



EEG TABANLI DUYGU KESTİRİM UYGULAMALARI İÇİN

KAOTİK ANALİZ İLE ÖZNİTELİK SEÇME

Şuayip ACAR

Yüksek Lisans Tezi

Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Temmuz-2016

EEG TABANLI DUYGU KESTİRİM UYGULAMALARI İÇİN

KAOTİK ANALİZ İLE ÖZNİTELİK SEÇME

Şuayip ACAR

Dumlupınar Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Öğretim ve Sınav Yönetmeliği Uyarınca

Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalında

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Olarak Hazırlanmıştır.

Danışman : Doç. Dr. Hamdi Melih SARAOĞLU

Temmuz-2016

KABUL VE ONAY SAYFASI

Şuayip ACAR'nın YÜKSEK LİSANS tezi olarak hazırladığı EEG TABANLI DUYGU KESTİRİM UYGULAMALARI İÇİN KAOTİK ANALİZ İLE ÖZNİTELİK SEÇME başlıklı bu çalışma, jürimizce Dumlupınar Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Öğretim ve Sınav Yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca değerlendirilerek kabul edilmiştir.

13/07/2016

Üye : Doç. Dr. Hamdi Melih SARAOĞLU (Danışman)

Üye : Prof. Dr. İbrahim TÜRKOĞLU

Üye : Yrd. Doç. Dr. Bahadır HİÇDURMAZ

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun/...../..... gün ve sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Prof. Dr. Hasan GÖÇMEZ

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANI

Bu tezin hazırlanmasında Akademik kurallara riayet ettiğimizi, özgün bir çalışma olduğunu ve yapılan tez çalışmasının bilimsel etik ilke ve kurallara uygun olduğunu, çalışma kapsamında teze ait olmayan veriler için kaynak gösterildiğini ve kaynaklar dizininde belirtildiğini, Yüksek Öğretim Kurulu tarafından kullanılmak üzere önerilen ve Dumlupınar Üniversitesi tarafından kullanılan İntihal Programı ile tarandığını ve benzerlik oranının %20 çıktığını beyan ederiz. Aykırı bir durum ortaya çıktığı takdirde tüm hukuki sonuçlara razı olduğumuzu taahhüt ederiz.

Doç. Dr. Hamdi Melih SARAOĞLU

Şuayip ACAR

İmzası

İmza

EEG TABANLI DUYGU KESTİRİM UYGULAMALARI İÇİN

KAOTİK ANALİZ İLE ÖZNİTELİK SEÇME

Şuayip ACAR

Elektrik-Elektronik Mühendisliği, Yüksek Lisans Tezi, 2016

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Hamdi Melih SARAOĞLU

ÖZET

Elektroensefalografi (EEG) tabanlı duygu kestirimi hızla gelişmekte olan bir alandır. Bu çalışmada, insan duygularının beyin sinyallerinde meydana getirdiği değişiklikler EEG kayıtları üzerinden belirlenerek, duygu kestirim uygulamalarında kaotik analizin uygulanabilirliği araştırılarak irdelenmiştir. Çalışmada, mutluluk, üzüntü ve korku duygularını harekete geçirebilecek uluslararası etkili resim sistemi (IAPS-International Affective Pictures System)'den seçilen 30 resim içeren bir sunum hazırlanmıştır. Çalışmada, 12 erkek ve 8 kadından oluşan 20 kişilik bir grup, gönüllü olarak yer almıştır. EEG sinyallerini resim-indüksiyon ortamında elde edebilmek için, mutluluk, üzüntü ve korku duygularını uyandırabilecek toplamda 30 resim çalışmaya gönüllü olarak katılan deneklere peşi sıra gösterilmiştir. EEG kayıtlarından elde edilen veriler, MATLAB program yardımıyla kaotik analiz yapılarak Maksimum Lyapunov Üsteli ve Korelasyon Boyutu olmak üzere iki farklı öznitelik elde edilmiştir. Kaotik analiz yoluyla elde edilen bu iki özneliğin ortalama değerleri ayrı ayrı SPSS programında güven aralığı %95 seçilerek ve $p < 0,05$ olacak şekilde t-testi kullanılarak karşılaştırılmıştır. Birbirinden bağımsız iki grup (kadın-erkek) için elde edilen öznitelik değerleri bağımsız değişken t-testi kullanılarak, iki eşleştirilmiş gözlem (duygu öncesi bekleme ve duygu uyararı gösterildiği periyotlar) için elde edilen öznitelik değerleri bağımlı değişken t-testi kullanılarak karşılaştırılmıştır. Her bir öznitelik değerinin hipotez değerine göre istatistiksel olarak anlamlı bir fark gösterip göstermediği irdelenmiştir. Böylece, bu çalışma kaotik analizin ileriki çalışmalar için umut vaat ettiğini göstermiştir.

Bu çalışma, 2012-13 nolu proje kapsamında Dumlupınar Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Komisyonu tarafından desteklenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Duygu Kestirimi, EEG, Kaotik Analiz, Korelasyon Boyutu, Maksimum Lyapunov Üsteli, Öznitelik Seçme, t-testi

FEATURE SELECTION FOR EEG BASED EMOTION PREDICTION

APPLICATIONS THROUGH CHAOTIC ANALYSIS

Şuayip ACAR

Electrical and Electronics Engineering, M.S.Thesis, 2016

Supervisor: Assoc. Prof. Hamdi Melih SARAOĞLU

SUMMARY

Electroencephalogram (EEG)-based emotion recognition is a rapidly growing field. This paper presents a research study on identifying the changes caused by human emotions in brain signals through EEG records and further examines the availability of chaotic analysis for emotion prediction applications. We designed an efficient presentation including 30 pictures from International Affective Picture System (IAPS) which could stimulate the emotions of happiness, sadness and fear. A group of 20 persons consisting of 12 males and 8 females took place in our research study as subjects voluntarily. In order to acquire the EEG signals under picture induction environment, a total of 30 pictures that might reveal the feelings of happiness, sadness and fear were shown to the volunteer subjects that participated in the study voluntarily. Data acquired from EEG records were analyzed by using chaotic analysis through MATLAB program and two different attributes consisting of "Largest Lyapunov Exponent (LLE)" and "Correlation Dimension" were obtained. The mean values of each attribute that obtained through chaotic analysis were compared by using independent t-test and dependent t-test in SPSS program with 95% confidence interval and a P value of $p < 0,05$. The independent samples t-test was used to compare the mean values of each attribute relevant to two unrelated groups (Females-Males) and Dependent samples t-test was used to test whether the mean values of two related observations (two observations for per subject) significantly differs from the hypothesized value. Our study shows that chaotic analysis promises hope for future studies.

This study, which is numbered as 2012-2013 project, is supported by Dumlupınar University Scientific Research Projects Commission.

Keywords: Emotion Prediction, EEG, Chaotic Analysis, Correlation Dimension, Largest Lyapunov Exponent, Feature Selection, t-test

TEŞEKKÜR

Bu çalışmada yardımlarını esirgemeyen ve değerli katkılarıyla yol gösteren başta danışman hocam Doç. Dr. Hamdi Melih SARAÖĞLU'na, gönüllü olarak araştırmamıza katılan Dumlupınar Üniversitesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği lisans öğrencilerine teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca, desteğini hep yanımda hissettiğim kıymetli eşime ve çocuklarıma çalışmalarında gösterdikleri anlayış ve destekten dolayı teşekkür ederim.



İÇİNDEKİLER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
ÖZET.....	v
SUMMARY.....	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	x
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	xii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	xiii
1. GİRİŞ.....	1
2. MATERYAL VE YÖNTEM.....	4
2.1. İncelenecek Duyguların Belirlenmesi	4
2.2. Görsel Uyaranların Belirlenmesi	5
2.3. Deney Protokolü	5
2.4. EEG ve Kayıt Düzenegi	6
3. KAOTİK ANALİZ.....	10
3.1. Faz Uzayının Yeniden Oluşturulması.....	11
3.2. Zaman Gecikmesinin Belirlenmesi.....	11
3.3. Gömülü Boyutun Belirlenmesi.....	12
3.4. Lyapunov Üstelleri	13
3.4.1. Zaman serisinden lyapunov üstellerinin hesaplanması.....	14
3.5. Korelasyon Boyutunun Hesaplanması (Fraktal Boyut)	16
4. EEG SİNYALLERİNDEN ÖZNİTELİK ÇIKARMA.....	20
4.1. Kaotik Analiz ile Özniteliklerin Hesaplanması	20
4.2. Özniteliklerin Bağımsız Değişken t-testi ile Değerlendirilmesi	23
4.2.1. Maksimum lyapunov üsteli özniteliğinin bağımsız değişken t-testi ile değerlendirilmesi	23

İÇİNDEKİLER DİZİNİ (devam)

	<u>Sayfa</u>
4.2.1. Maksimum Lyapunov üsteli özniteliğinin bağımsız değişken t-testi ile değerlendirilmesi	23
4.2.2. Korelasyon boyutu özniteliğinin bağımsız değişken t-testi ile değerlendirilmesi.....	28
4.3. Özniteliklerin Bağımlı Değişken t-testi İle Değerlendirilmesi.....	32
4.3.1. Erkek gönüllüler için hesaplanan özniteliklerin bağımlı değişken t-testi ile değerlendirilmesi.....	32
4.3.2. Kadın gönüllüler için hesaplanan özniteliklerin bağımlı değişken t-testi ile değerlendirilmesi.....	38
5. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	46
KAYNAKLAR DİZİNİ.....	48

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
2.1. Seçilen duyguların görsel modelleri.....	4
2.2. Russel'in modeline göre mutluluk, üzüntü ve korku duygularının temsili gösterimi	4
2.3. Duygu uyaran sunum gösterim planı	5
2.4. EEG kayıt düzeneği	7
2.5. Uluslararası 10-20 EEG elektrot yerleşim sistemi.....	8
2.6. Çalışmada kullanılan EEG kep (CAP 100C).....	8
2.7. Kaydedilen EEG sinyali	9
3.1. Kaotik analiz işlem adımları.....	10
3.2. Lyapunov üstelinin hesaplanmasının gösterimi.....	15
4.1. Seçilen iki gönüllünün Maksimum Lyapunov üstellerinin arasındaki farkın gösterimi.....	22
4.2. Seçilen iki gönüllünün Korelasyon boyutu özneliliğinin arasındaki farkın gösterimi.....	22
4.3. Maksimum Lyapunov Üstel özneliliğinin kadın ve erkek gruplarına göre ortalama değerleri	26
4.4. Maksimum Lyapunov Üsteli özneliliğinin kadın ve erkek gruplarına göre standart sapma değerleri	27
4.5. Maksimum Lyapunov Üsteli özneliliğinin kadın ve erkek gruplarına göre standart hata ortalama değerleri	28
4.6. Korelasyon Boyutu özneliliğinin kadın ve erkek gruplarına göre ortalama değerleri	30
4.7. Korelasyon Boyutu özneliliğinin kadın ve erkek gruplarına göre standart sapma değerleri.....	31
4.8. Korelasyon Boyutu özneliliğinin kadın ve erkek gruplarına göre standart hata ortalama değerleri.....	32
4.9. Erkek gönüllü grubunun duygu ve duygu öncesi bekleme periyotlarının karşılaştırma ortalama değerleri	35
4.10. Erkek gönüllü grubunun duygu ve duygu öncesi bekleme periyotlarının karşılaştırma standart sapma değerleri	36
4.11. Erkek gönüllü grubunun duygu ve duygu öncesi bekleme periyotlarının karşılaştırma standart hata ortalama değerleri	37

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
4.12. Kadın gönüllü grubunun duygu ve duygu öncesi bekleme periyotlarının karşılaştırma ortalama değerleri.....	42
4.13. Kadın gönüllü grubunun duygu ve duygu öncesi bekleme periyotlarının karşılaştırma standart sapma değerleri.....	43
4.14. Kadın gönüllü grubunun duygu ve duygu öncesi bekleme periyotlarının karşılaştırma standart hata ortalama değerleri.....	44



ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>Çizelge</u>	<u>Sayfa</u>
2.1. EEG 100C yükseltecinin elektriksel özellikleri	7
4.1. Gönüllü katılımcıların özellikleri	20
4.2. Seçilen gönüllüler için hesaplanan maksimum lyapunov üstel değerleri	21
4.3. Seçilen gönüllüler için hesaplanan korelasyon boyutu değerleri.....	21
4.4. Maksimum lyapunov üsteli özniteliği için kurulan bağımsız değişken t-test hipotezleri.....	24
4.5. Maksimum lyapunov üstel özniteliğinin kadın ve erkek gruplarına göre bağımsız değişken t-testi kullanılarak karşılaştırılması	25
4.6. Korelasyon boyutu özniteliği için kurulan bağımsız değişken t-test hipotezleri	29
4.7. Korelasyon boyutu özniteliğinin kadın ve erkek gruplarına göre bağımsız Değişken t-testi kullanılarak karşılaştırılması	30
4.8. Erkek gönüllü grubu için kurulan bağımlı değişken t-test hipotezleri (MLÜ: Maksimum lyapunov üsteli, KB: korelasyon boyutu).....	33
4.9. Erkek gönüllü grubunun kaotik analiz sonucu elde edilen özniteliklerin duygu ve duygu öncesi bekleme değerlerinin bağımlı değişken t-testi ile karşılaştırılması.....	34
4.10. Kadın gönüllü grubu için kurulan bağımlı değişken t-test hipotezleri.....	39
4.11. Kadın gönüllülerin kaotik analiz sonucu elde edilen özniteliklerin duygu ve duygu öncesi bekleme değerlerinin bağımlı değişken t-testi kullanılarak karşılaştırılması.....	40
5.1. Kurulan hipotezlerin durumu.....	47

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler

Açıklama

kΩ	Kilo Ohm
Hz	Hertz
dk	Dakika
sn	Saniye
μV	Mikro Volt
dB	Desibel

Kısaltmalar

Açıklama

MLÜ	Maksimum Lyapunov Üsteli
KB	Korelasyon Boyutu
ALS	Amyotrofik Lateral Skleroz
EEG	Elektroensefalografi
SCR	Skin Conductance Response
fMRI	Functional magnetic resonance imaging
LFP	Local Field Potential
NIRS	Near-infrared spectroscopy
ECoG	Electrocorticografi
MEG	Magnetoencefalografi
MLP	Multi Layer Perceptron
HAF	Hybrid Adaptive Filtering
HOC	Higher Order Crossings
IAPS	International Affective Picture System
IADSs	International Affective Digitized Sound system
QDA	Quadratic Discriminant Analysis
k-NN	K-Nearest Neighbor (K-yakın komşular)
MD	Minimum Distance
SVM	Support Vector Machines (Destek vektör makineleri)

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ (devam)

<u>Kısaltmalar</u>	<u>Açıklama</u>
WT	Wavelet Transform (Dalgacık dönüşümü)
LDS	Lineer Dinamik Sistem
TSTOOL	Time Series Tool (Zaman serileri araç çubuğu)
SPSS	Statistical Package Social Sciences
LED	Light Emitting Diode
CMRR	Common Mode Rejection Ratio

1. GİRİŞ

Beyin ve bilgisayar arasındaki ilişkide, kişilerin kas sistemlerini bir başka deyişle motor sinir sistemlerini kullanmadan sadece düşüncesi ile bir bilgisayarı, elektronik bir parçayı ya da çeşitli nöroprotezleri kullanmalarına imkan veren sistemler oluşturmak amaçlanmaktadır. Özellikle bu sistemler felçli ve Amiyotrofik Lateral Sklerozis (ALS) hastalarının hayatlarına ışık tutabilmesi açısından oldukça önemli bir teknolojik gelişmedir. Bilgisayar ve beyin arasındaki bağı kurmak için biyolojik işaretler oldukça fazla kullanılmaktadır. EEG (Elektroensefalografi), tek hücre kayıtlamaları (SCR), fonksiyonel manyetik rezonans görüntüleme (fMRI), bölgesel alan potansiyelleri (LFP), yakın infrared spektroskopisi (NIRS), elektrokortigografi (ECoG), magnetoensefalografi (MEG) gibi teknikler kullanılmaktadır. Biyolojik işaretler içerisinde EEG genel olarak pratik ölçülmesi ve uygulanmasının kolay olmasından dolayı tercih edilmektedir.

Beyin ve bilgisayar iletişimi üzerinde yapılan çalışmalarda duygu kestirimi önemli bir yer tutmaktadır. Duygu tanıma yüz ifadeleri, kalp atım hızı, vücut sıcaklığı gibi yöntemlerle belirlenebilmekle birlikte, kolayca manipüle edilebilmektedir. Bu nedenle, son dönemde EEG tabanlı duygu kestirimi ya da duygu tanıma sistemlerinin üzerinde durulmaktadır.

EEG kayıtları geçmişte beyinle ilgili hastalıkların teşhisini aydınlatmak için kullanılırken, günümüzdeki teknolojik gelişmeler ışığında elde edilen beyin sinyallerinin işlenmesi ile insanların motor sinir sistemlerini kullanmaksızın, herhangi bir kas hareketi gerekmesizin bir bilgisayarı, elektromekanik bir kolu ya da çeşitli elektronik cihazların kontrolünü mümkün hale getiren sistem uygulamalarında kullanılmaktadır. EEG tabanlı duygu tanıma sistemleri incelendiğinde bazılarının görsel, bazılarının işitsel ve bazılarının da hem görsel hem işitsel uyaranlar yardımıyla elde edilmeye çalışıldığı görülmektedir (Petrantonakis ve Hadjileontiadis, 2010; Uzun vd., 2012).

Lin ve arkadaşlarının, EEG sinyallerinden duygu sınıflandırma algoritmaları üzerine yaptıkları çalışmada duygu yüklü EEG sinyallerinin elde edilmesinde uyarıcı olarak dünya çapında tanınan Oscar ödülü almış müziklerden seçilen parçalar 30sn boyunca katılımcılara karışık olarak dinletilmiştir (Lin vd., 2007). EEG verisi, 23-25 yaş aralığında, sağ elini baskın kullanan, sağlıklı 5 erkek yüksek lisans öğrencisinden alınmıştır. EEG kayıt işlemlerinde 10-20 elektrot sistemine göre kayıt yapan 32 kanallı bir düzenek kullanılmıştır. Sinyaller, 1-100 Hz aralığında filtrelenmiş ve 500 Hz frekansı ile örneklenmiş ve elektrot empedansları 1k Ω altında tutulmuştur. Sevinç, üzüntü, kızgınlık ve keyif duygularını belirlemek için, öznitelik çıkarımında hemisferik beyin aktivasyonlarının alfa gücü endeksinden yararlanılmıştır.

Sınıflandırıcı olarak MLP (Multi Layer Perceptron) kullanılarak %69,69'luk bir oranda sınıflandırma başarısı elde edilmiştir.

Petrantonakis ve Hadjileontiadis, EEG sinyallerinden HAF-HOC adlı kullanıcı bağımsız duygu tanıma için yeni bir belirleyici özellik çıkarım yöntemi kullanmışlardır (Petrantonakis ve Hadjileontiadis, 2010). Çalışmada sinyallerin ampirik modda ayrıştırma tabanlı temsili için geometrik algoritmalar kullanarak, duygu ilişkili EEG karakteristiklerinin etkin bir biçimde belirlenebilmesi amacıyla Hibrit Adaptif Filtreden (HAF) yararlanılmıştır. Filtrelenmiş bu sinyalden özellik çıkarımı için Yüksek Dereceli Geçişler Analizi (HOC) yapısı uygulanmıştır. EEG kayıtları 19-32 yaş aralığında sağ elini baskın kullanan sağlıklı 9 erkek ve 7 kadından alınarak 0,5-30 Hz aralığında filtrelenerek 256 Hz de örneklenecek ve 16 bit olarak dijitalleştirilmiştir. Uyaran olarak Uluslar arası Etkili Resim Sistemi (IAPS) ve Uluslar arası Etkili Dijital Ses Sistemi'nden (IADSs) alınan örnekler kullanılmıştır. Çalışmada, 6 temel duyguyu (mutluluk, şaşırma, kızgınlık, korku, iğrenme ve üzüntü) harekete geçirmek için 60 resim ve ses uyararı belirlenmiştir. Elde edilen veriler bağımsız ve birleştirilmiş kanallı olarak incelemeye tabi tutulmuştur. Sınıflandırma aşaması için 4 farklı sınıflandırıcı (QDA, k-NN, MD, SVM) HAF-HOC yapısı ile birlikte kullanılmıştır. Sonuç olarak bağımsız kanallı incelemede en iyi sonuç QDA ile %77,66, birleştirilmiş kanallı incelemede ise en iyi sonuç SVM ile %85,17 olarak elde edilmiştir.

Uzun ve arkadaşları, yaptıkları çalışmada Dalgacık Dönüşümü (WT) yardımıyla EEG sinyallerinden duygu kestirimi üzerinde durmaktadırlar. 19-26 yaş arası 20 katılımcıdan 10-20 sistemine göre 18 kanal üzerinden alınan veriler 1kHz olarak örneklenecek 0.5-120 Hz aralığında filtrelenmektedir (Uzun vd., 2012). Uyaran olarak IADS veritabanından alınan 47 adet işitsel uyaran karışık olarak EEG kayıtları esnasında katılımcılara 10sn boyunca dinletilmektedir. Elde edilen EEG sinyalleri, WT'nin 4 temel fonksiyonu (db4, db8, sym8 ve coif5) yardımıyla temel frekans bantlarına ayrılmıştır. Her bandın istatistiksel özellikleri ve bant enerji değerleri ayrı ayrı çıkarılmıştır. Korelasyon temelli öznel özellik çıkarım algoritmaları uygulanarak SVM ile duygu kestirimi yapılmaya çalışılmıştır. Sonuç olarak, değerlik, aktivasyon ve baskınlık olarak ayrılan 3D uzayda yapılan duygu kestiriminde, baskınlık duygu boyutunun daha iyi tahmin edilebildiği belirlenmiştir.

Nie ve çalışma grubu, EEG sinyalleri ile insan duyguları arasındaki ilişkiyi belirlemek için yaptıkları çalışmalarında uyaran olarak "Chicago", "Titanic" ve "Pearl Harbour" gibi oscar kazanan filmlerden yaklaşık 4 dk. kesitlerle müzikal, romantik, savaş, afet ve manzara içeren kısımlar kullanmışlardır (Nie vd., 2011). EEG sinyalleri 22 yaşında sağ elini baskın kullanan ve

sağlıklı 3 kadın ve 3 erkekten, 10-20 sistemine göre 32 kanaldan, 1kHz'de örnekleterek alınmıştır. Veriler belirleyici özellik vektörü elde edilebilmesi için Lineer Dinamik Sistem (LDS) veri setine uygulanmıştır. Sınıflandırma aşamasında EEG verileri pozitif ve negatif olarak iki kısım halinde sınıflandırılmıştır. Sınıflandırmada Destek Vektör Makineleri (SVM) yöntemi ile %87,53 lük bir doğruluk oranı elde edilmiştir.

Bir başka duygu kestirim çalışmasında Park ve arkadaşları, öfke, korku ve şaşırma gibi benzer seviyede uyarılma boyutlarına sahip olan duyguların, EEG sinyallerinden analiz edilebilmesi üzerinde durmuşlardır (Park vd., 2013). EEG kayıtları 24-26 yaş aralığında değişen 57 erkek, 22-25 yaş aralığında değişen 53 kadın katılımcıdan PolyG-I sistemi ile 4 elektrot ve bir toprak elektrotu kullanılarak alınmıştır. Veriler 256 Hz ile örneklendikten sonra 0,7-46 Hz band geçiren filtreye uygulanmıştır. Elde edilen öznitelik ile sınıflandırma için LDA'dan yararlanılarak ortalama %66,3 lük bir sınıflandırma doğruluğu elde edilmiştir. Sonuç olarak, EEG sinyallerinin bu üç zor ayırt edilebilen duygu seviyesini belirlemede etkili olduğu kanısına varılmıştır.

Akdemir Akar yaptığı çalışmada şizofreni hastaları ve sağlıklı kontrol bireyleri üzerinde fizyolojik ve elektrofizyolojik parametreleri araştırmıştır (Akdemir Akar, 2011). Çalışmada elde edilen EEG işaretleri kaotik analiz yapılarak maksimum lyapunov üsteli ve korelasyon boyutu öznitelikleri hesaplanmış ve iki grubun ortalamaları arasındaki farklar t-test kullanılarak karşılaştırılmıştır.

Dumlupınar Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Komisyonu tarafından 2012-13'nolu proje olarak desteklenen bu çalışmada, duygu kestirimine yönelik olarak EEG sinyalleri üzerinden kaotik analiz kullanılarak öznitelik çıkarımı yapılmıştır. Üç temel duygu üzerine Uluslararası Duyuşsal Resim Sistemi (IAPS)'den seçilen resimler uyaran olarak belirlenmiştir. Mutluluk, üzüntü ve korku duygularına yönelik hazırlanan uyaran planı çalışmamıza katılan 20 (12 erkek, 8 kadın) gönüllüye gösterilerek EEG sinyalleri kaydedilmiştir. EEG verileri Matlab R2008b içerisinde yer alan TSTOOL araç çubuğu ile kaotik analiz yapılarak Maksimum Lyapunov Üsteli ve Korelasyon Boyutu olmak üzere iki öznitelik elde edilmiştir. Özniteliklerin EEG tabanlı duygu tanıma uygulamalarında kullanılabilirliği SPSS programı aracılığı ile istatistiksel olarak belirlenmeye çalışılmıştır. Çalışmada kullanılan veriler Uludağ Üniversitesi Etik Kurulunun 15.01.2013 tarihli 2013-1/31 numaralı onay kararı doğrultusunda alınmış ve katılımcılara konu hakkında bilgi verilerek hazırlanan gönüllü onay formu onaylatılmıştır.

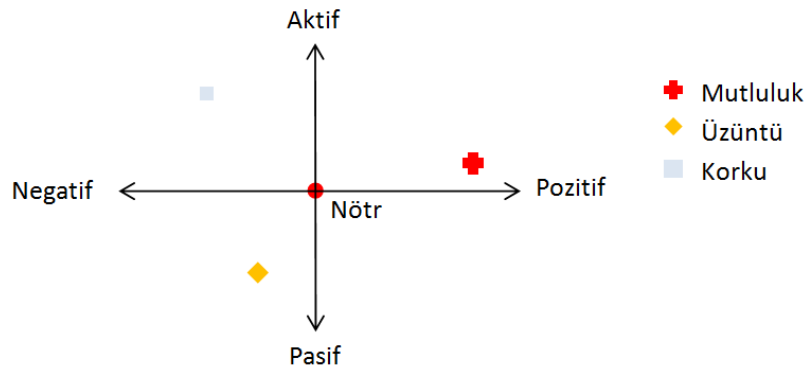
2. MATERYAL VE YÖNTEM

2.1 İncelenecek Duyguların Belirlenmesi

Bu çalışmada birçok duygunun birbirinden net ayıramaması nedeniyle üç temel duygu tercih edilmiştir: Mutluluk, Üzüntü ve Korku. Şekil 2.1'de seçilen duyguların görsel modelleri görülmektedir. Bu alanda yapılan çalışmalarda 100'ün üzerinde duygu olduğu tespit edilmiştir. Russell "A Circumplex Model of Affect" isimli çalışmasında 28 duyguyu modellemiştir (Russell, 1980). Seçilen mutluluk, üzüntü ve korku duygularının Russell'in modelindeki yerleşimini temsili olarak Şekil 2.2'de görülmektedir.



Şekil 2.1. Seçilen duyguların görsel modelleri (Ekman, 1992; Panksepp, 1998).



Şekil 2.2. Russel'in modeline göre mutluluk, üzüntü ve korku duygularının temsili gösterimi.

2.2 Görsel Uyaranların Belirlenmesi

Beyin ve bilgisayar arasındaki iletişimde önemli bir yere sahip olan duygu kestirim çalışmalarında kullanabilmek için Kaotik analiz ile özneliliklerin belirlenmesi amaçlanan bu araştırmaya katılan 20 (12 erkek, 8 kadın) gönüllüye IAPS'den seçilen 30 resimden oluşan sunum gösterilerek EEG kayıtları alınmıştır. Sunum, sırasıyla mutluluk, üzüntü ve korku

duygularını uyarabilecek şekilde her duygu için 10 resim belirlenerek oluşturulmuştur. Çalışmamızda kullanılan IAPS kodları;

Mutluluk için : 2040, 2091, 2303, 2345, 2352, 2530, 8120, 8350, 8380, 8497

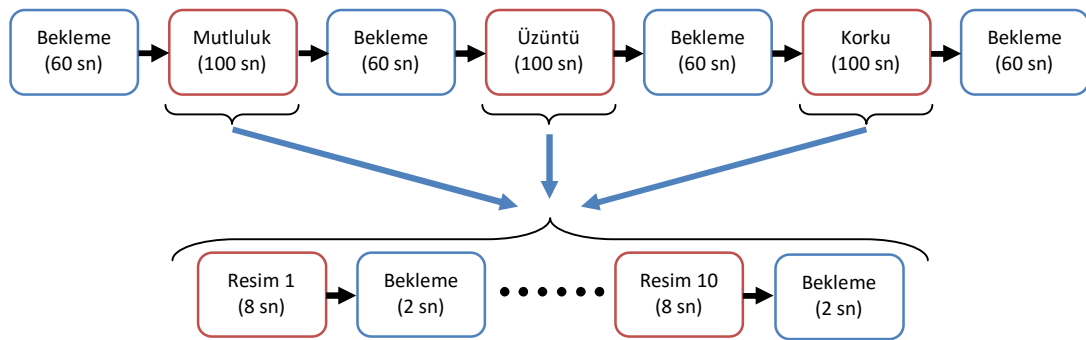
Üzüntü için : 2141, 2205, 2276, 2312, 2700, 2900, 6010, 9220, 9415, 9530

Korku için : 3500, 6211, 6212, 6250, 6313, 6510, 6570, 6821, 6834, 6838

olarak belirlenmiştir.

2.3 Deney Protokolü

Bu çalışmada kullanılan duyguların uyarılması için hazırlanan sunumda, her resim için 8 saniye süre ayrılmıştır. Resimlerin geçişi sırasında 2 sn siyah renkli slayta yer verilmiştir. Gönüllülere gösterilen sunumun başlangıcında, her üç duygu uyaran grupları arasında ve sunum sonunda 60'ar sn siyah renkli slayt gösterilmiştir. Duygu uyaran resimlerin arasında siyah renkli slayt seçilmesinin amacı, siyah rengin herhangi bir uyaran oluşturmaması ve nötr bir renk olmasıdır. Hazırlanan sunum toplam 540 saniye sürmektedir. Şekil 2.3'de duygu uyaran sunum gösterim planının modeli görülmektedir.



Şekil 2.3. Duygu uyaran sunum gösterim planı.

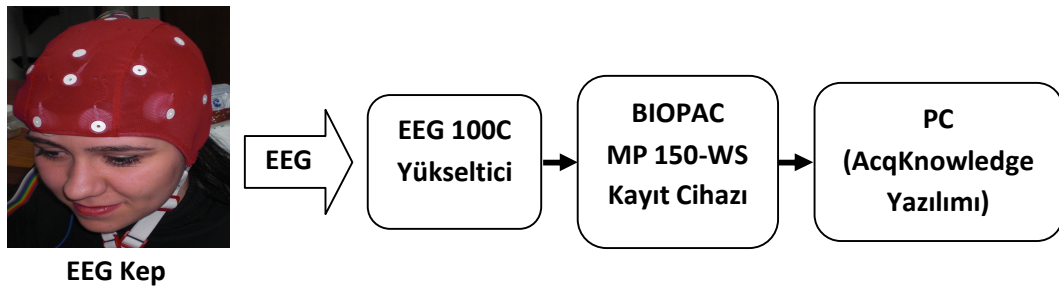
Duygu uyaran sunum, gönüllülerin rahat bir pozisyonda oturmalarını sağlayarak 15,4" genişliğinde LED ekranda 50 cm mesafeden izlettirilmiştir. Çalışmaya katılan gönüllüler 20-25 yaş aralığında ((Ortalama=22,3), (Standart Sapma=1,218)), sağ elini baskın kullanan, her hangi bir nedenle düzenli olarak ilaç almayan kadın ve erkeklerden oluşmaktadır. Sol elini baskın kullanan, 20-25 yaş aralığında yer almayan, devamlı bir ilaç kullanan, belirlenmiş psikiyatrik ya da fizyolojik rahatsızlığı bulunan ve ileri göz bozukluğu olan ve belirlenen EEG kayıt kurallarına aykırı davranan gönüllü verileri çalışmada kullanılmamıştır.

2.4 EEG ve Kayıt Düzenegi

EEG işaretleri, beyin yüzeyinden invaziv olarak elektrotlarla algılanabilen düşük genlikli biyoelektrik işaretlerdir. Klinik tanılarda, nörolojik ve patolojik rahatsızlıkların çözümünde, uyku tedavilerinde, epilepsi hastalarının teşhisi gibi birçok alanda kullanılmaktadır. Klinik çalışmalarda 10-100 μ V genlik, 0,1-100 Hz frekans aralığı kullanılmaktadır. Yapılan çalışmaların özellikle 0,5-30 Hz frekans aralığında yoğunlaştığı ve Delta (0.1-3,5 Hz), Teta (4-7,5 Hz), Alfa (8-13 Hz), Beta (14-30 Hz), Gama (30-60 Hz) olarak frekans bandına ayrıldığı görülmektedir (Tang, vd., 2009).

Bu çalışmada EEG kayıtları BIOPAC MP 150-WS cihazı ve 2 adet EEG100C modülü kullanılarak kaydedilmiştir. Örnekleme frekansı 250 Hz, yükseltici kazancı 10000 olarak belirlenmiştir.

Çalışmada kullanılan EEG kayıt düzenegi Şekil 2.4'de görülmektedir. EEG kaydı için kep gönüllülere uygun olarak takılmış, elektrot teması ve sinyal kalitesi için jel kullanılmıştır. Kep üzerindeki elektrotlardan alınan EEG sinyali EEG 100C yükselticileri tarafından MP 150-WS kayıt cihazına aktarılmıştır. Kayıt cihazından alınan sinyaller bilgisayarda bulunan AcqKnowledge yazılımı aracılığı ile kaydedilmiştir. Çizelge 2.1'de EEG100C modülünün elektriksel özellikleri görülmektedir.

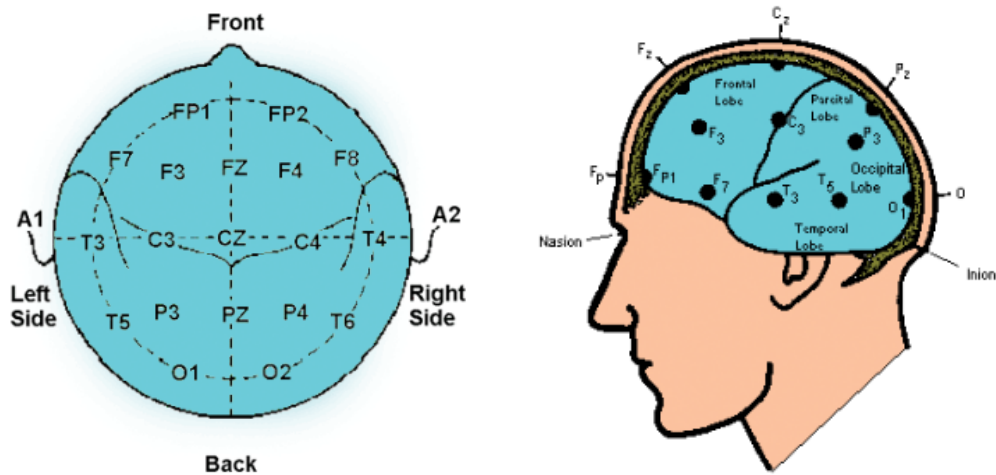


Şekil 2.4. EEG kayıt düzenegi.

Çizelge 2.1. EEG100C yükseltecinin elektriksel özellikleri.

Kazanç	5000, 10000, 20000, 50000
Çıkış seçimi	Normal, alfa dalga göstergesi
Alçak geçiren filtre	35 Hz, 100 Hz
Yüksek geçiren filtre	0.1 Hz, 1.0 Hz
Çentik Girişim filtresi	50 dB ret @ 50/60 Hz
Gürültü voltajı (0.1-35 Hz)	0.1 μ V (rms)
Z_{in}	2 M Ω (diferansiyel), 1000 M Ω (ortak)
CMRR	110 dB min (50/60 Hz)
Ortak mod giriş voltajı	± 10 V
Çıkış Aralığı	± 10 V (analog)
Giriş Voltaj Aralığı	
Kazanç	V_{in} (mV)
5000	± 2
10000	± 1
20000	± 0.5
50000	± 0.2

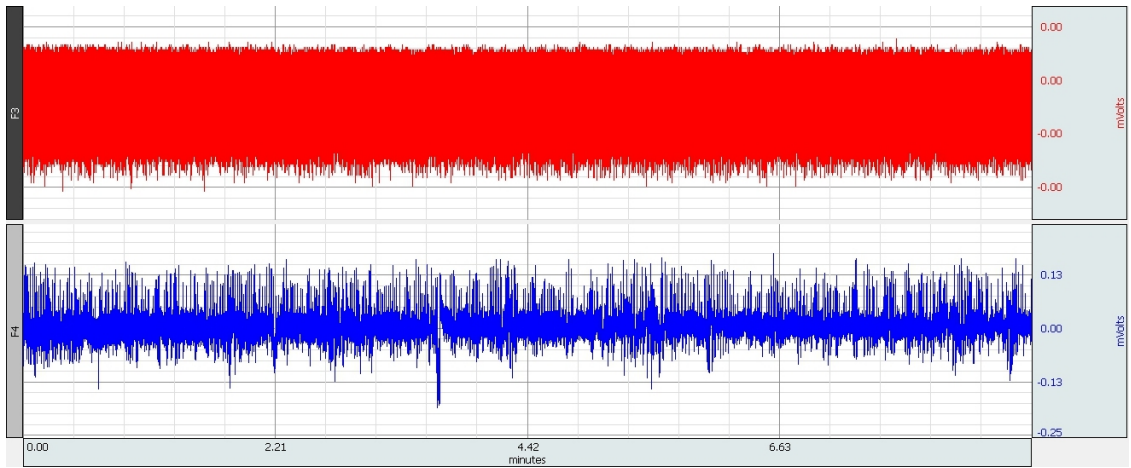
Uygulamasının pratik olmasından dolayı EEG kayıtlarında uluslararası 10-20 elektrot yerleşim sistemine uygun likralı streç EEG kep kullanılmıştır. Şekil 2.5'de uluslararası EEG 10-20 elektrot yerleşimi, Şekil 2.6'da çalışmada kullanılan EEG kep görülmektedir. Kayıtlar unipolar bağlantı kullanılarak F3 ve F4 orta frontal bölge elektrotlarından alınmıştır. A2 (Sağ kulak memesi) referans, CZ toprak olarak kabul edilmiştir.





Şekil 2.6. Çalışmada kullanılan EEG kep (CAP100C).

Şekil 2.7'de çalışmaya katılan bir gönüllünün AcqKnowledge yazılımı kullanılarak kaydedilmiş bir EEG sinyali görülmektedir. Kırmızı renkli sinyal F3 elektrot bölgesi, mavi renkli sinyal F4 elektrot bölgesinden kaydedilen EEG sinyallerini göstermektedir.

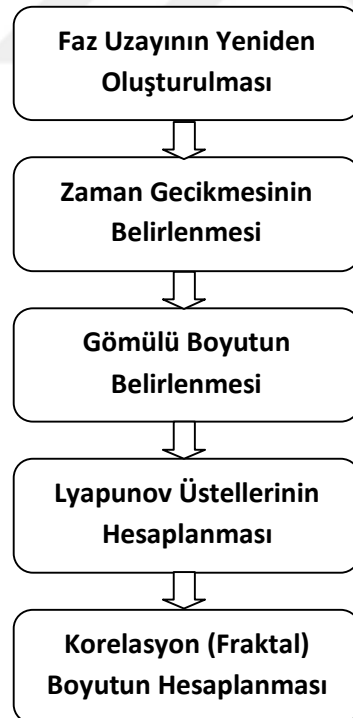


Şekil 2.7. Kaydedilen EEG sinyali.

3. KAOTİK ANALİZ

Kaos, dinamik bir sistemin ön görülemeyen değişimlerinin oluşturduğu durum olarak tanımlanmaktadır. Kaos ilk olarak Henry Poincare tarafından 20. yüzyılın başlarında karmaşık bir sistemin kararlılığı ile ilgili olarak astronomi çalışmalarında kullanılmıştır (Isham, 1992). Kaotik analiz mühendislik, tıp, kimya, ekonomi, bilişim ve meteoroloji gibi birçok alanda kullanılmaktadır.

Kaotik sistemlerin en önemli özelliği başlangıç şartlarına hassas duyarlı olmalarıdır. Dinamik bir sistemin başlangıç şartları ve denklemleri biliniyorsa, sistemin zaman içindeki durumu tespit edilebilmektedir. Kaotik sistemlerde, sistemin zaman içindeki gelişimini tam olarak belirleyebilmek için başlangıç değerlerini sonsuz hassasiyetle bilmek gerekmektedir (Isham, 1992; Yılmaz ve Güler, 2006). Çünkü kaotik bir sistemin başlangıcında oluşacak küçük bir değişim sistemi tahmin edilmesi mümkün olmayan bir durumda bırakabilmektedir (Yılmaz ve Güler, 2006). Şekil 3.1'de bir sistemin kaotik analiz yapılırken uygulanan işlem adımları blok diyagramda görülmektedir.



Şekil 3.1. Kaotik analiz işlem adımları.

3.1. Faz Uzayının Yeniden Oluşturulması

Kaotik analizde ilk yapılan işlem, skaler veri şeklindeki sinyalin faz uzayında yeniden oluşturulmasıdır. Sistem ölçümü skaler olarak eşitlik 1’de gösterilmektedir.

$$x(t_0 + n_{\tau_s}) = x_{(n)} \quad (1)$$

Eşitlikte t_0 başlangıç zamanı, τ_s ölçümde kullanılan cihazın örnekleme zamanını göstermektedir. Skaler ölçüm üzerindeki bilgiden sistemin faz uzayını yeniden oluşturmak için zaman gecikmeli koordinatlar metodu kullanılmaktadır.

Zaman gecikmeli koordinatlar metodu, dinamik bir sisteme ait skaler veriden çok boyutlu faz uzayına geçiş için kullanılan tek sistematik metottur ve en çok kullanılan yöntemdir. Takens tarafından sunulan bu metoda göre, eğer zaman boyunca bir sistemde yalnızca tek bir değişken izleniyorsa, orijinal sinyalin bir veya daha fazla zaman gecikmeli kopyaları kullanılarak, bu değişkenden sistemin mevcut dinamiklerini hesaplamak mümkündür (Takens, 1981). Eğer bir zaman serisi d boyutlu (d bir tamsayı) bir çekerin elemanı ise çekerin topolojik özellikleri m boyutlu faz uzayı vektörleri tarafından şekillendirilen topolojiksel özelliklere eşdeğer olmaktadır. Sinyale ait çeker, Takens teoremi ile sinyalin zaman gecikmeli kopyaları kullanılarak m boyutlu faz uzayında eşitlik 2’deki gibi oluşturulmaktadır.

$$\vec{y}_i = (x(i\Delta t), x(i\Delta t + T), x(i\Delta t + 2T), \dots, x(i\Delta t + (m - 1)T)) \quad (2)$$

Eşitlikte T zaman gecikmesi, m gömülü boyuttur. Faz uzayında oluşan bu d -boyutlu şekle “çeker” adı verilir. Farklı T ve m seçimleri farklı çekerleri meydana getirmektedir (Akay, 2000).

3.2. Zaman Gecikmesinin Belirlenmesi

Faz uzayının yeniden oluşturulması için seçilecek her hangi bir zaman aralığı (T), veriden istenilen bilgileri çıkarmak için uygun olmayabilir. Eğer T çok küçük seçilirse $x(n + jT)$ ve $x(n + (j + 1)T)$ koordinatları birbirine çok yakın olacağından birbirinden ayırt edilemezler. Eğer T çok büyük seçilirse $x(n + jT)$ ve $x(n + (j + 1)T)$ istatistiksel anlamda tamamen birbirinden bağımsız olacağından çeker üzerindeki bir yörüngenin izdüşümü birbirinden tamamen bağımsız iki yön üzerinde oluşur. Bu nedenle zaman gecikmesinin seçimi önemlidir (Brown, vd., 1991). Zaman gecikmesi çeşitli hesaplama yöntemleri kullanılarak da belirlenebilir. Ortalama karşılıklı bilgi fonksiyonu bu yöntemlerdendir.

Ortalama karşılıklı bilgi, olası bütün ölçümlerin ortalamasıdır. Ölçüm değerleri $x(n)$ A kümesi olarak, T kadar bir zaman gecikmesi sonra alınan ölçümler de $x(n+T)$, B kümesi

olarak düşünülürse, n ve $(n+T)$ 'deki ölçümler arasındaki ortalama karşılıklı bilgi eşitlik 3 ile hesaplanabilir.

$$I(T) = \sum_{n=1}^N P(x(n), x(n+T)) \log_2 \left[\frac{P(x(n), x(n+T))}{P(x(n))P(x(n+T))} \right] \quad I(T) \geq 0 \quad (3)$$

Eğer T çok küçükse $x(n)$ ve $x(n+T)$ ölçümleri birbirleri hakkında çok fazla bir şey göstermemektedir. Eğer T çok büyükse $I(T)$ sıfıra yaklaşır ve buda $x(n)$ ile $x(n+T)$ arasında bağlantı olmadığı anlamına gelmektedir. Zaman gecikmesi, $I(T)$ 'nin en küçük değerini ilk aldığı yer olarak seçilirse çok uygun bir seçim olur. Çünkü bu durumda ölçümler bir dereceye kadar bağımsız olur fakat istatistiksel olarak bağımsız olmamaktadır (Fraser ve Swinney, 1986).

3.3. Gömülü Boyutun Belirlenmesi

Sinyalin faz uzayında yeniden oluşturulmasında amaç, yeteri kadar büyük bir öklit uzayı (R_m) sağlayarak, sisteme ait çekerin yapısını herhangi bir belirsizlik olmadan görebilmektir. Böylece m boyutunda birbirine çok yakın olan iki nokta, m 'nin daha büyük değerlerine sahip bir uzay içinde görünür hale gelmektedir. R_m uzayı, çekerin gömülü boyutunu göstermektedir (Abarbanel, vd., 1993). Gömülü boyutu belirleyebilmek için Tekil Değer Analizi Metodu, Doğru Değer Alanları Metodu, Yanlış En Yakın Komşular Metodu gibi çeşitli metotlar kullanılmaktadır.

Cao tarafından geliştirilen başka bir yöntem de Cao'nun Minimum Gömülü Boyut Metodu olarak bilinmektedir (Cao, 1997). Cao'nun metoduna göre; $y_i(m)$ m gömülü boyutuna, $y_i(m+1)$ ise $m+1$ boyutuna ve T zaman gecikmesine sahip faz uzayındaki i 'inci vektörler ve $n(i, m)$ i ve m 'ye bağlı bir sayaç ($1 \leq n(i, m) \leq N - mT$) olarak kabul edilmektedir.

$$a(i, m) = \frac{\|y_i(m+1) - y_{n(i, m)}(m+1)\|}{\|y_i(m) - y_{n(i, m)}(m)\|}, i = 1, 2, \dots, N - mT \quad (4)$$

$$\|y_k(d) - y_l(d)\| = \max_{0 \leq j \leq d-1} |x_{k+jT} - x_{l+jT}| \quad (5)$$

Eğer m , iyi belirlenmişse m boyutta birbirine yakın olan herhangi iki nokta $m+1$ boyutta oluşturulan faz uzayında da birbirine yakın olmaktadır. Bu tür nokta çiftlerine doğru komşular, böyle değilse yanlış komşular adı verilmektedir. Eğer sinyal faz uzayına iyi bir biçimde gömülmüşse yanlış komşu olmayacaktır. Bu problemi çözmek için Cao'nun metodunda eşitlikte gösterilen bütün $a_{(i, m)}$ 'lerin ortalama değeri kullanılarak gömülü boyut hesaplanmaktadır.

$$E(m) = \frac{1}{N-mT} \sum_{i=1}^{N-mT} a(i, m) \quad (6)$$

$E(m)$ yalnızca m boyutuna ve T zaman gecikmesine bağlıdır. Bunun m 'den $m+1$ 'e değişimini incelemek için $E1(m) = \frac{E(m+1)}{E(m)}$ bulunur. Eğer zaman serisi bir çeker haline gelmişse $E1(m)$ 'nin değişimi, m (boyut sayısı) bir m_0 değerinden daha büyük olduğunda duracaktır. m_{0+1} ise minimum gömülü boyut olarak belirlenmektedir (Cao, 1997).

3.4. Lyapunov Üstelleri

Deterministlik sistemlerde kaos, başlangıç koşullarına duyarlılık gösteren bir yapıya sahiptir. Faz uzayında birbirine yeterince yakın iki başlangıç noktasındaki hareketlerin zaman içinde birbirlerinden ortalama bir üstel faktörle uzaklaşıp, yakınlaşmaları kaotik sistemler içinde var olan bir gerçektir. Bu üstel faktör Lyapunov üsteli olarak adlandırılır (Yonemoto ve Yanagawa, 2004). Lyapunov üsteli (λ), başlangıç şartlarına olan duyarlılığın bir ölçüsünü verir ve faz uzayı içindeki komşu eğrilerin yerel ayrılma derecelerinin ortalaması olarak tanımlanır (Eckmann, vd., 1986). Eğer λ negatif ise farklı başlangıç şartları aynı çıkış değerlerini vermeye meyillidir ve dolayısıyla kaotik değildir. Eğer λ pozitif ise farklı başlangıç değerleri farklı çıkış değerleri verir yani hareket kaotik olmaktadır.

Biri referans olmak üzere iki yakın eğri üzerinde yer alan birbirine en yakın iki nokta (x_1 ve x_2) arasında başlangıçta $\delta_{x(0)}$ gibi çok küçük bir fark vardır. Bir t zamanı sonunda bu noktalar birbirlerinden uzaklaşırlar ve arasındaki fark $\delta_{x(t)}$ olur (Gencay ve Dechert, 1992). Lyapunov üsteli, eşitlikteki şekilde bulunur.

$$\|\delta x_{(t)}\| = \|\delta x_{(0)}\| e^{\lambda t} \quad (7)$$

$$\lambda(i) = \lim_{t \rightarrow \infty} \frac{1}{t} \log \frac{\|\delta x_i(t)\|}{\|\delta x_i(0)\|} \quad (8)$$

Faz uzayında her bir boyuttaki yakınlaşma ve uzaklaşmayı bir λ temsil ettiğinden, d boyutlu dinamik bir sisteme (R^d) ait Lyapunov üsteli spektrumu, λ_1 en büyük olmak üzere $\lambda_1 \geq \lambda_2 \geq \dots \geq \lambda_d$ şeklinde elde edilir. Kaotik bir sistem en az bir pozitif Lyapunov üsteline sahip olacağı için herhangi bir sistemde en büyük Lyapunov üsteli $\lambda_1 > 0$ ise davranış kaotik, $\lambda_1 < 0$ ise davranış kararlı olmaktadır.

3.4.1. Zaman serisinden Lyapunov üstellerinin hesaplanması

Zaman serisinden Lyapunov üstellerinin hesaplanması için geliştirilen metotlar incelendiğinde temelde Jacobian tabanlı metotlar ve direkt metotlar olmak üzere ikiye ayrıldıkları görülmektedir. Jacobian tabanlı metotlarda, ilk olarak veriye uygun bir model oluşturulur ve Lyapunov üstellerinin hesaplanmasında model eşitliklerinin Jacobian matrisleri

kullanılmaktadır (Yonemoto ve Yanagawa, 2004). Jacobian tabanlı algoritmaların bazıları sabit bir komşu nokta sayısı veya referans noktasının etrafında belirlenmiş bir yarıçap ya da herhangi iki yarıçap değeri arasında kalan noktalar için hesaplama yapılmaktadır (Eckmann, vd., 1986).

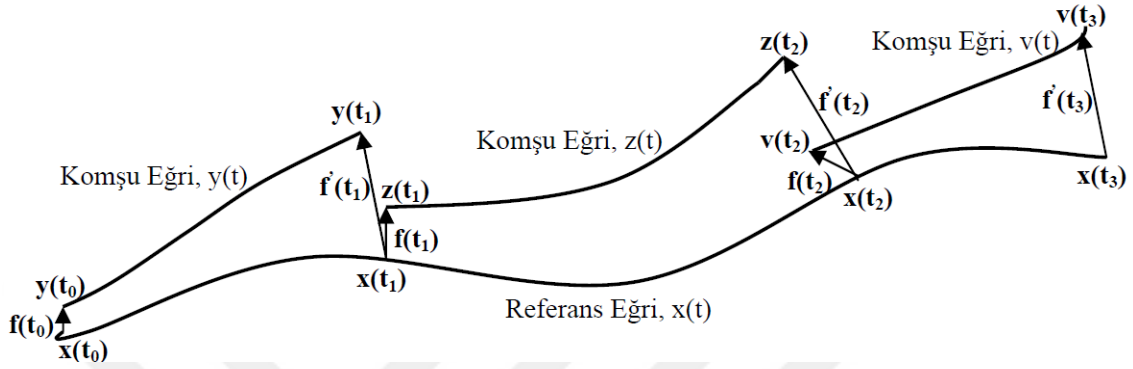
Jacobian tabanlı oluşturulan çeşitli algoritmaları inceleyecek olursak: Lyapunov üstellerinin hesabı için yapay sinir ağları tabanlı bir algoritma Gencay ve Dechert tarafından geliştirilmektedir (Gencay ve Dechert, 1992). Abarbanel ve Arkadaşları doğrusal olmayan çok terimli yaklaşımlar sunmaktadır (Abarbanel, vd., 1991). Brown ve arkadaşları Lyapunov spektrumunun hesabı için, yüksek dereceli Taylor serileri ile uyguladıkları yakın komşudan yakın komşuya eşlemeleri kullanmışlar ve bunun yerel doğrusal eşlemelerden daha iyi olduğunu belirtmektedir (Brown, vd., 1991). Briggs tarafından sunulan başka bir metotta ise en küçük karelerin kullanıldığı çok terimli uygunlaştırma yapılarak Jacobian matrisleri gürültülü veri durumunda en iyi şekilde bulunmaktadır (Briggs, 1990). Oiwa ve Fiedler-Ferrara tarafından hazırlanan başka bir algoritmada, faz uzayı, çekerin geometrisine uygun olarak kutulara (üç boyutta küplere) bölünmüş ve Lyapunov üstelleri her bir kutu için hesaplanan Jacobianların ortalamaları alınarak hesaplanmaktadır (Oiwa ve Fiedler-Ferrara, 1998).

Direkt metotlar, veriye uygun bir model olmaksızın, faz uzayında oluşturulan çekerlere ait eğrilerin ıraksama/yakınsama durumlarının direkt olarak hesaplanmasına dayanmaktadır. Bir zaman serisinden direkt olarak Lyapunov üstellerinin hesaplanmasına yönelik ilk algoritmalar 1985 yılında sunulmaktadır (Sano ve Sawada, 1985; Wolf, vd., 1985). Wolf ve arkadaşlarının algoritması incelendiğinde, faz uzayında oluşturulan çeker üzerinden en büyük Lyapunov üsteli şöyle hesaplanmaktadır (Wolf, vd., 1985). $X(t_0)$ referans noktası ve $y(t_0)$ en yakın komşu nokta seçilerek, bu noktalar arasındaki ayrılma mesafesi $f(t_0)$ bu iki nokta arasındaki öklit farkı ile bulunmaktadır.

$$f(t_0) = \|x(t_0) - y(t_0)\| \quad (9)$$

Bu noktaların ait oldukları eğrilerin (x ve y eğrileri) t_1 zamanı sonrasındaki değerleri kullanılarak da $f'(t_1)$ farkı yine aynı şekilde hesaplanmaktadır. Referans eğrinin t_1 noktasında $x(t_1)$, ilk seçilen eğri (y eğrisi) ile yaklaşık olarak aynı yöne sahip yeni bir eğri (z eğrisi) seçilir ki $z(t_1)$ noktası $x(t_1)$ noktasına en yakın olandır ve aralarındaki öklit farkı $f(t_1)$ bulunmaktadır. Bir t_2 zamanı için yine bu eğrilere (x ve z) ait noktalar arasındaki fark da $f'(t_2)$ olarak hesaplanmaktadır. Bu arada elde edilen öklit farklarının oranı $f'(t_1)/f(t_0)$ veya $f'(t_2)/f(t_1)$ her bir nokta çifti arasındaki genişlemeyi ifade etmektedir.

Eşitlik $\log (f'(t_i + 1)/f(t_i))/(t_i + 1 - t_i)$ eğrinin bir noktadan itibaren üstel genişlemesini vermektedir. Zaman serisinden Lyapunov üsteli hesabı şekil 3.2'de gösterilmektedir.



Şekil 3.2. Lyapunov üstelinin hesaplanmasının gösterimi.

Yukarıda açıklanan işlem N defa tekrar edilerek ve en büyük Lyapunov üsteli eşitlikte gösterilen şekilde hesaplanmaktadır.

$$\lambda = \frac{1}{t_N - t_0} \sum_{i=1}^N \log \frac{f'(t_i)}{f'(t_{i-1})} \quad (10)$$

Bu metotta, $t_1, \dots, t_N$ zamanları zaman gecikmesinden büyük ancak üstel ayrılmaları elde etmeye yetecek kadar küçük olmalıdır. Bu algoritma gürültü bozulması olmayan geniş bilgi kümeleriyle iyi çalışır fakat kısa ve/veya gürültülü bilgi kümelerinin bulunduğu durumlarda başarılı olamayabileceği belirtilmektedir (Geist, vd., 1990). Bu sınırlamaların üstesinden gelebilmek için çeşitli algoritmalar geliştirme çalışmaları yapılmaktadır. Rosenstein ve arkadaşlarının algoritmaları en büyük Lyapunov üstelinin bulunmasına yöneliktir ve küçük, gürültülü veri kümeleri için kolayca uygulanabilmektedir (Rosenstein, vd., 1993). Yine ilk olarak zaman serisi şeklindeki veri faz uzayında yeniden oluşturulur ve Lyapunov üsteli eşitlikteki gibi hesaplanmaktadır.

$$\lambda_{1(i)} = \frac{1}{i \Delta t} \frac{1}{M-i} \sum_{j=1}^{M-i} \ln \frac{d_j(i)}{d_j(0)} \quad (11)$$

Bu hesaplamada $d_j(i)$, i ayrık zaman adımlarında en yakın komşuların j. çifti arasındaki fark, Δt zaman serisinin örnekleme periyodu, $i \Delta t$ 'de saniyedir. M, faz uzayında oluşturulan noktaların sayısıdır. $d_j(i) \approx C_j e^{\lambda_1(i \Delta t)}$ olarak bulunur, burada C_j başlangıçtaki ayrılma mesafesidir. Her iki tarafın logaritması alınırsa, $\ln d_j(i) \approx \ln C_j + \lambda_1(i \Delta t)$ ile $j=1, 2, \dots, M$ için eğimleri λ_1 ile orantılı olan, yaklaşık olarak paralel eğriler kümesi elde

edilmektedir. En büyük Lyapunov üsteli de eğriye en küçük kareler metodu uygulanarak eşitlikteki gibi hesaplanmaktadır.

$$y(i) = \frac{1}{\Delta t} \langle \ln d_j(i) \rangle \quad (12)$$

Burada $\langle \dots \rangle$ ifadesi, j 'nin tüm değerlerinin ortalamasını gösterir. Sato ve arkadaşları tarafından sunulan metot, daha az parametreye ihtiyaç duyduğundan daha basittir (Sato, vd., 1987). Yine komşu eğriler arasındaki uzaklığın ortalama üstel gelişmesi logaritmik bir eksen üzerinde incelenerek hesaplanmaktadır.

$$p(k) = \frac{1}{Nt_s} \sum_{n=1}^N \log_2 \left(\frac{\|y^{n+k} - y^{nn+k}\|}{\|y^n - y^{nn}\|} \right) \quad (13)$$

Eşitlikte y^{nn} , y^n 'in en yakın komşusudur. $p(k)$, tahmin hatasıdır ve $p(k)$ 'ya karşılık k 'nın çizdirildiği eğrinin doğrusal kısmının eğimi en büyük Lyapunov üstelini vermektedir.

Başka bir yöntemde Stefanski ve arkadaşları zaman gecikmeli dinamik sistemler için geliştirilmiş, hem akış hem de ayrık eşlemelere uygulanabilen, bir en büyük Lyapunov üsteli hesabı algoritması sunmaktadır (Stefanski, vd., 2005). Gürültülü sistemler için Yonemoto ve Yanagawa tarafından, bir başlangıç vektörü verilerek hesaplanan iskeletten üretilen veri ile hesaplanmış iskeletin parçalı türevleri kullanılarak Lyapunov üsteli hesaplanmaktadır (Yonemoto ve Yanagawa, 2004). Liu ve ark. da gürültü dağılımından etkilenmeden en büyük Lyapunov üstelini hesaplayan bir algoritma sunmaktadır (Liu, vd., 2005).

3.5. Korelasyon Boyutunun Hesaplanması (Fraktal Boyut)

Fraktal geometri, ilk olarak doğal objelerin yapısal bütünlüğünü inceleyen Mandelbrot tarafından ortaya konulmaktadır. Matematiksel bir öge bir, iki, üç gibi tamsayı bir boyuta sahip olabilir ve boyut sayısı ögenin geometrik şekli hakkında bilgi sahibi olmamızı sağlamaktadır. Mandelbrot, tamsayı ile ifade edilen boyutların kaotik yapılara uygun olmadığını, doğrusal sistem çekerleri tamsayı boyutlarla ifade edilebilirken, kaotik sistem çekerleri fraktal (kesirli) boyutlara sahip olduğunu göstermektedir (Mandelbrot, 1997).

Bir geometrik öge, m 'nin objedeki her bir noktanın pozisyonunu en iyi şekilde belirlemeye yetecek kadar büyük olduğu bir öklit uzayında (R_m), noktalar kümesi tarafından oluşturulabilmektedir. R_m içindeki her bir küme $[0, m]$ aralığındaki bir tamsayı değerine sahip topolojiksel bir d boyutuna sahip olmaktadır. R_m 'nin tamamı bir küme ise $d=m$ olmaktadır. Öklit geometrisinde noktalar $d=0$, eğriler $d=1$, alanlar $d=2$, üç boyutlu cisimler $d=3$ vb. boyutuna sahiptirler. Bir fraktal boyut D , tamsayı olmayan değerlere izin veren bir boyut

ölçümüdür ve kaotik bir yapının faz uzayında göstergesi olan garip çekerlerin kaotikliğinin derecesini fraktal boyutlar göstermektedir (Mandelbrot, 1997; Akay, 2000; Yılmaz ve Güler, 2006).

Dinamik sistemlerin sahip olduğu çakeri belirlemede çeşitli boyut hesaplama yöntemleri kullanılmaktadır. Hentschel ve Procaccia tarafından tanımlanan boyut hesabı eşitlik 15'de görülmektedir (Henstschel ve Procaccia, 1983). Eşitlikde $N(r)$, kümeyi örtmesi gereken r büyüklüğündeki (r kenarlı hiperküpler) m boyutlu hücrelerin sayısıdır ve küme içinde bulunan bir noktanın j hiperküpünde olma olasılığını vermektedir. H , küme içindeki noktaların toplam sayısıdır ve H_j , j hiperküpündeki kümenin nokta sayısını göstermektedir.

$$D_q = \frac{1}{q-1} \lim_{r \rightarrow 0} \frac{\log \sum_{j=1}^{N(r)} p_j^q}{\log r}, q = 0, 1, 2, \dots \quad (14)$$

Verilen bir küme için boyutlar genellikle $D_0 \geq D_1 \geq D_2 \geq \dots$ şeklinde sıralanır. Eğer küme homojen bir çekerse bütün boyutlar (D_q) eşittir. D_0 kutu-sayma boyutu, D_1 bilgi boyutu ve D_2 ilinti boyutu olarak isimlendirilir (Henstschel ve Procaccia, 1983; Yılmaz ve Güler, 2006).

Kutu-sayma boyutu hesaplanırken faz uzayındaki eğriyi oluşturan noktalar kümesi, r boyutlu $N(r)$ tane küçük hücreden oluşmaktadır (iki boyut için kareler, üç boyutta için küplerle). Boyut hesabı eşitlikte gibi belirlenmektedir. D boyutu, $\log(N(r))$ 'nin $\log(1/r)$ 'ye karşılık gelen eksenleri arasında çizdirilen eğrinin doğru olan parçasının eğimi olarak hesaplanır. D_0 boyutu sık sık “kapasite boyutu (D_0)” ya da “fraktal boyut” olarak tanımlanmaktadır (Mandelbrot, 1997).

$$D = \lim_{r \rightarrow 0} \frac{\log(N(r))}{\log(\frac{1}{r})} \quad (15)$$

D_1 boyutu bilgi boyutunu göstermektedir.

$$D_1 = \lim_{q \rightarrow 1} D_2 = \lim_{r \rightarrow 0} \frac{\sum_{j=1}^{N(r)} p_j \log p_j}{\log r} \quad (16)$$

Kaplan ve Yorke bilgi boyutunun Lyapunov üstelleri ile ilişkili olduğunu göstermektedir. Bu nedenle bilgi boyutu Kaplan-Yorke boyutu (D_{KY}) veya Lyapunov boyutu (D_L) olarak da bilinir (Kaplan ve Yorke, 1979).

$$D_1 = D_{KY} = D_L = j + \frac{\sum_{i=1}^j \lambda_i}{|\lambda_{j+1}|} \quad (17)$$

D_2 boyutu ilinti boyutu olarak isimlendirilir ve eşitlikteki gibi gösterilir.

$$D_2 = \lim_{r \rightarrow 0} \frac{\log C(r)}{\log r} \quad (18)$$

$$C(r) = \sum_{j=1}^{N(r)} p_j^2 \quad (19)$$

$C(r)$ ilinti toplamıdır. Kümenin iki noktasının aynı hücre içinde olma olasılığını verir ve eşitlikteki gibi gösterilir (Grassberger ve Procaccia, 1983). (20) Veri kümesinin fraktal boyutlarının hesaplanmasında yaygın olarak kullanılan ikinci metot, ilinti integralinin hesaplanmasını gerektiren Grassberger ve Procaccia algoritmasıdır (Grassberger ve Procaccia, 1983). Bu algoritmaya göre; bir kümenin iki noktasının (X_i, X_j ve $i \neq j$) aynı r boyutlu hücrede olma olasılığı, iki noktanın r 'ye eşit veya r 'den küçük bir uzaklıkla ayrılmış olma olasılığına yaklaşık olarak eşittir.

$$C(r) = \lim_{N \rightarrow \infty} \frac{1}{N^2} \{ |X_i - X_j| \leq r \text{ ifadesini sağlayan } (i,j) \text{ çiftlerinin sayısı} \} \quad (20)$$

$$C(r) = \lim_{N \rightarrow \infty} \frac{1}{\frac{1}{2}N(N-1)} \sum_{i=1}^N \sum_{j=i+1}^N \rho(\|X_i - X_j\| \leq r) \quad (21)$$

Burada $\|X_i - X_j\| = \sqrt{\sum_{k=1}^m (X_i(k) - X_j(k))^2}$ iki öklit farkı olarak hesap edilir.

$p(l)$ ise 1 şartı sağlandığında 1, sağlanmadığında 0 değerini alan bir gösterge fonksiyonudur (Heaviside fonksiyonu). r 'nin değer aralıkları için $C(r)$ hesaplanır ve ilinti boyutu D_2 , $\log(C(r))$ 'nin $\log(r)$ 'ye karşılık çizdirilmesi ile oluşan eğrinin doğru parçasının eğimi olarak hesaplanır. İlinti integralinden D_2 'nin hesaplanmasına yönelik algoritmalar oldukça sık kullanılmakla beraber geliştirilen bazı yeni algoritmalar da mevcuttur. Boyut hesaplamalarının doğruluğu çeşitli faktörlere bağlı olarak değişkenlik gösterebilir (Radhakrishnan, vd., 2004). Hesaplama kullanılan nokta sayısı, örnekleme frekansı, faz uzayının oluşturulması için gereken zaman gecikmesi ve gömülü boyut ve sinyaldeki gürültü boyut hesaplamalarında etkili olan parametrelerdir. Bu parametrelerin belirlenmesindeki farklılıklar aynı zaman serisi üzerinde değişik sonuçlar verebilmektedir. Bu nedenle, yapılan hesaplamalara uygulanabilecek bazı test algoritmaları geliştirilmiştir. Casaleggio ve Corana ilinti boyutu ve diğer boyut hesaplamalarına kolayca uygulanabilen ve D_2 'nin gömülü boyuta bağlılığını ve log-log alandaki eğrinin doğrusallık derecesini belirten iki nicelik hesabını içeren bir test metodu sunmuşlardır (Casaleggio ve Corana, 2000).

4. EEG SİNYALLERİNDEN ÖZNİTELİK ÇIKARMA

Bu çalışmaya katılan gönüllülere IAPS' den seçilen 30 uyaran resim mutluluk, üzüntü ve korku olmak üzere üç grup halinde duygu uyaranı olarak gösterilmiştir. Gösterim sırasında gönüllülerin F3 ve F4 beyin bölgelerinden EEG kaydı alınmıştır. EEG kayıtları Biopac Acqknowledge 4.2 programından excel formuna çevrilip veri işleme çalışması yapılarak metin belgesi olarak kaydedilmiştir. Gönüllülerden kaydedilen EEG verilerinden Matlap R2008b programında Tstool kullanılarak yapılan kaotik analiz sonucunda Maksimum Lyapunov Üsteli ve Korelasyon Boyutu olmak üzere iki öznitelik elde edilmiştir.

Kaotik analiz yoluyla elde edilen iki özniteliğin ortalama değerleri güven aralığı %95 seçilerek ve $p < 0,05$ olacak şekilde t-testi kullanılarak karşılaştırılmıştır. Birbirinden bağımsız iki grup (kadın-erkek) için elde edilen öznitelik değerleri bağımsız değişken t-testi kullanılarak, iki eşleştirilmiş gözlem (duygu öncesi bekleme ve duygu uyaranı gösterildiği periyotlar) için elde edilen öznitelik değerleri bağımlı değişken t-testi kullanılarak karşılaştırılmıştır. Her bir öznitelik değerinin hipotez değerine göre istatistiksel olarak önemli bir fark gösterip göstermediği irdelenmiştir. Kaotik analiz sonucunda mutluluk, üzüntü ve korku duyguları bulunan öznitelik verilerine IBM SPSS 16.0 programı kullanılarak bağımsız değişken t-testi ve bağımlı değişken t-testi uygulanmıştır. Çizelge 4.1'de çalışmaya katılan gönüllülerin özellikleri hakkında bilgi verilmektedir.

Çizelge 4.1. Gönüllü katılımcıların özellikleri.

Toplam Gönüllü sayısı	Kadın Gönüllü Sayısı	Erkek Gönüllü Sayısı	Yaş Aralığı	Baskın El Kullanımı	Düzenli İlaç Kullanımı
20	8	12	20-25	Sağ	Yok

4.1. Kaotik Analiz ile Özniteliklerin Hesaplanması

Örnek olması bakımından çalışmada yer alan rastgele seçilmiş iki gönüllü için hesaplanan Maksimum Lyapunov Üsteli değerleri Çizelge 4.2'de, hesaplanan Korelasyon Boyutu değerleri ise Çizelge 4.3 'de görülmektedir.

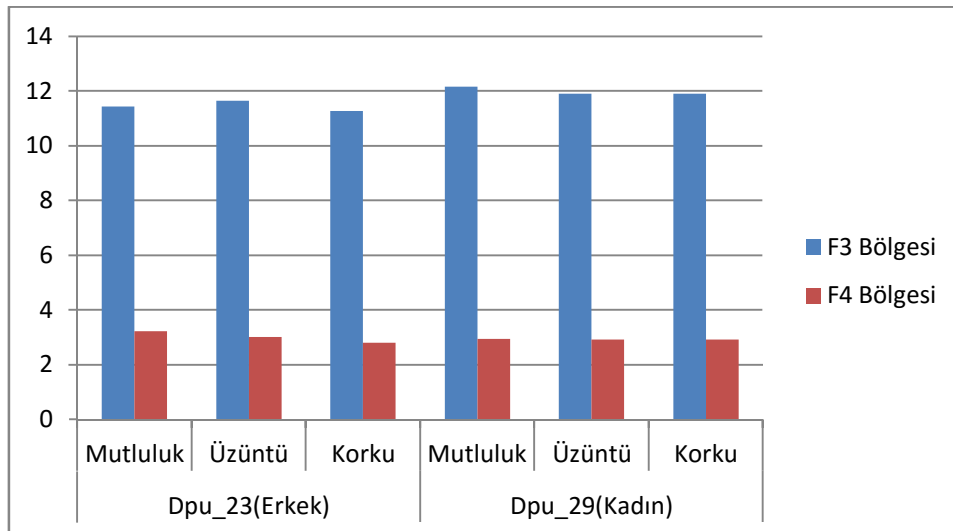
Çizelge 4.2. Seçilen gönüllüler için hesaplanan Maksimum Lyapunov Üsteli değerleri.

Katılımcı Bilgisi	Duygu	F3 Bölgesi	F4 Bölgesi
Dpu__23(Erkek)	Mutluluk	11,4314	3,2315
	Üzüntü	11,6421	3,0228
	Korku	11,2652	2,8041
Dpu__29(Kadın)	Mutluluk	12,1504	2,9429
	Üzüntü	11,9047	2,9155
	Korku	11,9047	2,9155

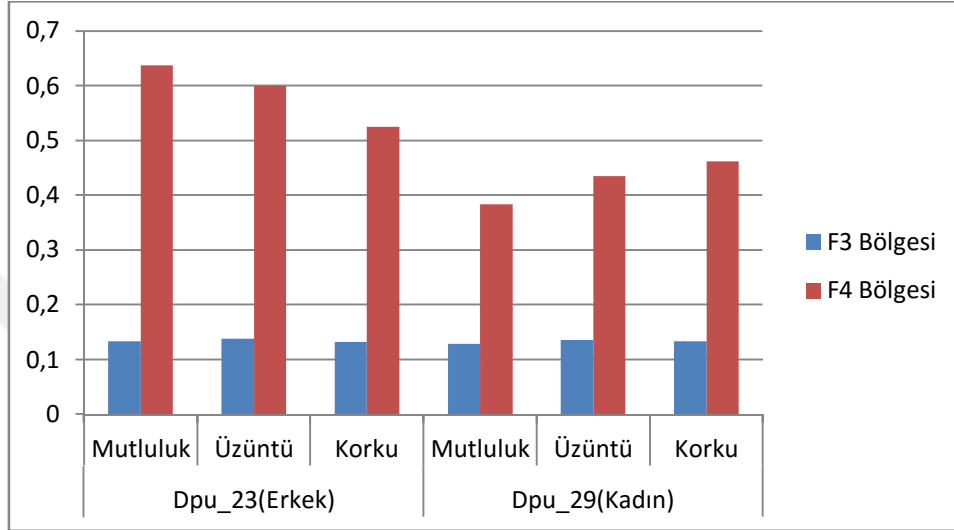
Çizelge 4.3. Seçilen gönüllüler için hesaplanan Korelasyon Boyutu değerleri.

Katılımcı Bilgisi	Duygu	F3 Bölgesi	F4 Bölgesi
Dpu__23(Erkek)	Mutluluk	0,1334	0,6370
	Üzüntü	0,1384	0,5993
	Korku	0,1317	0,5248
Dpu__29(Kadın)	Mutluluk	0,1288	0,3831
	Üzüntü	0,1360	0,4347
	Korku	0,1339	0,4621

Şekil 4.1’de Seçilen Dpu_23 (Erkek) ve Dpu_29 (Kadın) numaralı iki gönüllünün Maksimum Lyapunov Üstellerinin arasındaki fark grafik üzerinde gösterilmektedir. Şekil 4.1 incelendiğinde F3 bölgesi elektrotu ile F4 bölgesi elektrotundan alınan verilerden elde edilen Maksimum Lyapunov Üstellerinin her iki gönüllü için de farklı olduğu görülmektedir.

**Şekil 4.1.** Seçilen iki gönüllünün Maksimum Lyapunov Üstellerinin arasındaki farkın gösterimi.

Şekil 4.2’de Seçilen Dpu_23 (Erkek) ve Dpu_29 (Kadın) numaralı iki gönüllünün Korelasyon Boyutu Özniteliklerinin arasındaki farkı grafik üzerinde gösterilmektedir. Şekil 4.2 İncelendiğinde F4 bölgesi elektrotundan alınan verilerin F3 bölgesi elektrotundan alınan verilere göre Korelasyon Boyutlarının farklı olduğu görülmektedir.



Şekil 4.2. Seçilen iki gönüllünün Korelasyon Boyutu Özniteliğinin arasındaki farkın gösterimi.

4.2. Özniteliklerin Bağımsız Değişken t-testi ile Değerlendirilmesi

Çalışmaya katılan birbirinden bağımsız iki grup (kadın-erkek) için elde edilen ve bölüm 4.1’de örnek olarak verilen öznitelik değerlerinin 20 gönüllüye ait veri ortalamaları bağımsız değişken t-testi kullanılarak Maksimum Lyapunov Üsteli ve Korelasyon Boyutu öznitelikleri için ayrı ayrı karşılaştırılmıştır.

SPSS programında altında gerçekleştirilen bağımsız değişken t-testi, iki örneklem grubu arasında ortalamalar açısından fark olup olmadığını araştırmak amacıyla kullanılmaktadır. Bu iki grubun üyeleri birbirinden farklı olmak zorundadır. t-testinin uygulanabilmesi için gruplar arasında aynı özelliğe sahip üye bulunmaması gerekmektedir. Örneğin kadın-erkek, evli-bekar arasındaki farklılığa bakmak için bağımsız değişken t-testi kullanılır. t-testi, bir gruptaki ortalamanın diğer gruptaki ortalama ile önemli derecede farklı olup olmadığını belirler (www.spssanalizi.com).

Bağımsız değişken t-testi uygulayabilmek için grupların birbirinden bağımsız olması, verinin normal dağılıma sahip olması ve varyansların eşit olması gereklidir. Bu çalışmada

gönüllülerin cinsiyet dağılımı normal dağılıma uygun olduğundan erkek ve kadın grupları arasındaki farkı incelemek için bağımsız değişken t-testi kullanılmıştır.

4.2.1. Maksimum Lyapunov üsteli özniteliğinin bağımsız değişken t-testi ile değerlendirilmesi

Maksimum Lyapunov Üsteli özniteliğinin ortalama değerlerinin bağımsız değişken t-testi ile değerlendirilmesi için kurulan hipotezler Çizelge 4.4’de görülmektedir.

Çizelge 4.4 Maksimum Lyapunov Üsteli özniteliği için kurulan bağımsız değişken t-test Hipotezleri

Elektrot Bölgesi	Hipotez No		Maksimum Lyapunov Üsteli Öznitelik Hipotezleri
F3 Bölgesi	Hipotez 1	H ₀	Mutluluk duygu periyodunda maksimum lyapunov üsteli ortalamaları erkek ve kadın grupları arasında fark yoktur.
		H ₁	Mutluluk duygu periyodunda maksimum lyapunov üsteli ortalamaları erkek ve kadın grupları arasında fark vardır.
	Hipotez 2	H ₀	Üzüntü duygu periyodunda maksimum lyapunov üsteli ortalamaları erkek ve kadın grupları arasında fark yoktur.
		H ₁	Üzüntü duygu periyodunda maksimum lyapunov üsteli ortalamaları erkek ve kadın grupları arasında fark vardır.
	Hipotez 3	H ₀	Korku duygu periyodunda maksimum lyapunov üsteli ortalamaları erkek ve kadın grupları arasında fark yoktur.
		H ₁	Korku duygu periyodunda maksimum lyapunov üsteli ortalamaları erkek ve kadın grupları arasında fark vardır.
F4 Bölgesi	Hipotez 4	H ₀	Mutluluk duygu periyodunda maksimum lyapunov üsteli ortalamaları erkek ve kadın grupları arasında fark yoktur.
		H ₁	Mutluluk duygu periyodunda maksimum lyapunov üsteli ortalamaları erkek ve kadın grupları arasında fark vardır.
	Hipotez 5	H ₀	Üzüntü duygu periyodunda maksimum lyapunov üsteli ortalamaları erkek ve kadın grupları arasında fark yoktur.
		H ₁	Üzüntü duygu periyodunda maksimum lyapunov üsteli ortalamaları erkek ve kadın grupları arasında fark vardır.
	Hipotez 6	H ₀	Korku duygu periyodunda maksimum lyapunov üsteli ortalamaları erkek ve kadın grupları arasında fark yoktur.
		H ₁	Korku duygu periyodunda maksimum lyapunov üsteli ortalamaları erkek ve kadın grupları arasında fark vardır.

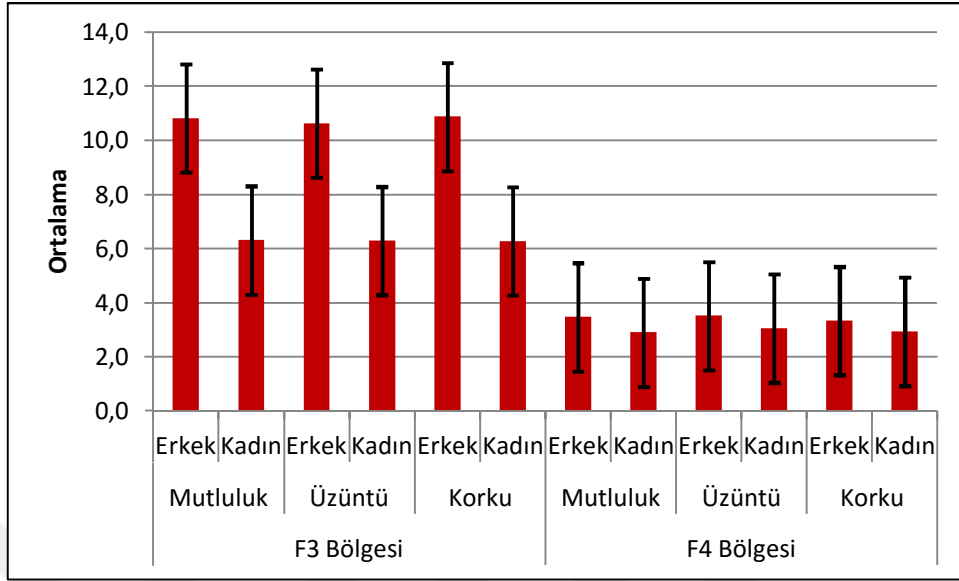
Beynin F3 ve F4 elektrot bölgelerinden alınan EEG sinyallerinden hesaplanan Maksimum Lyapunov Üsteli öznitelikleri, bağımsız değişken t-testi kullanılarak Çizelge 4.5’de karşılaştırılmıştır. Çizelge 4.5 incelendiğinde mutluluk (Hipotez 1), üzüntü (Hipotez 2), korku (Hipotez 3) uyarılarının gösterildiği periyotlarda F3 bölgesi için Maksimum Lyapunov Üsteli özniteliğinin kadın ve erkek gruplar arasındaki ortalama değerleri farkının güvenilirlik aralığı $t=95$ olarak seçilerek $p<0,05$ kabul edildiğinde istatistiksel olarak anlamlı olduğu ve H₁’in kabul H₀ ‘ların red edildiği görülmüştür. Aynı özniteliğin F4 beyin bölgesinde mutluluk (Hipotez 4), üzüntü(Hipotez 5), korku (Hipotez 6) duygularına göre kadın ve erkek gruplarının ortalama değerleri arasındaki farkın bağımsız değişken t-testinde güvenilirlik aralığı %95 olarak

seçildiğinde yanılma ihtimalinin en fazla %5 olacak şekilde istatistiksel olarak anlamlı olmadığı ve H_0 'ların kabul H_1 'lerin red edildiği görülmektedir.

Çizelge 4.5. Maksimum Lyapunov Üsteli özniteliğinin kadın ve erkek gruplarına göre bağımsız değişken t-testi kullanılarak karşılaştırılması (t: Güvenirlilik aralığı %95, p: Yanılma payı %5).

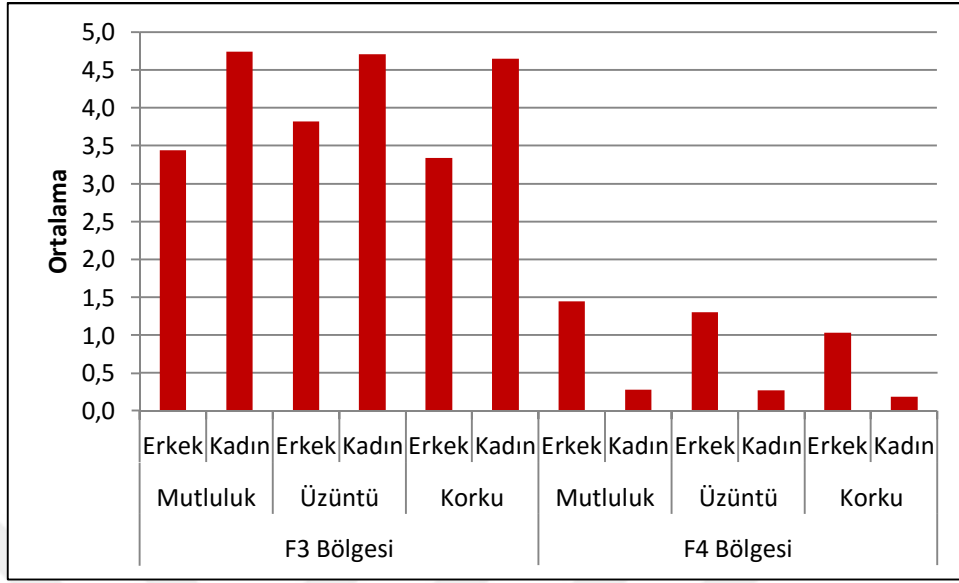
Veri Tanımı		Grup	Sayı	Ortalama	Standart Sapma	Standart Hata Ortalaması	t ($\geq 1,96$)	p ($\leq 0,05$)
Bölge	Periyot							
F3	Mutluluk	Erkek	12	10,819942	3,4368525	0,9921339	2,471	0,024
		Kadın	8	6,315963	4,7368510	1,6747297		
	Üzüntü	Erkek	12	10,630425	3,8240946	1,1039210	2,267	0,036
		Kadın	8	6,296825	4,7032582	1,6628529		
	Korku	Erkek	12	10,875600	3,3367071	0,9632244	2,582	0,019
		Kadın	8	6,280800	4,6473184	1,6430752		
F4	Mutluluk	Erkek	12	3,480658	1,4478530	0,4179592	1,097	0,287
		Kadın	8	2,907275	0,2773320	0,0980517		
	Üzüntü	Erkek	12	3,522125	1,3035256	0,3762954	0,978	0,341
		Kadın	8	3,060700	0,2734843	0,0966913		
	Korku	Erkek	12	3,341383	1,0289084	0,2970203	1,079	0,295
		Kadın	8	2,940738	0,1914557	0,0676898		

Çizelge 4.5’de verilen Maksimum Lyapunov Üsteli özniteliğinin kadın ve erkek gruplarına göre bağımsız değişken T testinde kullanılan ortalama değerleri, Şekil 4.3’de karşılaştırılmıştır. Şekil incelendiğinde erkek grubunun hem F3 hem de F4 bölgesi elektrotundan alınan EEG verilerinin aynı duygu periyotları için kadın grubunun değerlerinin ortalamalarına göre daha yüksek olduğu görülmektedir. F3 bölgesi elektrotundan elde edilen ortalama değerler F4 elektrotuna göre daha yüksek düzeydedir.



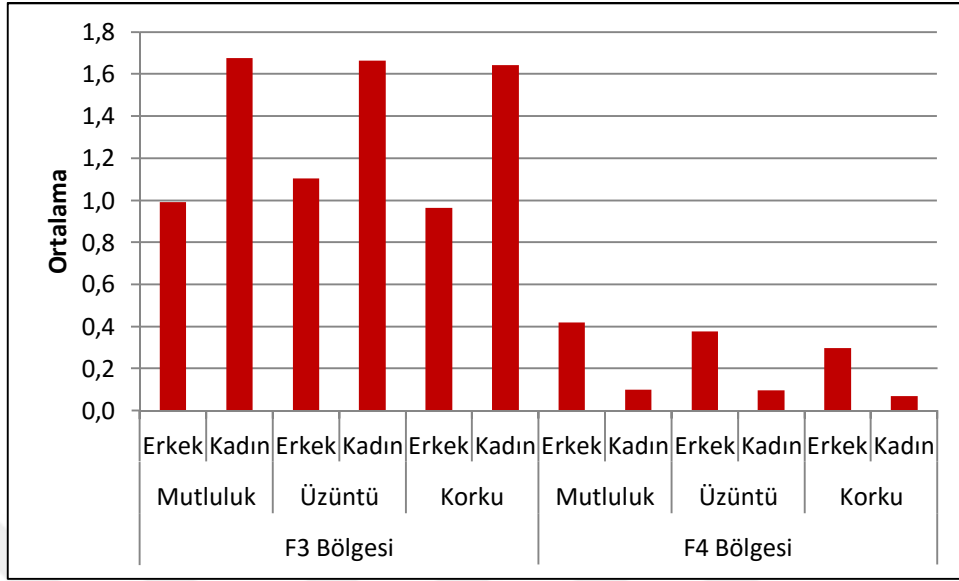
Şekil 4.3. Maksimum Lyapunov Üstel özneliliğinin kadın ve erkek gruplarına göre ortalama değerleri.

Çizelge 4.5’de verilen Maksimum Lyapunov Üsteli özneliliğinin kadın ve erkek gruplarına göre bağımsız değişken t-testinde kullanılan ortalama değerlerinin standart sapmaları, Şekil 4.4’de karşılaştırılmıştır. Şekil incelendiğinde F3 bölgesi elektrotundan elde edilen verilerin standart sapma değerleri F4 elektrotuna göre daha yüksek düzeyde olduğu görülmektedir. F3 bölgesi elektrotu için kadın grubunun standart sapma değeri erkek grubuna göre daha yüksek düzeydedir. F4 elektrotundan elde edilen verilerin Maksimum Lyapunov Üsteli incelendiğinde ise erkek grubunun standart sapma değerleri kadın grubuna göre yüksek olduğu görülmektedir. Maksimum Lyapunov Üsteli Standart sapma değerlerinde F3 bölgesi elektrotu F4 bölgesi elektrotuna göre daha yüksek değerde olduğu Şekil 4.4’de görülmektedir.



Şekil 4.4. Maksimum Lyapunov Üsteli özniteliğinin kadın ve erkek gruplarına göre standart sapma değerleri.

Çizelge 4.5’de verilen Maksimum Lyapunov Üsteli özniteliğinin kadın ve erkek gruplarına göre bağımsız değişken t-testinde kullanılan ortalama değerlerinin standart hata ortalamaları, Şekil 4.5’de karşılaştırılmıştır. Şekil incelendiğinde F3 elektrot bölgesinde kadın gönüllülerin standart hata ortalamaları erkek gönüllülere göre daha yüksek, F4 bölgesinde ise erkek gönüllülerin standart hata ortalamalarının yüksek olduğu görülmektedir.



Şekil 4.5. Maksimum Lyapunov Üsteli özniteliğinin kadın ve erkek gruplarına göre standart hata ortalama değerleri.

4.2.2. Korelasyon boyutu özniteliğinin bağımsız değişken t-testi ile değerlendirilmesi

Korelasyon Boyutu özniteliğinin ortalama değerlerinin bağımsız değişken t-testi ile değerlendirilmesi için kurulan hipotezler Çizelge 4.6'de görülmektedir.

Çizelge 4.6 Korelasyon Boyutu özniteliği için kurulan bağımsız değişken t-test hipotezleri.

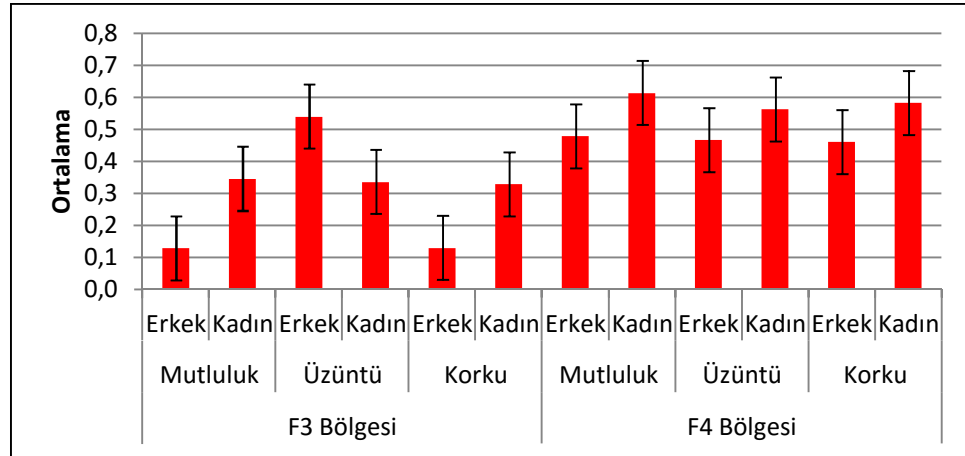
Elektrot Bölgesi	Hipotez No		Korelasyon Boyutu Öznitelik Hipotezleri
F3 Bölgesi	Hipotez 7	H ₀	Mutluluk duygu periyodunda Korelasyon Boyutu ortalamaları erkek ve kadın grupları arasında fark yoktur.
		H ₁	Mutluluk duygu periyodunda Korelasyon Boyutu ortalamaları erkek ve kadın grupları arasında fark vardır.
	Hipotez 8	H ₀	Üzüntü duygu periyodunda Korelasyon Boyutu ortalamaları erkek ve kadın grupları arasında fark yoktur.
		H ₁	Üzüntü duygu periyodunda Korelasyon Boyutu ortalamaları erkek ve kadın grupları arasında fark vardır.
	Hipotez 9	H ₀	Korku duygu periyodunda Korelasyon Boyutu ortalamaları erkek ve kadın grupları arasında fark yoktur.
		H ₁	Korku duygu periyodunda Korelasyon Boyutu ortalamaları erkek ve kadın grupları arasında fark vardır.
F4 Bölgesi	Hipotez 10	H ₀	Mutluluk duygu periyodunda Korelasyon Boyutu ortalamaları erkek ve kadın grupları arasında fark yoktur.
		H ₁	Mutluluk duygu periyodunda Korelasyon Boyutu ortalamaları erkek ve kadın grupları arasında fark vardır.
	Hipotez 11	H ₀	Üzüntü duygu periyodunda Korelasyon Boyutu ortalamaları erkek ve kadın grupları arasında fark yoktur.
		H ₁	Üzüntü duygu periyodunda Korelasyon Boyutu ortalamaları erkek ve kadın grupları arasında fark vardır.
	Hipotez 12	H ₀	Korku duygu periyodunda maksimum lyapunov üsteli ortalamaları erkek ve kadın grupları arasında fark yoktur.
		H ₁	Korku duygu periyodunda maksimum lyapunov üsteli ortalamaları erkek ve kadın grupları arasında fark vardır.

Beynin F3 ve F4 bölgeleri için hesaplanan Korelasyon Boyutu öznitelikleri, bağımsız değişken t-testi kullanılarak Çizelge 4.7’de karşılaştırılmıştır. Çizelge 4.7 incelendiğinde F3 beyin bölgesi için kurulan hipotezlerden mutluluk (Hipotez 7) ve korku (Hipotez 9) duyguları için Korelasyon Boyutu özniteliğinin kadın ve erkek gruplarının ortalamaları arasındaki farkın güvenilirlik aralığı %95 olarak seçildiğinde ve yanılma ihtimalinin %5’in altında olacak şekilde istatistiksel olarak anlamlı olduğu ve H₁’lerin kabul, H₀’ların ise red edildiği görülmektedir. Korelasyon Boyutu değerlerinin kadın ve erkek gruplarının ortalamalarının karşılaştırılmasında F3 beyin bölgesinde üzüntü (Hipotez 8) ve F4 beyin bölgesinde mutluluk (Hipotez 10), üzüntü (Hipotez 11), korku (Hipotez 12) duyguları için güvenilirlik aralığı %95 olarak seçildiğinde yanılma ihtimali en fazla p=%5 olacak şekilde istatistiksel olarak anlamlı olmadığı görülmüş ve H₀’lar kabul, H₁’ler red edilmiştir.

Çizelge 4.7. Korelasyon Boyutu özniteliğinin kadın ve erkek gruplarına göre bağımsız değişken t- testi kullanılarak karşılaştırılması (t: Güvenirlilik aralığı %95, p: Yanılma payı %5).

Veri Tanımı		Grup	Sayı	Ortalama	Standart Sapma	Standart Hata Ortalaması	t ($\geq 1,96$)	p ($\leq 0,05$)
Bölge	Periyot							
F3	Mutluluk	Erkek	12	0,128392	0,0215943	0,0062337	3,032	0,019
		Kadın	8	0,345150	0,2014268	0,0712151		
	Üzüntü	Erkek	12	0,539625	1,4069146	0,4061413	0,405	0,691
		Kadın	8	0,335575	0,1689866	0,0597458		
	Korku	Erkek	12	0,129767	0,0188687	0,0054469	3,148	0,016
		Kadın	8	0,328438	0,1778562	0,0628816		
F4	Mutluluk	Erkek	12	0,478150	0,2163115	0,0624438	1,226	0,236
		Kadın	8	0,613238	0,2763641	0,0977095		
	Üzüntü	Erkek	12	0,466750	0,2043915	0,0590027	1,004	0,329
		Kadın	8	0,562250	0,2144994	0,0758370		
	Korku	Erkek	12	0,460717	0,2025518	0,0584717	1,334	0,199
		Kadın	8	0,582600	0,1964552	0,0694574		

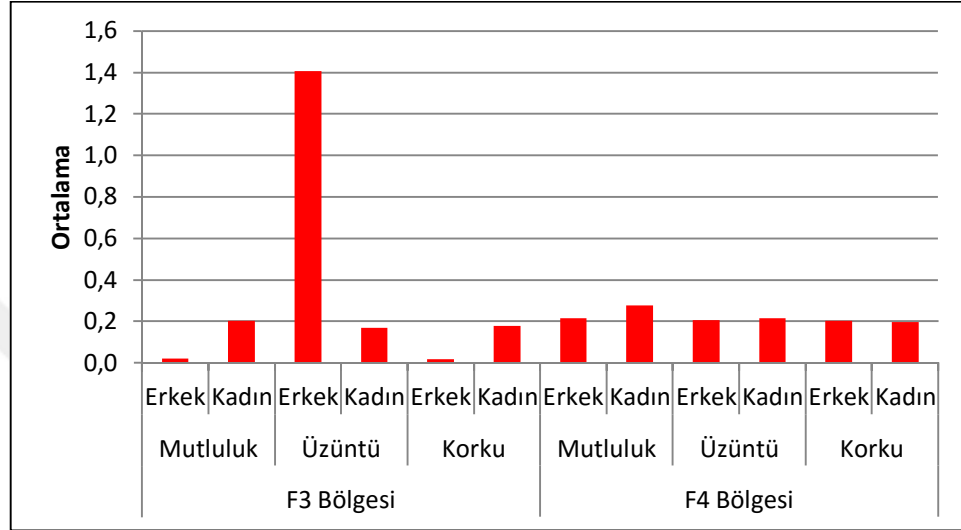
Çizelge 4.7’de verilen Korelasyon Boyutu özniteliğinin kadın ve erkek gruplarına göre bağımsız değişken t-testinde kullanılan ortalama değerleri, Şekil 4.6’da karşılaştırılmıştır. Şekil 4.6 incelendiğinde F3 bölgesinde mutluluk ve korku duygularında kadın gönüllülerin, üzüntü duygusunda ise erkek gönüllülerin Korelasyon Boyutu ortalama değerlerinin yüksek olduğu görülmektedir. F4 elektrot bölgesi incelendiğinde ise kadın gönüllülerin Korelasyon Boyutu ortalama değerlerinin erkek gönüllülere göre yüksek olduğu Şekil 4.6’da görülmektedir.



Şekil 4.6. Korelasyon Boyutu özniteliğinin kadın ve erkek gruplarına göre ortalama değerleri.

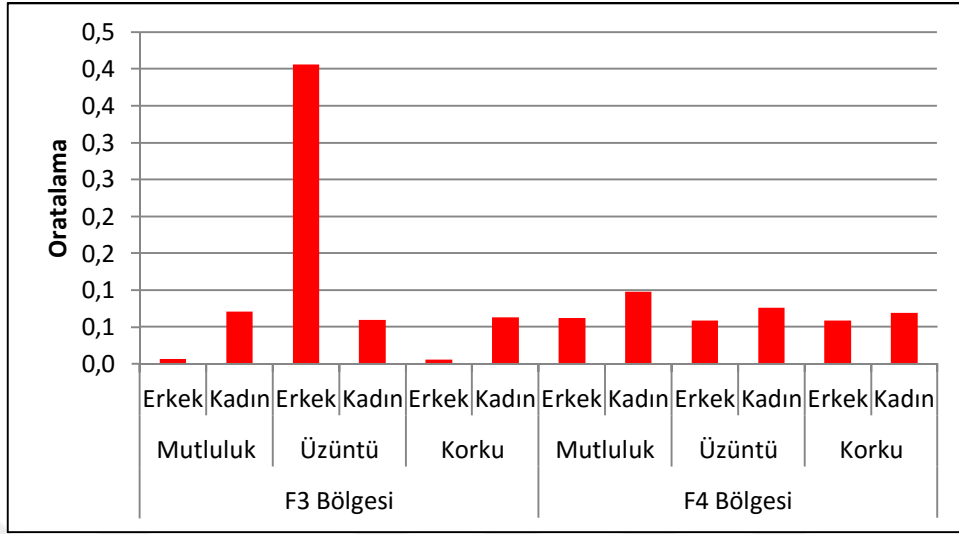
Çizelge 4.7’de verilen Korelasyon Boyutu özniteliğinin kadın ve erkek gruplarına göre bağımsız değişken t-testinde kullanılan standart sapma değerleri, Şekil 4.7’de karşılaştırılmıştır. Şekil 4.7 incelendiğinde F3 elektrot bölgesinde üzüntü duygusunda erkek grubunun standart

sapma değeri yüksek, diğer iki duygu için ise kadın grubunun standart sapma değeri yüksek olduğu görülmektedir. Korelasyon boyutu özneliliğinin standart sapma değeri F4 elektrot bölgesinde mutluluk ve üzüntü duygularında kadın grubun, korku duygusunda ise erkek grubun standart sapma değerlerinin yüksek olduğu görülmektedir.



Şekil 4.7. Korelasyon Boyutu özneliliğinin kadın ve erkek gruplarına göre standart sapma değerleri.

Çizelge 4.7’de verilen Korelasyon Boyutu özneliliğinin kadın ve erkek gruplarına göre bağımsız değişken t-testinde kullanılan standart hata ortalama değerleri, Şekil 4.8’de karşılaştırılmıştır. F3 elektrot bölgesinden alınan verilerden hesaplanan Korelasyon Boyutu özneliliğinin standart hata ortalama değerlerinde mutluluk ve korku duygularında kadın grubunun, üzüntü duygusunda ise erkek grubun standart hata ortalama değerlerinin yüksek olduğu görülmektedir. Şekil 4.8’de F4 elektrot bölgesi verileri incelendiğinde Korelasyon Boyutu özneliliğinin standart hata ortalamalarının üç duygu için de kadın grubunun değerlerinin erkek grubuna göre yüksek olduğu görülmektedir.



Şekil 4.8. Korelasyon Boyutu özneliğinin kadın ve erkek gruplarına göre standart hata ortalama değerleri.

4.3. Özneliklerin Bağımlı Değişken t-testi ile Değerlendirilmesi

Bu bölümde duygu uyararı gösterilmeden önce ve duygu uyararı gösterildiği periyotlar için kaotik analiz sonucunda hesaplanan Maksimum Lyapunov Üsteli ve Korelasyon Boyutu özneliklerinin ortalama değerleri bağımlı değişken t-testi kullanılarak karşılaştırılmıştır.

Bağımlı değişken t-testi, bir grubun veya örneklemin bir değişkene ait iki farklı zamandaki ölçümlerine ilişkin ortalamalarının karşılaştırılarak söz konusu ortalamalar arasındaki farkın belirli bir güven düzeyinde önemli olup olmadığını test etmek için kullanılır (www.istatistikanaliz.com). Bu çalışmada gönüllülerden alınan EEG sinyallerinden elde edilen özneliklerin duygu öncesi bekleme ve duygu periyotları arasındaki farkın değerlendirilmesi için bağımlı değişken t-testi kullanılmıştır.

4.3.1. Erkek gönüllüler için hesaplanan özneliklerin bağımlı değişken t-testi ile değerlendirilmesi

Erkek grubunun duygu uyararı gösterildiğinde ve duygu uyararı gösterilmeden önce kaydedilen EEG verilerinden hesaplanan Maksimum Lyapunov Üstelleri ve Korelasyon Boyutu özneliklerinin ortalama değerlerinin bağımlı değişken t-testi ile değerlendirilmesi için kurulan hipotezler Çizelge 4.8’de görülmektedir.

Çizelge 4.8. Erkek gönüllü grubu için kurulan bağımlı değişken t-test hipotezleri (MLÜ: Maksimum Lyapunov Üsteli, KB: Korelasyon Boyutu).

Elektrot Bölgesi	Hipotez No		Bağımlı değişken t-test hipotezleri
F3 Bölgesi	Hipotez 13	H ₀	Erkek grubu Mutluluk ve Mutluluk öncesi M.L.Ü. ortalamaları arasında fark yoktur
		H ₁	Erkek grubu Mutluluk ve Mutluluk öncesi M.L.Ü. ortalamaları arasında fark vardır
	Hipotez 14	H ₀	Erkek grubu Mutluluk ve Mutluluk öncesi K.B. ortalamaları arasında fark yoktur
		H ₁	Erkek grubu Mutluluk ve Mutluluk öncesi K.B. ortalamaları arasında fark vardır
	Hipotez 15	H ₀	Erkek grubu Üzüntü ve Üzüntü öncesi M.L.Ü. ortalamaları arasında fark yoktur
		H ₁	Erkek grubu Üzüntü ve Üzüntü öncesi M.L.Ü. ortalamaları arasında fark vardır
	Hipotez 16	H ₀	Erkek grubu Üzüntü ve Üzüntü öncesi K.B. ortalamaları arasında fark yoktur
		H ₁	Erkek grubu Üzüntü ve Üzüntü öncesi K.B. ortalamaları arasında fark vardır
	Hipotez 17	H ₀	Erkek grubu Korku ve Korku öncesi M.L.Ü. ortalamaları arasında fark yoktur
		H ₁	Erkek grubu Korku ve Korku öncesi M.L.Ü. ortalamaları arasında fark vardır
F4 Bölgesi	Hipotez 19	H ₀	Erkek grubu Mutluluk ve Mutluluk öncesi M.L.Ü. ortalamaları arasında fark yoktur
		H ₁	Erkek grubu Mutluluk ve Mutluluk öncesi M.L.Ü. ortalamaları arasında fark vardır
	Hipotez 20	H ₀	Erkek grubu Mutluluk ve Mutluluk öncesi K.B. ortalamaları arasında fark yoktur
		H ₁	Erkek grubu Mutluluk ve Mutluluk öncesi K.B. ortalamaları arasında fark vardır
	Hipotez 21	H ₀	Erkek grubu Üzüntü ve Üzüntü öncesi M.L.Ü. ortalamaları arasında fark yoktur
		H ₁	Erkek grubu Üzüntü ve Üzüntü öncesi M.L.Ü. ortalamaları arasında fark vardır
	Hipotez 22	H ₀	Erkek grubu Üzüntü ve Üzüntü öncesi K.B. ortalamaları arasında fark yoktur
		H ₁	Erkek grubu Üzüntü ve Üzüntü öncesi K.B. ortalamaları arasında fark vardır
	Hipotez 23	H ₀	Erkek grubu Korku ve Korku öncesi M.L.Ü. ortalamaları arasında fark yoktur
		H ₁	Erkek grubu Korku ve Korku öncesi M.L.Ü. ortalamaları arasında fark vardır
	Hipotez 24	H ₀	Erkek grubu Korku ve Korku öncesi K.B. ortalamaları arasında fark yoktur
		H ₁	Erkek grubu Korku ve Korku öncesi K.B. ortalamaları arasında fark vardır

Çizelge 4.9’da erkek gönüllü grubunun duygu uyararı gösterildiği ve gösterilmeden önceki periyotlarının kaotik analiz sonucu hesaplanan öznitelikleri bağımlı değişken t-test kullanılarak karşılaştırılmıştır. Çizelge 4.9 incelendiğinde 10-20 elektrot yerleşim standardına göre belirlenen F3 bölgesinden alınan veriler, mutluluk–mutluluk öncesi (Hipotez 13), üzüntü–üzüntü öncesi (Hipotez 15) ve korku–korku öncesi (Hipotez 17) periyotları karşılaştırıldığında Maksimum Lyapunov Üstel öznitelikleri güvenirlilik aralığı %95 olarak seçildiğinde ve yanılma ihtimalinin $p=0.05$ ’in altında olacak şekilde hipotez 13,15,17’de H₁’ler

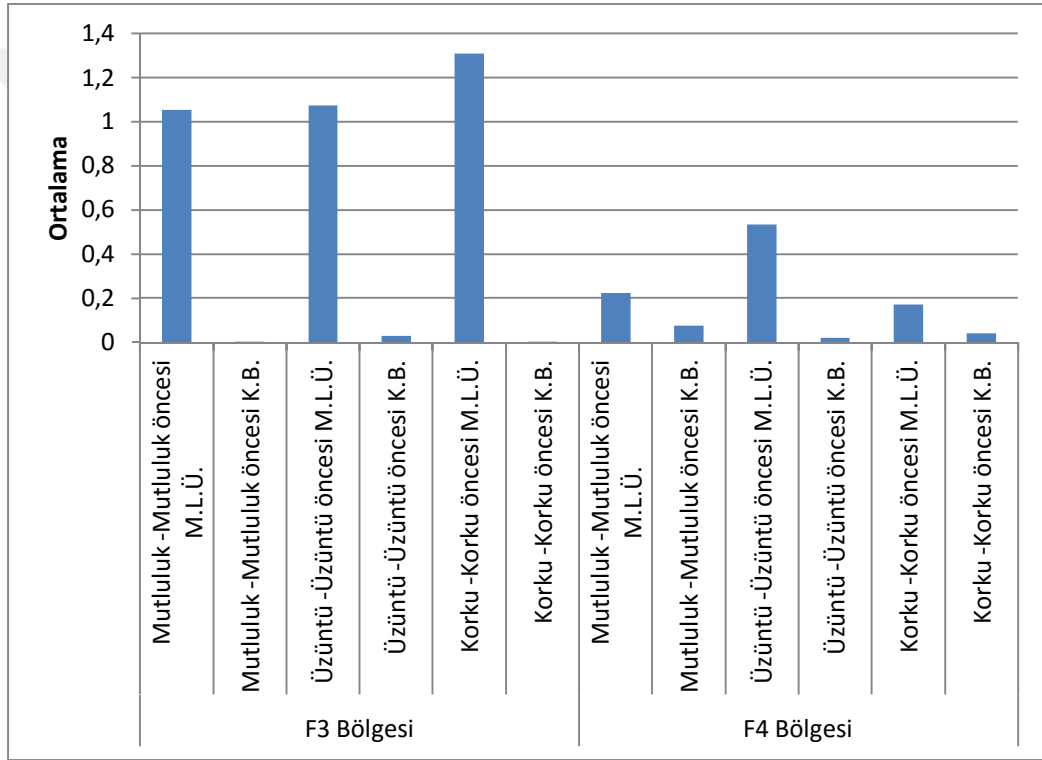
kabul, H_0 'lar ise red edilerek istatistiksel olarak aralarındaki ortalama değerleri farklarının anlamlı olduğu görülmektedir. Aynı F3 elektrot bölgesi için mutluluk–mutluluk  ncesi (Hipotez 14), üzüntü– z nt   ncesi (Hipotez 16) ve korku–korku  ncesi (Hipotez 18) periyotlarının Korelasyon Boyutu özniteliği kar ıla tırmaları ise güvenirlik aralığı %95 olarak seçildiğinde yanılma payı $p < 0,05$ olacak şekilde hipotez 14, 16 ve 18’de H_0 'lar kabul, H_1 'ler ise red edilerek istatistiksel olarak anlamlı olmadığı g r lm   t r.

Çizelge 4.9. Erkek gönüllü grubunun kaotik analiz sonucu elde edilen özniteliklerinin duygu ve duygu öncesi bekleme değerlerinin bağımlı değişken t-testi ile karşılaştırılması (t: Güvenirlik aralığı %95, p: Yanılma payı %5).

Bölge	Kar�ıla�tırılan Periyotlar	Ortalama	Standart Sapma	Standart Hata Ortalaması	t ($\geq 1,96$)	p ($\leq 0,05$)
F3	Mutluluk -Mutluluk �ncesi M.L.�.	1,0525833	0,6623877	0,1912149	5,505	0,000
	Mutluluk -Mutluluk �ncesi K.B.	0,0007750	0,0027416	0,0007914	0,979	0,349
	üzüntü -üzüntü �ncesi M.L.�.	1,0734250	0,6875507	0,1984788	5,408	0,000
	üzüntü -üzüntü �ncesi K.B.	0,0283417	0,1055974	0,0304833	0,930	0,372
	Korku -Korku �ncesi M.L.�.	1,3068083	0,5779675	0,1668449	7,832	0,000
	Korku -Korku �ncesi K.B.	0,0002500	0,0036465	0,0010527	0,237	0,817
F4	Mutluluk -Mutluluk �ncesi M.L.�.	0,2243750	0,4451202	0,1284951	1,746	0,109
	Mutluluk -Mutluluk �ncesi K.B.	0,0763333	0,0501361	0,0144730	5,274	0,000
	�z�nt� -�z�nt� �ncesi M.L.�.	0,5350417	1,4011179	0,4044679	1,323	0,213
	�z�nt� -�z�nt� �ncesi K.B.	0,0197583	0,0474210	0,0136893	1,443	0,177
	Korku -Korku �ncesi M.L.�.	0,1719750	0,3988399	0,1151352	1,494	0,163
	Korku -Korku �ncesi K.B.	0,0396500	0,0459034	0,0132512	2,992	0,012

 izelge 4.9’da F4 bölgesi için yapılan kar ıla tırmalar incelendiğinde; mutluluk–mutluluk  ncesi (Hipotez 20), korku-korku  ncesi (Hipotez 24) periyotlarının Korelasyon Boyutu değerlerinin güvenirlik aralığı %95 olarak seçildiğinde yanılma payı $p < 0,05$ olacak şekilde hipotez 20 ve 24 de H_0 'lar red, H_1 'ler kabul edilerek istatistiksel olarak anlamlı olduğu g r lm   t r. Aynı F4 elektrot bölgesi için üzüntü– z nt   ncesi (Hipotez 22) periyotları için kurulan hipotez 22 de H_0 kabul, H_1 red edilerek istatistiksel olarak anlamlı olmadığı görülmektedir. Maksimum Lyapunov  stel özniteliklerinin kar ıla tırmalarında ise mutluluk–mutluluk  ncesi (Hipotez 19), üzüntü– z nt   ncesi (Hipotez 21) ve korku–korku  ncesi (Hipotez 23) periyotlarında güvenirlik aralığı %95 olarak seçildiğinde yanılma ihtimali $p < 0,05$ olacak şekilde hipotez 19,21 ve 23’de H_0 kabul, H_1 red edilerek istatistiksel olarak anlamlı olmadığı g r lm   t r.

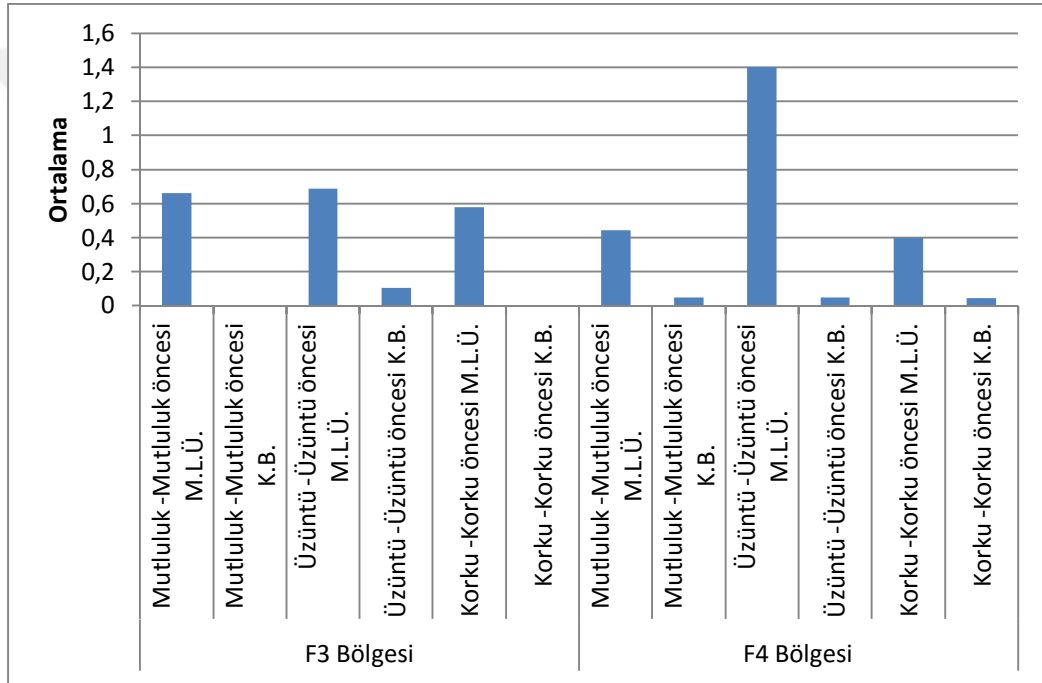
Erkek gönüllü grubunun duygu uyararı gösterildiği ve duygu uyararı gösterilmeden önceki bekleme periyotları için hesaplanan Maksimum Lyapunov Üstel ve Korelasyon Boyutu özniteliklerinin ortalama değerleri Şekil 4.9'da görülmektedir. F3 elektrot bölgesi için hesaplanan Maksimum Lyapunov Üstel özniteliği korku ve korku öncesi bekleme periyotlarındaki ortalama değerleri üzüntü ve mutluluk duygularının aynı durumlarına göre daha yüksek olduğu görülmektedir. Maksimum Lyapunov Üstel özniteliği F4 elektrot bölgesinde ise üzüntü ve üzüntü öncesi bekleme periyotları karşılaştırması diğer duygu periyotlarına göre daha yüksek olduğu görülmektedir.



Şekil 4.9. Erkek gönüllü grubunun duygu ve duygu öncesi bekleme periyotlarının karşılaştırma ortalama değerleri (MLÜ: Maksimum Lyapunov Üsteli, KB: Korelasyon Boyutu).

Erkek gönüllü grubu için hesaplanan Korelasyon Boyutu özniteliği Şekil 4.9 incelendiğinde F3 elektrot bölgesi için üzüntü ve üzüntü öncesi bekleme periyotları için hesaplanan değerlerin ortalaması mutluluk ve korku duygularına göre daha yüksek olduğu görülmektedir. Korelasyon Boyutu özniteliği F4 elektrot bölgesinde üzüntü ve üzüntü öncesi bekleme periyotlarındaki değerlerinin ortalaması diğer duygulara göre daha yüksek olduğu görülmektedir.

Şekil 4.10’da Erkek gönüllü grubunun duygu uyararı gösterildiği ve duygu uyararı gösterilmeden önceki bekleme periyotları için hesaplanan Maksimum Lyapunov Üstel ve Korelasyon Boyutu özniteliklerinin standart sapma değerleri görülmektedir. Şekil 4.10 incelendiğinde Maksimum Lyapunov Üstel özniteliğinin standart sapma değerleri F3 ve F4 elektrot bölgesi için üzüntü duygusu ve üzüntü öncesi bekleme periyotları karşılaştırılması diğer duygulara göre daha yüksek olduğu görülmektedir. Her iki elektrot bölgesi içinde duygu uyarılarını gösterildiği ve gösterilmeden önceki bekleme periyotlarının hesaplanan standart sapma değerleri büyükten küçüğe üzüntü, mutluluk ve korku şeklindedir.

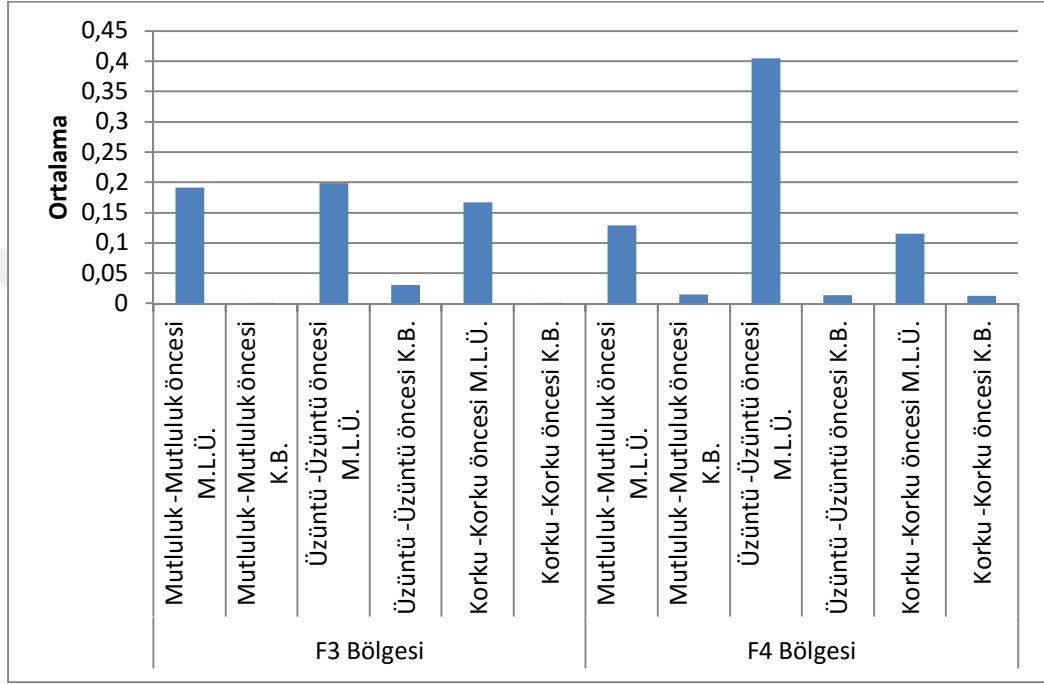


Şekil 4.10. Erkek gönüllü grubunun duygu ve duygu öncesi bekleme periyotlarının karşılaştırma standart sapma değerleri (MLÜ: Maksimum Lyapunov Üsteli, KB: Korelasyon Boyutu).

Korelasyon Boyutu özniteliği Şekil 4.10 incelendiğinde F3 bölgesinde en yüksek standart sapma değerini üzüntü ve üzüntü öncesi bekleme periyotları karşılaştırılmasında almaktadır. F4 elektrot bölgesinde ise Korelasyon Boyutu özniteliği mutluluk ve mutluluk öncesi bekleme periyotları karşılaştırılmasında en yüksek standart sapma değerinde olduğu görülmektedir.

Şekil 4.11’de erkek gönüllü grubunun duygu uyararı gösterildiği ve duygu uyararı gösterilmeden önceki bekleme periyotları için hesaplanan Maksimum Lyapunov Üstel ve Korelasyon Boyutu özniteliklerinin standart hata ortalama değerleri görülmektedir. Şekil 4.11’de F3 ve F4 elektrot bölgeleri incelendiğinde Maksimum Lyapunov Üstel özniteliğinin

standart hata ortalama değerleri üzüntü ve üzüntü öncesi bekleme periyotları için en yüksek olarak hesaplandığı görülmektedir. Mutluluk ve mutluluk öncesi bekleme periyotları için hesaplanan standart hata ortalamaları korku ve korku öncesi bekleme periyotlarına göre her iki elektrot bölgesi için de daha yüksek olarak hesaplanmıştır.



Şekil 4.11. Erkek gönüllü grubunun duygu ve duygu öncesi bekleme periyotlarının karşılaştırma standart hata ortalama değerleri (MLÜ: Maksimum Lyapunov Üsteli, KB: Korelasyon Boyutu).

Şekil 4.11’de Korelasyon Boyutu özneliği için hesaplanan standart hata ortalama değerleri F3 elektrot bölgesi için üzüntü ve üzüntü öncesi bekleme periyotları karşılaştırılmasında diğer duygu durumlarına göre daha yüksek olarak elde edilmiştir. Korelasyon Boyutu özneliği F4 elektrot bölgesinde ise mutluluk ve mutluluk öncesi bekleme periyotları diğer duygu periyotları karşılaştırmalarına göre daha yüksek olarak hesaplanmıştır.

4.3.2. Kadın gönüllüler için hesaplanan özneliliklerin bağımlı değişken t-testi ile değerlendirilmesi

Kadın gönüllü grubunun duygu uyararı gösterildiğinde ve duygu uyararı gösterilmeden önce kaydedilen EEG verilerinden hesaplanan Maksimum Lyapunov Üstelleri ve Korelasyon Boyutu özneliliklerinin ortalama değerlerinin bağımlı değişken t-testi ile değerlendirilmesi için kurulan hipotezler Çizelge 4.10’de görülmektedir.

Çizelge 4.10. Kadın gönüllü grubu için kurulan bağımlı değişken t-test hipotezleri.

Elektrot Bölgesi	Hipotez No		Bağımlı değişken t-test hipotezleri
F3 Bölgesi	Hipotez 25	H ₀	Kadın grubu Mutluluk ve Mutluluk öncesi M.L.Ü. ortalamaları arasında fark yoktur
		H ₁	Kadın grubu Mutluluk ve Mutluluk öncesi M.L.Ü. ortalamaları arasında fark vardır
	Hipotez 26	H ₀	Kadın grubu Mutluluk ve Mutluluk öncesi K.B. ortalamaları arasında fark yoktur
		H ₁	Kadın grubu Mutluluk ve Mutluluk öncesi K.B. ortalamaları arasında fark vardır
	Hipotez 27	H ₀	Kadın grubu Üzüntü ve Üzüntü öncesi M.L.Ü. ortalamaları arasında fark yoktur
		H ₁	Kadın grubu Üzüntü ve Üzüntü öncesi M.L.Ü. ortalamaları arasında fark vardır
	Hipotez 28	H ₀	Kadın grubu Üzüntü ve Üzüntü öncesi K.B. ortalamaları arasında fark yoktur
		H ₁	Kadın grubu Üzüntü ve Üzüntü öncesi K.B. ortalamaları arasında fark vardır
	Hipotez 29	H ₀	Kadın grubu Korku ve Korku öncesi M.L.Ü. ortalamaları arasında fark yoktur
		H ₁	Kadın grubu Korku ve Korku öncesi M.L.Ü. ortalamaları arasında fark vardır
F4 Bölgesi	Hipotez 31	H ₀	Kadın grubu Mutluluk ve Mutluluk öncesi M.L.Ü. ortalamaları arasında fark yoktur
		H ₁	Kadın grubu Mutluluk ve Mutluluk öncesi M.L.Ü. ortalamaları arasında fark vardır
	Hipotez 32	H ₀	Kadın grubu Mutluluk ve Mutluluk öncesi K.B. ortalamaları arasında fark yoktur
		H ₁	Kadın grubu Mutluluk ve Mutluluk öncesi K.B. ortalamaları arasında fark vardır
	Hipotez 33	H ₀	Kadın grubu Üzüntü ve Üzüntü öncesi M.L.Ü. ortalamaları arasında fark yoktur
		H ₁	Kadın grubu Üzüntü ve Üzüntü öncesi M.L.Ü. ortalamaları arasında fark vardır
	Hipotez 34	H ₀	Kadın grubu Üzüntü ve Üzüntü öncesi K.B. ortalamaları arasında fark yoktur
		H ₁	Kadın grubu Üzüntü ve Üzüntü öncesi K.B. ortalamaları arasında fark vardır
	Hipotez 35	H ₀	Kadın grubu Korku ve Korku öncesi M.L.Ü. ortalamaları arasında fark yoktur
		H ₁	Kadın grubu Korku ve Korku öncesi M.L.Ü. ortalamaları arasında fark vardır
	Hipotez 36	H ₀	Kadın grubu Korku ve Korku öncesi K.B. ortalamaları arasında fark yoktur
		H ₁	Kadın grubu Korku ve Korku öncesi K.B. ortalamaları arasında fark vardır

Çizelge 4.11’de duygu ve duygu öncesi bekleme zamanlarının kaotik analizden elde edilen Maksimum Lyapunov Üsteli ve Korelasyon Boyutu öznitelikleri kadın gönüllü grubunda bağımlı değişken t-testi kullanarak karşılaştırılmıştır. Çizelge 4.11 incelendiğinde beynin F3 elektrot bölgesinden alınan verilere göre; mutluluk-mutluluk öncesi (Hipotez 25), üzüntü-üzüntü öncesi (Hipotez 27), korku-korku öncesi (Hipotez 29) periyotları karşılaştırıldığında Maksimum Lyapunov Üstel özniteliği güvenilirlik aralığı %95 olarak seçildiğinde yanılma ihtimali $p < 0,05$ olacak şekilde hipotez 25, 27 ve 29’da H₀’lar red, H₁’ler kabul edilerek istatistiki olarak anlamlı olduğu görülmüştür. Aynı F3 bölgesi için mutluluk ve mutluluk öncesi (Hipotez 26) Korelasyon Boyutu özniteliği bağımlı değişken t-testine için kurulan hipotez 26’da

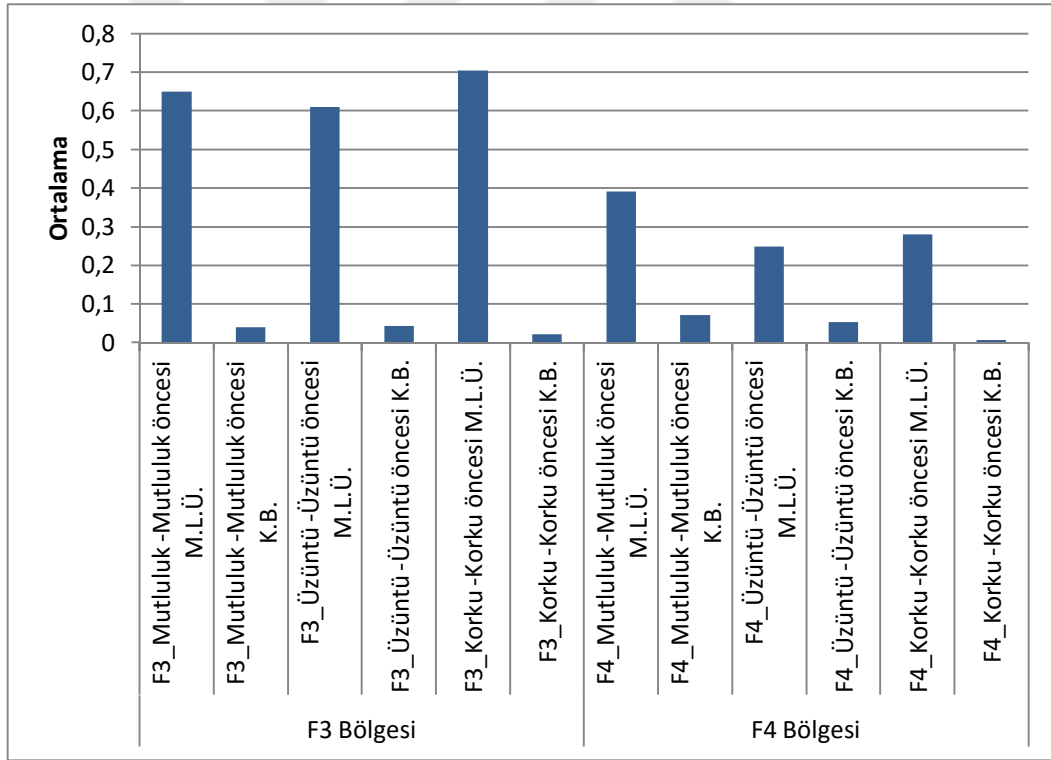
H_0 red, H_1 kabul edilerek ortalamaları arasındaki farkın istatistiksel olarak anlamlı olduğu kabul edilmiştir. F3 bölgesinde üzüntü-üzüntü öncesi (Hipotez 28), korku-korku öncesi (Hipotez 30) verileri karşılaştırılmasında Korelasyon Boyutu özneliği güvenilirlik aralığı %95 olarak seçildiğinde yanılma ihtimali $p < 0,05$ olacak şekilde bağımlı örnek t-testinde hipotez 28 ve 30'da H_0 'lar kabul, H_1 'ler red edilerek aralarındaki ortalama farkları istatistiksel olarak anlamlı olmadığı görülmüştür.

Çizelge 4.11. Kadın gönüllülerin kaotik analiz sonucu elde edilen özneliliklerin duygu ve duygu öncesi bekleme değerlerinin bağımlı değişken t-testi kullanılarak karşılaştırılması (t: Güvenirlik aralığı %95, p: Yanılma payı %5).

Bölge	Karşılaştırılan Periyotlar	Ortalama	Standart Sapma	Standart Hata Ortalaması	t ($\geq 1,96$)	p ($\leq 0,05$)
F3	F3_Mutluluk -Mutluluk öncesi M.L.Ü	0,6497500	0,6156506	0,2176654	2,985	0,020
	F3_Mutluluk -Mutluluk öncesi K.B.	0,0408125	0,0460644	0,0162862	2,506	0,041
	F3_Üzüntü -Üzüntü öncesi M.L.Ü	0,6096375	0,6470183	0,2287555	2,665	0,032
	F3_Üzüntü -Üzüntü öncesi K.B.	0,0433125	0,1508408	0,0533303	0,812	0,443
	F3_Korku -Korku öncesi M.L.Ü	0,7044000	0,5773373	0,2041196	3,451	0,011
	F3_Korku -Korku öncesi K.B.	0,0220125	0,0307407	0,0108685	2,025	0,082
F4	F4_Mutluluk -Mutluluk öncesi M.L.Ü	0,3917875	0,5368811	0,1898161	2,064	0,078
	F4_Mutluluk -Mutluluk öncesi K.B.	0,0707125	0,0973455	0,0344168	2,055	0,079
	F4_Üzüntü -Üzüntü öncesi M.L.Ü	0,2487250	0,1720834	0,0608407	4,088	0,005
	F4_Üzüntü -Üzüntü öncesi K.B.	0,0528875	0,0779489	0,0275591	1,919	0,096
	F4_Korku -Korku öncesi M.L.Ü	0,2797500	0,2702536	0,0955491	2,928	0,022
	F4_Korku -Korku öncesi K.B.	0,0069125	0,0492615	0,0174166	0,397	0,703

Çizelge 4.11 incelendiğinde beynin F4 bölgesinde üzüntü-üzüntü öncesi (Hipotez 33) korku-korku öncesi (Hipotez 35) Maksimum Lyapunov Üstel değerleri güvenilirlik aralığı %95 olarak seçildiğinde yanılma ihtimali en fazla $p = 0,05$ olacak şekilde hipotez 33 ve 35'de H_0 'lar red, H_1 'ler kabul edilerek aralarındaki farklar istatistiksel olarak anlamlı kabul edilmiştir. Aynı F4 elektrot bölgesinde mutluluk-mutluluk öncesi (Hipotez 32), üzüntü-üzüntü öncesi (Hipotez 34), korku-korku öncesi (Hipotez 36) karşılaştırıldığında Korelasyon Boyutu özneliği güvenilirlik aralığı %95 olarak seçildiğinde yanılma ihtimali $p < 0,05$ kabul edilerek hipotez 32, 34 ve 36'da H_0 'lar kabul, H_1 'ler red edilerek istatistiksel olarak anlamlı olmadığı gözlenmiştir. Beynin F4 elektrot bölgesi Çizelge 4.11 incelendiğinde mutluluk-mutluluk öncesi (Hipotez 31) Maksimum Lyapunov Üstel verilerinin ortalama değerleri karşılaştırıldığında güvenilirlik aralığı %95 olarak seçildiğinde yanılma ihtimali $p < 0,05$ olacak şekilde hipotez 31'de H_0 kabul, H_1 ise red edilerek istatistiksel olarak anlamlı olmadığı görülmüştür.

Şekil 4.12’de kadın gönüllü grubu için duygu uyararı gösterildiği ve duygu uyararı gösterilmeden önceki bekleme periyotları için hesaplanan Maksimum Lyapunov Üstel ve Korelasyon Boyutu özniteliklerinin ortalama değerleri görülmektedir. Şekil 4.12 incelendiğinde Maksimum Lyapunov Üstel özniteliğinin F3 elektrot bölgesi için en yüksek değerini korku ve korku öncesi bekleme periyotlarının karşılaştırılmasında elde etmiştir. Aynı elektrot bölgesi için mutluluk ve mutluluk öncesi bekleme periyotları üzüntü ve üzüntü öncesi bekleme periyotlarının karşılaştırılmasına göre daha yüksek olduğu görülmektedir. Maksimum Lyapunov Üstel özniteliği F4 elektrot bölgesi için en yüksek değere mutluluk ve mutluluk öncesi bekleme periyotlarının karşılaştırılmasında ulaştığı belirlenmiştir. F4 elektrot bölgesi için duygu ve duygu öncesi bekleme periyotları karşılaştırılmasında korku ve korku öncesi bekleme değeri üzüntü ve üzüntü öncesi bekleme periyotları ortalama değerinden daha yüksek seviyede olduğu görülmüştür.



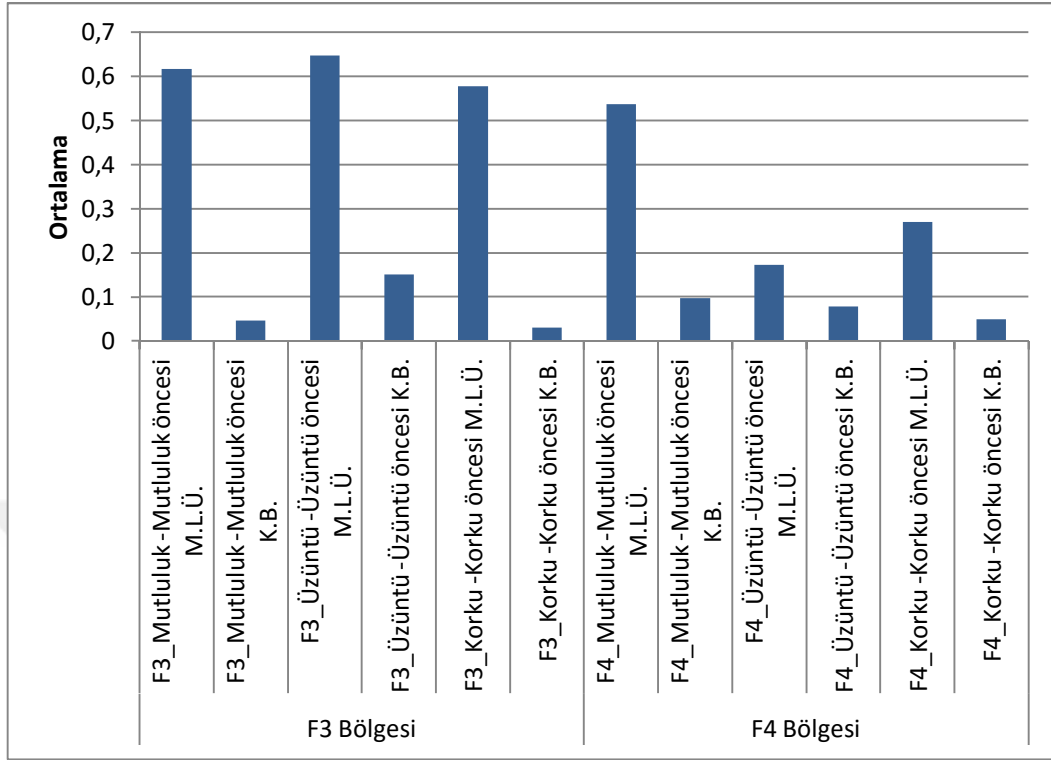
Şekil 4.12. Kadın gönüllü grubunun duygu ve duygu öncesi bekleme periyotlarının karşılaştırma ortalama değerleri.(MLÜ: Maksimum Lyapunov Üsteli, KB: Korelasyon Boyutu).

Korelasyon Boyutu özniteliği Şekil 4.12 incelendiğinde, F3 bölgesi elektrotundan alınan verilerden hesaplanan ortalama değerleri büyükten küçüğe Korku ve korku öncesi, mutluluk ve mutluluk öncesi, üzüntü ve üzüntü öncesi periyotlarının karşılaştırılması şeklinde sıralandığı

görülmektedir. Aynı öznitelik F4 elektrot bölgesinde en yüksek ortalama değeri yine korku ve korku öncesi bekleme periyotları karşılaştırılmasında aldığı belirlenmiştir. Korelasyon Boyutu ortalama değerleri F4 elektrot bölgesi incelendiğinde üzüntü ve üzüntü öncesi bekleme periyodu mutluluk ve mutluluk öncesi bekleme periyotları karşılaştırılmasına göre daha yüksek seviyede olduğu görülmektedir.

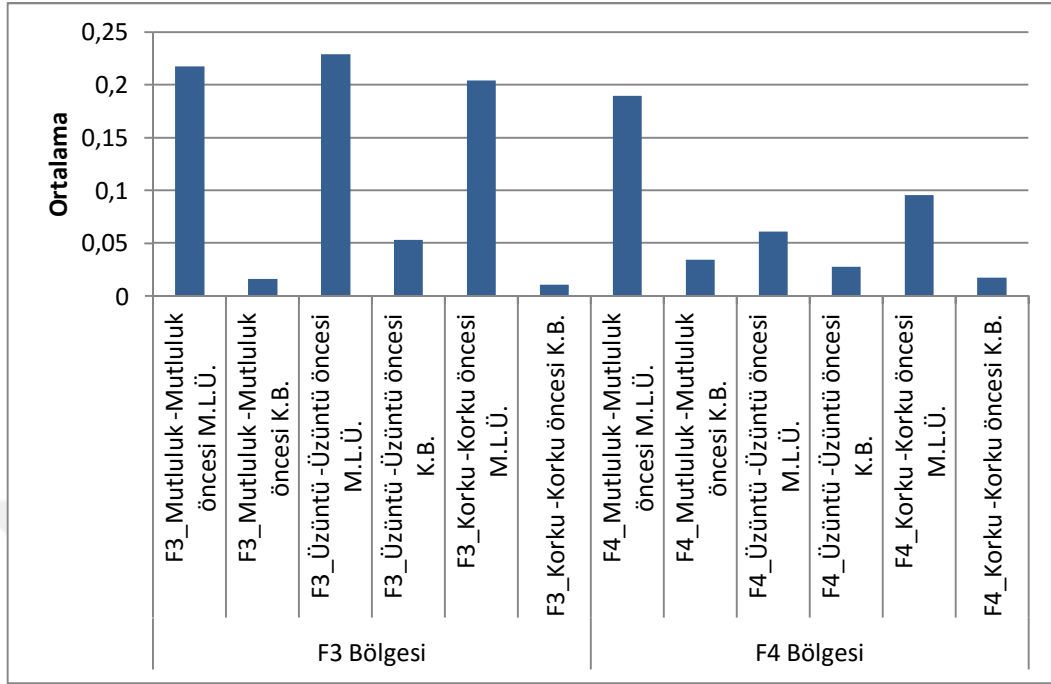
Şekil 4.13’de kadın gönüllü grubu için duygu uyarını gösterildiği ve duygu uyarını gösterilmeden önceki bekleme periyotları için hesaplanan Maksimum Lyapunov Üstel ve Korelasyon Boyutu özniteliklerinin standart sapma değerleri gösterilmiştir. Şekil 4.13 incelendiğinde F3 elektrot bölgesinde her iki öznitelik içinde en yüksek değerin üzüntü ve üzüntü öncesi bekleme periyotları karşılaştırılmasında elde edildiği görülmektedir. Diğer iki duyguda da Maksimum Lyapunov Üstel ve Korelasyon Boyutu öznitelikleri benzerlik göstererek mutluluk ve mutluluk öncesi bekleme periyotları karşılaştırılması korku ve korku öncesi bekleme periyotları karşılaştırılmasındaki standart sapma değerinden daha yüksek olduğu belirlenmiştir.

Şekil 4.13’de F4 elektrot bölgesi incelendiğinde Maksimum Lyapunov Üstel özniteliği için en yüksek standart sapma değeri, mutluluk ve mutluluk öncesi periyotların karşılaştırılmasından elde edilmiştir. Aynı öznitelik için aynı bölgede korku ve korku öncesi bekleme standart sapma değeri üzüntü ve üzüntü öncesi bekleme değerine göre daha yüksek seviyededir. Korelasyon boyutu özniteliği Maksimum Lyapunov Üstel öznitelik değerinde olduğu gibi en yüksek standart sapma değerini mutluluk ve mutluluk öncesi bekleme periyotlarının karşılaştırılmasında elde ettiği belirlenmiştir. Üzüntü ve üzüntü öncesi bekleme periyotları karşılaştırılmasında Korelasyon Boyutu özniteliği standart sapma değeri korku ve korku öncesi bekleme periyotların karşılaştırılmasına göre daha yüksek olduğu Şekil 4.13’de görülmektedir.



Şekil 4.13. Kadın gönüllü grubunun duygu ve duygu öncesi bekleme periyotlarının karşılaştırma standart sapma değerleri. (MLÜ: Maksimum Lyapunov Üsteli, KB: Korelasyon Boyutu).

Kadın gönüllü grubu için hesaplanan Maksimum Lyapunov Üstel ve Korelasyon Boyutu öznelitliklerinin duygu ve duygu öncesi periyotlarının karşılaştırılmasında elde edilen standart hata ortalama değerleri Şekil 4.14’de görülmektedir. F3 elektrot bölgesi için Şekil 4.14 incelendiğinde en yüksek standart hata ortalama değerine üzüntü ve üzüntü öncesi bekleme periyotları karşılaştırılmasında elde ettiği görülmektedir. Aynı öznelitik ve aynı elektrot bölgesi için Mutluluk ve mutluluk öncesi bekleme değeri korku ve korku öncesi bekleme periyotları karşılaştırmasına göre daha yüksek seviyede olduğu belirlenmiştir. Maksimum Lyapunov Üstel öznelitiği için Şekil 4.14’ün F4 elektrot bölgesi incelendiğinde duygu ve duygu öncesi bekleme periyotlarının karşılaştırılmaları arasında mutluluk ve mutluluk öncesi bekleme en yüksek standart hata ortalama değerini almıştır. Korku ve korku öncesi bekleme periyotları karşılaştırılması Maksimum Lyapunov Üstel öznelitiği ve F4 bölgesi için üzüntü ve üzüntü öncesi bekleme standart hata ortalama değerinden daha yüksek olduğu belirlenmiştir.



Şekil 4.14. Kadın gönüllü grubunun duygu ve duygu öncesi bekleme periyotlarının karşılaştırma standart hata ortalama değerleri. (MLÜ: Maksimum Lyapunov Üsteli, KB: Korelasyon Boyutu).

Kadın gönüllü grubu için hesaplanan Korelasyon Boyutu özneliliği duygu ve duygu öncesi periyotlarının karşılaştırılmasında elde edilen standart hata ortalama değerleri F3 Bölgesi için en yüksek değeri üzüntü ve üzüntü öncesi bekleme periyotlarında, F4 elektrot bölgesi için ise mutluluk ve mutluluk öncesi bekleme periyotlarının karşılaştırılmasında aldığı Şekil 4.14’de görülmektedir. F3 elektrot bölgesinde Korelasyon Boyutu özneliliği mutluluk ve mutluluk öncesi bekleme periyotları karşılaştırılmasındaki standart hata ortalama değeri korku ve korku öncesi bekleme periyotlarında ki standart hata ortalama değerinden daha yüksek olduğu görülmektedir. Korelasyon Boyutu özneliliği için F4 bölgesinde üzüntü ve üzüntü öncesi bekleme periyotları karşılaştırılması standart hata ortalama değeri korku ve korku öncesi bekleme periyotları karşılaştırılması değerine göre daha yüksek olduğu belirlenmiştir.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışma, EEG tabanlı duygu tanıma sistemleri ile elde edilen verilerden kaotik analiz yoluyla öznelik elde etmeyi amaçlamıştır. Bu çalışmada, duyguyu ortaya çıkaran görsel uyaranlar kullanılarak, Maksimum Lyapunov Üsteli ve Korelasyon Boyutu öznelik değerlerinin hesaplanmasında yeni bir duygu tanıma algoritması kullanılmıştır. Çalışmada mutluluk, üzüntü ve korku gibi üç duyguya yönelik uygulama yapılmıştır. Diğer çalışmalarla kıyaslandığında, daha az sayıda elektrot kullanılmıştır (Lin, vd., 2007, Petrantonakis ve Hadjileontiadis, 2010, Uzun, vd., 2012, Nie, vd., 2011, Park, vd., 2013, Akdemir Akar, 2011). Duygulara ait veriler F3 ve F4 bölge elektrotları ile elde edilmiştir. Elde edilen EEG verileri kaotik analiz yapılarak seçilen Maksimum Lyapunov Üsteli ve Korelasyon Boyutu öznelikleri bağımsız değişken t-test ve bağımlı değişken t-test uygulanarak ortalamaları arasında anlamlı bir fark olup olmadığı incelenmiştir. t-testleri için kurulan hipotezlerin kabul ve red edilme durumları Çizelge 5.1’de gösterilmiştir.

Yapılan bağımlı ve bağımsız değişken t-test sonuçlarına göre beynin F3 elektrot bölgesinden alınan verilerin 12 önermede H_0 hipotezi red edilerek ortalama değerler arasında güven aralığı %95 ve %5 yanlışma payı göz önüne alınarak anlamlı olarak bulunmuştur. F4 elektrot bölgesi verilerinin ise 4 önermede H_0 hipotezi red edilerek ortalama değerler arasında güven aralığı %95 ve %5 yanlışma payı göz önüne alınarak anlamlı olduğu görüldü.

Daha sonraki çalışmalarda ölçüm düzeneğinde kanal sayısı artırılarak beynin F3 ve F4 bölgeleri yanı sıra beynin diğer bölgeleri de çalışmaya dahil edilebilir. Projemizin bir sonraki adımı, duyguların daha kolay oluşabilmesi için resim uyaranları yerine film uyaranı kullanılabilir. Farklı duygular için uyaranları sıralamak yerine her duygu için bağımsız ölçümler yapmak başarıyı artırabilir. Çalışmamızda tam olarak duygu ayırt edilmemiştir. İleriki çalışmalarda duyguların ayırt edilebilmesi için Destek Vektör Makineleri, Yapay Sinir Ağları vb. sınıflama sistemleri kullanılarak duygular daha başarılı bir şekilde ayırt edilebilir ve sınıflandırılabilir.

Çizelge 5.1 Kurulan Hipotezlerin Durumu.

Elektrot Bölgesi	Hipotez No	Hipotez Sonucu
		H_0
F3 Bölgesi	Hipotez 1	Red
	Hipotez 2	Red
	Hipotez 3	Red
	Hipotez 7	Red
	Hipotez 8	Kabul
	Hipotez 9	Red
	Hipotez 13	Red
	Hipotez 14	Kabul
	Hipotez 15	Red
	Hipotez 16	Kabul
	Hipotez 17	Red
	Hipotez 18	Kabul
	Hipotez 25	Red
	Hipotez 26	Red
	Hipotez 27	Red
	Hipotez 28	Kabul
	Hipotez 29	Red
	Hipotez 30	Kabul
F4 Bölgesi	Hipotez 4	Kabul
	Hipotez 5	Kabul
	Hipotez 6	Kabul
	Hipotez 10	Kabul
	Hipotez 11	Kabul
	Hipotez 12	Kabul
	Hipotez 19	Kabul
	Hipotez 20	Red
	Hipotez 21	Kabul
	Hipotez 22	Kabul
	Hipotez 23	Kabul
	Hipotez 24	Red
	Hipotez 31	Kabul
	Hipotez 32	Kabul
	Hipotez 33	Red
	Hipotez 34	Kabul
	Hipotez 35	Red
	Hipotez 36	Kabul

KAYNAKLAR DİZİNİ

Abarbanel, H.D.I., Brown R., Sidorowich J.J. ve Tsimring L.S., (1993), "The Analysis of Observed Chaotic Data in Physical Systems", *Reviews of Modern Physics*, Cilt. 65, No. 4, s.1331-1392.

Abarbanel, H.D.I., Brown, R. ve Kennel M.B., (1991), "Lyapunov Exponents in Chaotic Systems: Their Importance and Their Evaluation Using Observed Data", *Int. J. Mod. Phys. B*, Cilt. 5, Sayı. 9, s. 1347-1375.

Akay, M., (2000), *Nonlinear Biomedical Signal Processing, Dynamic Analysis and Modelling*, cilt II, IEEE Pres.

Akdemir Akar, S., (2011), *Analysis of Physiological and Electrophysiological Parameters in Patients With Schizophrenia*, Doktora Tezi, Fatih Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Briggs K., (1990), "An Improved Method for Estimating Liapunov Exponents of Chaotic Time Series", *Physics Letters A*, Cilt. 151, s. 27-32.

Brown, R., Bryant, P. ve Abarbanel, H.D.I., (1991), "Computing the Lyapunov Spectrum of A Dynamical System from an Observed Time Series", *Phys. Rev. A*, Cilt. 43, No. 6, s.2787-2806.

Cao, L., (1997), "Practical Method for Determining the Minimum Embedding Dimension of a Scalar Time Series", *Physica D*, Cilt. 110, No. 1, s.43-50.

Casaleggio, A., Corana, A., (2000), "A Posteriori Tests to Validate Dimension Estimates from Time Series", *Chaos, Solitons and Fractals*, Cilt. 11, No. 13, s.2017-2030.

Eckmann, J.P., Kamphorst, S.O., Ruelle, D. ve Ciliberto, S., (1986), "Lyapunov Exponents from Time Series", *Phys. Rev. A*, Cilt.34, s.4971-4979.

Fraser, A.M. ve Swinney, H.L., (1986), "Independent Coordinates for Strange Attractors from Mutual Information", *Phys. Rev. A*, Cilt. 33, s.1134.

Geist, K., Parlitz, U. ve Lauterborn, W., (1990), "Comparison of Different Methods for Computing Lyapunov Exponents", *Prog. Theor. Phys.*, Cilt. 83, No .5, s. 875-893.

Gencay, R. ve Dechert, W.D., (1992), "An Algorithm for the n Lyapunov Exponents from Noisy Chaotic Time Series", *Physica D*, Cilt. 59, s.142-157.

Grassberger, P. ve Procaccia, I., (1983), "Measuring the Strangeness of Strange Attractors", *Physica D*, Cilt. 9, s.189-208.

Hentschel, H.G.E. ve Procaccia, I., (1983), "The Infinite Number of Generalized Dimensions of Fractals and Strange Attractors", *Physica D*, Cilt. 8, s. 435-444.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

<http://www.brainmaster.com/generalinfo/electrodeuse/eebands/1020/1020.html>

<http://www.spssanalizi.com/uygulama/bagimli-iki-ornekleme-t-testi>

<http://www.istatistikanaliz.com/t-testi.asp>

Isham, V., (1992), Discussion on the meeting on chaos, Journal of Royal Statistical Society, 54, 2, s.451-454.

Kaplan, J. ve Yorke, J., (1979), Functional Differential Equations and the Approximation of Fixed Points, Lecture Notes in Mathematics, No 730, Berlin: SpringerVerlag.

Lin, Y., Wang, C., Wu, T., Jeng, S., Chen, J., (2007), Multilayer Perceptron for EEG Signal Classification during Listening to Emotional Music, TENCON - IEEE Region 10 Conference, s.1-3, Taiwan, Oct. 30 - 2 Nov.

Liu, H.F., Dai, Z.H., Li, W.F., Gong, X. ve Yu, Z.H., (2005), Noise Robust Estimates of the Largest Lyapunov Exponent”, Phys. Lett. A, Cilt. 341, s.119-127.

Mandelbrot, B.B., (1997), Fractals: Form, chance, and dimension, W.H. Freeman, San Francisco.

Nie, D., Wang, X-W., Shi, L-C. ve Lu. B-L., (2011), EEG-based Emotion Recognition during Watching Movies, 5th International IEEE/EMBS Conference on Neural Engineering (NER-11), s. 667-670.

Oiwa, N.N., Fiedler-Ferrara N., (1998), A Fast Algorithm for Estimating Lyapunov Exponents from Time Series, Physics Letters A, Cilt. 246, s.117-121.

Park, M-S., Oh, H-S., Jeong, H., Sohn, J-H., “EEG-based emotion recognition during emotionally evocative films”, International Winter Workshop on Brain-Computer Interface(BCI), s. 56-57, Korea, 18-20 Feb. 2013.

Petrantonakis, P.C., Hadjileontiadis, L.J., (2010), Emotion Recognition from Brain Signals Using Hybrid Adaptive Filtering and Higher Order Crossings Analysis, IEEE Transactions on Affective Computing, cilt. 1, No. 2, s. 81-96.

Radhakrishnan, P., Lian T.L. ve Sagar B.S.D., (2004), Estimation of Fractal Dimension Through Morphological Decomposition”, Chaos, Solitons and Fractals, Cilt. 21, No. 3, s.563-572.

Rosenstein, M.T., Collins, J.J. ve De Luca C. J., (1993), A Practical Method for Calculating Largest Lyapunov Exponents from Small Data Sets”, Physica D, Cilt 65, s.117.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

Russell, J. A. (1980), "A Circumplex Model of Affect", *Journal of Personality and Social Psychology*, 39, 6, s.1161-1178.

Sano, M., Sawada, Y., (1985), Measurement of the Lyapunov Spectrum from A Chaotic Time Series, *Phys. Rev. Lett., Cilt. 55*, s.1082-1085.

Sato, S., Sano, M. ve Sawada, Y., (1987), Practical Methods of Measuring the Generalized Dimension and Largest Lyapunov Exponent in High Dimensional Chaotic Systems, *Prog. Theor. Phys., Cilt. 77, No. 1*, s.1-5.

Stefanski, A., Dabrowski, A. ve Kapitaniak, T., (2005), "Evaluation of the Largest Lyapunov Exponent in Dynamical Systems with Time Delay", *Chaos, Solitons and Fractals, Cilt. 23, No. 5*, s.1651-1659.

Takens, F., (1981), "Detecting Strange Attractors in Turbulence", *Lecture Notes in Mathematics, Cilt. 898*, s.366-381.

Tang Y, Li Y, Tong S, Zhu Y (2009), Entropy analysis of the EEG alpha activity in depression patients", *Sheng Wu Yi Xue Gong Cheng Xue Za Zhi* 26 (4), s.739-42

Uzun, S.S., Oflazoglu, Ç., Yıldırım, S., Yıldırım, E., (2012), Emotion Estimation from EEG Signals Using Wavelet Transform Analysis, *20th Signal Processing and Communications Applications Conference (SIU-12)*, s. 1-4.

Wolf, A., Swift, J.B., Swinney, H.L. ve Vastano, J.A., (1985), Determining Lyapunov Exponents from a Time Series", *Physica D, Cilt 16, No 3*, s. 285-317.

Yılmaz, D., Güler, N.F., (2006), Kaotik zaman serisinin analizi üzerine bir araştırma, *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 21, 4, s.759-779.

Yonemoto, K., Yanagawa, T., (2004), "Estimating the Lyapunov Exponent from Chaotic Time Series with Dynamic Noise", *MHF Preprint Series, MHF 2004-1*, Kyushu University.

Yonemoto, K., Yanagawa, T., (2004), Estimating the lyapunov exponent from chaotic time series with dynamic noise, *MHF Preprint Series*, s.14-17.