Tablo 3.9'un devamı

Sağ El Hayali	A Harfi Hayali	CWT	48	50	67	62	68	63	59	61
A Harfi Hayali	A Harfi Hayali	ICA	49	43	62	64	67	60	57	57
Sağ El Hayali	Sağ El Hayali	CWT	69	70	68	68	52	53	55	57
Klasik Müzik	Sağ El Hayali	ICA	72	70	69	67	50	48	49	46
Sağ El Hayali	Klasik Müzik	CWT	74	70	66	64	40	40	44	42
Klasik Müzik	Klasik Müzik	ICA	72	69	64	60	42	35	45	46
Sağ El Hayali	Sağ El Hayali	CWT	70	73	66	66	42	40	44	43
Rock Müzik	Sağ El Hayali	ICA	71	69	65	61	44	37	45	46
Sağ El Hayali	Rock Müzik	CWT	66	68	58	56	36	34	43	47
Rock Müzik	Rock Müzik	ICA	68	70	59	58	40	29	46	45
Sol El Hayali	Sol El Hayali	CWT	50	53	66	65	70	68	64	62
A Harfi Hayali	Sol El Hayali	ICA	49	54	65	67	66	69	58	60
Sol El Hayali	A Harfi Hayali	CWT	53	53	64	65	70	68	64	64
A Harfi Hayali	A Harfi Hayali	ICA	48	51	65	67	69	68	58	60
Sol El Hayali	Sol El Hayali	CWT	70	69	68	68	52	52	55	53
Klasik Müzik	Sol El Hayali	ICA	75	71	70	68	51	50	52	52
Sol El Hayali	Klasik Müzik	CWT	72	70	67	69	55	55	57	53
Klasik Müzik	Klasik Müzik	ICA	74	70	68	68	50	50	52	50
Sol El Hayali	Sol El Hayali	CWT	77	73	75	77	55	52	51	50
Rock Müzik	Sol El Hayali	ICA	71	75	71	73	48	47	42	40
Sol El Hayali	Rock Müzik	CWT	75	74	75	76	51	51	51	53
Rock Müzik	Rock Müzik	ICA	70	75	68	76	48	47	42	45
A Harfi Hayali	A Harfi Hayali	CWT	68	71	65	66	58	57	56	56
Klasik Müzik	Klasik Müzik	ICA	70	70	58	60	48	49	52	48
A Harfi Hayali	A Harfi Hayali	CWT	69	71	65	66	57	56	54	52
Klasik Müzik	Klasik Müzik	ICA	69	70	60	61	48	50	51	49

Tablo 3.9'un devamı

A Harfi Hayali	CWT	67	66	62	64	59	57	59	60	58
Rock Müzik	ICA	70	70	50	53	50	53	51	47	47
A Harfi Hayali	CWT	70	67	65	64	58	57	59	60	59
Rock Müzik	ICA	68	67	50	52	51	55	51	48	49
Klasik Müzik	CWT	76	74	50	51	55	51	52	60	58
Rock Müzik	ICA	77	77	56	52	48	46	47	49	54
Klasik Müzik	CWT	75	74	52	53	55	51	52	61	59
Rock Müzik	ICA	73	75	56	52	46	46	49	50	55

Tablo 3.10. K3'ün YSA ile ikili sınıflandırma performansı (%)

<u>Görevler</u>		<u>Elektrotlar</u>									
<u>Eğitim seti</u>	<u>Test seti</u>	<u>F3</u>	<u>F4</u>	<u>C3</u>	<u>C4</u>	<u>P3</u>	<u>P4</u>	<u>Pz</u>	<u>O1</u>	<u>O2</u>	
Rahat Durum	Rahat Durum	84	85	75	73	77	80	76	72	72	
Problem Çözümü	ICA	87	81	66	65	72	70	66	67	68	
Rahat Durum	Problem Çözümü	80	82	75	76	78	81	77	69	71	
Problem Çözümü	ICA	77	82	67	64	70	69	68	67	68	
Rahat Durum	Rahat Durum	75	74	80	84	74	76	66	64	56	
Sağ El Hayali	ICA	73	73	83	80	70	73	55	59	47	
Rahat Durum	CWT	74	73	79	81	73	77	70	65	57	
Sağ El Hayali	ICA	69	71	79	82	68	73	60	67	55	
Rahat Durum	Rahat Durum	79	74	82	84	75	78	73	71	65	
Sol El Hayali	ICA	78	69	79	84	73	74	62	63	62	
Rahat Durum	CWT	82	77	82	83	75	77	75	70	69	
Sol El Hayali	ICA	79	70	75	79	73	73	72	64	64	
Rahat Durum	Rahat Durum	70	69	86	84	83	81	80	82	81	
A Harfi Hayali	ICA	67	65	80	76	74	78	78	77	76	
Rahat Durum	A Harfi Hayali	72	69	84	84	82	81	82	81	80	
A Harfi Hayali	ICA	65	65	78	77	74	79	78	76	76	
Rahat Durum	Rahat Durum	85	86	80	79	70	66	70	69	71	
Klasik Müzik	ICA	86	86	79	81	64	65	70	71	70	
Rahat Durum	Klasik Müzik	89	85	79	79	70	67	69	71	73	
Klasik Müzik	ICA	90	87	81	80	64	69	72	72	72	
Rahat Durum	Rahat Durum	85	86	80	78	63	64	69	70	69	
Rock Müzik	ICA	84	85	83	80	65	66	68	71	68	
Rahat Durum	Rock Müzik	85	88	79	78	65	60	65	66	69	
Rock Müzik	ICA	85	86	80	75	61	60	67	68	65	

Tablo 3.10'un devamı

Problem Çözümü	Problem Çözümü	62	60	78	80	75	77	81	59	65
Sağ El Hayali	ICA	55	59	76	78	76	77	72	58	62
Problem Çözümü	CWT	63	65	83	80	79	81	78	59	60
Sağ El Hayali	ICA	58	59	73	75	77	79	71	58	62
Problem Çözümü	CWT	68	69	82	78	78	79	75	61	64
Sol El Hayali	ICA	62	62	75	71	73	70	72	57	62
Problem Çözümü	CWT	69	68	82	84	81	84	79	64	66
Sol El Hayali	ICA	60	65	79	80	79	77	74	61	60
Problem Çözümü	CWT	65	64	66	64	80	82	85	81	79
A Harfi Hayali	ICA	61	62	58	65	78	79	79	74	76
Problem Çözümü	CWT	64	63	64	65	81	83	85	83	82
A Harfi Hayali	ICA	63	61	59	66	78	81	84	80	79
Problem Çözümü	CWT	85	86	67	71	83	79	77	65	61
Klasik Müzik	ICA	83	82	69	74	79	79	76	58	66
Problem Çözümü	CWT	86	84	70	74	83	84	85	63	64
Klasik Müzik	ICA	87	85	72	72	80	83	80	60	65
Problem Çözümü	CWT	83	80	69	73	82	83	79	64	62
Rock Müzik	ICA	81	84	72	72	84	81	80	63	65
Problem Çözümü	CWT	83	80	67	69	78	80	79	55	58
Rock Müzik	ICA	79	84	68	65	73	75	77	57	60
Sağ El Hayali	CWT	72	68	70	84	83	69	70	67	68
Sol El Hayali	ICA	69	73	66	79	78	62	69	60	64
Sağ El Hayali	CWT	68	69	69	86	81	66	69	64	63
Sol El Hayali	ICA	71	67	65	82	81	61	63	60	63
Sağ El Hayali	CWT	59	62	78	79	80	79	77	74	73
A Harfi Hayali	ICA	64	61	74	75	77	75	76	68	67

Tablo 3.10'un devamı

Sağ El Hayali	A Harfi Hayali	CWT	63	61	75	76	78	79	78	74	75
A Harfi Hayali	A Harfi Hayali	ICA	61	64	73	70	70	71	70	69	67
Sağ El Hayali	Sağ El Hayali	CWT	85	83	81	78	64	65	62	67	68
Klasik Müzik	Sağ El Hayali	ICA	82	84	80	75	62	61	59	65	65
Sağ El Hayali	Klasik Müzik	CWT	85	86	87	82	65	67	67	67	65
Klasik Müzik	Klasik Müzik	ICA	84	85	82	78	60	63	58	62	61
Sağ El Hayali	Sağ El Hayali	CWT	82	83	80	79	62	61	65	68	69
Rock Müzik	Sağ El Hayali	ICA	84	79	78	83	65	66	60	65	65
Sağ El Hayali	Rock Müzik	CWT	82	83	79	81	65	67	64	69	68
Rock Müzik	Rock Müzik	ICA	80	81	74	75	62	63	60	65	63
Sol El Hayali	Sol El Hayali	CWT	65	67	78	76	80	83	81	74	73
A Harfi Hayali	Sol El Hayali	ICA	60	63	75	76	76	75	75	67	70
Sol El Hayali	A Harfi Hayali	CWT	65	60	80	77	79	78	79	73	75
A Harfi Hayali	A Harfi Hayali	ICA	62	57	72	71	74	72	75	65	61
Sol El Hayali	Sol El Hayali	CWT	85	83	76	75	62	61	62	65	62
Klasik Müzik	Sol El Hayali	ICA	80	81	72	78	61	59	60	57	55
Sol El Hayali	Klasik Müzik	CWT	86	85	81	80	67	69	64	68	72
Klasik Müzik	Klasik Müzik	ICA	82	82	79	77	60	63	58	61	63
Sol El Hayali	Sol El Hayali	CWT	90	86	80	81	65	63	66	66	67
Rock Müzik	Sol El Hayali	ICA	88	87	77	78	64	59	59	57	54
Sol El Hayali	Rock Müzik	CWT	88	84	79	78	67	69	65	65	68
Rock Müzik	Rock Müzik	ICA	85	80	76	72	59	61	59	60	58
A Harfi Hayali	A Harfi Hayali	CWT	89	84	78	80	70	73	70	71	69
Klasik Müzik	Klasik Müzik	ICA	82	80	72	75	64	65	63	66	59
A Harfi Hayali	A Harfi Hayali	CWT	87	85	80	81	70	75	72	68	70
Klasik Müzik	Klasik Müzik	ICA	82	79	70	68	63	60	57	62	60

Tablo 3.10'un devamı

A Harfi Hayali	A Harfi Hayali	CWT	83	80	75	77	73	70	69	74	72
Rock Müzik	ICA		79	77	64	60	64	64	61	60	59
A Harfi Hayali	Rock Müzik	CWT	85	82	75	79	72	74	70	74	78
Rock Müzik	ICA		81	80	62	61	63	63	65	65	62
Klasik Müzik	Klasik Müzik	CWT	87	85	72	70	68	65	68	71	69
Rock Müzik	ICA		89	84	68	65	59	58	61	60	58
Klasik Müzik	Rock Müzik	CWT	85	83	78	77	70	68	67	69	69
Rock Müzik	ICA		89	86	69	71	65	60	64	59	61

Tablo 3.1.1. K4'ün YSA ile ikili sınıflandırma performansı (%)

<u>Görevler</u>		<u>Elektrotlar</u>									
<u>Eğitim seti</u>	<u>Test seti</u>	<u>F3</u>	<u>F4</u>	<u>C3</u>	<u>C4</u>	<u>P3</u>	<u>P4</u>	<u>Pz</u>	<u>O1</u>	<u>O2</u>	
Rahat Durum	Rahat Durum	87	87	89	86	95	92	90	85	84	
Problem Çözümü	ICA	79	72	75	74	78	81	83	75	74	
Rahat Durum	Problem Çözümü	85	90	85	80	92	88	86	84	86	
Problem Çözümü	ICA	76	76	72	70	75	77	79	78	73	
Rahat Durum	Rahat Durum	75	76	93	87	85	84	82	68	65	
Sağ El Hayali	ICA	72	69	81	79	72	68	69	61	59	
Rahat Durum	Rahat Durum	75	73	95	93	80	81	79	70	67	
Sağ El Hayali	Sağ El Hayali	73	70	89	87	65	62	59	55	57	
Rahat Durum	Rahat Durum	77	78	88	89	79	79	77	75	76	
Sol El Hayali	ICA	67	69	84	86	69	67	66	70	67	
Rahat Durum	Rahat Durum	85	83	87	88	84	86	84	78	75	
Sol El Hayali	Sol El Hayali	74	76	84	87	78	72	75	69	70	
Rahat Durum	Rahat Durum	74	71	75	72	86	84	84	81	83	
A Harfi Hayali	ICA	63	65	63	65	73	76	75	72	70	
Rahat Durum	Rahat Durum	74	72	71	77	83	85	86	88	86	
A Harfi Hayali	A Harfi Hayali	64	59	62	65	72	71	74	73	74	
Rahat Durum	Rahat Durum	86	87	77	77	75	78	78	79	80	
Klasik Müzik	ICA	84	87	69	66	67	67	69	67	70	
Rahat Durum	Rahat Durum	86	85	79	77	76	77	76	81	79	
Klasik Müzik	Klasik Müzik	87	88	68	65	57	59	65	71	69	
Rahat Durum	Rahat Durum	82	80	69	70	65	67	68	66	69	
Rock Müzik	ICA	83	80	58	61	54	55	54	53	56	
Rahat Durum	Rahat Durum	67	63	54	50	49	53	52	48	51	
Rock Müzik	Rock Müzik	63	61	45	43	40	42	39	42	43	

Tablo 3.11'in devamı

Problem Çözümü	Problem	62	66	95	69	95	70	67	47	42
Sağ El Hayali	Çözümü	56	55	65	61	64	59	63	40	33
Problem Çözümü	Sağ El Hayali	49	46	64	61	75	70	72	53	55
Sağ El Hayali		43	39	52	54	58	58	59	48	40
Problem Çözümü	Sol El Hayali	59	62	75	71	80	71	68	56	59
Sol El Hayali		48	51	60	56	57	60	55	47	47
Problem Çözümü	Sol El Hayali	65	63	76	74	90	75	67	54	44
Sol El Hayali		45	47	60	57	68	59	60	43	34
Problem Çözümü	Problem	52	49	55	51	65	70	64	67	89
A Harfi Hayali	Çözümü	39	38	38	35	57	58	54	51	54
Problem Çözümü	A Harfi Hayali	49	53	55	52	70	74	74	76	78
A Harfi Hayali		41	43	40	47	59	61	63	60	58
Problem Çözümü	Problem	85	74	55	49	69	69	69	53	50
Klasik Müzik	Çözümü	71	67	47	44	63	61	61	43	45
Problem Çözümü	Klasik Müzik	79	71	54	52	70	69	70	55	53
Klasik Müzik		72	71	47	51	61	59	57	44	45
Problem Çözümü	Problem	75	83	48	46	69	65	65	57	51
Rock Müzik	Çözümü	74	74	42	44	63	62	61	37	39
Problem Çözümü	Rock Müzik	79	87	55	53	70	72	69	56	53
Rock Müzik		70	73	43	46	54	56	55	43	47
Sağ El Hayali	Sağ El Hayali	57	53	75	90	54	51	57	56	53
Sol El Hayali		47	44	63	62	44	44	47	46	41
Sağ El Hayali	Sol El Hayali	55	54	70	91	52	51	53	51	53
Sol El Hayali		48	51	62	60	43	42	43	41	39
Sağ El Hayali	Sağ El Hayali	57	54	74	70	73	73	92	74	75
A Harfi Hayali		37	33	58	60	56	53	60	59	56

Tablo 3.11'in devamı

Sağ El Hayali	A Harfi Hayali	CWT	58	56	68	73	66	75	89	68	68
A Harfi Hayali	A Harfi Hayali	ICA	43	40	62	61	58	55	59	61	60
Sağ El Hayali	Sağ El Hayali	CWT	90	76	67	67	64	60	62	60	58
Klasik Müzik	Sağ El Hayali	ICA	75	71	60	63	55	54	49	47	46
Sağ El Hayali	Klasik Müzik	CWT	94	75	67	66	58	62	64	61	59
Klasik Müzik	Klasik Müzik	ICA	76	75	63	61	54	53	50	48	46
Sağ El Hayali	Sağ El Hayali	CWT	90	78	67	70	51	58	56	61	61
Rock Müzik	Sağ El Hayali	ICA	79	76	65	68	47	50	45	40	39
Sağ El Hayali	Rock Müzik	CWT	79	77	70	68	60	57	55	61	57
Rock Müzik	Rock Müzik	ICA	79	76	69	66	43	41	45	46	46
Sol El Hayali	Sol El Hayali	CWT	55	54	65	68	89	80	75	68	72
A Harfi Hayali	Sol El Hayali	ICA	48	46	63	61	60	59	56	58	52
Sol El Hayali	A Harfi Hayali	CWT	54	56	69	67	85	88	66	71	75
A Harfi Hayali	A Harfi Hayali	ICA	43	40	64	61	58	61	58	59	63
Sol El Hayali	Sol El Hayali	CWT	88	85	67	68	58	59	60	55	50
Klasik Müzik	Sol El Hayali	ICA	90	78	62	64	45	48	44	35	38
Sol El Hayali	Klasik Müzik	CWT	85	86	67	69	58	58	60	55	53
Klasik Müzik	Klasik Müzik	ICA	78	76	62	64	47	50	45	48	46
Sol El Hayali	Sol El Hayali	CWT	89	86	72	76	56	51	57	56	53
Rock Müzik	Sol El Hayali	ICA	76	73	64	67	42	39	40	45	48
Sol El Hayali	Rock Müzik	CWT	85	86	73	70	64	59	61	65	62
Rock Müzik	Rock Müzik	ICA	77	75	66	65	48	45	48	48	48
A Harfi Hayali	A Harfi Hayali	CWT	85	96	66	68	63	68	67	65	63
Klasik Müzik	Klasik Müzik	ICA	72	76	49	46	57	55	59	55	57
A Harfi Hayali	A Harfi Hayali	CWT	95	96	59	57	65	65	66	68	69
Klasik Müzik	Klasik Müzik	ICA	73	73	52	49	53	49	53	54	50

Tablo 3.11'in devamı

A Harfi Hayali	A Harfi Hayali	CWT	96	94	60	58	70	68	67	65	66
Rock Müzik		ICA	74	74	47	45	54	57	55	58	57
A Harfi Hayali	Rock Müzik	CWT	93	80	57	59	66	67	65	64	63
Rock Müzik		ICA	75	73	49	48	56	53	53	57	52
Klasik Müzik	Klasik Müzik	CWT	96	94	70	60	69	68	64	70	70
Rock Müzik		ICA	72	69	47	45	55	55	50	63	58
Klasik Müzik	Rock Müzik	CWT	94	97	78	57	69	69	65	68	63
Rock Müzik		ICA	76	77	48	50	59	60	57	57	54

Tablo 3.12. K5'in YSA ile ikili sınıflandırma performansı (%)

<u>Görevler</u>		<u>Elektrotlar</u>									
<u>Eğitim seti</u>	<u>Test seti</u>	<u>F3</u>	<u>F4</u>	<u>C3</u>	<u>C4</u>	<u>P3</u>	<u>P4</u>	<u>Pz</u>	<u>O1</u>	<u>O2</u>	
Rahat Durum	Rahat Durum	85	80	82	81	92	90	89	80	80	
Problem Çözümü	ICA	71	67	66	70	76	76	78	76	73	
Rahat Durum	Problem Çözümü	83	81	81	76	89	85	87	80	78	
Problem Çözümü	ICA	74	69	67	67	69	71	76	69	66	
Rahat Durum	Rahat Durum	70	68	88	85	80	79	74	60	58	
Sağ El Hayali	ICA	67	63	76	78	69	64	63	58	56	
Rahat Durum	CWT	75	71	92	89	75	72	75	64	64	
Sağ El Hayali	ICA	66	64	83	82	53	52	53	52	48	
Rahat Durum	CWT	73	75	86	84	75	70	71	75	73	
Sol El Hayali	ICA	61	64	82	79	63	60	60	62	61	
Rahat Durum	CWT	76	75	85	80	77	71	75	74	71	
Sol El Hayali	ICA	67	69	82	80	62	65	66	64	63	
Rahat Durum	CWT	65	60	68	65	80	79	77	75	81	
A Harfi Hayali	ICA	53	54	57	55	68	71	73	79	67	
Rahat Durum	CWT	66	60	65	71	75	78	81	85	83	
A Harfi Hayali	ICA	57	54	60	60	65	62	70	69	66	
Rahat Durum	CWT	88	85	73	70	69	73	75	76	71	
Klasik Müzik	ICA	82	80	63	61	60	64	61	68	61	
Rahat Durum	CWT	86	79	71	71	72	71	70	75	75	
Klasik Müzik	ICA	77	80	62	60	58	52	58	63	61	
Rahat Durum	CWT	75	71	63	61	58	59	60	56	60	
Rock Müzik	ICA	69	71	54	55	55	45	44	49	48	
Rahat Durum	CWT	72	71	61	60	57	61	60	66	61	
Rock Müzik	ICA	76	71	54	50	48	50	49	50	51	

Tablo 3.12'nin devamı

Problem Çözümü	Problem Çözümü	65	67	82	74	75	72	77	65	61
Sağ El Hayali	ICA	62	60	70	71	72	69	66	59	56
Problem Çözümü	CWT	65	69	85	80	80	77	79	62	60
Sağ El Hayali	ICA	62	61	72	71	65	65	67	57	59
Problem Çözümü	CWT	68	71	86	81	81	79	78	67	66
Sol El Hayali	ICA	57	62	72	65	66	73	66	57	55
Problem Çözümü	CWT	76	71	87	82	81	77	75	60	63
Sol El Hayali	ICA	55	55	69	60	67	69	68	56	54
Problem Çözümü	CWT	59	55	62	50	75	78	70	75	79
A Harfi Hayali	ICA	49	48	56	45	66	65	69	61	64
Problem Çözümü	CWT	66	60	61	60	78	80	81	85	86
A Harfi Hayali	ICA	58	51	58	55	70	72	76	78	72
Problem Çözümü	CWT	80	78	61	57	75	77	75	60	58
Klasik Müzik	ICA	79	75	55	53	73	66	69	51	52
Problem Çözümü	CWT	87	78	62	66	79	77	76	65	59
Klasik Müzik	ICA	80	74	56	55	72	69	66	59	56
Problem Çözümü	CWT	82	81	54	58	76	75	73	60	58
Rock Müzik	ICA	84	83	52	54	71	72	72	47	53
Problem Çözümü	CWT	85	83	63	61	79	82	76	63	61
Rock Müzik	ICA	89	86	52	56	64	65	62	55	57
Sağ El Hayali	CWT	65	63	87	85	61	59	63	62	60
Sol El Hayali	ICA	55	51	76	72	57	53	51	55	50
Sağ El Hayali	CWT	68	63	76	71	57	61	63	61	63
Sol El Hayali	ICA	58	55	67	60	53	52	51	50	48
Sağ El Hayali	CWT	66	63	85	81	80	83	81	87	83
A Harfi Hayali	ICA	42	40	71	68	66	63	70	69	67

Tablo 3.12'nin devamı

Sağ El Hayali	CWT	66	65	84	88	82	80	86	79	83
A Harfi Hayali	ICA	52	55	77	73	68	75	70	71	70
Sağ El Hayali	CWT	81	83	79	77	70	68	70	72	69
Klasik Müzik	ICA	77	79	75	71	62	63	59	57	55
Sağ El Hayali	CWT	85	81	76	74	68	71	71	67	70
Klasik Müzik	ICA	75	79	80	71	61	63	60	57	59
Sağ El Hayali	CWT	80	84	79	81	71	68	66	75	72
Rock Müzik	ICA	82	85	75	78	61	62	58	65	62
Sağ El Hayali	CWT	83	86	80	78	70	67	65	71	70
Rock Müzik	ICA	79	75	75	77	53	57	55	66	59
Sol El Hayali	CWT	65	61	79	78	86	84	89	86	85
A Harfi Hayali	ICA	57	52	73	71	70	72	70	76	72
Sol El Hayali	CWT	66	63	79	77	75	77	76	88	84
A Harfi Hayali	ICA	55	49	74	71	68	70	67	78	73
Sol El Hayali	CWT	85	82	78	76	67	65	65	59	50
Klasik Müzik	ICA	80	78	71	70	54	57	52	57	53
Sol El Hayali	CWT	86	83	78	78	70	67	69	61	68
Klasik Müzik	ICA	83	80	75	71	60	58	53	55	60
Sol El Hayali	CWT	87	84	80	81	67	61	67	69	65
Rock Müzik	ICA	80	78	71	73	55	58	60	62	68
Sol El Hayali	CWT	83	79	77	78	70	67	70	73	71
Rock Müzik	ICA	82	76	73	72	63	65	62	59	66
A Harfi Hayali	CWT	86	81	69	71	73	78	77	75	78
Klasik Müzik	ICA	78	76	56	54	70	68	66	63	67
A Harfi Hayali	CWT	85	80	63	60	74	74	76	77	79
Klasik Müzik	ICA	77	74	67	59	63	65	63	64	60

Tablo 3.12'nin devamı

A Harfi Hayali	CWT	81	78	60	68	79	73	77	75	73
Rock Müzik	ICA	76	68	59	51	64	67	65	61	67
A Harfi Hayali	CWT	78	75	60	60	72	74	75	78	75
Rock Müzik	ICA	71	74	58	58	66	63	61	67	62
Klasik Müzik	CWT	81	85	65	63	78	75	80	87	82
Rock Müzik	ICA	78	80	59	52	67	65	60	79	75
Klasik Müzik	CWT	82	82	62	66	73	79	74	81	83
Rock Müzik	ICA	76	79	56	60	67	70	64	72	76

Tablo 3.13. K6'nın YSA ile ikili sınıflandırma performansları (%)

<u>Görevler</u>		<u>Elektrotlar</u>									
<u>Eğitim seti</u>	<u>Test seti</u>	<u>Öz nitelikler</u>	<u>F3</u>	<u>F4</u>	<u>C3</u>	<u>C4</u>	<u>P3</u>	<u>P4</u>	<u>Pz</u>	<u>O1</u>	<u>O2</u>
Rahat Durum	Rahat Durum	CWT	75	71	70	68	80	87	75	83	76
Problem Çözümü	Rahat Durum	ICA	66	58	58	62	64	79	72	77	65
Rahat Durum	Problem Çözümü	CWT	78	72	71	72	77	73	76	78	69
Problem Çözümü	Problem Çözümü	ICA	70	69	56	55	67	71	65	68	64
Rahat Durum	Rahat Durum	CWT	68	65	85	80	77	76	74	71	67
Sağ El Hayali	Rahat Durum	ICA	63	61	78	75	66	64	63	57	55
Rahat Durum	Sağ El Hayali	CWT	69	62	82	76	65	72	65	63	60
Sağ El Hayali	Rahat Durum	ICA	58	54	75	71	52	54	57	56	57
Rahat Durum	Rahat Durum	CWT	65	61	79	72	67	64	61	66	64
Sol El Hayali	Rahat Durum	ICA	54	50	74	70	59	49	59	52	48
Rahat Durum	Sol El Hayali	CWT	69	65	71	76	63	60	63	64	51
Sol El Hayali	Rahat Durum	ICA	58	53	62	63	61	58	57	47	53
Rahat Durum	Rahat Durum	CWT	59	56	56	52	68	67	66	63	65
A Harfi Hayali	Rahat Durum	ICA	49	47	48	46	57	61	61	59	57
Rahat Durum	A Harfi Hayali	CWT	56	52	55	51	66	68	71	76	73
A Harfi Hayali	Rahat Durum	ICA	51	44	50	45	62	64	60	66	60
Rahat Durum	Rahat Durum	CWT	76	73	64	65	63	69	67	70	70
Klasik Müzik	Rahat Durum	ICA	66	62	56	55	55	59	58	61	60
Rahat Durum	Klasik Müzik	CWT	78	80	63	61	62	67	60	63	65
Klasik Müzik	Rahat Durum	ICA	70	67	58	59	46	47	58	53	51
Rahat Durum	Rahat Durum	CWT	69	66	52	51	49	48	52	37	48
Rock Müzik	Rahat Durum	ICA	58	61	40	38	36	42	48	35	31
Rahat Durum	Rock Müzik	CWT	65	60	51	48	47	53	55	56	50
Rock Müzik	Rock Müzik	ICA	63	61	43	40	37	40	39	40	41

Tablo 3.13'ün devamı

Problem Çözümü	Problem	CWT	66	61	79	73	71	68	65	58	50
Sağ El Hayali	Çözümü	ICA	56	54	63	61	62	58	60	59	51
Problem Çözümü	Sağ El Hayali	CWT	59	53	74	68	72	69	68	60	58
Sağ El Hayali		ICA	53	48	60	58	66	58	67	57	48
Problem Çözümü	Sol El Hayali	CWT	67	61	76	73	69	67	66	63	64
Sol El Hayali		ICA	56	53	62	60	56	62	57	58	55
Problem Çözümü	Sol El Hayali	CWT	65	62	76	72	78	74	69	55	49
Sol El Hayali		ICA	48	46	60	58	59	62	59	44	39
Problem Çözümü	Problem	CWT	54	49	55	48	65	69	67	68	65
A Harfi Hayali	Çözümü	ICA	39	33	32	36	57	54	55	53	50
Problem Çözümü	A Harfi Hayali	CWT	56	51	53	51	70	73	76	73	72
A Harfi Hayali		ICA	41	45	39	36	56	58	60	59	55
Problem Çözümü	Problem	CWT	75	73	55	48	67	67	67	58	49
Klasik Müzik	Çözümü	ICA	71	67	44	42	63	60	61	47	43
Problem Çözümü	Klasik Müzik	CWT	73	69	52	51	68	65	66	52	50
Klasik Müzik		ICA	75	71	46	49	62	59	56	47	45
Problem Çözümü	Problem	CWT	74	71	47	45	66	62	63	53	48
Rock Müzik	Çözümü	ICA	74	70	43	44	63	62	61	45	40
Problem Çözümü	Rock Müzik	CWT	79	72	53	51	68	70	66	53	51
Rock Müzik		ICA	71	70	49	46	54	55	52	48	45
Sağ El Hayali	Sağ El Hayali	CWT	56	53	72	75	51	49	53	54	51
Sol El Hayali		ICA	47	40	62	60	38	43	43	45	40
Sağ El Hayali	Sol El Hayali	CWT	59	54	67	65	52	52	56	51	53
Sol El Hayali		ICA	55	51	61	63	45	42	41	46	39
Sağ El Hayali	Sağ El Hayali	CWT	63	59	81	77	83	80	79	76	82
A Harfi Hayali	A Harfi Hayali	ICA	44	49	67	68	67	65	68	70	68

Tablo 3.13'ün devamı

Sağ El Hayali	A Harfi Hayali	CWT	66	62	76	81	78	78	80	75	72
A Harfi Hayali	A Harfi Hayali	ICA	50	52	70	69	67	67	66	70	67
Sağ El Hayali	Sağ El Hayali	CWT	85	83	75	75	68	69	67	67	62
Klasik Müzik	Sağ El Hayali	ICA	80	78	70	65	57	58	57	55	49
Sağ El Hayali	Klasik Müzik	CWT	83	78	75	72	66	68	70	65	67
Klasik Müzik	Klasik Müzik	ICA	79	81	77	70	59	62	57	56	58
Sağ El Hayali	Sağ El Hayali	CWT	81	83	76	80	60	67	65	69	69
Rock Müzik	Sağ El Hayali	ICA	85	83	72	76	48	59	55	48	46
Sağ El Hayali	Rock Müzik	CWT	84	86	78	76	68	66	64	70	68
Rock Müzik	Rock Müzik	ICA	87	87	79	73	53	50	55	52	56
Sol El Hayali	Sol El Hayali	CWT	62	60	73	76	79	78	79	75	80
A Harfi Hayali	Sol El Hayali	ICA	49	52	70	68	66	66	65	65	60
Sol El Hayali	A Harfi Hayali	CWT	64	60	74	71	76	74	76	80	80
A Harfi Hayali	A Harfi Hayali	ICA	49	44	70	67	66	69	64	69	70
Sol El Hayali	Sol El Hayali	CWT	80	76	74	77	64	60	63	55	56
Klasik Müzik	Sol El Hayali	ICA	77	79	69	73	48	56	50	40	42
Sol El Hayali	Klasik Müzik	CWT	80	79	76	73	66	60	66	58	60
Klasik Müzik	Klasik Müzik	ICA	80	78	69	70	54	55	49	53	59
Sol El Hayali	Sol El Hayali	CWT	78	76	78	81	64	60	63	61	57
Rock Müzik	Sol El Hayali	ICA	74	75	69	75	51	46	42	48	56
Sol El Hayali	Rock Müzik	CWT	80	73	78	77	68	66	70	72	70
Rock Müzik	Rock Müzik	ICA	75	79	70	69	51	54	58	55	57
A Harfi Hayali	A Harfi Hayali	CWT	79	78	66	69	72	76	76	74	74
Klasik Müzik	Klasik Müzik	ICA	79	75	55	51	63	61	68	60	65
A Harfi Hayali	A Harfi Hayali	CWT	79	78	60	66	74	76	71	79	77
Klasik Müzik	Klasik Müzik	ICA	76	79	56	59	62	57	58	60	58

Tablo 3.13'ün devamı

A Harfi Hayali	CWT	80	78	68	66	80	77	76	77	72
Rock Müzik	ICA	77	78	55	50	59	65	65	60	62
A Harfi Hayali	CWT	77	74	60	58	67	70	68	68	70
Rock Müzik	ICA	79	71	53	56	58	60	59	63	59
Klasik Müzik	CWT	83	82	65	61	75	73	70	75	73
Rock Müzik	ICA	87	85	54	50	62	64	60	68	65
Klasik Müzik	CWT	79	83	61	64	70	76	68	68	60
Rock Müzik	ICA	85	80	52	58	65	68	63	65	59

Tablo 3.14. Katılımcıların YSA sınıflandırıcısı ile ortalama sınıflandırma performansları (%)

<u>Görevler</u>	<u>Öz nitelikler</u>	<u>Elektrotlar</u>									
		F3	F4	C3	C4	P3	P4	Pz	O1	O2	
Rahat Durum	CWT	79,1	77,6	74,6	73,2	80	77,3	78,1	76,9	71,6	
Problem Çözümü	ICA	71,9	71,7	62,1	60,5	68,1	71,5	68,5	68,7	65,7	
Rahat Durum	CWT	71	68,9	85,4	82,4	77	77,2	73,2	67,3	63,1	
Sağ El Hayali	ICA	66,9	65	78,5	77	66,5	65	61,3	57,3	53,9	
Rahat Durum	CWT	73,6	71,2	76,6	79,1	69,9	68	70	68,4	61,1	
Sol El Hayali	ICA	65,1	62,6	70,5	72,4	65,6	62,9	63,5	55,8	58,7	
Rahat Durum	CWT	64,6	61,9	65,9	63,7	74,7	73,7	72,2	70,9	72,4	
A Harfi Hayali	ICA	55,4	54	58,2	56,8	63,2	67,6	67,7	66,6	63,9	
Rahat Durum	CWT	82	81,1	69,7	68,1	67,1	69	65,6	67,7	68,7	
Klasik Müzik	ICA	77	75,6	63,9	63,9	52,1	53,1	61,1	58,4	56,8	
Rahat Durum	CWT	75,2	73,6	62,5	61,4	57	56,4	59,7	51,4	58,1	
Rock Müzik	ICA	70	70,8	52,9	51,7	46,6	49,2	52,3	45,9	44,8	
Problem Çözümü	CWT	65,8	63,4	79,6	74,5	74,1	72,4	70,9	57,6	53,5	
Sağ El Hayali	ICA	57,1	55,8	67,4	66	66,8	64,7	63,9	56,3	52,1	
Problem Çözümü	CWT	67,8	65	79,3	76,3	79,8	77,8	71,8	57,3	53,6	
Sol El Hayali	ICA	51,3	51,7	66,1	63,1	64,2	67,2	64	48,6	45,4	
Problem Çözümü	CWT	57,7	55,5	56,6	56,2	73,4	75,8	76,3	76,6	75,4	
A Harfi Hayali	ICA	46,9	48,9	45,6	46,3	62,6	65,1	66,1	64,7	61,3	
Problem Çözümü	CWT	78,5	76,3	59,4	55,7	71,7	71,6	71,3	59,4	53,7	
Klasik Müzik	ICA	76,2	72,3	51,8	50,6	66,8	64,7	64,9	49,5	48,7	
Problem Çözümü	CWT	80	76,3	58,6	56,9	72,2	73,8	70,8	56,6	55,4	
Rock Müzik	ICA	75,7	75,6	53,5	51,9	60,3	60,9	59	50,4	50,5	
Sağ El Hayali	CWT	61,3	58,2	73,7	79	60,1	55,8	59,4	58,4	56,7	
Sol El Hayali	ICA	53,3	48,6	63,8	66,1	50,1	48,3	50,1	49,7	46,2	
Sağ El Hayali	CWT	61,9	60,1	79,8	76,2	80,5	79,3	78	76	78,7	
A Harfi Hayali	ICA	47,1	47,6	67,8	68,1	67	64,6	67,5	67,2	65,6	

Tablo 3.14'ün devamı

Sağ El Hayali	CWT	83,9	82,4	76,6	75,9	67	66,6	66,2	66,7	64
Klasik Müzik	ICA	79,9	78,7	72,9	69,3	58,9	59,1	56,7	55,9	52,4
Sağ El Hayali	CWT	81,2	83,1	77	79,5	61,2	65	63,2	66,9	66,2
Rock Müzik	ICA	83,9	82,4	74,2	77	53,3	58,8	54,7	52,3	50,6
Sol El Hayali	CWT	63,8	61,4	75,5	73,2	75,8	74,7	75,7	78,5	80
A Harfi Hayali	ICA	51,9	48	70	68	67	69	66,7	67,8	67,8
Sol El Hayali	CWT	81,5	81,8	76,8	75,3	65,8	62,7	65,8	60,4	61,7
Klasik Müzik	ICA	85	82,3	71,5	71,1	55,4	56,2	51,9	54,8	58
Sol El Hayali	CWT	85,6	82,5	79,3	78,4	67,8	66,1	67,5	68,9	67,6
Rock Müzik	ICA	83,3	79,1	71,9	71,7	54	55,7	57,4	54,8	56,3
A Harfi Hayali	CWT	81,1	82,4	65	68,1	72,5	74,1	71,2	74,7	74
Klasik Müzik	ICA	82,4	78	60,3	61	60,7	58,6	58,2	59,9	56,9
A Harfi Hayali	CWT	79,4	77,7	67,3	67,1	76	73,1	72,9	74,4	71,2
Rock Müzik	ICA	76,8	76,3	56,5	52,7	60,1	63,7	62,4	59,6	60,5
Klasik Müzik	CWT	83,1	82,3	65,4	63,3	71,9	69,4	68,1	73,8	72,1
Rock Müzik	ICA	85	83,5	57,5	54,1	61	61,2	58,3	65,7	63

Gerçek zamanlı BBA uygulamalarında kısa sürede veri işleme ve cevap alma uygulamanın nihai sonuca ulaşması açısından önem taşımaktadır. Bir test verisinin analiz adımlarının sonuncusu olan sınıflandırma işleminin sonuna kadar geçen süreler DVM ve YSA sınıflandırıcıları için Tablo 3.15'te verilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre her iki öznitelik kullanımları ayrı ayrı dikkate alındığında, DVM yöntemi ile analizin YSA yönteminden daha kısa sürede tamamlandığını görülmektedir. DVM yöntemi, hızlı olması sebebiyle BBA uygulamalarında tercih edilen bir yöntemdir. Bu sonuç CWT özniteliği kullanılması durumunda 79s ve ICA özniteliği kullanılması durumunda 117s işlem süresiyle bizim verilerimizde de görülmektedir. YSA yöntemi kullanılması durumundaki işlem süresinin uzunluğu, ağ yapısı gereği gizli katmanlardaki ağırlıklandırmalar ve hesaplamaların zaman almasından kaynaklanmaktadır. İşlem süresi, CWT özniteliği kullanılması durumunda 100s ve ICA özniteliği kullanılması durumunda 138s sürmektedir.

Tablo 3.15. EEG sinyal işleme süreleri

<u>Veri Analizi Süresi (s)</u>			
DVM		YSA	
<u>CWT</u>	<u>ICA</u>	<u>CWT</u>	<u>ICA</u>
79	117	100	138

Bu tez çalışmasında altı farklı kişiden elde edilen EEG verileri hem seçilen görevler, hem öznitelik yöntemleri, hem de sınıflandırıcı performansları açısından değerlendirilmiştir. Bu sonuçlar elektrotlar açısından değerlendirildiğinde,

Tablo 3.16. Kanal bazında ortalama sınıflandırma performansları

Görevler	Sınıflandırıcılar	Sınıflandırma Performansı (%)						Katılımcıların Ortalaması
		K1	K2	K3	K4	K5	K6	
Rahat Durum & Problem Çözümü	YSA	98 (P3)	71 (F4)	87 (F3)	95 (P3)	92 (P3)	87 (P4)	88,33
	DVM	88 (P3)	68 (F4)	80 (F4)	92 (P3)	89 (P3)	79 (P3)	82,67
Rahat Durum & Sağ El Hayali	YSA	100 (C3)	75 (C4)	84 (C4)	95 (C3)	92 (C3)	85 (C3)	88,50
	DVM	89 (C3)	70 (C4)	82 (C4)	92 (C3)	87 (C3)	81 (C3)	83,50
Rahat Durum & Sol El Hayali	YSA	98 (P3)	72 (C4)	84 (C4)	89 (C4)	86 (C3)	79 (C3)	84,67
	DVM	87 (C4)	68 (C4)	80 (C4)	87 (C4)	83 (C4-P3-Pz)	76 (C4)	80,17
Rahat Durum & A Harfi Hayali	YSA	98 (Pz)	70 (C4)	86 (C3)	88 (O1)	85 (O1)	76 (O1)	83,83
	DVM	87 (Pz)	65 (C4-P4)	81 (C3)	87 (Pz)	82 (O1)	72 (O1)	79,00
Rahat Durum & Klasik Müzik	YSA	100 (F3)	78 (F3)	90 (F3)	88 (F4)	88 (F3)	80 (F4)	87,33
	DVM	87 (F3)	74 (F3)	85 (F3)	87 (F3)	83 (F3)	73 (F3)	81,50
Rahat Durum & Rock Müzik	YSA	100 (F3)	75 (F3)	88 (F4)	83 (F3)	76 (F3)	69 (F3)	81,83
	DVM	88 (F3)	70 (F3)	83 (F4)	78 (F3)	73 (F3)	66 (F4)	76,33
Problem Çözümü & Sağ El Hayali	YSA	100 (C3)	69 (Pz)	83 (C3)	95 (C3-P3)	85 (C3)	79 (C3)	85,17
	DVM	88 (C3-P3)	64 (C4)	79 (C4)	89 (P3)	83 (C3)	73 (C3)	79,33
Problem Çözümü & Sol El Hayali	YSA	98 (C3)	75 (P4)	84 (C4-P4)	90 (P3)	87 (C3)	78 (P3)	85,33
	DVM	89 (C3)	68 (P4)	79 (C4-P4)	88 (C3-P3)	84 (P4)	74 (P3)	80,33
Problem Çözümü & A Harfi Hayali	YSA	88 (O1)	72 (Pz)	85 (Pz)	89 (O1)	86 (O2)	76 (Pz)	82,67
	DVM	77 (P3-O1)	68 (Pz)	82 (Pz)	87 (O1)	83 (O1)	73 (O1)	78,33
Problem Çözümü & Klasik Müzik	YSA	100 (F3)	74 (F3)	87 (F3)	85 (F3)	87 (F3)	75 (F3)	84,67
	DVM	89 (F3-F4)	70 (F3)	83 (F3)	89 (F4)	84 (F3-F4)	76 (F3)	81,83
Problem Çözümü & Rock Müzik	YSA	98 (F3)	72 (F3)	84 (F4-P3)	87 (F4)	89 (F3)	79 (F3)	84,83
	DVM	89 (F3-F4)	66 (F3)	81 (F4)	90 (F4)	87 (F4)	77 (F4)	81,67
Sağ El Hayali & Sol El Hayali	YSA	100 (C3)	78 (C4)	86 (C4)	91 (C4)	87 (C3)	75 (C4)	86,17
	DVM	81 (C4)	72 (C4)	83 (C4)	87 (C3-C4)	85 (C4)	74 (C4)	80,33

Tablo 3.16.'nın devamı

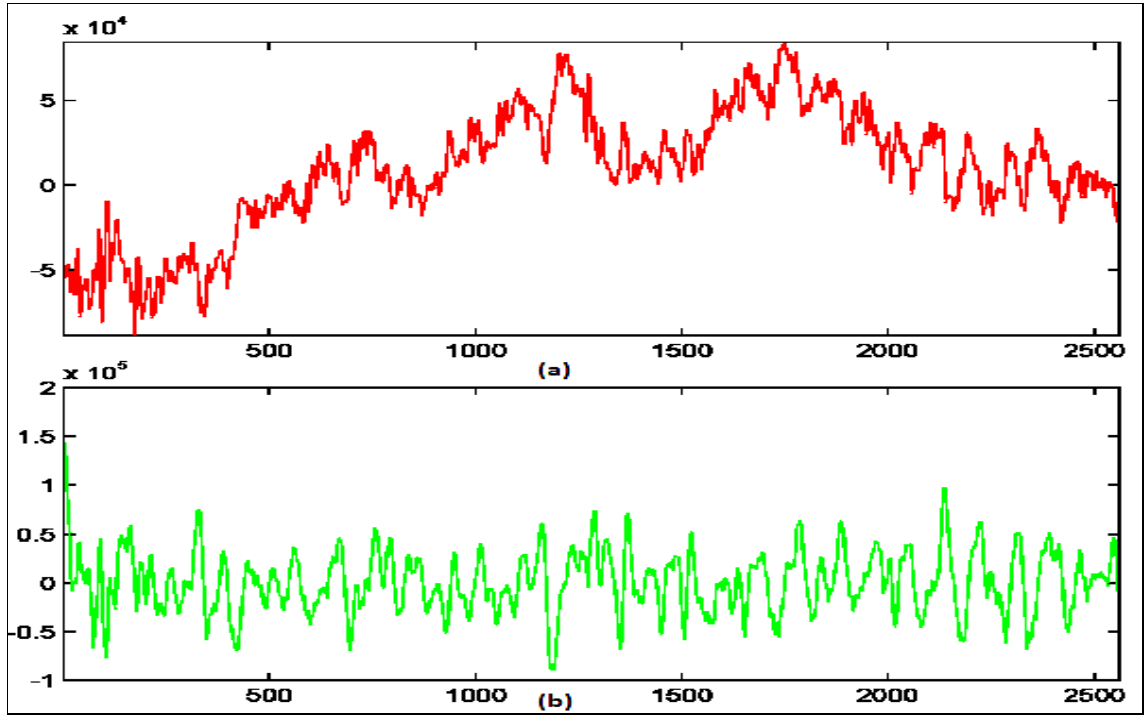
Sağ El Hayali & A Harfi Hayali	YSA	93 (C3)	68 (P3-P4)	80 (P3)	92 (Pz)	88 (C4)	83 (P3)	84,00
	DVM	82 (C3)	66 (P4)	77 (P3)	89 (C3-P4)	83 (C3-P4-O2)	71 (P4)	78,00
Sağ El Hayali & Klasik Müzik	YSA	100 (F3)	74 (F3)	87 (C3)	94 (F3)	85 (F3)	85 (F3)	87,50
	DVM	91 (F3-F4)	69 (F4)	84 (F3)	91 (F3-F4)	86 (F3-F4)	77 (F3)	83,00
Sağ El Hayali & Rock Müzik	YSA	100 (F3-F4-C4)	73 (F4)	84 (F3)	90 (F3)	86 (F4)	86 (F4)	86,50
	DVM	93 (F3)	69 (F4)	80 (F4)	93 (F3)	89 (F3)	79 (F3)	83,83
Sol El Hayali & A Harfi Hayali	YSA	93 (C3)	70 (P3)	83 (P4)	89 (P3)	89 (Pz)	80 (O2)	84,00
	DVM	82 (P4)	67 (P4)	78 (P3-P4)	89 (P4)	85 (O2)	73 (O2)	79,00
Sol El Hayali & Klasik Müzik	YSA	100 (F4)	75 (F3)	86 (F3)	90 (F3)	86 (F3)	80 (F3)	86,17
	DVM	93 (F3)	70 (F4)	83 (F3)	93 (F3)	88 (F3)	77 (F3)	84,00
Sol El Hayali & Rock Müzik	YSA	100 (F3)	77 (F3-C4)	90 (F3)	89 (F3)	87 (F3)	80 (F3)	87,17
	DVM	92 (F3)	72 (F4)	85 (F3)	91 (F3-F4)	87 (F3)	75 (F3)	83,67
A Harfi Hayali & Klasik Müzik	YSA	93 (F3)	71 (C4)	89 (F3)	96 (F4)	86 (F3)	79 (F3)	85,67
	DVM	86 (F4)	70 (F4)	82 (F3)	91 (F4)	86 (F4)	74 (F4)	81,50
A Harfi Hayali & Rock Müzik	YSA	93 (F3)	70 (F3-F4)	85 (F3)	96 (F3)	81 (F3)	80 (F3)	84,17
	DVM	84 (F4)	70 (F4)	82 (F3-F4)	91 (F4)	88 (F4)	75 (F4)	81,67
Klasik Müzik & Rock Müzik	YSA	100 (F4)	77 (F3-F4)	89 (F3)	97 (F4)	85 (F4)	87 (F3)	89,17
	DVM	91 (F3-F4)	74 (F3)	90 (F4)	93 (F3)	86 (F4)	77 (F3-F4)	85,17
Görevlerin Ortalaması	YSA	97,62	73,14	85,76	90,86	86,33	79,90	
	DVM	87,29	69,05	81,86	89,24	84,81	74,86	

3.2. BCI IIIa Verilerine Ait Öz Niteliklerden Elde Edilen Bulgular

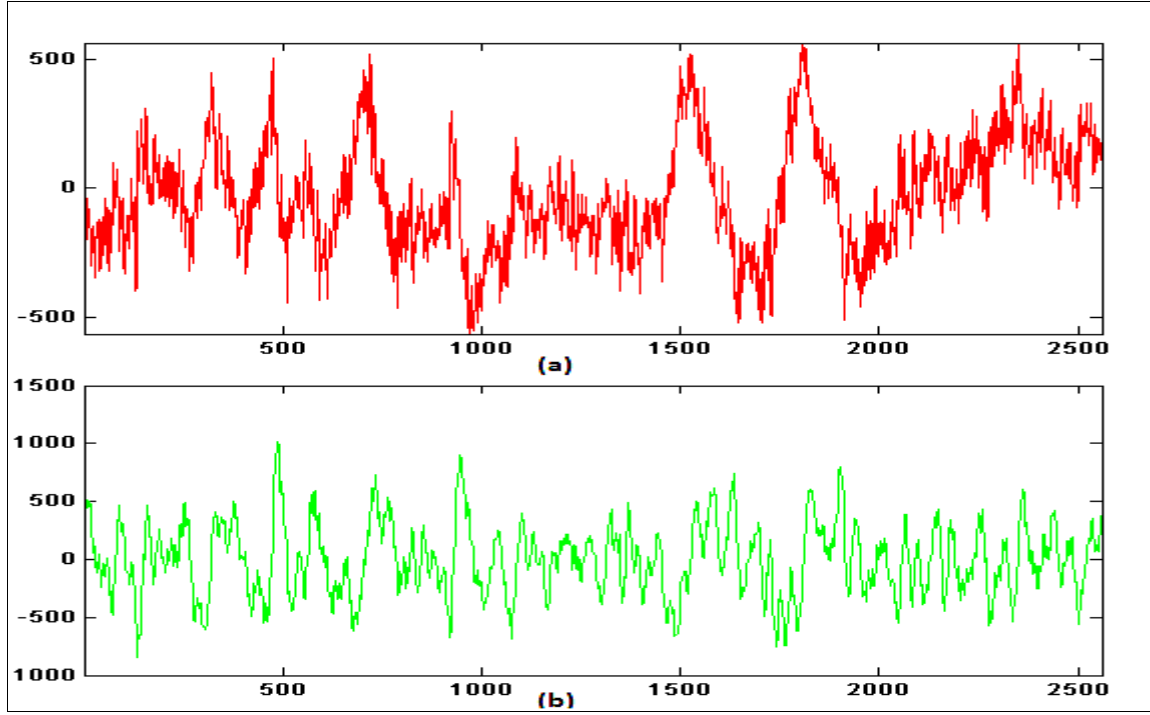
Bu bölümde BCI-IIIa hazır veri seti için öznitelik çıkarma ve sınıflandırma aşamaları gerçekleştirilmiştir.

3.2.1. CWT Yöntemi ile Çıkarılan Özniteliklere Ait Bulgular

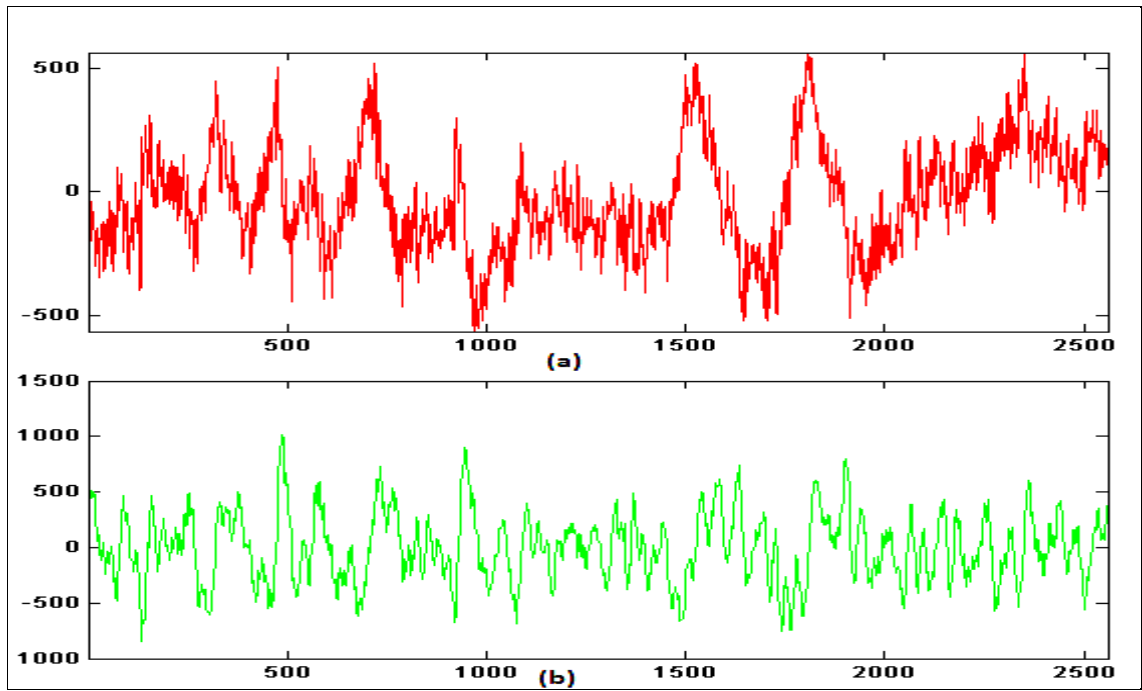
Bu aşamada deneysel veri setine CWT yöntemi ile uygulanan öznitelik çıkarma işlemleri BCI IIIa verileri için de aynı analiz adımları izlenerek uygulanmıştır. CWT yöntemi ile çıkarılan öznitelikler BCI IIIa verisinde mevcut olan dört görev ve üç katılımcı için ayrı ayrı elde edilmiştir. Şekil 3.15-3.18, rastgele seçilen bir denek ve rastgele seçilen bir deneme için, C3 elektrotundaki (a) ham sinyal ve (b) bu sinyal üzerine uygulanan sürekli dalgacık dönüşümü sonucunda ötelenip, ölçeklenen öznitelik olarak elde edilmiş C korelasyon katsayı sinyalini göstermektedir.



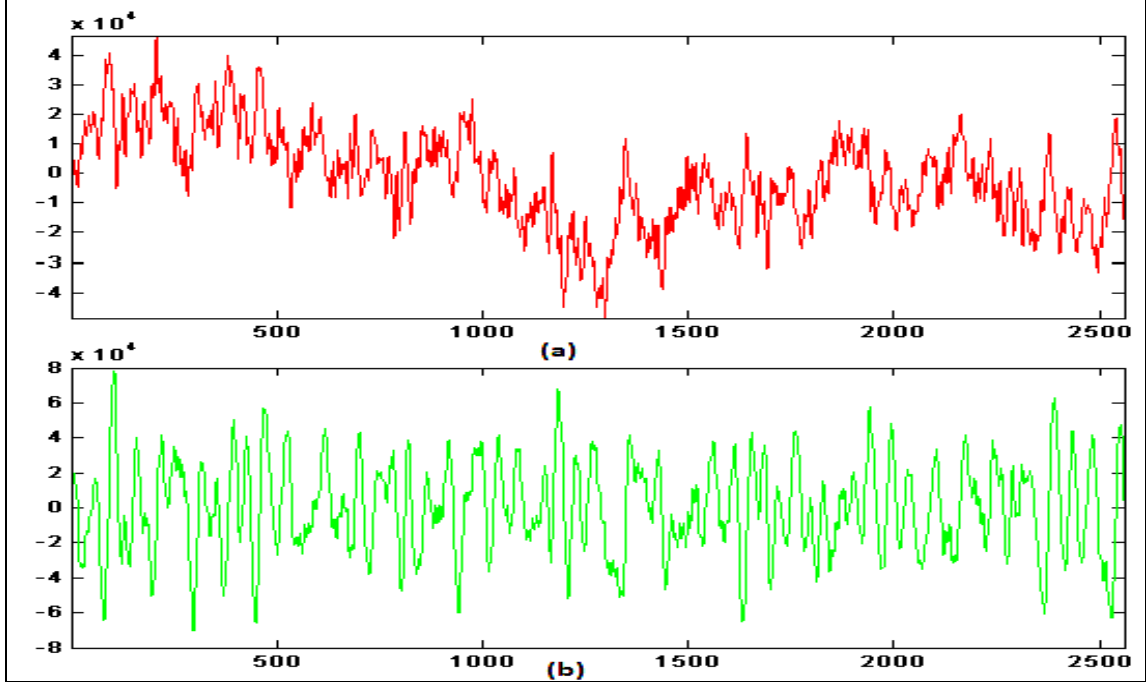
Şekil 3.15. Sağ el hareketi hayali görevi



Şekil 3.16. Sol el hareketi hayali görevi



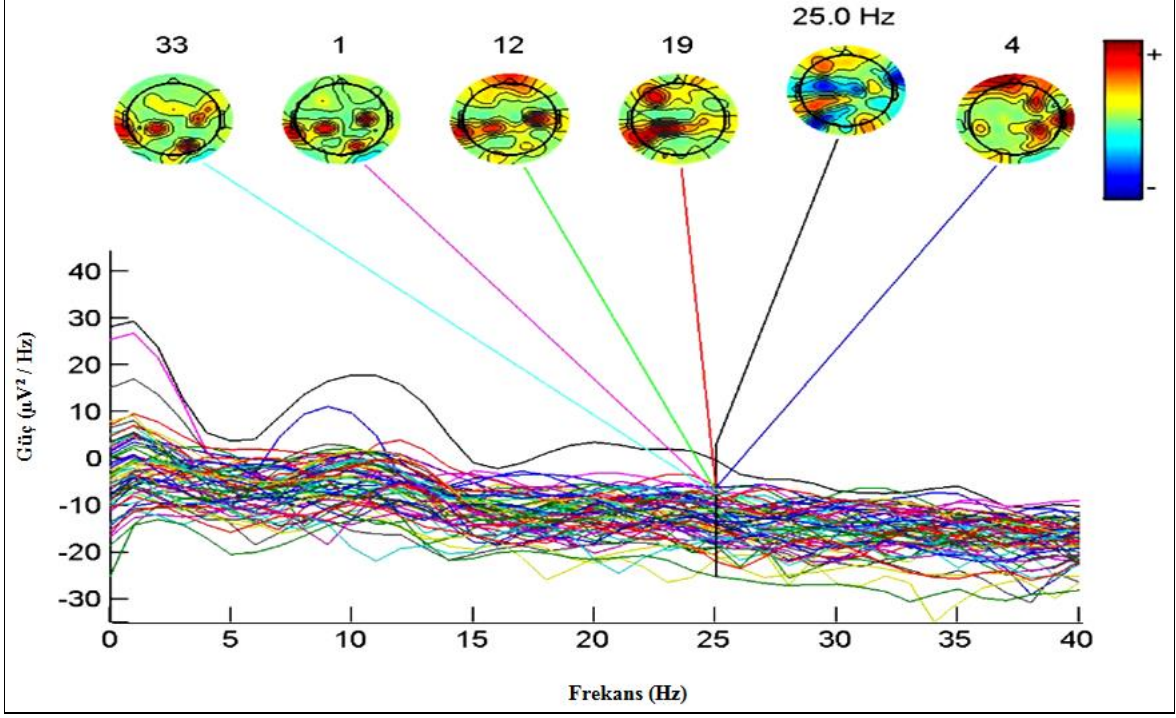
Şekil 3.17. Ayak hareketi hayali görevi



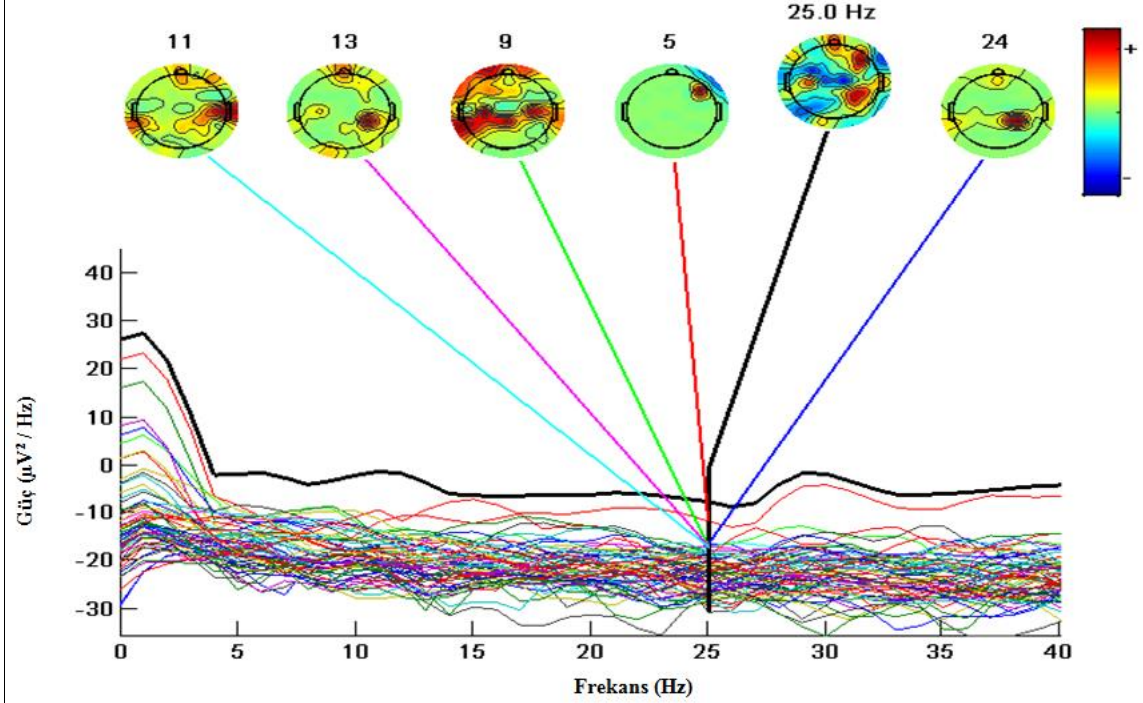
Şekil 3.18. Dil hareketi hayali görevi

3.2.2. ICA Yöntemi ile Çıkarılan Özniteliklere Ait Bulgular

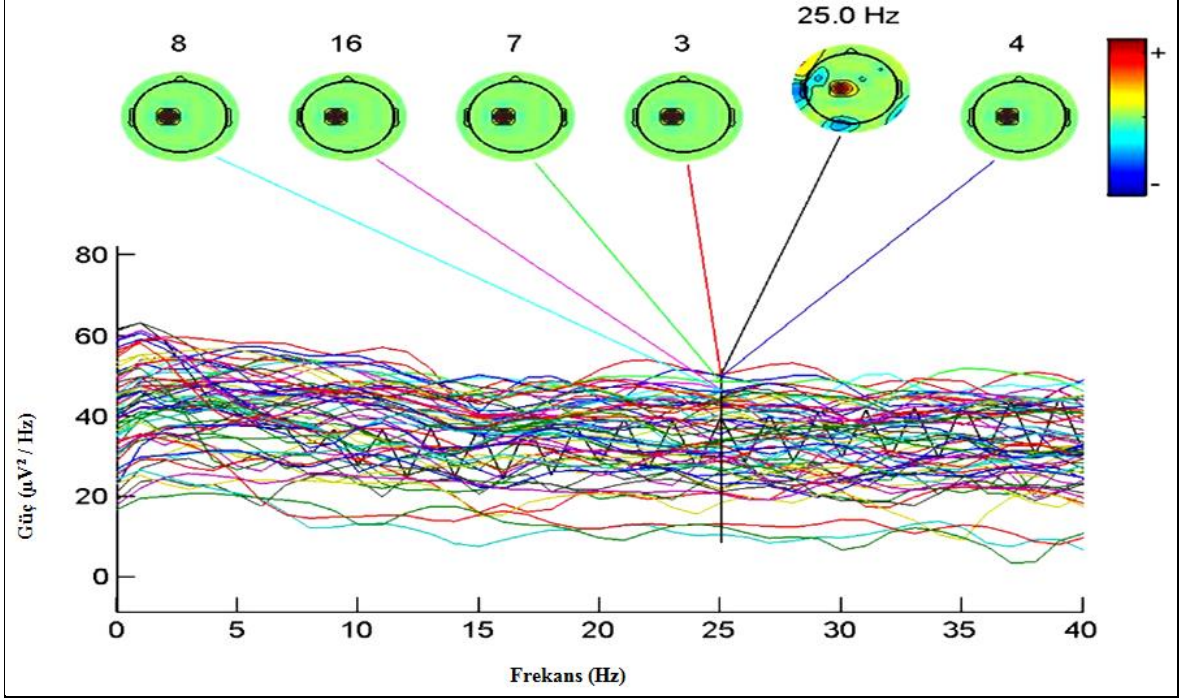
BCI IIIa verileri için ICA yöntemi ile öznitelik çıkarma işlemi de deneysel verilere uygulanan analiz adımlarını birebir içermektedir. BCI IIIa verilerini oluşturan üç katılımcı için, dört göreve ait verilere uygulanan analiz sonucunda, ICA katsayı vektörleri elde edilmiştir. Rastgele bir denek için incelenen görevin beynin hangi bölgesinde en aktif olduğunu gösteren, EEGLAB programında seçilen 2-25 Hz frekanslardaki topografik görüntüleri Şekil 3.19-3.22’de verilmiştir.



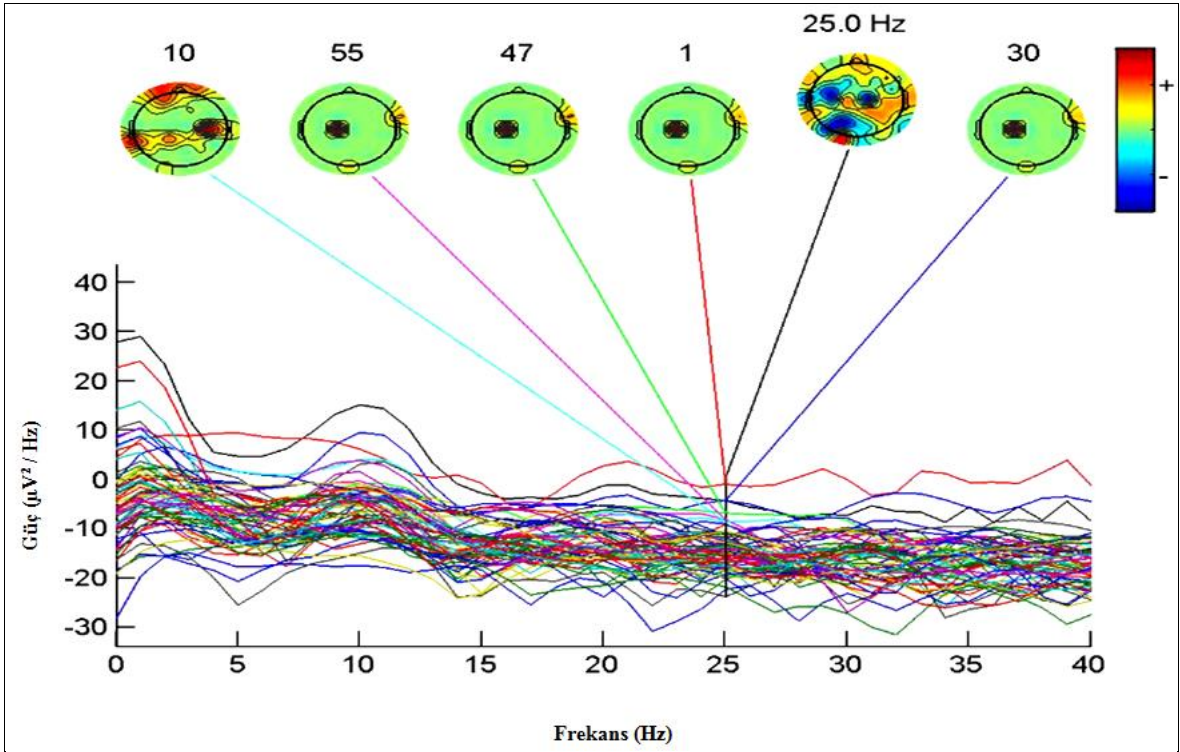
Şekil 3.19. Sağ el hareketi hayali



Şekil 3.20. Sol el hareketi hayali



Şekil 3.21. Ayak hareketi hayali



Şekil 3.22. Dil hareketi hayali

3.2.3. BCI IIIa Verilerinin Sınıflandırma Sonuçlarına Ait Bulgular

BCI-IIIa verisi de DVM ve YSA ile sınıflandırma işlemine tabi tutulmuştur. Bu veri grubunda üç farklı kişiye (k1b, k3b, 11b) ait veriler yer almaktadır. Tablo 3.17-3.19 DVM ile sınıflandırma sonuçlarını, Tablo 3.20 ise bu sonuçlara göre dört farklı görevin her bir kanal için ortalamalarını göstermektedir. Tablo 3.21-3.23 ise, YSA ile sınıflandırma sonuçlarını göstermektedir. Son olarak Tablo 3.24 ise bu sonuçlara göre yedi farklı görevin kanal bazında ortalamalarını göstermektedir.

Tablo 3.17. k3b'nin DVM ile ikili sınıflandırma performansı (%)

<u>Görevler</u>		<u>Öz nitelikler</u>										<u>Elektrotlar</u>									
<u>Eğitim seti</u>	<u>Test seti</u>	F3	F4	C3	C4	P3	P4	Pz	O1	O2	F3	F4	C3	C4	P3	P4	Pz	O1	O2		
Sağ El Hayali	Sağ El Hayali	CWT	77	75	84	81	75	73	78	71	77	75	76	81	75	73	73	78	71		
Sol El Hayali		ICA	65	63	76	69	62	62	60	64	65	63	76	69	62	62	60	60	64		
Sağ El Hayali	Sol El Hayali	CWT	74	69	82	79	73	68	72	69	74	69	82	79	73	68	69	72	69		
Sol El Hayali		ICA	66	62	70	69	61	60	63	60	63	66	70	69	61	60	63	60	63		
Sağ El Hayali	Sağ El Hayali	CWT	75	72	83	80	72	70	76	75	75	72	83	80	72	70	71	76	75		
Ayak Hayali		ICA	66	60	72	74	65	66	65	61	63	66	72	74	65	66	65	61	63		
Sağ El Hayali	Ayak Hayali	CWT	76	74	83	81	74	72	75	70	76	74	83	81	74	72	70	75	70		
Ayak Hayali		ICA	64	62	74	69	61	60	60	63	61	62	74	69	61	60	60	63	61		
Sağ El Hayali	Sağ El Hayali	CWT	60	55	67	70	60	58	59	56	60	55	67	70	60	58	57	59	56		
Dil Hayali		ICA	53	52	55	56	48	55	50	50	46	53	52	55	48	55	50	50	46		
Sağ El Hayali	Dil Hayali	CWT	58	57	69	73	61	59	60	58	58	57	69	73	61	59	59	60	58		
Dil Hayali		ICA	52	52	58	57	50	56	53	52	48	52	52	58	50	56	53	52	48		
Sol El Hayali	Sol El Hayali	CWT	73	70	81	78	71	68	74	72	73	70	81	78	71	68	67	74	72		
Ayak Hayali		ICA	64	59	71	72	64	61	63	58	60	64	59	72	64	61	63	58	60		
Sol El Hayali	Ayak Hayali	CWT	71	69	78	75	72	69	72	69	71	69	78	75	72	69	70	72	69		
Ayak Hayali		ICA	64	63	69	65	58	57	58	60	59	64	63	69	58	57	58	60	59		
Sol El Hayali	Sol El Hayali	CWT	57	55	71	72	63	62	62	59	57	55	72	72	63	62	67	62	59		
Dil Hayali		ICA	50	54	58	58	49	58	54	56	50	50	54	58	49	58	54	56	50		
Sol El Hayali	Dil Hayali	CWT	62	59	72	75	64	66	63	62	62	59	75	72	64	66	69	63	62		
Dil Hayali		ICA	55	53	64	61	55	56	57	55	58	55	53	61	55	56	57	55	58		
Ayak Hayali	Ayak Hayali	CWT	65	62	66	70	66	68	67	66	65	62	66	70	66	68	63	67	66		
Dil Hayali		ICA	57	55	62	66	52	55	56	57	66	57	62	66	52	55	56	57	59		
Ayak Hayali	Dil Hayali	CWT	67	65	78	74	67	69	66	63	67	65	78	74	67	69	68	66	63		
Dil Hayali		ICA	56	53	66	67	54	56	59	58	55	56	66	67	54	56	59	58	55		

Tablo 3.18. k6b'nin DVM ile ikili sınıflandırma performansları (%)

Görevler		Elektrotlar									
Eğitim seti	Test seti	Öz nitelikler									
		F3	F4	C3	C4	P3	P4	Pz	O1	O2	
Sağ El Hayali	Sağ El Hayali	68	65	70	73	70	68	68	64	63	
Sol El Hayali		57	55	69	67	54	50	57	55	59	
Sağ El Hayali	Sol El Hayali	65	63	70	70	70	62	65	64	63	
Sol El Hayali		57	52	62	60	61	60	63	58	56	
Sağ El Hayali	Sağ El Hayali	70	67	80	77	69	67	68	73	70	
Ayak Hayali		63	57	68	71	63	62	63	67	69	
Sağ El Hayali	Ayak Hayali	73	71	75	78	70	68	67	72	70	
Ayak Hayali		61	58	71	65	58	57	57	60	57	
Sağ El Hayali	Sağ El Hayali	57	51	67	67	57	55	57	59	56	
Dil Hayali		50	48	51	52	44	49	46	46	36	
Sağ El Hayali	Dil Hayali	55	53	69	65	58	55	57	55	52	
Dil Hayali		49	47	58	57	53	53	50	49	46	
Sol El Hayali	Sol El Hayali	70	67	77	75	68	64	63	71	67	
Ayak Hayali		61	54	67	69	61	57	60	58	53	
Sol El Hayali	Ayak Hayali	69	65	74	70	67	66	66	67	67	
Ayak Hayali		63	58	66	61	57	55	52	59	57	
Sol El Hayali	Sol El Hayali	55	52	67	68	60	58	61	57	54	
Dil Hayali		40	51	58	56	49	51	47	49	44	
Sol El Hayali	Dil Hayali	57	55	73	75	61	62	65	59	55	
Dil Hayali		52	48	62	60	52	52	54	51	48	
Ayak Hayali	Ayak Hayali	61	57	73	69	60	66	58	58	56	
Dil Hayali		53	52	63	59	52	54	51	54	49	
Ayak Hayali	Dil Hayali	64	60	75	74	63	63	59	61	57	
Dil Hayali		56	53	64	62	51	50	56	55	53	

Tablo 3.19. 11b'nin DVM ile ikili sınıflandırma performansını (%)

Görevler		Öz nitelikler	Elektrotlar									
Eğitim seti	Test seti		F3	F4	C3	C4	P3	P4	Pz	O1	O2	
Sağ El Hayali	Sağ El Hayali	CWT	86	83	92	89	85	82	82	84	81	
Sol El Hayali		ICA	73	73	86	81	72	71	69	69	64	
Sağ El Hayali	Sol El Hayali	CWT	84	80	90	88	83	78	78	81	79	
Sol El Hayali		ICA	76	72	80	79	71	70	72	69	71	
Sağ El Hayali	Sağ El Hayali	CWT	84	81	91	91	82	80	81	85	85	
Ayak Hayali		ICA	76	70	86	83	75	74	76	70	73	
Sağ El Hayali	Ayak Hayali	CWT	86	84	90	90	84	82	80	85	82	
Ayak Hayali		ICA	74	71	85	80	70	70	71	73	71	
Sağ El Hayali	Sağ El Hayali	CWT	74	74	80	79	72	75	77	67	65	
Dil Hayali		ICA	63	62	75	71	68	65	60	60	59	
Sağ El Hayali	Dil Hayali	CWT	68	67	83	79	71	69	69	70	68	
Dil Hayali		ICA	62	60	68	67	60	65	62	62	60	
Sol El Hayali	Sol El Hayali	CWT	81	80	85	88	81	78	77	80	79	
Ayak Hayali		ICA	73	69	83	80	75	72	72	73	71	
Sol El Hayali	Ayak Hayali	CWT	81	79	85	86	80	80	78	82	79	
Ayak Hayali		ICA	74	72	79	75	68	67	68	70	69	
Sol El Hayali	Sol El Hayali	CWT	68	66	85	83	73	71	78	72	79	
Dil Hayali		ICA	58	59	78	76	69	68	64	66	70	
Sol El Hayali	Dil Hayali	CWT	72	69	84	85	75	77	80	73	72	
Dil Hayali		ICA	65	63	74	72	66	66	67	66	65	
Ayak Hayali	Ayak Hayali	CWT	77	74	90	84	77	75	73	77	76	
Dil Hayali		ICA	66	63	75	72	65	62	66	69	67	
Ayak Hayali	Dil Hayali	CWT	79	75	88	85	77	77	78	75	73	
Dil Hayali		ICA	68	65	76	73	64	66	69	68	65	

Tablo 3.20. DVM ile üç katılımcının ikili sınıflandırma performanslarının ortalaması (%)

<u>Görevler</u>	<u>Öz nitelikler</u>	<u>Elektrotlar</u>									
		F3	F4	C3	C4	P3	P4	Pz	O1	O2	
Sağ El Hayali	CWT	77	74,3	82	81	76,7	74,3	74,3	75,3	71,7	
Sol El Hayali	ICA	65	63,7	77	72,3	62,7	61	62	61,3	62,3	
Sağ El Hayali	CWT	76,3	73,3	84,7	82,7	74,3	72,3	73,3	78	76,7	
Ayak Hayali	ICA	68,3	62,3	75,3	76	67,7	67,3	68	66	68,3	
Sağ El Hayali	CWT	60,3	59	73,7	72,3	63,3	61	61,7	61,7	59,3	
Dil Hayali	ICA	54,3	53	61,3	60,3	54,3	58	55	54,3	51,3	
Sol El Hayali	CWT	74,7	72,3	83	80,3	73,3	70	69	75	72,7	
Ayak Hayali	ICA	66	60,7	73,7	73,7	66,7	63,3	65	63	61,3	
Sol El Hayali	CWT	63,7	61	80,7	77,7	66,7	68,3	71,3	65	63	
Dil Hayali	ICA	57,3	54,7	66,7	64,3	57,7	58	59,3	57,3	57	
Ayak Hayali	CWT	70	66,7	80,3	77,7	69	69,7	68,3	67,3	64,3	
Dil Hayali	ICA	60	57	68,7	67,3	56,3	57,3	61,3	60,3	57,7	

Tablo 3.21. k3b'nin YSA ile ikili sınıflandırma performansısı (%)

<u>Görevler</u>		<u>Elektrotlar</u>									
<u>Eğitim seti</u>	<u>Test seti</u>	<u>Öz nitelikler</u>	<u>F3</u>	<u>F4</u>	<u>C3</u>	<u>C4</u>	<u>P3</u>	<u>P4</u>	<u>Pz</u>	<u>O1</u>	<u>O2</u>
Sağ El Hayali	Sağ El Hayali	CWT	78	76	88	86	73	78	75	80	75
Sol El Hayali		ICA	67	65	79	73	64	64	61	62	64
Sağ El Hayali	Sol El Hayali	CWT	76	72	86	81	73	71	69	74	71
Sol El Hayali		ICA	67	64	73	70	63	60	61	61	63
Sağ El Hayali	Sağ El Hayali	CWT	76	73	80	80	75	76	73	77	76
Ayak Hayali		ICA	63	61	77	73	67	64	63	63	64
Sağ El Hayali	Ayak Hayali	CWT	75	72	81	77	71	68	66	71	69
Ayak Hayali		ICA	63	59	72	64	57	55	57	59	61
Sağ El Hayali	Sağ El Hayali	CWT	64	58	76	69	66	59	59	60	59
Dil Hayali		ICA	55	54	58	56	49	55	52	51	46
Sağ El Hayali	Dil Hayali	CWT	61	58	66	68	63	60	57	55	59
Dil Hayali		ICA	53	51	54	56	50	54	50	50	49
Sol El Hayali	Sol El Hayali	CWT	74	73	80	83	75	69	69	75	73
Ayak Hayali		ICA	63	66	71	74	65	63	66	61	62
Sol El Hayali	Ayak Hayali	CWT	78	74	77	79	72	71	75	75	71
Ayak Hayali		ICA	64	63	70	68	59	58	61	64	62
Sol El Hayali	Sol El Hayali	CWT	59	57	76	74	66	65	67	62	61
Dil Hayali		ICA	51	55	60	61	58	58	56	56	49
Sol El Hayali	Dil Hayali	CWT	65	61	80	78	66	66	69	63	62
Dil Hayali		ICA	54	57	65	61	57	58	57	58	60
Ayak Hayali	Ayak Hayali	CWT	68	65	77	73	65	70	68	69	68
Dil Hayali		ICA	58	57	65	67	51	53	55	55	60
Ayak Hayali	Dil Hayali	CWT	70	68	79	74	67	69	68	66	63
Dil Hayali		ICA	60	57	69	66	51	56	56	58	58

Tablo 3.22. k6b'nin YSA ile ikili sınıflandırma performansı (%)

<u>Görevler</u>		<u>Öz nitelikler</u>	<u>Elektrodlar</u>									
<u>Eğitim seti</u>	<u>Test seti</u>		F3	F4	C3	C4	P3	P4	Pz	O1	O2	
Sağ El Hayali	Sağ El Hayali	CWT	71	67	79	79	71	70	71	68	65	
Sol El Hayali		ICA	59	58	69	70	56	52	57	59	59	
Sağ El Hayali	Sol El Hayali	CWT	75	70	84	81	79	70	72	71	73	
Sol El Hayali		ICA	70	65	77	71	66	68	69	67	65	
Sağ El Hayali	Sağ El Hayali	CWT	75	75	91	88	80	78	78	85	81	
Ayak Hayali		ICA	67	64	79	77	70	71	74	79	77	
Sağ El Hayali	Ayak Hayali	CWT	77	78	82	83	71	78	73	72	70	
Ayak Hayali		ICA	66	61	76	69	58	55	60	60	57	
Sağ El Hayali	Sağ El Hayali	CWT	68	58	79	73	62	67	63	66	60	
Dil Hayali		ICA	59	54	67	66	48	50	52	49	47	
Sağ El Hayali	Dil Hayali	CWT	59	61	66	68	62	60	67	58	59	
Dil Hayali		ICA	49	55	62	59	60	57	54	51	49	
Sol El Hayali	Sol El Hayali	CWT	73	69	83	81	71	75	73	78	72	
Ayak Hayali		ICA	62	58	74	71	65	60	69	62	64	
Sol El Hayali	Ayak Hayali	CWT	76	72	88	80	77	77	70	79	74	
Ayak Hayali		ICA	69	62	79	74	66	63	63	70	67	
Sol El Hayali	Sol El Hayali	CWT	61	58	73	70	64	66	70	67	69	
Dil Hayali		ICA	44	54	63	59	53	57	50	59	55	
Sol El Hayali	Dil Hayali	CWT	60	59	80	77	67	68	70	69	66	
Dil Hayali		ICA	56	53	67	64	57	58	63	66	60	
Ayak Hayali	Ayak Hayali	CWT	64	60	77	73	66	70	63	62	60	
Dil Hayali		ICA	55	56	64	63	56	51	54	60	58	
Ayak Hayali	Dil Hayali	CWT	67	64	72	76	66	69	69	70	67	
Dil Hayali		ICA	57	57	65	63	60	56	59	64	59	

Tablo 3.23. 11b'nin YSA ile ikili sınıflandırma performansını (%)

Görevler		Öz nitelikler	Elektrotlar									
Eğitim seti	Test seti		F3	F4	C3	C4	P3	P4	Pz	O1	O2	
Sağ El Hayali	Sağ El Hayali	CWT	90	89	90	93	89	88	88	90	91	
Sol El Hayali		ICA	76	73	90	88	79	77	79	80	78	
Sağ El Hayali	Sol El Hayali	CWT	88	91	95	93	84	81	83	91	89	
Sol El Hayali		ICA	74	76	85	83	76	73	77	82	80	
Sağ El Hayali	Sağ El Hayali	CWT	93	90	100	100	88	90	89	96	97	
Ayak Hayali		ICA	86	81	92	89	86	83	85	88	86	
Sağ El Hayali	Ayak Hayali	CWT	91	90	100	97	92	87	87	93	90	
Ayak Hayali		ICA	85	85	94	91	77	73	74	87	85	
Sağ El Hayali	Sağ El Hayali	CWT	78	76	88	83	80	84	85	78	75	
Dil Hayali		ICA	70	71	81	78	78	76	71	69	68	
Sağ El Hayali	Dil Hayali	CWT	74	71	91	89	82	78	76	79	75	
Dil Hayali		ICA	67	64	76	77	69	74	68	68	63	
Sol El Hayali	Sol El Hayali	CWT	88	88	100	99	90	87	87	94	90	
Ayak Hayali		ICA	77	75	90	87	83	80	79	81	81	
Sol El Hayali	Ayak Hayali	CWT	89	86	98	95	88	85	88	96	89	
Ayak Hayali		ICA	78	75	85	86	76	78	74	82	78	
Sol El Hayali	Sol El Hayali	CWT	76	73	88	89	80	74	78	88	83	
Dil Hayali		ICA	69	67	78	79	75	74	69	76	75	
Sol El Hayali	Dil Hayali	CWT	74	70	91	86	77	79	79	84	87	
Dil Hayali		ICA	65	63	75	72	64	67	66	72	76	
Ayak Hayali	Ayak Hayali	CWT	77	74	89	86	79	74	76	84	81	
Dil Hayali		ICA	68	62	77	73	61	62	67	70	68	
Ayak Hayali	Dil Hayali	CWT	79	75	89	85	77	74	78	84	79	
Dil Hayali		ICA	68	65	76	74	63	61	69	68	69	

Tablo 3.24. YSA ile üç katılımcının ikili sınıflandırma performanslarının ortalaması (%)

<u>Görevler</u>	<u>Öz nitelikler</u>	<u>Elektrotlar</u>									
		F3	F4	C3	C4	P3	P4	Pz	O1	O2	
Sağ El Hayali	CWT	79,7	77,7	88,3	85	78,7	74	74,7	78,7	77,7	
Sol El Hayali	ICA	70,3	68,3	78,3	74,7	68,3	67	69	70	69,3	
Sağ El Hayali	CWT	81,3	79,3	90,3	89,3	81	81,3	80	86	84,7	
Ayak Hayali	ICA	72	68,7	82,7	79,7	74,3	72,7	74	76,7	75,7	
Sağ El Hayali	CWT	70	64	81	75	69,3	70	69	68	64,7	
Dil Hayali	ICA	61,3	59,7	68,7	66,7	58,3	60,3	58,3	56,3	53,7	
Sol El Hayali	CWT	78,3	76,7	87,7	87,7	78,7	77	76,3	82,3	78,3	
Ayak Hayali	ICA	67,3	66,3	78,3	77,3	71	67,7	71,3	68	69	
Sol El Hayali	CWT	66,3	63,3	83,7	80,3	70	71	72,7	72	71,7	
Dil Hayali	ICA	58,3	57,7	69	65,7	59,3	61	62	65,3	65,3	
Ayak Hayali	CWT	72	69	81	78,3	70	70,7	71,7	73,3	69,7	
Dil Hayali	ICA	61,7	59,7	70	67,7	58	57,7	61,3	63,3	62	

Tablo 3.25. Kanal bazında ortalama sınıflandırma performansları

Görevler	Sınıflandırıcılar	Sınıflandırma Performansı (%)				Katılımcıların Ortalaması
		Katılımcılar				
		k3b	k6b	11b		
Sağ El Hayali & Sol El Hayali	YSA	88 (C3)	84 (C3)	95 (C3)	89,00	
	DVM	84 (C3)	73 (C4)	92 (C3)	83,00	
Sağ El Hayali & Ayak Hayali	YSA	81 (C3)	91 (C3)	100 (C3-C4)	90,67	
	DVM	83 (C3)	80 (C3)	91 (C3-C4)	84,67	
Sağ El Hayali & Dil Hayali	YSA	76 (C3)	79 (C3)	91 (C3)	82,00	
	DVM	73 (C4)	69 (C3)	83 (C3)	75,00	
Sol El Hayali & Ayak Hayali	YSA	83 (C4)	88 (C3)	100 (C3)	90,33	
	DVM	81 (C3)	77 (C3)	88 (C4)	82,00	
Sol El Hayali & Dil Hayali	YSA	80 (C3)	80 (C3)	91 (C3)	83,67	
	DVM	75 (C4)	75 (C4)	85 (C3-C4)	78,33	
Ayak Hayali & Dil Hayali	YSA	79 (C3)	77 (C3)	89 (C3)	81,67	
	DVM	78 (C3)	75 (C3)	90 (C3)	81,00	
Görevlerin Ortalaması	YSA	81,17	83,17	94,33		
	DVM	79,00	74,83	88,17		

3.3. Sınıflandırma Performanslarına Ait Bulgular

Tablo 3.26. KTÜ verilerine ait Kappa istatistiği sonuçları

Sınıflandırıcılar	Öznitelikler	Kappa Değeri						Katılımcıların Ortalaması
		Katılımcılar						
		K1	K2	K3	K4	K5	K6	
YSA	CWT	0,88	0,61	0,73	0,53	0,79	0,78	0,72
	ICA	0,89	0,65	0,71	0,47	0,79	0,76	0,71
DVM	CWT	0,89	0,58	0,73	0,51	0,81	0,79	0,72
	ICA	0,86	0,60	0,70	0,51	0,77	0,81	0,71

Tablo 3.27. BCI IIIa verilerine ait Kappa istatistiği sonuçları

Sınıflandırıcılar Öznitelikler		Kappa Değeri			
		Katılımcılar			Katılımcıların Ortalaması
		k3b	k6b	11b	
YSA	CWT	0,93	0,45	0,58	0,65
	ICA	0,94	0,5	0,52	0,65
DVM	CWT	0,91	0,43	0,71	0,68
	ICA	0,91	0,44	0,67	0,67

4. İRDELEME

EEG veri eldesi 64 kanaldan yapılmış olmasına rağmen, sınıflandırma sonuçları seçilen dokuz elektrot kanalı için verilmiştir. Bu elektrot kanallarının her biri beynin sağ ve sol yarıkürelerinden eşit sayıda seçilmiş ve serebral korteksteki bölümleri temsil etmektedirler. Burada tek rakamlar sol yarıküreyi, çift rakamlar sağ yarıküreyi göstermektedir. Pz kanalı ise parietal lobun merkezini ifade etmektedir [62].

Sinyal analizinde kullanılacak olan EEG veri seti üzerinde bozuk olarak nitelenebilecek verileri ayıklama işlemi yapılmamıştır. Bunun nedeni bu çalışmanın devamının gerçek zamanlı bir uygulamaya alt yapı olmasının amaçlanmasıdır. Gerçek zamanlı BBA çalışmasında, deneğin verilen görevi devamlı başarılı bir şekilde sürdürmesi mümkün değildir. Belli zaman aralıklarında yoğunlaşma kaybı veya dış etkiler (radyasyon, gürültü vb.) nedeniyle verilen göreve uygun olmayan EEG sinyalleri üretilebilir. Bu çalışmada, deney aşamasında dış etkilerin minimuma indirildiği bir ortamda deneğin konsantrasyonunu kaybetmediği varsayılsa da az da olsa bozuk verinin oluşması kaçınılmazdır. Literatürde çevrim dışı uygulamalarda kullanılan bozuk verilerin gözle ayıklanması sıkça başvurulan yöntemler arasındadır. Fakat bu çalışmada, gerçek zamanlı bir çalışma yapılıyor kabulü ile bu bozuk verilerin gözle ayıklanması yapılmamıştır [62].

4.1. KTÜ Verileri

4.1.1. Öz Niteliklere Ait İrdeleme

a. CWT Yöntemi

Beyin bilgisayar ara yüzü tasarımı için gerekli sinyaller sınıflandırılırken, önemli aşamalardan biri özniteliklerin seçimidir. Bu çalışmada öznitelik çıkarma yöntemi olarak Sürekli Dalgacık Dönüşümü (CWT) ve Bağımsız Bileşen analizi (ICA) yöntemleri tercih edilmiştir. CWT yönteminde, sinyalin hem zaman hem de frekans domenindeki özelliklerini görmek mümkün olduğundan [28], BBA uygulamaları için de uygun bir öznitelik seçme yöntemi olacağı düşünülmektedir. Bulgular bölümünde, altı farklı katılımcı için yedi farklı göreve ait ham sinyaller ve CWT yöntemi ile öznitelikleri

çıkarılmış halleri Şekil 3.1-3.7’de görülmektedir. Şekiller incelendiğinde, farklı görevler esnasında EEG verisinin yapısının birbirinden farklı olduğu görülmektedir. EEG sinyali doğası gereği, kişiden kişiye değişiklik gösterdiği ve doğrusal olmayan bir yapıda olduğundan, zaman domenindeki görüntülerinden genel bir yargıya varmak mümkün değildir. Görevler arasındaki farklar, ancak bir sınıflandırıcı ile seçilen öznelikler test edildiğinde ortaya koyulabilir. Buna bağlı olarak Bulgular bölümünde yer alan, DVM ve YSA sınıflandırıcıları ile elde edilen ortalama sınıflandırma sonuçları Tablo 3.7 ve Tablo 3.14’te görülmektedir. CWT yöntemi ile bilişsel (Rahat durum, Problem çözümü) görevlerin en yüksek ikili sınıflandırma performansı % 85.4 olarak elde edilmiştir. Motor (Sağ el hayali, sol el hayali) görevler için en yüksek %85.6 sınıflandırma performansı elde edilmiştir. Tablo 3.7 ve Tablo 3.14 incelendiğinde, öznelik çıkarma yöntemi olarak CWT kullanıldığında, çoğunluk görev çiftlerinin sınıflandırma performanslarının daha yüksek olduğu görülmektedir. Yalnızca müzik görevlerinin (Klasik, Rock) kendi arasındaki ikili sınıflandırmasında ICA yöntemleri ile elde edilen sınıflandırma sonuçları daha yüksek olmaktadır (%85). Zaman zaman, CWT ve ICA yöntemleri ile elde edilen sonuçların birbirine çok yakın olduğu görülmektedir (%82.4). CWT yöntemi, verilerin hem zaman hem de frekans domeni özelliklerini içerecek şekilde özneliklerini belirlediği için, daha başarılı sınıflandırma sonuçları elde edilmesini sağlamıştır.

b. ICA Yöntemi

ICA yöntemi EEG verileri için çoğunlukla önışleme aşamasında, ham sinyallerin gürültü ve bozuculardan arındırılması için kullanılmıştır [30]. Bu çalışmada, literatürden farklı olarak ICA yöntemi EEG verisine uygulandıktan sonra elde edilen bağımsız bileşenler öznelik olarak seçilmiştir. Bundan sonraki aşamada verilerin gözle taranması ya da ikinci bir öznelik seçme algoritması kullanma yoluna gidilmemiştir. ICA katsayılarını içeren öznelik vektörleri, her bir katılımcı ve her bir görev için ayrı ayrı elde edilmiştir. Özneliklerin, sınıflandırma performansına etkileri Tablo 3.7 ve Tablo 3.14’te sunulmuştur.

ICA yöntemi ile ayrıca, 2-25 Hz bandına ait frekanslardaki topografik görüntüler elde edilmiştir (Şekil 3.8-3.14). Bu görüntüler ışığında farklı görevler için, görev-oluşma yeri ilişkisi kurulabilecektir. Görev ve beyinde olduğu yer incelemesi yapılırken, altı farklı katılımcı için bu görüntüler incelenmiş, her katılımcı için birebir aynı frekanslarda yoğunluk elde edilmemekle birlikte genel bir örtüşme olduğu gözlenmiştir.

Şekil 3.8, Rahat durum görevi esnasında, 1-25 Hz bandında topografik değişimleri göstermektedir. Rahat durum, BBA uygulamalarında genellikle temel görev-karşılaştırma görevi olarak kullanıldığından, bu görev esnasında beyin aktivitesinin düşük olduğu kabul edilir. Delta ve teta bandında (1-7 Hz) genlikler yüksek ($35-40 \mu V^2 / Hz$) olmasına rağmen, alfa (8-13 Hz) bandında yaklaşık $10 \mu V^2 / Hz$ ve beta (13-30 Hz) bandında $8 \mu V^2 / Hz$ civarındadır. Beta bandında özellikle 25 Hz civarında, frontal bölgede ve sağ ve sol parietal bölgede spektral yoğunluk görülmektedir. Şekil 3.9'da verilen problem çözümüne ait grafikte, hem düşük frekanslarda hem de yüksek frekanslarda, işaretin genliğinin $30 \mu V^2 / Hz$ civarında olduğu görülmektedir. 25 Hz civarındaki beta bandında, spektral yoğunlukların sağ merkezi bölge (C4) ve sağ parietal bölgede (P4) olduğu görülmektedir. Şekil 3.10'da verilen sağ el hayaline ait grafikte, alfa ve beta bandına ait genlikler yaklaşık olarak $10-15 \mu V^2 / Hz$ değerlerindedir. Topografik görüntüler incelendiğinde, 14-25 Hz aralığındaki frekanslarda spektral yoğunluğun sol merkezi bölgede (C3) olduğu görülmektedir. Şekil 3.11'de verilen sol el hayaline ait alfa ve beta bandına ait genlikler yaklaşık olarak $20 \mu V^2 / Hz$ değerindedir. Buradaki spektral yoğunluğun 11-25 Hz aralığındaki frekanslarda sağ merkezi bölgede (C4) olduğu görülmektedir. Bu sonuçlar, motor hareketlerin sağ ve sol hemisferlerdeki ayrışması ile örtüşmektedir. Şekil 3.12'de A harfi hayaline ait grafik sunulmuştur. Bu görevde, işaretin genliğinin, problem çözümü ve motor görevlere kıyasla daha düşük değerler ($10-15 \mu V^2 / Hz$) aldığı görülmektedir. Düşük frekanslarda (1-6 Hz) ve yüksek frekanslarda (9-25 Hz) sağ merkezi bölgede ve sol parietal bölgede spektral yoğunluk fark edilmektedir.

Müzik dinleme görevlerine ait Şekil 3.13 ve 3.14 incelendiğinde, Klasik müzik görevi ve Rock müzik görevinin genliklerinin birbirinden farklı olduğu görülür. Klasik müzik dinleme görevi esnasında, 5-25 Hz frekans bandında genlik değerlerinin yaklaşık $30 \mu V^2 / Hz$ olduğu görülür. Rock müzik dinleme görevinde ise genlik değerleri $2 \mu V^2 / Hz$ civarındadır. Topografik haritalarda, hem Klasik müzik hem de Rock müzik görevlerinde serebral korteksin frontal bölgesinde spektral yoğunluk olduğu görülür. Bu yoğunluk, klasik müzik dinleme görevinde sol yarıkürede gözlenirken, rock müzik dinleme görevinde sağ yarıkürede gözlenmektedir. Bu bulgular, literatürdeki "hoşa giden müzik dinlenmesi esnasında beyin sol frontal bölgesinin harekete geçtiğini, hoşa gitmeyen müzik dinlenmesi esnasında ise sağ frontal ve ön-yan bölgenin harekete geçtiği" [73] bilgisi ile örtüşmektedir. Müzik dinlemenin insanlar üzerinde çok değişik duygular uyandırdığı bilinen bir gerçektir. Ayrıca, hoşa giden ve hoşa gitmeyen kavramları, kişiden kişiye

farklılık göstermektedir. Fakat farklı müzik türlerinin insanlarda oluşturduğu duygu değişimleri beyin bilgisayar arayüzü sistemleri için de bir alternatif oluşturacak niteliktedir.

4.1.2. Sınıflandırma Sonuçlarına Ait İrdeleme

Öznitelik vektörleri elde edildikten sonra, sınıflandırma performansları DVM ve YSA sınıflandırıcıları ile test edilmiştir. Tablo 3.1 K1 için DVM ile dokuz kanaldan ve her bir görevin ikili sınıflandırmasından elde edilen sınıflandırma performansını göstermektedir. En yüksek sınıflandırma başarısı %93 ile Sol el / Klasik müzik olarak F3 kanalında elde edilmiştir. Tablolar 3.1-3.2-3.3-3.4-3.5-3.6 incelendiklerinde, tüm katılımcılar için bilişsel görevlerin (Rahat durum, Problem Çözümü, A Harfi) sınıflandırma performanslarının en yüksek sınıflandırma performansına P3 ve P4 kanallarında ulaştıkları görülmektedir. Motor görevler (Sağ el hayali, Sol el hayali) için en yüksek sınıflandırma performansları C3, C4 kanallarında gözlenmektedir. Son olarak müzik görevlerinin (Klasik müzik, Rock müzik) en yüksek sınıflandırma performansları F3, F4 kanallarında elde edilmiştir. Tablo 3.7’de DVM yöntemi ile elde edilen ortalama sınıflandırma performansları verilmiştir. Görevlerin sınıflandırma performansları değerlendirildiğinde, en yüksek sınıflandırma performansı motor görevlerle müzik görevlerinin sınıflandırma sonuçlarına aittir. Sağ el hayali / Rock müzik performansı %81.3 ile F3 kanalında, Sol el hayali / Klasik müzik performansı %81.2 ile yine F3 kanalında elde edilmiştir. Bilişsel ve motor görevlerin müzik görevleri ile sınıflandırılması sonucunda, frontal bölge elektrotlarındaki (F3-F4) başarılarının yüksek olduğu görülmektedir. Bu bulgular, topografik haritalarda gözlenen spektral yoğunluklarla ve literatürle [74] örtüşmektedir.

Tablolar 3.8-3.9-3.10-3.11-3.12-3.13 YSA yöntemi ile elde edilen sınıflandırma sonuçlarını göstermektedir. Tablo 3.14 ise YSA ile ortalama sınıflandırma sonuçlarını göstermektedir. YSA sınıflandırma performansları, DVM performansından daha üstündür. En yüksek sınıflandırma performansı %85.6 ile Sol el hayali / Rock müzik sınıflandırmasından elde edilmiştir. Kanal performansları değerlendirildiğinde, sonuçların DVM yöntemi ile uyumlu olduğu görülmektedir.

4.1.3. Müzik Verileri Sınıflandırmasına Ait İrdeleme

Müzik dinleme ve müzik icra etme işlemleri hafıza, öğrenme ve duyguların hepsini ilgilendiren karmaşık bir işlemdir. Bir müziksel deneyim için beynin pek çok bölümünün görev aldığı bilinmektedir.

Müzik ve duygusal etkileşiminin EEG-tabanlı araştırması pek çok araştırmacı tarafından araştırılmış olmasına rağmen, müziksel görevlerin ayırt edilmesiyle ilgili pek az çalışma vardır [22]. Bu nedenle bu tez çalışmasında, müziksel görevler bilişsel ve motor görevlerle birlikte değerlendirilerek, BBA sistemleri için ayırt edicilikleri araştırılmıştır. Tablo 3.16'da tüm görevlerin kanallara göre DVM ve YSA ile ortalama sınıflandırma performansları verilmiştir. Bilişsel ve motor görevlerin müzik görevleri ile kıyaslanmasında çoğunlukla sol frontal bölgede (F3) yüksek başarı değerleri elde edilmiştir (%81.83-%87.33). Klasik ve Rock müzik dinleme görevlerinin kendi aralarındaki en yüksek sınıflandırma performanslarının K1, K2, K4 ve K5 katılımcıları için sağ frontal bölgede, K3 ve K6 için sol frontal bölgede olduğu görülmektedir. En yüksek sınıflandırma performansı %89.6 olarak elde edilmiştir. Bu sonuç BBA sistemleri için oldukça yüksek bir değerdir. BBA uygulamalarının tıpta iletişim ve rehabilitasyon amaçlı kullanımının yanı sıra bilgisayar oyunları dünyasında da kullanıldığı bilindiğinden, bu çalışmanın sonuçlarının, farklı müzik türlerine dayalı EEG- BBA sistemleri için yeni bir seçenek olabileceği düşünülmektedir.

4.2. BCI IIIa Verilerine Ait İrdeleme

KTÜ verileri için izlenen öznelik çıkarma ve sınıflandırma aşamaları, BCI IIIa hazır veri seti için de denenerek, deneylerimizin sonucunda elde ettiğimiz verilerin güvenilirlikleri karşılaştırılmaktadır. Bu veri setindeki görevler, dört adet motor görevden oluşmaktadır. Bu görevler Sağ el hareketi hayali, sol el hareketi hayali, ayak hareketi hayali ve son olarak dil hareketi hayalidir.

CWT ve ICA yöntemleri ile çıkarılan öznelikler, DVM YSA sınıflandırıcıları ile sınıflandırılmıştır. Ayrıca bağımsız bileşenleri elde edilen her farklı görev verisi için topografik haritalar Şekil 3.19-3.22'de sunulmuştur. Sağ el hareket hayali esnasında alfa ve beta bandında işaretin $8-10 \mu V^2 / Hz$ genliklerinde olduğu görülmektedir (Şekil 3.19). Ayrıca, 19-25 Hz frekanslarında, işaretin sol merkezi ve sol frontal bölgede spektral

yoğunluk oluşturduğu, 33Hz civarında sol merkezi ve sağ merkezi ve oksipital bölgelerde spektral yoğunluk oluşturduğu görülmektedir. Şekil 3.20'de sol el hareketi hayali esnasında, 25 Hz frekansında sağ merkezi ve sağ parietal, sağ frontal bölgede spektral yoğunluk gözlenmektedir. Ayak hareketi hayalinde 3-25 Hz frekanslarında, sol merkezi bölgede spektral yoğunluk gözlenmektedir (Şekil 3.21). Bu görevde, işaretin genliği yaklaşık $60 \mu V^2 / Hz$ değerindedir. Şekil 3.22'de dil hareketi hayaline ait spektral ve topografik görüntülerde, düşük ve yüksek frekanslarda (1-55 Hz) sol merkezi bölgede spektral yoğunluk gözlenmektedir. İşaretin genliği yaklaşık $10 \mu V^2 / Hz$ değerindedir. Motor hareket hayali için elde edilen bu sonuçlar, KTÜ verileriyle elde edilen sonuçlarla, oluşum yeri açısından uyum göstermektedir.

4.2.1. BCI IIIa Verilerinin Sınıflandırma Sonuçlarına Ait İrdeleme

BCI IIIa veri setinde üç farklı kişiden alınan veriler yer almaktadır. DVM ve YSA yöntemleri ile ikili sınıflandırma işlemi gerçekleştirilmiş ve sınıflandırma sonuçları, 9 farklı kanal için ortalamaları da içerecek şekilde elde edilmiştir. Tablolar 3.17-3.24 incelendiğinde, hem DVM için hem de YSA için öznelik yöntemi olarak CWT kullanılması durumunda en yüksek sınıflandırma performansları elde edilmektedir. Bu sonuç, KTÜ verileri ile uyumludur. Ayrıca, sınıflandırma yöntemleri açısından değerlendirildiğinde, tüm görevler için YSA yönteminin daha yüksek sonuçlar verdiği görülmektedir (Tablo 3.25). Sağ el / Sol el hayali sınıflandırmasında en yüksek sınıflandırma performansı %89 değerinde C3 elektrotunda elde edilmiştir. Sağ el hayali/ Ayak hayali %90.67 ile C3 elektrotunda ve Ayak hayali/ Dil hayali %81.67 ile yine C3 elektrotunda yani sol merkezi bölgede elde edilmiştir. Bu sonuçlar, motor hareketlerin serebral korteksin merkezi bölümünde oluştuğu gerçeği ile örtüşmektedir.

4.3. Sınıflandırma Performanslarına Ait İrdeleme

KTÜ verileri ve BCI IIIa verilerinin sınıflandırma güvenilirliği Kappa istatistiğine göre değerlendirilmiştir. Kappa katsayısı iki değerleyici arasındaki karşılaştırmalı uyuşmanın güvenilirliğini ölçen bir yöntem olduğundan, tesadüfen beklenenin dışındaki uyumluluğun oranını göstermektedir. Buna göre, KTÜ verileri için ortalama 0.72 (Tablo

3.26) ve BCI IIIa verileri için ortalama 0.65 Kappa değeri elde edilmiştir (Tablo 3.27). Kappa istatistiğinde 0.61-0.80 değerleri veri grupları arasında önemli derecede uyuşma olmasını ifade etmektedir. Yani şans eseri elde edilen bir yüksek performans durumu söz konusu değildir.

5. SONUÇLAR

Altı sağlıklı bireyden alınan birbirinden farklı zihinsel, motor ve müzik görevleri esnasında kaydedilen EEG verilerinden ICA ve CWT yöntemleri ile öznitelikler çıkarılmış, DVM ve YSA sınıflandırıcıları ile bu öznitelikler sınıflandırılmıştır. Sonuçların karşılaştırılması amacıyla literatürde geçerliliği kabul edilmiş olan BCI IIIa veri seti ile işlem adımları denenmiştir. Performans kriteri olarak kappa istatistiği kullanılmış ve elde edilen bulgulardan çıkarılan sonuçlar aşağıda sıralanmıştır:

1. Öznitelik çıkarma yöntemleri karşılaştırıldığında CWT yönteminin, ICA yönteminden daha üstün olduğu belirlenmiştir.
2. Deneysel verilerdeki, katılımcıların kanal ortalamaları incelendiğinde “Klasik & Rock Müzik” görevlerinin karşılaştırıldığı durumda sınıflandırma performansı en yüksek %89.17 ile “YSA” sınıflandırıcısında görülmüştür.
3. BCI IIIa verisinde, üç katılımcının kanal ortalamalarının, sınıflandırma sonuçlarına göre en yüksek başarımları ise “Sağ El & Ayak Hareketi Hayali” görevlerinin mukayesesinde %90.67 oranında “YSA” sınıflandırıcısında olduğu belirlenmiştir.
4. Görevlerin ikili sınıflandırma performanslarının ortalaması incelendiğinde elde edilen en yüksek sonuçlar şu şekilde sıralanmaktadır:

Deneysel veriler için;

▪ Rahat Durum & Klasik Müzik	%87.33
▪ Problem Çözümü & Sol El Hayali	%85.33
▪ Sağ El Hayali & Sol El Hayali	%86.17
▪ Sağ/Sol El Hayali & Klasik/Rock Müzik	%87.50
▪ Klasik Müzik & Rock Müzik	%89.17

BCI IIIa verileri için;

▪ Sağ El Hayali & Ayak Hayali	%90.67
▪ Sol El Hayali & Ayak Hayali	%90.33

5. Müzik dinleme görevlerinin ikili sınıflandırma sonuçları göstermektedir ki bu görevler için en uygun elektrot kanalları frontal lobdaki “F3, F4” kanallarıdır.

6. Motor hareketlerin beyindeki oluşum yerinin sentral lobdaki “C3, C4” elektrotlarında daha etkili olduğu görülmektedir.
7. EEG sinyali analizi sırasında, öznelik çıkarımından sınıflandırma aşamasına kadar toplam süreler göz önüne alındığında, öznelikler açısından CWT yöntemi ICA yöntemine göre çok daha hızlı sonuç vermektedir. Sınıflandırıcılar açısından ise DVM ile sınıflandırma işlemi her iki öznelik çıkarma işlemi için de YSA ile sınıflandırma işleminden yaklaşık 20s daha kısa sürmektedir.
8. Deneysel veriler için, DVM sınıflandırılmasında her bir elektroda göre EEG verileri yüzde başarımları %38,2 - %81,3 arasında değişmektedir. Bütün katılımcıların DVM ile sınıflandırma sonuçlarının ortalaması alındığında elde edilen sonuç %62,62 olmaktadır. YSA ile sınıflandırma sonucunda yüzde başarımları %41,3 - %85,4 arasında değişmekte olup, tüm katılımcıların ortalaması ise %66,02 olmaktadır.
9. BCI IIIa verileri için, DVM sınıflandırılmasında yüzde başarımları %47 - %84,67 arasında değişmektedir. Bütün katılımcıların DVM ile sınıflandırma sonuçlarının ortalaması alındığında ise sonuç %66,43 olmaktadır. YSA ile sınıflandırma sonucunda yüzde başarımları %53,67 - %90,33 arasında değişmekte olup, tüm katılımcıların ortalaması ise %70,85 olmaktadır.
10. Müzik görevlerinin %89.17’lik sınıflandırma başarımları ile BBA uygulamaları için bir seçenek olabileceği görülmüştür.
11. Ele alınan veri grupları için, YSA yönteminin, DVM yönteminden üstün olduğu görülmüştür.
12. Sınıflandırma performans ölçütü olan kappa katsayısının uyuma oranı her bir katılımcıya göre değişmekte birlikte KTÜ verisinde ve BCI IIIa verisinde uyuma değeri sırasıyla 0.72 ve 0.65 olarak elde edilmiştir. Bu değerler, önemli derecede uyuma sınırları içerisindedir (0.61-0.80).

6. ÖNERİLER

1. Bu çalışmada kullanılan öznitelikler farklı sınıflandırıcılarla denenerek sonuçlar araştırılabilir. Benzer şekilde farklı öznitelikler kullanılarak sonuçlar genişletilebilir.
2. EEG veri kayıtları esnasında görevlerin hayali, özellikle müzik görevlerinin süreleri 10s yerine daha uzun sürede uygulanarak denenebilir.
3. EEG sinyallerine ön işleme uygulama aşamasında, sinyaller çok yönlü araştırılabilir.
4. Tez çalışmasında sağlıklı bireyler yerine çalışmanın amacına uygun olarak nörofizyolojik bozukluğu olan kişilerle çalışılarak, onların dış dünyayla iletişim kurmaları üzerinde nihai sonuçlara ulaşılabılır.
5. Bu tez çalışması sonucunda edinilen deneyim sayesinde, EEG tabanlı gerçek zamanlı bir Beyin Bilgisayar Arayüzü uygulaması gerçekleştirilebilir.

7. KAYNAKLAR

1. Wolpaw, R.J., Birbaumer, N., McFarland, D.J., Pfurtscheller, G. and Vaughan, T.M., "Brain-Computer Interfaces for Communication and Control", Clinical Neurophysiology, 113, (2002) 767-791.
2. Vidal, J.J., "Toward Direct Brain-Computer Communication", Annual Review of Biophysics and Bioengineering, L.J. Mullins, Ed., Annual Reviews, Inc., Palo Alto, 2, (1973) 157-180.
3. Acar, C.E., Parallelization of the Forward and Inverse Problems of Electro-Magnetic Source Imaging of the Human Brain, Ph.D. Thesis, The Graduate School of Natural and Applied Sciences of Middle East Technical University, Department of Electrical and Electronics Engineering, Ankara, 2003.
4. Lehtonen, J., EEG-based brain computer interfaces, Master of Science, Helsinki University of Technology Department of Electrical and Communications Engineering , Helsinki, 2002.
5. Andrzejak, R.G., Lehnertz, K., Rieke, C., Mormann, F., David, P. and Elger, C.E., "Indications of Nonlinear Deterministic and Finite-Dimensional Structures In Time Series of Brain Electrical Activity: Dependence on Recording Region and Brain State", Physical Review E, 64, (2001) 061-907.
6. Phillips, C.L.M., Source Estimation in EEG: Combining anatomical and functional constraints, Ph.D. Thesis, Université de Liège, Faculté des Sciences Appliquées, Belgium, 2001.
7. Crossman, A.R. and Neary, D., Neuroanatomy: An Illustrated Colour Text, Churchill Livingstone, Edinburgh, 2000.
8. Plonsey R. and Barr R.C., Bioelectricity – A Quantitative Approach, Springer, 3rd edition, Newyork, 2007.
9. Nieder, M. E., and Lopes da Silva, F., Electroencephalography, chapter 9, pages 149–173, Lippincott Williams & Wilkins, 1999.
10. Wong, D. K., Multichannel Representations of Language by Perceptron-Based Models and Independent Component Analysis, PhD Thesis, Dept. of Electrical Engineering, Stanford University, May 2004.
11. Mason, S.G., and Birch, G.E., A General Framework for Brain–Computer Interface Design, IEEE Transactions On Neural Systems And Rehabilitation Engineering, 11-1, (2003) 72-87.

12. Peretz I, Zatorre R., “Brain Organization for Music Processing”, Annual Review of Psychology, 56, (2005) 89 – 114.
13. Zatorre, R.J., “Musical perception and cerebral function: a critical review. Music Perception” The Psychology of Music, 2, (1984) 196-221.
14. Pantev, C., Roberts, L.E., Schulz, M., Engelien, A. and Ross, B., “Timbre-specific enhancement of auditory cortical representations in musicians”, Cognitive Neuroscience and Neuropsychology, Vol 12, No 1, (2001) 169-174.
15. Soysal, A.Ş., Yalçın, K. ve Karakaş, S., Temporal Lobun Sesi: Müzik, Yeni Sempozyum, 43, (2005) 107–113.
16. Ramirez, R. and Vamvakousis, Z., “Detecting Emotion from EEG Signals Using the Emotive Epop Device”, F.M. Zanzotto et al. (Eds.), BI 2012, LNCS 7670, (2012) 175–184.
17. Meister, I.G., Krings, T., Foltys, H., Boroojerdi, B., Müller, M., Töpper, R. and Thron, A., “Playing piano in the mind an fMRI study on music imagery and performance in pianists”, Cognitive Brain Research, 19 (2004) 219–228.
18. Asada H., Fukuda Y., Tsunoda S., Yamaguchi M. and Tonoike M., “ Frontal Midline Theta Rhythms Reflect Alternative Activation of Prefrontal Cortex and Anterior Cingulated Cortex in Humans”, J. Neurophysiology, 50 (1999) 324 – 328.
19. Dey, A., Palit, S.K., Bhattacharya, D.K., Tibarewala, D.N. and Das, D., “Study of the effect of music on central nervous system through long term analysis of eeg signal in time domain”, International Journal of Engineering Sciences & Emerging Technologies, Volume 5, Issue 1, (2013) 59-67.
20. Bhattacharya, J., Petsche, H. and Pereda, E., “Interdependencies in the spontaneous EEG while listening to music”, Elsevier Science B.V. All rights reserved, (2001).
21. Makeig, S., Leslie, G., Mullen, T., Sarma, D., Bigdely-Shamlo, N. and Kothe, C., “First Demonstration of a Musical Emotion BCI”, Fourth International Conference, October 9–12, 2011, USA, 487-496.
22. Hamadicharef , B., Xu, M., and Aditya, S., “Brain-Computer Interface (BCI) based Musical Composition” International Conference on Cyberworlds, 20-22 Oct. 2010, Singapore, 282 – 286.
23. Wolpaw, J. R., McFarland, D. J., “Control of a Two-Dimensional Movement Signal by a Noninvasive Brain–Computer Interface in Humans”, PNAS, 101 (2004) 17849-17854.

24. Hayes, M. H., *Schaum's Outline of Digital Signal Processing (Schaum's)*, 1996.
25. Ulusoy , I., Halici, U., Nalcaci, E., Anac, I., Leblebicioglu, K. and Basar-Eroglu, C., “Time frequency analysis of visual evoked potentials for inter-hemispheric transfer time and proportion of callosal fibers in different diameter”, *Journal of Biological Cybernetics*, 90 (4), (2004) 291-301.
26. Durmuş, E., Sadreddini, Z. ve Gürsel, Özmen, N., “Beyin Bilgisayar Arayüzü Sistemleri İçin Uygun Öznitelik ve Sınıflandırıcı Seçimi”, *Otomatik Kontrol Ulusal Toplantısı*, Eylül 2014, Kocaeli, *Bildiriler Kitabı*, 651-656.
27. Burrus, C.S., Gopinath, R.A., Guc, H., *Introduction to Wavelets and Wavelet Transforms*, Texas, Prentice Hall, 1998.
28. Xue, Z., Li, J. and Li, S., “Using ICA to Remove Eye Blink and Power Line Artifacts in EEG”, *Proceedings of the First International Conference on Innovative Computing, Information and Control*, 2006, Kumamoto, 3, 107-110.
29. Nezhadarya, E. and Shamsollahi, M. B., “EOG artifact removal from EEG using ICA and ARMAX modeling”, *ICBME 2005*, Singapore, 2005.
30. Potter, M., Gadhok, N. and Kinsner, W., “Separation performance of ICA on simulated EEG and ECG signals contaminated by noise”, *Canadian Journal of Electrical and Computer Engineering*, 27(3), (2002) 123-127.
31. Barbati, G., Porcaro, C., Zappasodi, F., Rossini, P.M. and Tecchio, F., “Optimization of an independent component analysis approach for artifact identification and removal in magnetoencephalographic signals”, *Clinical Neurophysiology*, 115, (2004) 1220-1232.
32. He, P., Wilson, G. and Russell, C., “Removal of ocular artifacts from electroencephalogram by adaptive filtering”, *Medical and Biological Engineering and Computing*, 42, (2004) 407-412.
33. Shooshtari, P., Mohamadi, G., Ardekani, B. M. and Shamsollahi, M. B., “Removing Ocular Artifacts from EEG Signals using Adaptive Filtering and ARMAX Modeling”, *Proceedings Of World Academy Of Science, Engineering And Technology*, 11, (2006) 277-280.
34. Kumar, P. S., Arumuganathan, R., Sivakumar, K. and Vimal, C., “A Wavelet based Statistical Method for De-Noiseing of Ocular Artifacts in EEG Signals”, *IJCSNS International Journal of Computer Science and Network Security*, 8, 9, (2008) 87-92.
35. Browne, M., and Cutmore, T. R., “Low-probability event-detection and separation via statistical wavelet thresholding: an application to psychophysiological denoising”, *Clin. Neurophysiol.*, 113, 9, (2002) 1403-1411.

36. Lagerlund, T. D., Sharbrough, F. W., and Busacker, N. E., “Spatial filtering of multichannel electroencephalographic recordings through principal component analysis by singular value decomposition”, J. Clin. Neurophysiol., 14, 1, (1997) 73-82.
37. Berg, P. and Scherg, M., “A multiple source approach to the correction of eye artifacts”, Electroencephalogr. Clin. Neurophysiol., 90, 3, (1994) 229-241.
38. Delmore, A. and Makeig, S., “EEGLAB: an open source toolbox for analysis of single-trial EEG Dynamics”, J. Neurosci. Methods, 134, (2004), 9-21.
39. Durmuş, E., Gürsel, Özmen, N., “Beyin Bilgisayar Arayüzü Sistemlerinde Uygun Elektrot Seçimi ve Performans Artırımı”, SIU, 2015, Malatya, 97-100.
40. Kwak, N. and Choi, C.H., “Input feature selection for classification problems”, IEEE Transactions on Neural Networks, 13, 1, (2002) 143-159.
41. Duda, R. O., Hart, P. E., ve Stork, D. G., Pattern classification, John Wiley & Sons Inc., 654 p, USA, 2001.
42. Lotte, F., Congedo, M., Lecuyer, A., Lamarche, F. and Arnaldi, B., “A Review of Classification Algorithms for EEG-Based Brain–Computer Interfaces”, Journal Of Neural Engineering, 12, (2007) 1-13.
43. Makeig S., Debener S., Onton J. and Delorme A., “Mining event-related brain Dynamics”, Trends Cogn. Sci. , 8, (2004) 204–210.
44. Misiti, M., Misiti, Y., Oppenheim, G. and Poggi, J. M., Wavelet Toolbox for use with MATLAB, User’s Guide, The Mathworks Inc., 1997-2002.
45. Goswami J, C. and Chan A. K., Fundamentals of Wavelets Theory, Algorithm and Applications, John Wiley & Sons, USA, 1999.
46. Parameswariah, C., Understanding Wavelet Analysis and Filters for Engineering Applications, PhD., College of Engineering and Science, Louisiana Tech University, ABD, May 2003.
47. Addison, P. S., The Illustrated Wavelet Transform Handbook: Introductory Theory and Applications in Science, Engineering, Medicine and Finance, IOP Publishing Ltd, USA, 2002.
48. Misiti, M., Misiti, Y., Oppenheim, G., and Poggi, J. M., User’s Guide on Wavelet Toolbox 4 for MATLAB, Matworks Incooperation, 2004.
49. Hyvarinen, A., Karhunen, J. and Oja, E., Independent Component Analysis John Wiley & Sons Inc., NY., USA, 2001.

50. Hyvarinen, A., Hurri, J. and Hoyer, P. O., *Natural Image Statistics: A probabilistic approach to early computational vision*, Springer Verlag, 2009.
51. Cichocki, A. and Amari, S., *Adaptive Blind Signal and Image Processing: Learning Algorithms and Applications*, Wiley & Sons Ltd., UK, 2002.
52. Bronstein, A. M., Bronstein, M. M., Zibulevsky, M. and Zeevi, Y. Y., *Blind Separation of Reflections Using Sparse ICA*, 4th International Symposium on Independent Component Analysis and Blind Signal Separation, 2003, Nara, Japan.
53. Makeig, S., Bell, A. J., Jung T. P. and Sejnowski, T. J., *Independent component analysis of electroencephalographic data*. In: Touretzky D, Mozer M, Hasselmo M, editors, 145–151, *Advances in Neural Information Processing Systems*, 1996.
54. Delorme, A., Sejnowski, T. and Makeig, S., “Enhanced detection of artifacts in EEG data using higher-order statistics and independent component analysis”, *Neuroimage*, 34, (2007) 1443–1449.
55. Palmer, J. A., Kreutz-Delgado, K., Rao, B. D. and Makeig, S., *Modeling and Estimation of Dependent Subspaces with Non-Radially Symmetric and Skewed Densities*, *Proceedings of the 7th International Symposium on Independent Component Analysis*, Edited by Mike E. Davies, Christopher J. James, Samer A. Abdallah and Mark D Plumbley, *Lecture Notes in Computer Science*, Springer, 2007.
56. Fielding, A., *Cluster and Classification Techniques for the Biosciences*, Cambridge University Press, 2000.
57. Barreto, G. A., Frota, R. A. and deMedeiros, F. N. S., “On the classification of mental tasks: a performance comparison of neural and statistical approaches”, *Proceedings of the IEEE Workshop on Machine Learning for Signal Processing*, 2004.
58. Salmon, P., "Decentralization and Supranationalty: The Case of the European Union". <http://www.imf.org/external/pubs/fiscal/salmon.pdf> 09.10.2014.
59. Cortes, C. and Vapnik, V., “Support-vector networks”, *Machine Learning*, 20(3), (1995) 273-297.
60. Cristianini, N., Taylor, S., *An Introduction to Support Vector Machines and Other Kernel-based Learning Methods*, Cambridge University Press, 2000.
61. Burges, C. J. C., “A Tutorial on support vector machines for pattern recognition”, *Data Mining and Knowledge Discovery*, Volume 2, Issue 2, 1998, 121-167.

62. Lemm, S. , Schäfer, C. and Curio, G., “Probabilistic modeling of sensorimotor mu-rhythms for classification of imaginary hand movements”, IEEE Transactions on Biomedical Engineering, 51, 6 (2004) 1077–80.
63. Anderson, C.W. and Sijercic, Z., Classification of EEG signals from four subjects during five mental tasks. Solving Engineering Problems with Neural Networks Proc. Int. Conf. on Engineering Applications of Neural Networks (EANN’96), 1996, UK, 395-398.
64. Kwak, N. and Choi, C.H., “Input feature selection for classification problems”, IEEE Transactions on Neural Networks, 13, 1, (2002) 143-159.
65. Chiappa, S. and Bengio, S., HMM and IOHMM Modeling of EEG Rhythms for Asynchronous BCI Systems, European Symposium on Artificial Neural Networks (ESANN), 2004, Belgium, 199-204.
66. Millan, J. R. ve Mourino, J., “Asynchronous BCI and Local Neural Classifiers: An Over View of the Adaptive Brain Interface Project”, IEEE Trans. Neural Syst. Rehabil. Eng., 11 , (2003) 159–161.
67. Wilson, R.L. and Sharda, R., "Neural networks," OR/MS Today, 19, 4, (1992) 36-42.
68. Culioli, J. and Protopopescu, V., "Neural network models for linear programming," in Proceedings of the IEEE International Joint Conference on Neural Networks, 1990, Washington D.C., Vol. 1, pp. 293-296.
69. Schlögl,A., Dataset iiiia 4-class eeg data, 2005. <http://www.bbci.de/competition/iii/> 10.12.2014
70. Green, A. M., “Kappa statistics for multiple raters using categorical classifications”, Proceedings of the 22nd annual SAS User Group International conference, 1997, San Diego-California, 1110- 1115.
71. Lantz, C., Application and evaluation of the kappa statistics in the design and interpretation of chiropractic clinical research, 20, 521- 528, J Manipulative Physiol Ther, 1997.
72. Sim, J. and Wright, C. C., “The Kappa Statistic in Reliability Studies: Use, Interpretation, and Sample Size Requirements” Physical Therapy, 85(3), (2005) 257-268.
73. Hadjidimitriouand, S. and Hadjileontiadis, L., “EEG-based discrimination of music appraisal judgments using ZAM timefrequency distribution”, 8th triennial conference of the European society for the cognition science of music, July 23-28, 2012, Greece, 380-381.

74. Daly, I., Williams, D., Hallowell, J., Hwang, F., Kirke, A., Malik, A., Weaver, J., Miranda, E. and Nasuto, S.N., “Music-induced emotions can be predicted from a combination of brain activity and acoustic features”, Brain and Cognition, 101, (2015) 1-11.

ÖZGEÇMİŞ

1989 yılında Niksar’da doğan Ebru DURMUŞ, 2007 yılında İstanbul Mevlana Anadolu Lisesi’nde ortaöğretim hayatını tamamladı. Karadeniz Teknik Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümü’nden Makina Mühendisi ünvanı ile 2013 yılında mezun oldu. Aynı yıl Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makina Mühendisliği Anabilim Dalı’nda yüksek lisans öğrenimine başladı. 2014 yılı mayıs ayında İstanbul Nişantaşı Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tarafından Makina Mühendisliği Anabilim Dalı’na araştırma görevlisi olarak atandı. Ayrıca 2015 yılı ocak ayından itibaren Yıldız Teknik Üniversitesi bünyesinde bulunan Yıldız Teknopark’ta bilimsel araştırma projesinde araştırmacı olarak görevine devam etmektedir.

Ebru DURMUŞ’un yüksek lisans tez konusundan çıkarılan 1 adet ulusal makale ve 3 adet ulusal bildiri olmak üzere toplam dört yayını vardır. Ebru DURMUŞ iyi seviyede İngilizce ve orta seviyede Almanca bilmektedir.

Yüksek Lisans Tezi Kapsamında Sunulan Bildiriler:

1. Durmuş E., Gürsel Özmen N., “Beyin Bilgisayar Arayüzü Sistemlerinde Uygun Elektrot Seçimi ve Performans Artırımı” , IEEE 23. Sinyal İşleme ve İletişim Uygulamaları Kurultayı, Malatya, Türkiye, (2015).
2. Durmuş E., Sadreddini Z., Gürsel Özmen N., “Beyin Bilgisayar Arayüzü Sistemleri İçin Uygun Öznitelik ve Sınıflandırıcı Seçimi”, Otomatik Kontrol Ulusal Toplantısı, Kocaeli, Türkiye, (2014).
3. Sadreddini Z., Durmuş E., Gürsel Özmen N., “EEG Verilerinden Farklı Müzik Türü ve Zihinsel Görevlerin Ayırt Edilmesi” , Akıllı Sistemlerde Yenilikler ve Uygulamaları Sempozyumu, İzmir, Türkiye, (2014).