

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**BAZI BAHARAT KOKULARININ KOKLANMASI SIRASINDA OLUŞAN EEG  
İŞARETLERİNİN İNCELENMESİ VE SINIFLANDIRILMASI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Elektrik-Elektronik Müh. Hilal ALTUN**

**OCAK 2018  
TRABZON**



**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**



**Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünce**

**Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : / /**

**Tezin Savunma Tarihi : / /**

**Tez Danışmanı :**

**Trabzon**

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı  
Hilal ALTUN Tarafından Hazırlanan**

**BAZI BAHARAT KOKULARININ KOKLANMASI SIRASINDA OLUŞAN EEG  
İŞARETLERİNİN İNCELENMESİ VE SINIFLANDIRILMASI**

başlıklı bu çalışma, Enstitü Yönetim Kurulunun 02/ 01/ 2018 gün ve 1734 sayılı  
kararıyla oluşturulan jüri tarafından yapılan sınavda  
**YÜKSEK LİSANS TEZİ**  
olarak kabul edilmiştir.

**Jüri Üyeleri**

**Başkan : Prof. Dr. Ali GANGAL**

**Üye : Doç. Dr. İbrahim Yücel ÖZBEK**

**Üye : Yrd. Doç. Dr. Önder AYDEMİR**



**Prof. Dr. Sadettin KORKMAZ**

**Enstitü Müdürü**

## ÖNSÖZ

Dünyadaki en karmaşık sistemlerden biri olan insan beyninin önemli görevleri arasında duyu organlarından gelen uyarıları alıp değerlendirmesi de bulunmaktadır. Duyu organlarına gelen uyarılardan biri de koku moleküllerinin buruna hareketiyle oluşan koklama olayıdır. Son yıllarda kokuya karşı beynin tepkisini temel alan EEG tabanlı çalışmaların sayısı artmaktadır. Bu çalışmada beynin farklı baharat kokularına verdiği elektriksel tepkinin EEG işaretlerine dayalı olarak incelenmesi ve ne ölçüde ayırt edici olduğunun ortaya konulması hedeflenmiştir. Bu konuda literatüre katkı sağlamanın yanı sıra kişilerin koku duyularında herhangi bir eksiklik veya kayıp olup olmadığının değerlendirilmesi yolunda yapılabilecek çalışmalara da bir alt yapı oluşturması amaçlanmıştır.

Bu tez çalışmasını maddi olarak destekleyen Karadeniz Teknik Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimine (Proje Kodu: FYL-2017-5756) ve EEG verilerinin alınması sürecinde çalışmaya gönüllü olarak katılan kişilere sonsuz teşekkür ederim.

Bu çalışmanın planlanması ve araştırılması aşamasında değerli bilgi ve tecrübelerini benimle paylaşan, deneysel çalışma döneminde kıymetli vaktini ayırırken güler yüz ve samimiyetini esirgemeyen tez danışmanım Yrd. Doç. Dr. Önder AYDEMİR'e ve yine tez çalışmam süresindeki değerli katkılarından ötürü Arş. Gör. Ebru YAVUZ'a teşekkürü borç bilir ve şükranlarımı sunarım.

Çalışmam boyunca desteklerini ve bana olan güvenlerini hep yanımda hissettiğim bu hayattaki en büyük şansım olan annem, babam ve kardeşlerime ve neşeme neşe katıp motivemin hep yüksek olmasını sağlayan yeğenim Tarık AYDIN'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Hilal ALTUN

Trabzon 2018

## TEZ ETİK BEYANNAMESİ

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “Bazı Baharat Kokularının Koklanması Sırasında Oluşan EEG İşaretlerinin İncelenmesi ve Sınıflandırılması” başlıklı bu çalışmayı baştan sona kadar danışmanım Yrd. Doç. Dr. Önder AYDEMİR’in sorumluluğunda tamamladığımı, verileri/örnekleri kendim topladığımı, deneyleri/analizleri ilgili laboratuvarlarda yaptığımı/yaptırdığımı, başka kaynaklardan aldığım bilgileri metinde ve kaynakçada eksiksiz olarak gösterdiğimi, çalışma sürecinde bilimsel araştırma ve etik kurallara uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim. 26/01/2018

Hilal ALTUN

## İÇİNDEKİLER

	<b><u>Sayfa No</u></b>
ÖNSÖZ .....	III
TEZ ETİK BEYANNAMESİ.....	IV
İÇİNDEKİLER.....	V
ÖZET .....	VIII
SUMMARY .....	IX
ŞEKİLLER DİZİNİ .....	X
TABLolar DİZİNİ.....	XII
SEMBOLLER DİZİNİ .....	XIV
1. GENEL BİLGİLER .....	1
1.1. Giriş.....	1
1.2. İnsanda Sinir Sistemi .....	3
1.3. Sinir Hücrelerinin (Nöronların) Yapısı .....	3
1.3.1. İmpuls Oluşması ve Taşınması .....	4
1.4. Merkezi Sinir Sistemi .....	6
1.4.1. Beynin Yapısı.....	6
1.5. Beyin Görüntüleme Teknikleri .....	8
1.5.1. Elektroensefalografi .....	9
1.5.1.1. Elektroensefalografi İşaretinin Elektriksel Özellikleri .....	9
1.5.1.2. Elektroensefalografi Dalga Şekilleri .....	10
1.5.2. Uluslararası 10-20 Elektrot Sistemi ve Elektrotların Yerleştirilmesi .....	12
1.6. Koku Alma Duyusu ve Önemi.....	14
1.6.1. Burunun Yapısı ve Koklama Olayı.....	16
1.6.2. Koku ile İlgili Bazı Tanımlar .....	17
1.6.3. Kokuların Sınıflandırılması ve Kokuyu Etkileyen Faktörler.....	18
1.6.4. Koku Duyusunun Değerlendirilmesi ve Koku Alma Bozuklukları .....	18
1.6.4.1. Koku Testleri .....	19
1.6.4.2. Koku Bozuklukları.....	19
1.7. Literatür Araştırması .....	20
2. YAPILAN ÇALIŞMALAR .....	25

2.1.	Verilerin Kaydedilmesi .....	25
2.1.1.	Kullanılan EEG Cihazının Tanıtımı.....	25
2.1.2.	Deney Ortamı ve Deneye Katılan Gönüllü Bireyler .....	26
2.1.3.	EEG Verilerinin Kaydına Başlamadan Önce İzlenen Adımlar.....	27
2.1.4.	EEG Verileri Kaydedilirken İzlenen Adımlar .....	30
2.2.	Yöntem.....	34
2.2.1.	Önişleme.....	34
2.2.1.1.	Birim Değişinti Normalleştirilmesi.....	34
2.2.1.2.	Asgari-Azami Normalleştirilmesi .....	35
2.2.2.	Öznitelik Çıkarma Yöntemleri.....	35
2.2.2.1.	İstatistiksel Yöntemler .....	35
2.2.2.1.1.	Aritmetik Ortalama .....	36
2.2.2.1.2.	Basıklık.....	36
2.2.2.1.3.	Çarpıklık .....	37
2.2.2.1.4.	Türev ve Türev Toplamı .....	38
2.2.2.1.5.	Tekil Değer Ayrışımı .....	39
2.2.2.2.	Dalgacık Dönüşümü.....	39
2.2.3.	$k$ -En Yakın Komşuluk Sınıflandırma Yöntemi.....	41
2.2.4.	Sınıflandırma Sonucu Değerlendirmesi .....	44
3.	BULGULAR.....	45
3.1.	İstatistiksel Yöntemler Kullanılarak Yapılan $k$ -EYK Sınıflandırması.....	47
3.2.	Dalgacık Dönüşümü Kullanılarak Yapılan $k$ -EYK Sınıflandırması.....	51
3.3.	Etkin Yöntemler ile Elde Edilen $k$ -EYK Sınıflandırması .....	56
3.3.1.	AI Kişisine Ait Sonuçlar .....	57
3.3.2.	EC Kişisine Ait Sonuçlar .....	58
3.3.3.	MO Kişisine Ait Sonuçlar.....	61
3.3.4.	TB Kişisine Ait Sonuçlar .....	64
3.3.5.	SA Kişisine Ait Sonuçlar .....	67
3.3.6.	MAB Kişisine Ait Sonuçlar .....	70
3.3.7.	OA Kişisine Ait Sonuçlar .....	72
3.3.8.	AH Kişisine Ait Sonuçlar .....	75
4.	SONUÇLAR .....	79
5.	ÖNERİLER VE TARTIŞMA .....	84

6.	KAYNAKLAR .....	86
7.	EKLER.....	91
ÖZGEÇMİŞ		





Yüksek Lisans Tezi

ÖZET

BAZI BAHARAT KOKULARININ KOKLANMASI SIRASINDA OLUŞAN EEG  
İŞARETLERİNİN İNCELENMESİ VE SINIFLANDIRILMASI

Hilal ALTUN

Karadeniz Teknik Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Elektrik- Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı  
Danışman: Yrd. Doç. Önder AYDEMİR  
2018, 90 Sayfa, 10 Ek Sayfa

Sinir sisteminin komuta merkezi olan insan beyninin görevlerinden biri de duyu organlarından gelen uyarıları alıp değerlendirmesidir. Beyine gelen bu uyarılara karşı beyin verdiği tepkiyi ölçmenin çeşitli yolları bulunmaktadır. Fonksiyonel manyetik rezonans görüntüleme, elektrokortikografi, magnetoensefalografi, elektroensefalografi (EEG) gibi çoğaltılabilecek olan bu teknikler arasında bu çalışmada da kullanılan elektroensefalografi sıklıkla tercih edilmektedir. Kolay elde edilebilmesi, acı vermemesi ve diğerlerine kıyasla daha ucuz olması gibi avantajları EEG'yi tercih edilebilir kılmaktadır.

Son yıllarda beyin koku duyusuna karşı verdiği tepkiyi inceleyen EEG tabanlı çalışmalar yapılmaktadır. Bu tez çalışmasında yüzde yüz soğuk baskı yöntemiyle elde edilmiş 4 adet doğal yağın (nane, karanfil, kekik, biberiye) koklatılması sonucunda ortaya çıkan EEG verileri 4 ayrı oturumda kaydedilmiştir. Kayıtlar Karadeniz Teknik Üniversitesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü bünyesindeki EEG Araştırma Laboratuvarında gerekli etik izinler alınarak yapılmıştır. Deneylere katılan ve yaş ortalaması 23.5 olan 8 erkek gönüllü bireyin 7'si bölüm lisans öğrencilerinden 1'i ise yine bölüm hocalarından seçilmiştir. Dalgacık dönüşümü, basıklık, çarpıklık, aritmetik ortalama, türev toplamı, tekil değer ayrışımı ve türev değerlerine dayalı çıkarılan öznitelik vektörleri  $k$ -en yakın komşuluk yöntemi ile sınıflandırılmıştır. Sonuçta önerilen metotlarla tüm kişiler için ortalama %75.41 sınıflandırma doğruluğu ile kokular birbirinden ayırt edilebilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Elektroensefalografi, Koku, Öznitelik Çıkarma, Sınıflandırma

Master Thesis

SUMMARY

CLASSIFICATION OF ELECTROENCEPHALOGRAPHY SIGNALS RECORDED  
DURING SMELLING OF SOME SPICE ODORS

Hilal ALTUN

Karadeniz Technical University  
The Graduate School of Natural and Applied Sciences  
Electrical and Electronics Engineering Graduate Program  
Supervisor: Yrd. Doç. Dr. Önder AYDEMİR  
2018, 90 Pages, 10 Appendix Page

One of the function of the human brain, the command centre of the nervous system, is receiving and evaluating stimuli from sensory organs. There are several techniques to measure the reaction of the brain to these stimuli. Functional magnetic resonance imaging, electrocorticography, magnetoencephalography, electroencephalography (EEG) are the techniques used and EEG is the most preferred technique and it is also used in this study. Advantages such as easy acquisition, no pain and being cheaper than others make EEG preferable.

EEG based studies to execute the response of the brain to the sense of smell have been conducted over the last few years. In this thesis, EEG data obtained from smelling 4 natural oil (peppermint, clove, thyme, rosemary) which were obtained with one hundred present cold pressure method, were recorded in 4 separate sessions. The records were made by taking the necessary ethical permits in the EEG Research Laboratory in Electrical and Electronics Engineering Department of Karadeniz Technical University. Having a mean age of 23.5, seven of the 8 male volunteers participating in the experiments were selected from the department undergraduate students and 1 from the department lecturer. The feature vectors obtained from wavelet transform, kurtosis, skewness, mean, sum of derivative, singular value decomposition and derivative were classified with the k-NN method. The two class classification of the odorants were observed and with the proposed methods they were separated with an approximately 75.41% accuracy for all volunteers.

**Key Words:** Electroencephalography, Odor, Feature Extraction, Classification

## ŞEKİLLER DİZİNİ

	<b><u>Sayfa No</u></b>
Şekil 1.1. Sinir hücresi .....	4
Şekil 1.2. İmpuls iletim evreleri, (a) Polarizasyon, (b) Depolarizasyon, (c) Repolarizasyon .....	5
Şekil 1.3. Aksiyon potansiyeli .....	6
Şekil 1.4. İnsan beyni kesiti .....	7
Şekil 1.5. EEG başlığı.....	9
Şekil 1.6. Alfa dalgası .....	10
Şekil 1.7. Beta dalgası.....	11
Şekil 1.8. Teta dalgası .....	11
Şekil 1.9. Delta dalgası .....	11
Şekil 1.10. Uluslararası 10-20 elektrot sisteminin şematik görüntüsü.....	12
Şekil 1.11. Uluslararası 10-20 elektrot sisteminin referans noktaları ve ölçümleri.....	13
Şekil 1.12. 10-20 elektrot sisteminde elektrotların simetrik görünümü.....	14
Şekil 1.13. İnsan burnunun içyapısı.....	16
Şekil 1.14. Koku alma olayı.....	17
Şekil 2.1. EEG ölçüm ekipmanları, (a) Sistemin genel görünümü, (b) EEG başlığı, (c) Yükselteç, (d) İzolasyon katı, (e) Elektrot jeli, (f) Enjektör .....	25
Şekil 2.2. Deney ortamının genel görünümü .....	27
Şekil 2.3. Elektrotların saç derisine yerleşim şekli .....	28
Şekil 2.4. Empedans değerlerini takip etme ekranı.....	29
Şekil 2.5. Gönüllünün deney esnasındaki pozisyonu.....	30
Şekil 2.6. Gönüllü bireyin deney boyunca takip ettiği komutlar, (a) Geri sayım başlangıç ekranı, (b) Geri sayımdan bir görüntü, (c) Koklama komutu, (d) Rahat pozisyona geçme komutu .....	31
Şekil 2.7. Bir adet koku için EEG verilerinin kaydedilme süresi .....	32
Şekil 2.8. AI kişisine ait F3 kanalından kaydedilen EEG dalga şekilleri, (a) Biberiye kokusunun koklanması sırasında oluşan EEG şekli, (b) Kekik kokusunun koklanması sırasında oluşan EEG şekli, (c) Karanfil kokusunun koklanması sırasında oluşan EEG şekli, (d) Nane kokusunun koklanması sırasında oluşan EEG şekli .....	33
Şekil 2.9. Bir serideki basıklık durumları, (a) Normal dağılımlı seri, (b) Dik dağılımlı seri, (c) Basık dağılımlı seri.....	36
Şekil 2.10. Bir serideki çarpıklık durumları, (a) Simetrik bir seri, (b) Sağa çarpık (pozitif) seri, (c) Sola çarpık (negatif) seri .....	37

Şekil 2.11. Gaussian dalgacığı.....	41
Şekil 2.12. Öznitelik vektörleri ve sınıfı belirlenecek test örneğinin 2 boyutlu gösterimi	42
Şekil 2.13. k-EYK yönteminde $k$ değerinin seçimi.....	43
Şekil 3.1. Çalışma akış diyagramı.....	46
Şekil 3.2. AI kişisine ait etkin değerler için tüm kanallara ait SD'ler .....	57
Şekil 3.3. EC kişisine ait etkin değerler için tüm kanallara ait SD'ler .....	59
Şekil 3.4. EC kişisi için S1-S2 sınıflarına ait öznitelikler, (a) Eğitim veri seti, (b) Test veri seti.....	61
Şekil 3.5. MO kişisine ait etkin değerler için tüm kanallara ait SD'ler .....	62
Şekil 3.6. MO kişisi için S2-S4 sınıflarına ait öznitelikler, (a) Eğitim veri seti, (b) Test veri seti.....	64
Şekil 3.7. TB kişisine ait etkin değerler için tüm kanallara ait SD'ler .....	65
Şekil 3.8. TB kişisi için S2-S4 sınıflarına ait öznitelikler, (a) Eğitim veri seti, (b) Test veri seti.....	67
Şekil 3.9. SA kişisine ait etkin değerler için tüm kanallara ait SD'ler .....	68
Şekil 3.10. SA kişisi için S2-S4 sınıflarına ait öznitelikler, (a) Eğitim veri seti, (b) Test veri seti.....	70
Şekil 3.11. MAB kişisine ait etkin değerler için tüm kanallara ait SD'ler .....	71
Şekil 3.12. OA kişisine ait etkin değerler için tüm kanallara ait SD'ler.....	73
Şekil 3.13. OA kişisi için S2-S4 sınıflarına ait öznitelikler, (a) Eğitim veri seti, (b) Test veri seti.....	75
Şekil 3.14. AH kişisine ait etkin değerler için tüm kanallara ait SD'ler.....	76
Şekil 3.15. AH kişisi için S1-S3 sınıflarına ait öznitelikler, (a) Eğitim veri seti, (b) Test veri seti.....	78

## TABLolar DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 1.1. EEG’de kullanılan elektrot kısaltmalarının açılımı .....	13
Tablo 2.1. EEG kaydı alınan kanallar .....	29
Tablo 3.1. Koku Sınıfları .....	45
Tablo 3.2. İkili Sınıflandırma Durumları .....	46
Tablo 3.3. AI kişisine ait EEG verilerinden elde edilen İY sonuçları .....	47
Tablo 3.4. EC kişisine ait EEG verilerinden elde edilen İY sonuçları.....	48
Tablo 3.5. MO kişisine ait EEG verilerinden elde edilen İY sonuçları .....	48
Tablo 3.6. TB kişisine ait EEG verilerinden elde edilen İY sonuçlar.....	49
Tablo 3.7. SA kişisine ait EEG verilerinden elde edilen İY sonuçlar.....	49
Tablo 3.8. MAB kişisine ait EEG verilerinden elde edilen İY sonuçları.....	50
Tablo 3.9. OA kişisine ait EEG verilerinden elde edilen İY sonuçları.....	50
Tablo 3.10. AH kişisine ait EEG verilerinden elde edilen İY sonuçları.....	51
Tablo 3.11. AI kişisine ait EEG verilerinden elde edilen DD sonuçları .....	52
Tablo 3.12. EC kişisine ait EEG verilerinden elde edilen DD sonuçları.....	52
Tablo 3.13. MO kişisine ait EEG verilerinden elde edilen DD sonuçları .....	53
Tablo 3.14. TB kişisine ait EEG verilerinden elde edilen DD sonuçları.....	53
Tablo 3.15. SA kişisine ait EEG verilerinden elde edilen DD sonuçları.....	54
Tablo 3.16. MAB kişisine ait EEG verilerinden elde edilen DD sonuçları.....	54
Tablo 3.17. OA kişisine ait EEG verilerinden elde edilen DD sonuçları.....	55
Tablo 3.18. AH kişisine ait EEG verilerinden elde edilen DD sonuçları.....	55
Tablo 3.19. Birinci durumda AI kişisi için elde edilen etkin yöntem sonuçları.....	58
Tablo 3.20. İkinci durumda AI kişisi için elde edilen etkin yöntem sonuçları .....	58
Tablo 3.21. Birinci durumda EC kişisi için elde edilen etkin yöntem sonuçları.....	59
Tablo 3.22. İkinci durumda EC kişisi için elde edilen etkin yöntem sonuçları.....	60
Tablo 3.23. Birinci durumda MO kişisi için elde edilen etkin yöntem sonuçları.....	62
Tablo 3.24. İkinci durumda MO kişisi için elde edilen etkin yöntem sonuçları .....	63
Tablo 3.25. Birinci durumda TB kişisi için elde edilen etkin yöntem sonuçları.....	65
Tablo 3.26. İkinci durumda TB kişisi için elde edilen etkin yöntem sonuçları.....	66
Tablo 3.27. Birinci durumda SA kişisi için elde edilen etkin yöntem sonuçları.....	68
Tablo 3.28. İkinci durumda SA kişisi için elde edilen etkin yöntem sonuçları.....	69

Tablo 3.29. Birinci durumda MAB kişisi için elde edilen etkin yöntem sonuçları.....	71
Tablo 3.30. İkinci durumda MAB kişisi için elde edilen etkin yöntem sonuçları.....	72
Tablo 3.31. Birinci durumda OA kişisi için elde edilen etkin yöntem sonuçları .....	73
Tablo 3.32. İkinci durumda OA kişisi için elde edilen etkin yöntem sonuçları .....	74
Tablo 3.33. Birinci durumda AH kişisi için elde edilen etkin yöntem sonuçları .....	76
Tablo 3.34. İkinci durumda AH kişisi için elde edilen etkin yöntem sonuçları .....	77
Tablo 4.1. Tüm kişiler için ortalama SD sonuçları.....	82
Tablo 4.2. Tüm ikili sınıflandırma durumları için ortalama SD sonuçları .....	83



## SEMBOLLER DİZİNİ

AH	Alihan Hekimoğlu kişisi
AI	Abdülkerim İskenderoğlu kişisi
AO	Aritmetik Ortalama
ATP	Adenozintrifosfat
AZFD	Ayrık zaman fourier dönüşümü
B	Basıklık
BOS	Beyin Omurilik Sıvısı
BT	Bilgisayarlı Tomografi
C	Santigrat derece
ch	Kanal
cm	Santimetre
Ç	Çarpıklık
DD	Dalgacık Dönüşümü
DDK	Dalgacık Dönüşümü Katsayıları
dk	Dakika
EC	Emre Çiftçi kişisi
ECoG	Elektrokortikografi
EEG	Elektroensefalografi
EOG	Elektrookulogram
FD	Fourier Dönüşümü
fMRI	Fonksiyonel manyetik rezonans görüntüleme
Hz	Hertz
K <sup>+</sup>	Potasyum iyonu
KB	Koku Birimi
<i>k</i> -EYK	<i>k</i> -en yakın komşuluk algoritması
KZFD	Kısa Zaman Fourier Dönüşümü
kΩ	Kiloohm
m	Metre
m <sup>3</sup>	Metreküp
MAB	Muhammet Ali Bilgin kişisi

MEG	Magnetoensefalografi
MO	Mahmut Özer kişisi
MRI	Manyetik Rezonans Görüntüleme
msn	Milisaniye
mV	Milivolt
Na <sup>+</sup>	Sodyum iyonu
Norm <sub>1</sub>	Normalleştirme 1
Norm <sub>2</sub>	Normalleştirme 2
Norm <sub>x</sub>	Normalleştirme yok
OA	Önder Aydemir kişisi
Ö <sub>1</sub>	1. Öznitelik
Ö <sub>2</sub>	2. Öznitelik
Ö <sub>3</sub>	3. Öznitelik
Ö <sub>4</sub>	4. Öznitelik
Ö <sub>5</sub>	5. Öznitelik
Ö <sub>6</sub>	6. Öznitelik
SA	Sinan Altunbilek kişisi
SD	Sınıflandırma Doğruluğu
sn	Saniye
TB	Tevfik Bulut kişisi
TDA	Tekil Değer Ayrışımı
TT	Türev Toplamı
μV	Mikrovolt
α	Alfa dalgası
β	Beta dalgası
θ	Teta dalgası
δ	Delta dalgası



## 1. GENEL BİLGİLER

### 1.1. Giriş

Üzerine yapılan çalışmalar her geçen gün artsa da dünyadaki belki de en karmaşık sistem olan insan beyni merak konusu olmayı sürdürmektedir. Milyarlarca sinir hücresi ve çok daha fazlası destek hücresiyle birlikte insan beyninin görevlerinden biri de duyu organlarından gelen uyarıları alıp değerlendirmesidir [1]. Duyu organlarımız tarafından reseptörlerle alınan bu uyarılar beyindeki değerlendirmeler neticesinde fiziksel ya da duygusal tepkiye dönüşmektedir. Beyinde bu değerlendirmeyi yapan iletişim halindeki sinir hücrelerinin elektriksel aktivitesi elektroensefalografi (EEG) sinyalini oluşturur. Beynin elektriksel resmi olarak da tanımlanan EEG, fizyolojik bir sinyal olup beyindeki işlemlerin temelinde yatan bilgiyi almayı ve yorumlamayı olanaklı hale getirir. EEG kaydı genellikle kafatasını kaplayan ve üzerinde elektrotlar yerleştirilmiş olan bir başlık yardımıyla alınır. Bu bakımdan EEG diğer görüntüleme yöntemlerine kıyasla daha kolay, daha az acı veren ve zararsız olandır denilebilir [2], [3].

Duyu organlarına gelen uyarılardan biri de koklama olayıdır. Koklama olayı havadaki koku moleküllerinin buruna hareketiyle oluşmaktadır. Solunum yoluyla alınan koku molekülleri aracılığıyla birbirini uyaran sinir hücreleri beyinde koku almayı tetikler [4]. Beş duyu içinde bir karşılaştırma yapıldığında koku duyusu yapısı ve işleyişi bakımından en karmaşık ve benzersiz olanıdır. Genel olarak insan beyninin hangi bölgesinin hangi duylara cevap verdiği netleştirilmiş olsa da farklı kokulara verdiği cevaplar ve cevaplar arasındaki farklılıklar yeteri kadar incelenmemiştir. Koku duyusunun yeterli düzeyde incelenememiş olması tanı ve tedavi yöntemlerinin çok gelişmemiş olmasındandır. Son yıllarda koklama olayını ele alan EEG tabanlı çalışmalar yapılmakla birlikte deneysel çalışmaların eksikliği, elde edilen çıktuların farklılık göstermesi ve sınırlı koku çeşidi kullanımından dolayı insan beyninin farklı kokulara tepkisi tam olarak ispatlanamamıştır.

Koku duyusu yaşamımızdaki önemine rağmen subjektif olması dolayısıyla diğer duylara nazaran daha az incelenebilmiştir. Koku bozukluklarının tedavisi tıbbi alandaki hızlı teknolojik gelişimlere karşın henüz yeterince yol kat edilememiş bir noktadır. Tıbbi alanda koku testleri iki şekilde yapılabilmektedir. Bunlardan birincisi psikofizik (subjektif)

testler, ikincisi ise elektrofizyolojik (objektif) testlerdir. Koku kaybının klinik olarak test edilmesi noktasında subjektif testler kullanılmaktadır. Çeşitli aşamalarla kişilere kokular koklatılıp testlerden geçirilerek alınan cevaplar doğrultusunda değerlendirmeler yapılmaktadır. Bu testlerin çoğu özgün koku eşiklerinin belirlenmesi veya çok sayıda sunulan kokunun tanımlanması yeteneğinin ölçülmesine dayanmaktadır. Objektif testler ise koklama sırasında elde edilen elektriksel işaretler incelenerek yapılmaktadır. Koku bozuklukları sinüzit gibi sık görülen rahatsızlıkların bir yan etkisi olabileceği gibi, parkinson hastalığı, temporal lob epilepsisi, şizofreni ve alzheimer hastalığı gibi birçok hastalığa bağlı olarak da ortaya çıkabilmektedir [16], [17]. Koku kayıplarının tespit edilmesinde ve ileri düzeyde bazı hastalıkların oluşturduğu bu yan etkinin önceden fark edilmesinde subjektifliği ortadan kaldırıp daha yüksek güvenilirlik elde etmek objektif testler yapılabilirse mümkün olabilecektir ancak objektif testler klinik açıdan kullanılabilecek kadar geliştirilememiştir.

Bu tez çalışmasında beynin farklı baharat kokularına verdiği elektriksel tepkinin EEG işaretlerine dayalı olarak incelenmesi ve ne ölçüde ayırt edici olduğunun ortaya konulması hedeflenmiştir. Nane, karanfil, kekik ve biberiye olmak üzere dört çeşit baharatın soğuk baskı yöntemiyle elde edilmiş yüzde yüz doğal yağları kullanılıp kişilere koklanmak üzere uygun deney şartlarında sunulmuştur. EEG verileri Karadeniz Teknik Üniversitesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü bünyesindeki EEG Araştırma Laboratuvarında 8 ayrı gönüllü bireyden 4 ayrı oturumda kaydedilmiştir. Oturumlarda rastgele ve eşit sayıda sunulan kokuların koklanmasıyla elde edilen toplam 40 EEG kaydı alınmıştır. Her bir kişi için 4 oturum sonucunda 160 EEG verisi elde edilmiştir. Deneyler sonrasında kaydedilen EEG verileri gerekli ön işleme, öznitelik çıkarma ve sınıflandırma aşamalarından geçirilmiş ve neticesinde beynin farklı kokulara verdiği cevapların ortaya koyulması bakımından literatüre katkı sağlaması ve bunun yanı sıra klinik açıdan kişilerin koku alma duyularında herhangi bir eksiklik veya kayıp olup olmadığının değerlendirilmesi alanındaki çalışmalara da katkı sağlanması hedeflenmiştir.

Literatürde bazı kokuların koklanması sonucunda oluşan EEG işaretleri incelenerek kokuların ayırt edilmesi ile ilgili çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmalara bakıldığında kullanılan kokular hoş olan ya da hoş olmayan şeklinde yorumlanabilecek nitelikte seçilmiştir. Gönüllülerle yapılan denemler sonucunda kokuları değerlendirmeleri istenmiş ve bu değerlendirme neticesinde sadece en çok hoş giden ve en az hoş giden iki koku sınıflandırılmıştır. Elde edilen EEG verilerinin çok sayıda deneme sonucunda elde edilmiş

olması ve kokuların hoşnutluk açısında birbirine zıt seçilmesi sınıflandırma sonucunda yüksek doğruluk elde edilmesini kolaylaştırmıştır. Bu tez çalışmasında ise seçilen kokular aynı türden olacak şekilde baharat kokularından tercih edilmiştir. Baharatların yüzde yüz soğuk baskı yöntemiyle elde edilmiş doğal yağları olan bu kokular kişilere sunulduğunda ayırt etmekte zorluk çekecekleri kokulardır. Bu çalışma hoş olan ya da hoş olmayan şeklinde ayırt edilemeyen kokular seçilerek yapılmış ve literatürde yüksek doğrulukla sonuçlanan çalışmalarla kıyaslandığında daha az EEG verisi kaydedilmiştir. Bu bağlamda benzer kokuların kullanılması ile yapılan çalışmalardan farklılık gösteren bu tez çalışması sonucunda elde edilecek yüksek doğrulukla literatüre katkı sağlanması amaçlanmıştır.

## **1.2. İnsanda Sinir Sistemi**

İç ve dış ortamdaki gelen uyarıları alan ve değerlendiren sisteme sinir sistemi denir. Çevreden gelen ışık, sıcaklık, koku ve tat gibi uyarıcı etkiler duyu organlarındaki reseptör (alıcı hücreler) adı verilen özelleşmiş hücreler tarafından alınır. Bu uyarılar sinir hücrelerine iletilerek merkezi sinir sistemi organlarına taşınır ve burada değerlendirilir. Merkezi sinir sistemi organlarını beyin ve omurilik oluşturur [5]. Değerlendirilen uyarılara tepki oluşturan salgı bezi ve kas gibi organlara ise efektör adı verilir. Sinir dokuyu nöron adı verilen sinir hücreleri ile nöronların arasını dolduran ve glia (nöroglia) adı verilen yardımcı hücreler oluşturur.

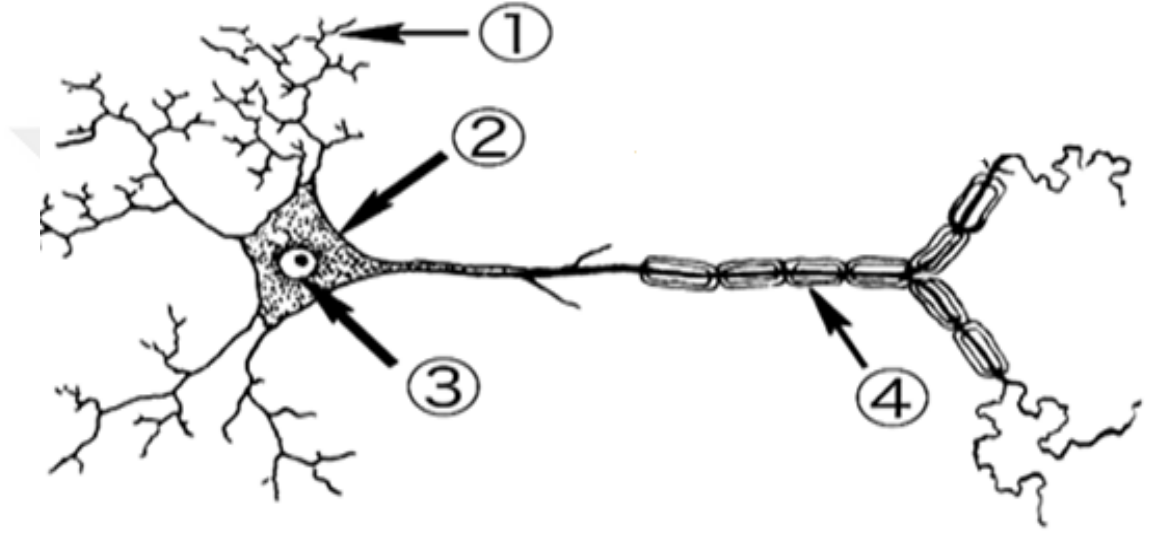
## **1.3. Sinir Hücrelerinin (Nöronların) Genel Yapısı**

Sinir sisteminin yapı ve görev birimi olan sinir hücrelerinin hücre zarına nörolemma, sitoplazmasına ise nöroplazma denir. Bir sinir hücresi Şekil 1.1'de de görüldüğü gibi hücre çekirdeği, geniş bir hücre gövdesi, bu gövdeden çıkan uzantılar olan dentrit ve akson olmak üzere dört kısımdan oluşur. Hücre gövdesi ribozom, endoplazmik retikulum, mitokondri gibi bazı organellerin ve çekirdeğin bulunduğu kısımdır. Dentrit duyu hücreleri ve diğer nöronlardan aldığı uyarıları hücre gövdesine ileten kısa ve ince uzantılardır. Çok sayıda olan dentritler sayesinde hücre pek çok nöronla etkileşim halinde olur ve sinyal alma kapasitesi artar. Dentritler içinde en uzun ve kalın olan tek uzantıya ise akson adı

verilir. Aksonların dallanarak genişlediği ve sonlandığı bölge de akson ucu olarak adlandırılır.

Şekil 1.1’de de numaralandırılmış olan sinir hücresi bölümleri;

1. Dentrit
2. Hücre Gövdesi
3. Hücre Çekirdeği
4. Akson’ dur.



Şekil 1.1. Sinir hücresi

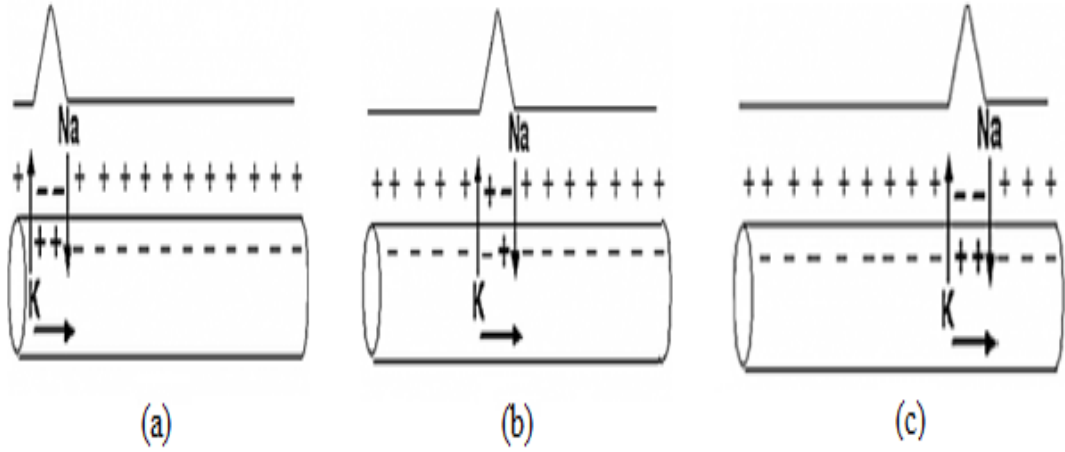
İki sinir hücresinin birbirine bağlandığı bölgeye sinaps adı verilir. Bu bölgelerde nöronların birbirine temas etmesini engelleyen sinaps boşluğu bulunur ve burada uyarıların taşınma hızı düşer.

Sinir hücreleri görevleri bakımından duyu nöronu, motor nöronu ve ara nöron olmak üzere üçe ayrılır. Duyu nöronları; duyu organlarından gelen uyarıları alıp merkezi sinir sistemine iletir. Merkezi sinir sisteminden alınan uyarıları kaslara ve bezlere ileten ise motor nöronlardır. Ara nöron ise duyu nöronu ve motor nöronunun bağlantısını sağlar [6].

### 1.3.1. İmpuls Oluşması ve Taşınması

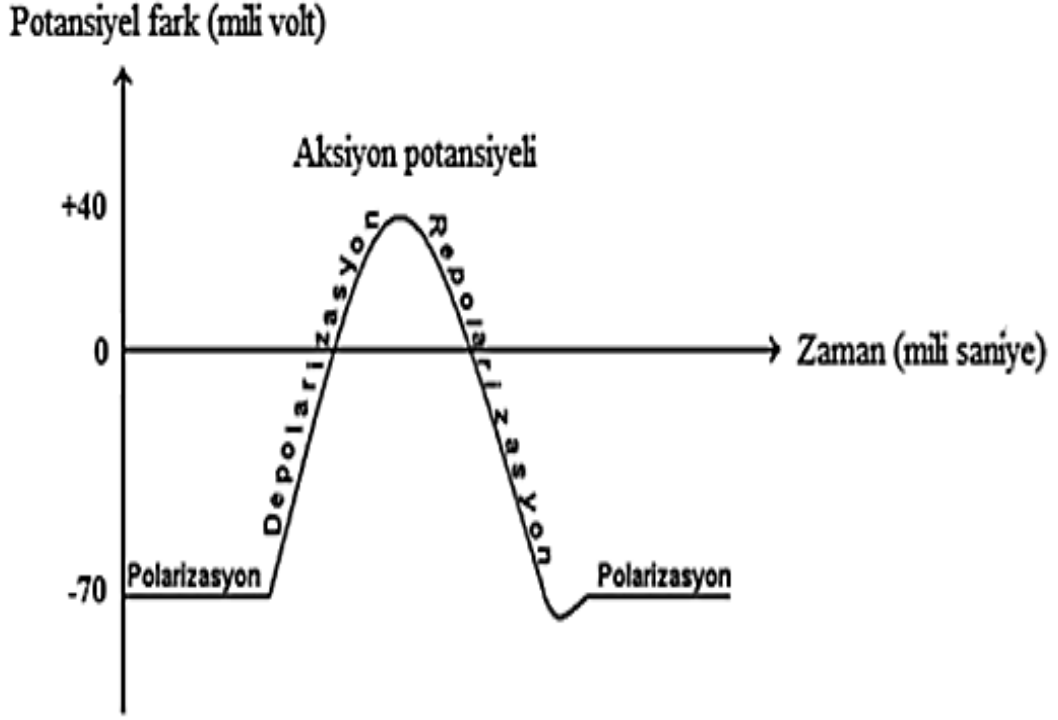
Uyarılan bir sinir hücresinin oluşturduğu elektriksel veya kimyasal tepkiye impuls (uyartı) denir. Sinir hücresinde impulsun oluşması için eşik değerin üzerinde bir uyarı

verilmesi gerekir aksi takdirde uyarı oluşmaz [7]. Nöronlarda uyarılar dentritten aksona doğru kimyasal olarak taşınır. Bu taşımada sodyum ( $\text{Na}^+$ )-potasyum ( $\text{K}^+$ ) pompası görev alır. Dinlenme halinde olan bir nöronda sodyum hücre dışına, potasyum ise hücre içine pompalanır ve bu sayede hücre içi negatif, hücre dışı ise pozitif olur. Bu olaya polarizasyon adı verilir. Bu durumda hücreye eşik değerde ya da üzerinde bir uyarı gelirse sodyum-potasyum pompası bir süre çalışmaz ve hücre dışındaki  $\text{Na}^+$  içeriye, içindeki  $\text{K}^+$  ise dışarıya geri döner. Bununla birlikte sinir hücresinin içi pozitif, hücre dışı negatif yüklü olur. Bu olaya da depolarizasyon denir ve böylece nöron uyarılmış olup impuls oluşur. Polarizasyonda Na/K pompasının görevi nedeniyle Adenozintrifosfat (ATP) harcanırken depolarizasyonda harcanmaz. Bir sinir hücresi uyarıldıktan sonra tekrar uyarılabilmesi için ilk konumuna dönmelidir. Bu nedenle aktif taşıma ile  $\text{Na}^+$  hücre dışına,  $\text{K}^+$  ise hücre içine pompalanır. Bu olaya ise repolarizasyon adı verilir ve ATP harcanır [6-7]. Şekil 1.2'de impuls iletiminin üç evresi verilmiştir.



Şekil 1.2. İmpuls iletim evreleri, (a) Polarizasyon, (b) Depolarizasyon, (c) Repolarizasyon

Şekil 1.3'te de gösterildiği gibi polarizasyon durumunda hücre içi ve dışı arasında -70 mV'luk bir potansiyel fark bulunur, uyarıldığında yani depolarizasyonda ise bu fark +40 mV'a dönüşür. Buna aksiyon potansiyeli denir. Son olarak repolarizasyon ile sinir hücresi tekrar eski haline döner.



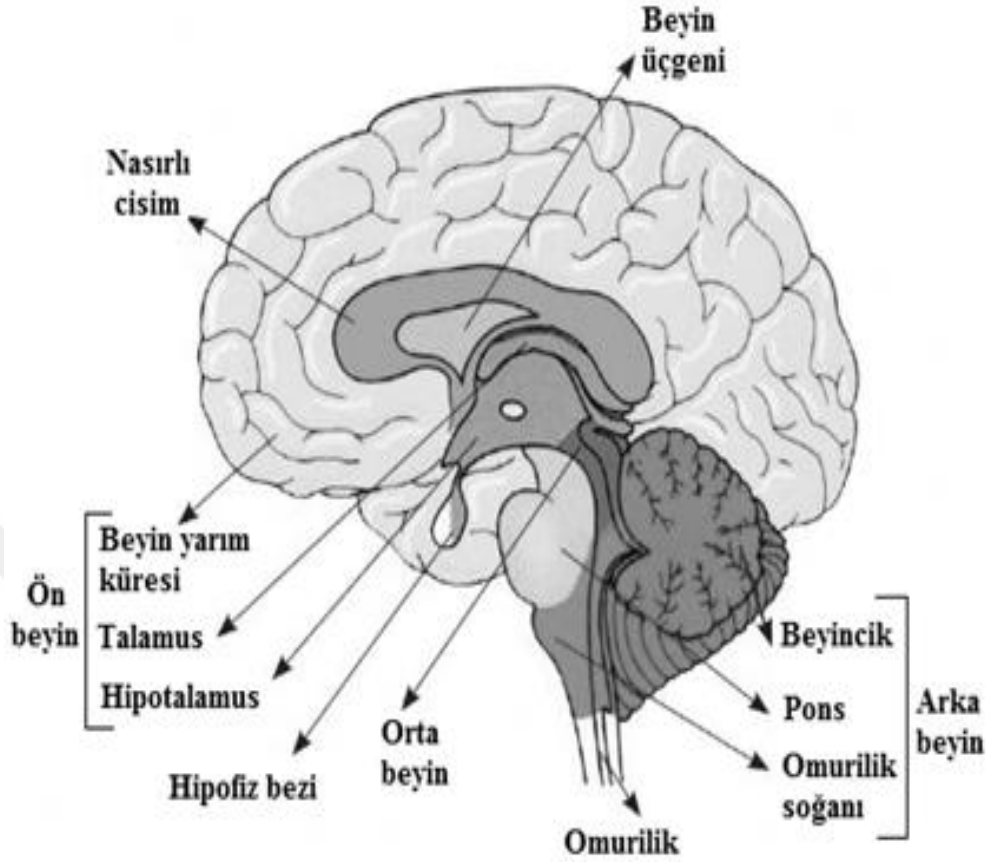
Şekil 1.3. Aksiyon potansiyeli

#### 1.4. Merkezi Sinir Sistemi

İnsanda merkezi sinir sistemi beyni ve omuriliği içine alan iki ana bölümden oluşur. Beyin ve omurilik dış ve iç ortamdan gelen uyarıları alıp değerlendirir.

##### 1.4.1. Beynin Yapısı

Yaklaşık yüz milyar nöron ve çok daha fazla destek hücrelerinden oluşan insan beyni vücudumuzun komuta merkezidir. Sinir sistemini kontrol eden, çevresel sinir sistemini yöneten ve insanın neredeyse tüm fonksiyonlarını denetleyen beyin meninges adı verilen üç katlı zar tabakası ile çevrilidir. Bu zarlar dıştan içe doğru sert, örümceksi ve ince zar adını alır. İnce zar ve örümceksi zar arası beyin omurilik sıvısı (BOS) ile doludur. BOS beyin ve omuriliği zararlı mekanik etkilerden korurken kan ve nöronlar arası madde alışverişini de sağlar. Ayrıca merkezi sinir sisteminde iyon değişimini dengede tutar [8].



Şekil 1.4. İnsan beyni kesiti

Şekil 1.4'te de görüldüğü gibi insan beyni ön, orta ve arka beyin olmak üzere üç ana kısımdan oluşur. Beynin en büyük bölümü olup büyük beyin adı da verilen ön beyin uç ve ara beyin olarak iki bölümde incelenir. Beynin diğer kısımlarını üstten örten uç beyin sağ ve sol yarım küre olarak iki kısma ayrılır. Yarım küreler üstten nasırlı cisim, alttan ise beyin üçgeni ile bağlanır. İnsanın öğrenilmiş davranışlarını yöneten uç beyinden enine bir kesit alındığı düşünülürse, dışta beyin kabuğu (korteks) adını alan gri renkli boz madde içte ise beyaz renkli ak madde bulunur. Beş duyu organından gelen uyarıların alınması, zeka, hafıza, yazma, bilinç, konuşma ve istemli hareketlerin kontrolü gibi merkezlerin bulunduğu bölge yine beyin yarım küreleridir [9]. Ön beyini oluşturan kısımlardan bir diğeri olan ara beyin hipotalamus, talamus ve hipofiz bezinin arka bölgesinden oluşur. Talamus koku duyusu hariç diğer dört duyunun toplandığı bölgedir. Talamusta sınıflandırılan duyar beyin kabuğundaki duyu merkezlerine iletilir. Ayrıca uyku ve uyanıklık durumunu düzenleyen talamus tıpkı beyin kabuğu gibi uyku halinde görev

yapmaz. Ara beyinin bir diğerk kısmı olan hipotalamus ise vücudun iç dengesini sağlar. Metabolizma hızı, vücut sıcaklığı, su ve tuz dengesi, açlık, tokluk, heyecan kontrolü bu merkezin önemli işlevlerindedir. Beyincik ve ara beyin arasında kalan orta beyin ön ve arka beyin arasındaki bir köprü gibidir. Görme ve duyma refleksleri ile kas tonusu ve vücut duruşu burada kontrol edilir. Beynin son kısmı olan arka beyin ise beyincik, omurilik soğanı ve pons oluşur. Omurilik soğanının üzerinde bulunan beyincik, çizgili kasların uyumlu bir şekilde çalışmasını ve vücudun dengesini sağlar. Son beyin adı da verilen omurilik soğanı ise solunum, dolaşım, sindirim ve boşaltım sistemlerinin çalışmasını sağlar. Karaciğerde kan şekeri ayarlanmasını sağlamanın yanı sıra yutkunma, öksürme, hapsirme ve kusma gibi hayati önem taşıyan refleksleri de kontrol eder. Pons beyincik yarım kürelerini birbirine bağlayıp impuls iletimini sağlayan kısımdır, omurilik soğanı ve orta beyin ile birlikte beyin sapı olarak adlandırılırlar.

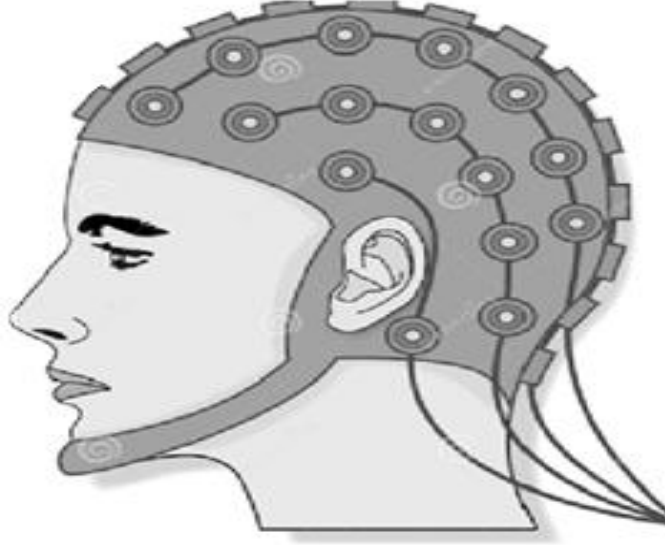
### **1.5. Beyin Görüntüleme Yöntemleri**

Beynin işleyişi geçmişten günümüze büyük bir merak konusu olmuştur. Belki de dünyadaki en karmaşık sistem olan insan beyni yaklaşık 100 milyar sinir hücresi ve 100 trilyon sinapstan oluşmaktadır. Günümüz modern teknolojiyle birlikte temelini elektrik akımının oluşturduğu beyin fonksiyonlarının incelenmesi kısmen de olsa olanaklı hale gelmiştir. Günümüz teknolojiyle düşünme faaliyetinin nasıl gerçekleştiği henüz tam olarak açıklanamamış olsa da çeşitli yöntemler ile fiziksel ya da duygusal girdilere karşı beyin verdiği tepkinin nasıl olduğu ve bunların beyin hangi bölgesinde meydana geldiği cevaplanabilir hale gelmiştir. Beynin vereceği bu tepkiler manyetik rezonans görüntüleme (MRI), fonksiyonel manyetik rezonans görüntüleme (fMRI), elektroensefalografi (EEG), elektrokortikografi (ECoG), magnetoensefalografi (MEG), bilgisayarlı tomografi (BT), yerel alan potansiyelleri, yakın kızılötesi spektroskopisi gibi çeşitli görüntüleme teknikleriyle ölçülebilmektedir [10]. Tüm bu yöntemler arasında en sık kullanılan EEG olmakla birlikte bu tez çalışmasında da tercih edilmiştir. Kolay elde edilebilmesi, acı vermemesi ve diğerlerine kıyasla daha ucuz olması gibi avantajları EEG'yi tercih edilebilir kılmaktadır [11], [12].



### 1.5.1. Elektroensefalografi

Beyinde iletişim halinde bulunan milyonlarca sinir hücresinin meydana getirdiği elektriksel aktivite elektroensefalografi (EEG) sinyalini oluşturur [13]. Bir takım elektriksel faaliyetlerin beyindeki varlığı 1875 yılında Caton adlı bilim adamının hayvanlar üzerinde yaptığı deneyler sonucunda ortaya atılmıştır. İnsan beyinde elektriksel aktivitenin varlığı ise ilk kez 1929 yılında nörolog ve psikiyatrist Hans Berger tarafından kafaya konulan elektrotlar ve bunlara bağlı bir galvanometre düzeneği ile EEG verileri kaydedilerek ortaya konulmuştur. Bu düzenek nöronların ürettiği beyin dalgalarının kaynağı olan küçük elektrik potansiyellerinin ölçümüne olanak sağlamıştır [14]. EEG kayıtlarının alınmasında genellikle Şekil 1.5'te de görüldüğü gibi kafatasını kaplayacak şekilde elektrotların yerleştirildiği bir başlık kullanılır.



Şekil 1.5. EEG başlığı

#### 1.5.1.1. Elektroensefalografi İşaretinin Elektriksel Özellikleri

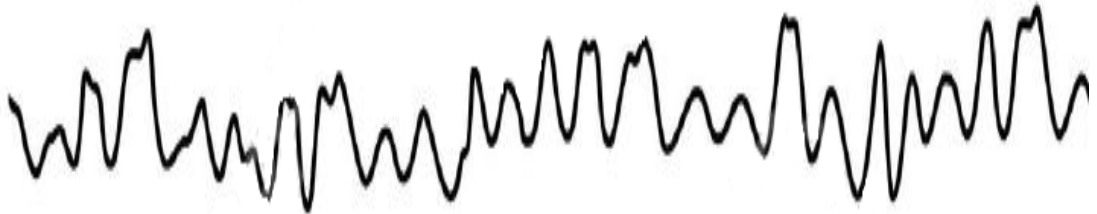
Beyin yüzeyinden elektrotlar yardımıyla kaydedilen EEG verileri düşük genlikli işaretlerdir. EEG işaretinin genliği tepeden tepeye 5-400  $\mu\text{V}$  arasında değişir. Frekans aralığı ise 0.5-100 Hz olarak değerlendirilse de çalışmaların yapıldığı frekans aralığının 0.5-70 Hz arasında yoğunlaştığı görülür. Ölçümlerin beyin üzerinden doğrudan alınabildiği

açık beyin ameliyatı gibi olası durumlarda ise genlik değeri 10 kat daha artar. Genlik, frekans ve faz değerleri zaman içerisinde sürekli değişen EEG işaretleri periyodik değildir. Bu nedenle anlamlı bir veri elde edebilmek için ölçümlerin uzun süre yapılması gerekir. EEG işaretlerinin ana frekansı ve beyin aktivitesi arasında yakından bağlantı bulunur, beyin aktivitesi arttıkça frekansta yükselir buna karşın genlik değeri ise düşer. Bu iki parametre frekans başta olmak üzere EEG verilerinin değerlendirilmesinde önem arz eder.

### 1.5.1.2. Elektroensefalografi Dalga Şekilleri

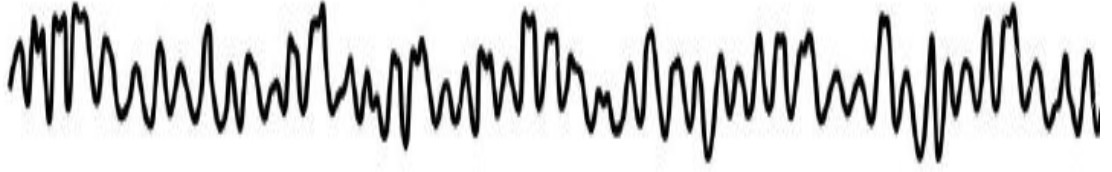
EEG sinyalleri Alfa ( $\alpha$ ), Beta ( $\beta$ ), Teta ( $\theta$ ) ve Delta ( $\delta$ ) olmak üzere dört ana frekans bandına ayrılır.

- Alfa Dalgaları: Frekans aralığı 8-13 Hz, genlik değeri ise 2-10  $\mu$ V arasında değişen EEG sinyalleridir. Şekil 1.6'da da görüldüğü gibi sinüzoidal şekle yakın olan bu beyin dalgaları kişiden fiziksel ve zihinsel olarak tam dinlenme halinde, herhangi bir uyaran olmadığı durumlarda kaydedilir.



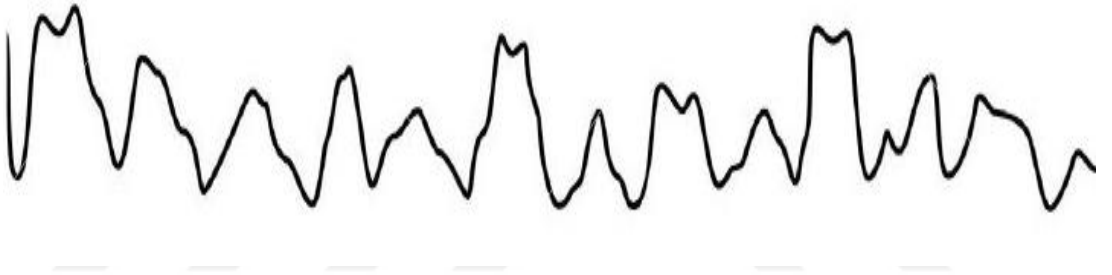
Şekil 1.6. Alfa dalgası

- Beta Dalgaları: Frekansı 13 Hz'den büyük, genlik değeri ise 1-5  $\mu$ V arasında değişen EEG sinyalleridir. Şekil 1.7'de görüldüğü üzere ritmik ve diğer dalgalara göre daha düzensiz olan beta dalgaları uykunun hızlı göz hareket evresinde ortaya çıkmaktadır.



Şekil 1.7. Beta dalgası

- Teta Dalgaları: Frekans aralığı 4-8 Hz, genlik değeri ise 5-100  $\mu$ V arasında değişen EEG sinyalleridir. Şekil 1.8'de verilen teta dalgası, normal kişilerde rüyalı uyku denilen beynin düşük aktivite gösterdiği durumlarda kaydedilen beyin dalgalarıdır.



Şekil 1.8. Teta dalgası

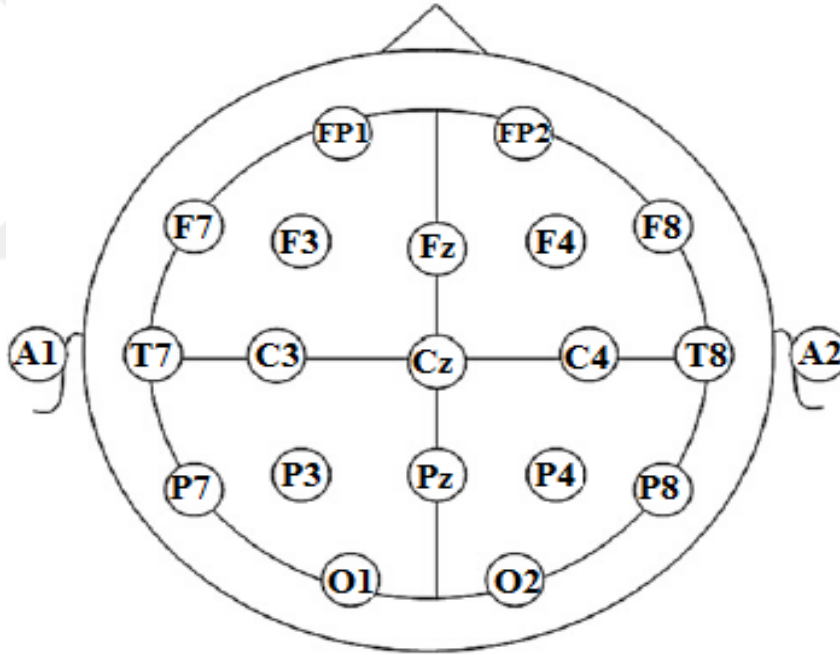
- Delta Dalgaları: Frekans aralığı 0.5-4 Hz, genlik değeri ise 20-400  $\mu$ V arasında değişen EEG sinyalleridir. Şekil 1.9'da da görüldüğü gibi yüksek genlikli olan bu dalgalar derin uyku gibi beynin çok düşük aktivite gösterdiği durumlarda kaydedilir [15].



Şekil 1.9. Delta dalgası

### 1.5.2. Uluslararası 10-20 Elektrot Sistemi ve Elektrotların Yerleştirilmesi

EEG elektrotlarının saçlı deriye yerleştirilmesinde kullanılan uluslararası 10-20 sistemi ile tüm derinin aynı şekilde kaplanması sağlanır. Bu sistemde baştaki kemik işaret noktaları arasındaki uzaklıklar kullanılarak başı boydan boya kaplayan ve toplam uzunluklarının %10 veya %20'si kadar aralıklarla bölünen bir çizgi sistemi oluşturulur. Kesişme noktalarına elektrotlar yerleştirilir ve bu sistemle simetrik bir elektrot yerleşimi sağlanır. Bu sistem gerekli durumlarda kesişme noktaları arasındaki uzaklıkları daha fazla bölerek sisteme ek elektrot yerleştirilmesine olanak verir. Yetişkinlerde 21 kayıt elektrotu ve 1 toprak elektrotundan oluşan standart elektrot seti kullanılır. Standart elektrot sisteminde elektrotlar arasındaki mesafe 4-6 cm kadardır [15].



Şekil 1.10. Uluslararası 10-20 elektrot sisteminin şematik görüntüsü

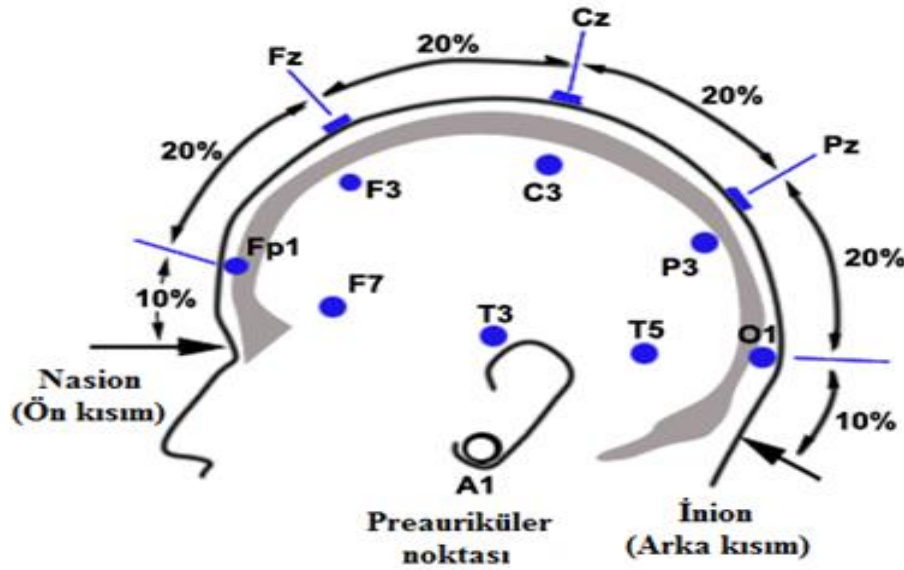
Şekil 1.10'da da görüldüğü gibi kayıt elektrotları bir harf ve bunun yanında bir satır altı harf ya da rakam ile gösterilir. Harfler elektrotun yerleştirildiği beyin bölgesinin anatomik lokalizasyonunu ifade eder. Örneğin frontal (beynin ön kısmı) F ile gösterilir. İlk harfin yanına eklenen küçük z harfi ise orta hat bölgesinde bir elektrot olduğunu gösterir. Örneğin; F<sub>z</sub> orta hat frontal bölgedeki elektrotu ifade eder. 10-20 sistemindeki diğer

kısaltmalar ise Tablo 1.1’de verilmiştir. İkinci karakterdeki rakamlar ise beynin sağ ya da sol yarım küresini tanımlamak için kullanılır. Beynin sol tarafı tek rakamlar ile sağ tarafı ise çift rakamlar ile ifade edilir. Örneğin A<sub>1</sub> sol kulak, A<sub>2</sub> ise sağ kulak elektrotunu gösterir.

Tablo 1.1. EEG’de kullanılan elektrot kısaltmalarının açıklımı

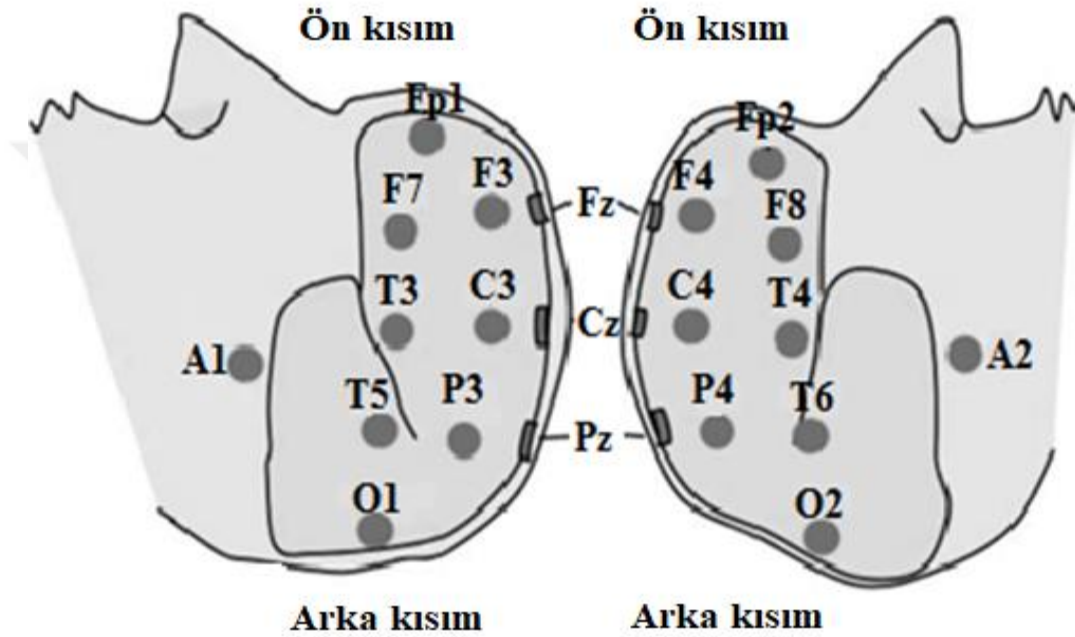
Elektrotların Kısaltması	Açılımı
F <sub>p</sub>	Frontopolar ya da prefrontal
F	Frontal
P	Parietal
C	Santral
T	Temporal
O	Oksipital
A	Auriküler

Elektrotları yerleştirmek için ise nazion, inion ve preauriküler noktaları referans nokta olarak seçilir. Şekil 1.11’de görüldüğü gibi nazion başın ön kısmında, inion arka kısmında sağ ve sol preauriküler bölgeler ise kulak yanlarında bulunmaktadır.



Şekil 1.11. Uluslararası 10-20 elektrot sisteminin referans noktaları ve ölçümleri

Elektrotlar soldan sağa ve önden arkaya doğru yerleştirilirler. Uluslararası 10 -20 sistemi referans kemik noktaları arasındaki mesafeyi kullanır ve referans noktalardan itibaren toplam uzunlukların %20 veya %10'u ölçümler ile elektrotlar yerleştirilir. Bu diziliş de yine Şekil 1.11'de verilmiştir. Sonuçta oluşan elektrot dizilimi Şekil 1.12'de görüldüğü gibi sol tarafa yerleştirilen elektrotun simetriği sağ tarafta da olacak şekilde tamamlanır.



Şekil 1.12. 10-20 elektrot sisteminde elektrotların simetrik görünümü

### 1.6. Koku Alma Duyusu ve Önemi

Havada çözülmüş halde bulunan ve koku alma duyusuyla hissedilen, genelde çok düşük konsantrasyonlardaki kimyasal maddelerin her biri koku olarak adlandırılır. Koku alma duyusu, beş duyumuz içinde en karmaşık ve hassas yapıya sahip olan duyu olarak nitelendirilir [16]. Günlük duyguların %75'ini etkileyen ve hafızada önemli rol oynayan koku duyusu 24 saat boyunca çalışan tek duyudur.

İnsanın yaşamsal faaliyetlerinden biri olan koku alma duyusu çevremizi algılamada kullandığımız en önemli duyumlarımızdandır. Yemek, içmek gibi birçok fiziksel aktivite koku duyusuyla bağlantılı olarak gerçekleşir. Koku duyusunun insan yaşamındaki önemi

doğadaki birçok canlıyla kıyaslandığında nispeten daha az olsa da koku alma duyusundaki herhangi bir azalma veya eksiklik sosyal bir varlık olan insanın yaşamını büyük ölçüde etkiler. Bozulmuş olan gıdaların ya da zararlı olabilecek bazı gazların kokusunun alınması gibi tehlikeli durumları önceden kavrayabilmemizi sağlayabildiği gibi diğer taraftan da hoş bir parfüm kokusu ya da güzel bir yemek kokusunun alınmasıyla kişinin duyduğu zevki artırır.

Önemine rağmen diğer duyulara göre daha az incelenmiş olması koku duyusunun subjektif olmasından ötürüdür. Koku bozukluklarının tedavisinde tıbbi alandaki hızlı teknolojik gelişimlere karşın henüz yeterince yol kat edilememiştir.

Kişilerin koku alma duyularındaki bozukların tespiti için koku testleri yapılmaktadır. Koku testi objektif ve subjektif testler olarak iki gruba ayrılır. Objektif testler daha çok kişiye kokulu uyarınları verip bunların oluşturduğu sinyallerin yani beyin dalgalarının elektriksel olarak EEG yöntemiyle kaydedilmesiyle yapılır. Subjektif testler ise kişiye koklatılan kokulara sözel olarak verdiği cevapların kaydedilmesiyle yapılan testlerdir. Subjektif koku testleri kendi içerisinde alt başlıklara ayrılmaktadır. Bunlardan bir tanesi koku ayırt etme testidir. Burada kişiye farklı kokular koklatıp birbirine benzer olan kokularla farklı olan kokuları ayırt ettirme testidir. Bir diğeri ise koku eşik testidir. Burada da kişinin hangi konsantrasyondaki kokuları ayırt edebildiği ve koku alma yeteneği ölçülür. Özellikle alerjik durumdaki kişilerde önemlidir. Bu kişilerde koku konsantrasyonundaki düşmeye bağlı olarak geç koku alma gerçekleşir. Başka bir koku testi de koku tanımlama testidir. Bu testte kişiye çeşitli kokular koklatılıp hangi koku olduğu sorulur. Böylece kişinin hem koku hafızası hem de kokuları tanıyıp tanımadığı değerlendirilir. Bu subjektif testlerin kültürel uyumluluğu çok önemlidir. Çünkü her toplumun kendi kültüründe yaygın olarak kullandığı farklı kokular vardır [20].

Subjektif testler klinik olarak kişilerin koku kaybının değerlendirilmesinde kullanılırken objektif testler öncelikli olarak araştırma amaçlı kullanılmaktadır. Herhangi bir kokunun koklanması sırasında beyinde oluşan elektriksel aktivitenin değerlendirilmesi ile yapılan objektif testlerle birlikte geliştirilecek yöntemler tıbbi alanda koku testlerinden daha yüksek güvenilirlik elde etmeyi sağlayabilir.

### 1.6.1. Burunun Yapısı ve Koklama Olayı

Beş duyu organımızdan biri olan burun nefes ve koku alma organı olarak iş görür. Burun boşluğu iki delikle dışarı açılırken diğer taraftan da yutağa bağlanır. Kemik, kıkırdak ve kılcal damarlarla desteklenen bu organımızın boşluğunda bulunan duvarlar, burnun nemli kalmasını sağlayan mukus salgısını üreten mukoza tabakasıyla kaplıdır. Üzeri mukus salgısıyla kaplı koku alma çomakları ve koku reseptörleri burun boşluğunun üst kısmında sarı bölge adı verilen yerde yoğunlaşmıştır. Bu reseptörlerin algılayıcı uçlarında kokuyu algılayıp uyarıyı kendi aksonları aracılığı ile beynin ilgili merkezlerine gönderen siller bulunur. Burnun bir maddenin kokusunu alabilmesi için maddenin uçucu ve mukus sıvısında çözünmüş olması gerekir [18], [19]. Genel hatlarıyla insan burnunun içyapısı Şekil 1.13'te verilmiştir.

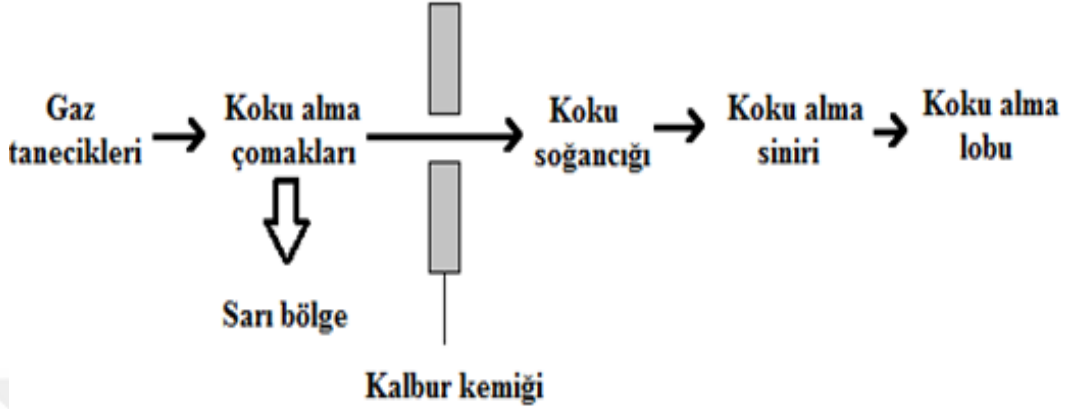


Şekil 1.13. İnsan burnunun içyapısı

Şekil 1.14'te de sıralandığı gibi öncelikle mukus sıvısında çözünen gaz halindeki uçucu madde sarı bölgedeki koku çomaklarını uyarır. Daha sonra koku alma çomaklarının uzantıları koku soğancığına ulaşır. Koku soğancığına gelen uyarı koku alma sinirlerine ve



sinirler aracılığı ile de beynin koku alma lobuna iletilir. Böylece koku beyinde algılanmış olur.



Şekil 1.14. Koku alma olayı

### 1.6.2. Koku ile İlgili Bazı Tanımlar

**Koku Birimi (KB):** Kokulu bir maddenin 1 m<sup>3</sup> nötral hava içinde buharlaştırılması durumunda oluşan fizyolojik tepkinin, aynı şartlardaki yine 1 m<sup>3</sup> nötral havada bir birimlik referans kokunun buharlaştırıldığında ortaya çıkan tepkiye eşit olması durumundaki kokulu madde miktarıdır.

**Koku Konsantrasyonu:** 1 m<sup>3</sup> gaz içinde standart koşullarda kaç adet KB bulunduğunu ifade eder.

**Algılama Eşiği:** Koku algılama eşiği bir kokuya maruz kalan kişilerin %50'sinin kokuyu ayırt edebileceği koku konsantrasyonudur.

**Koku Seviyesi:** Logaritmik olarak ifade edilen koku konsantrasyonudur.

$$L_{od} = 10 \log \left( \frac{C_{od}}{\hat{C}_{od}} \right)$$

$L_{od}$ : Koku seviyesi, dB<sub>od</sub>

$C_{od}$ : Koku konsantrasyonu, KB/m<sup>3</sup>

$\hat{C}_{od}$ : Koku eşiğindeki koku konsantrasyonu, KB/m<sup>3</sup>

**Koku Şiddeti:** Kokunun uyarılma şiddetini koku konsantrasyonuna bağlı olarak gösteren ölçüdür.

**Koku Debisi:** Birim alandan birim zamanda yayılan kokulu madde miktarıdır.

**Koku Adaptasyonu:** Sürekli ya da belirli aralıklarla verilen bir kokuya maruz kalan kişilerin koku alma duyarlılığındaki geçici değişimdir.

### **1.6.3. Kokuların Sınıflandırılması ve Kokuyu Etkileyen Faktörler**

Doğal çevremizde koku veren çok sayıda madde bulunmaktadır. Feromon (pheromone) adı verilen bu maddeler başlangıçta hoş kokan, asit, yanık ve fena kokan olmak üzere 4 sınıf altında incelenmiştir. Son zamanlarda ise aşağıda verildiği gibi 7 koku sınıfı ileri sürülmüştür.

- Kâfur
- Misk (musky)
- Çiçek (floral)
- Nane (mentol)
- Eter benzeri (etherol)
- Keskin (purgent)
- Fena kokan (putrid)

Herhangi bir kokunun rahatsız edici olup olmadığı 4 faktörle ilişkilidir. Bunlar; kokunun algılanma sıklığı olarak ifade edilen koku frekansı, kokunun etkinliği olan koku yoğunluğu, kokunun istenmeyen karakteri olarak tanımlanan koku nahoşluğu ve kokuya maruz kalma süresidir.

### **1.6.4. Koku Duyusunun Değerlendirilmesi ve Koku Alma Bozuklukları**

Koku alma duyusundaki bozuklukların tespiti ve muayenesinin en zor yanı bu duyuya ait değerlendirmenin yapılması için uygulanan testlerin subjektif oluşudur. Bu testler sırasında verilen koku uyarılarının veriliş hızı, konsantrasyonu, havanın saflığı ve uygulama süresi gibi etmenler çok iyi denetlenmelidir. İyi bir test kolay uygulanabilen pratik bir test olmalıdır.

### 1.6.4.1. Koku Testleri

Koku bozukluklarının tespitinde kullanılan bazı testler aşağıda verilmiştir.

- 1- Dilüsyon Testleri
- 2- Olfaktör Spektrogram
- 3- Butanol Eşik Testi
- 4- Psikofizik Testler
  - (a) Kokunun algılanması
  - (b) Kokunun diskriminasyonu
  - (c) Kokunun tanınması
  - (d) Kokunun identifikasyonu
- 5- Elektrofizyolojik Testler
  - (a) Elektro-olfaktografi
  - (b) Uyarılmış olfaktör potansiyeller [17]

### 1.6.4.2. Koku Bozuklukları

Koku almak koku molekülünü algılayıp tanımak olarak ifade edilebilir. Kulak burun boğaz açısından koku alımına, nörolojik açıdan da iletimine engel patolojileri bulunmayan ve yapılan koku testlerine cevapları olan kişiler *normosmik* olarak adlandırılır.

- 1- Anosmi: Kişinin kokulara karşı duyarlılığının kaybolması ve koku alamamasıdır.
  - Parsiyel Anosmi: Bazı kokulara karşı duyarlılığın kaybolmasıdır.
  - Spesifik Anosmi: Bir kokuya karşı duyarlılığın kaybolmasıdır.
- 2- Hiposmi: Kişinin kokulara karşı duyarlılığının azalması yani koku alma zayıflığıdır. Parsiyel ya da total olabilir.
- 3- Hiperosmi: Kişinin kokulara karşı duyarlılığının artışıdır. Bu da parsiyel, spesifik ya da total olabilir.
- 4- Dizosmi: Kişinin kokuyu yanlış algılamasıdır.
- 5- Kakosmi: Algılanan kokuların sürekli kötü koku olarak yorumlanmasıdır.
- 6- Parosmi: Kokunun tersinin algılanmasıdır.
- 7- Fantosmi: Kişinin var olmayan kokuları alması yani koku halüsinasyonudur.
- 8- Heterosmi: Bazı kokuların birbirinden ayırt edilememesidir.
- 9- Agnozi: Kişinin kokuyu alması ancak yanlış sınıflandırmasıdır [18], [21].

## 1.7. Literatür Araştırması

Karmaşıklığıyla her zaman merak ve ilgi konusu olmayı sürdüren insan beyni belki de dünyadaki en şaşırtıcı sistemdir. İlgisiyle paralel olarak bu alanda yapılan bilimsel araştırmaların sayısı da her geçen gün artmaktadır. Çeşitli fiziksel ve duygusal girdilere karşı insan beyninin tepkisini ölçmeye yönelik birçok çalışma mevcuttur. Beynin verdiği bu tepkiyi ölçmek için kullanılan yöntemler arasında kolay elde edilebilmesi, acı vermemesi ve diğerlerine kıyasla daha ucuz olması gibi avantajları nedeniyle araştırmalarda sıklıkla EEG tercih edilmektedir [23], [24], [25]. Bunun yanı sıra fMRI [26], ECoG [27], BT [28], MRI [29] gibi çeşitli görüntüleme tekniklerinin de kullanıldığı çalışmalar mevcuttur. Özellikle üzerine yapılan araştırmalar günden güne artan beyin bilgisayar ara yüzü sistemlerine yönelik çalışmalarda örneklerde de verildiği gibi beyin görüntüleme teknikleri kullanılmaktadır.

Koklama olayını esas alan EEG tabanlı çalışmalar da son yıllarda önem arz etmektedir. Bu tez çalışmasında da amaçlandığı gibi beynin farklı kokulara verdiği cevapların ortaya koyulması bakımından literatüre katkı sağlayacak çalışmalar mevcuttur. Bu alanda çalışmalarını yürütmüş olan bazı araştırmacıların çalışmaları aşağıda özetlenmiştir:

H. Tsujimoto ve arkadaşlarının yapmış olduğu çalışma [30] koku uyarımına karşı oluşacak EEG sinyalini incelemeye yönelik olup gönüllülere hoş olan ve hoş olmayan koku koklatılarak deneyler yapılmıştır. Uluslararası 10-20 metoduna göre yerleştirilen P3, P4 ve Cz elektrotlarından alınan EEG verileri 500 Hz örnekleme frekansında kaydedilmiştir. Koklama anında kaydedilen Sonuçlar hoş koku uyarımı durumunda EEG verilerinin bir süre yavaş yavaş azaldığını, ancak hoş olmayan koku uyarılarının dağınık olduğunu göstermiştir.

Kokuyla ilgili yapılan başka bir çalışmada [31] Kroupi ve arkadaşları yaş ortalaması  $24 \pm 4.6$  olan 9 kadın, 16 erkek olmak üzere 25 gönüllü birey ile çalışmıştır. Deneylerde gül suyu, lavanta, yasemin, çikolata tozu, nane, kediotu, sarımsak tozu, anason, pişmiş karnabahar ve bebek şampuanı kokuları kullanılmıştır. Deneyler esnasında kokular gönüllülere 1-2 cm mesafeden sunulmuş ve 2 deneme arası 8 sn bekleme süresi koyulmuştur. Ayrıca her bir koku için 15 kez deneme alınmıştır. EEG verileri 250 Hz örnekleme frekansında kaydedilmiş ve 3-47 Hz arası butterworth filtre ile filtrelenmiştir.

Kroupi ve arkadaşlarının yaptığı bir başka çalışmada [32] 9 kadın 14 erkek olmak üzere 23 gönüllü ile çalışılmış ve yine aynı 10 koku kullanılmıştır. Bu çalışmada ise gönüllülerin kokuları çok kötüden çok iyiye kadar olmak üzere 5 ayrı dereceden yorumlamaları istenmiştir. Her bir deneme için 6 sn başlangıç ve 6 sn koklama süresi belirlenmiştir. 216 elektrottan alınan EEG sinyallerinin göz çevresinde bulunan 40 tanesi kas hareketlerinden etkilendiği için kullanılmamıştır.

Yazdani ve arkadaşlarının 4 ayrı kokuyu kullanarak yapmış oldukları çalışmalarına [33] yaşları 26 ila 32 arasında değişen 5 gönüllü birey katılmıştır. Koklama esnasında kokular kişilere 1-2 cm mesafeden sunulmuş ve gözleri kapalı olarak yapılan koklama süresi 2 sn olarak seçilmiştir. İki deneme arası 4 sn bekleme süresi verilmiş ve aynı kişiyle aynı kokudan 20-30 deneme alınmıştır. EEG verileri 250 örnekleme frekansında kaydedilmiştir. Daha sonra katılımcılara memnun oldukları ve memnun olmadıkları kokular sorulmuş ve belirledikleri kokulara ait EEG işaretleri sınıflandırılmıştır. Öznitelik olarak işaretlerin bant güçleri kullanılmış ve 5 kişi için en iyi sınıflandırma doğruluklarının ortalaması %79.91 bulunmuştur.

Koku ile ilgili olan EEG tabanlı başka bir çalışmada İsviçre'nin Federal Teknoloji Enstitüsünde Kroupi ve arkadaşları tarafından yapılmıştır [34]. Yaşları 26 ile 32 arasında değişen 5 ayrı kişiye gözleri açık ve gözleri kapalı olmak üzere 2 farklı durumda 4 farklı koku koklatılmıştır. Deneyde kediotu, nilüfer çiçeği, gül suyu ve peynir kokuları kullanılmıştır. Deney esnasında katılımcıların 2 saniye boyunca kokladığı kokudan alınan verinin son 1 saniyelik kısmı tüm veriden çıkartılmıştır. 250 Hz örnekleme frekansı ve 216 elektrot ile EEG verileri kaydedilmiştir. Gönüllülere gözler açık ve kapalı durumlar ayrı ayrı olmak üzere en çok beğendikleri ve hiç beğenmedikleri kokular sorularak alınan cevaplar doğrultusunda kişilerin memnun oldukları ve memnun olmadıkları kokular belirlenmiştir. Ardından bu kokulara ait EEG verileri sınıflandırılmıştır. Her bir kişi için ayrı öznitelik çıkarma ve sınıflandırma adımı kullanılmış ve sonuç olarak bu iki sınıflı problemde tüm kişiler için ortalama %90 sınıflandırma doğruluğu elde edilmiştir. Kroupi ve arkadaşlarının kaydedip ortak kullanıma sunduğu bu EEG verileri ile yapılan diğer bir çalışma ise Aydemir tarafından yapılmıştır [35]. Bu çalışmada koku verilerinden sadece peynir ve gül suyu kokularına ait EEG işaretlerinin sınıflandırılması için özbağlanım metodu öznitelikleri kullanılarak kişiye özgü yerine genele uygulanabilecek bir yöntem önerilmiştir. Sınıflandırma yöntemi olarak k-en yakın komşuluk (k-EYK) kullanılmıştır. Sonuç olarak sınıflandırma doğrulukları ortalaması gözler açıkken %72.24, gözler

kapalıyken ise %96.21 olarak elde edilmiştir. Aydemir'in yine bu koku verilerini kullanarak yapmış olduğu başka bir çalışmada [36] ise kediotu ve gül suyu kokularına ait EEG verileri hızlı fourier dönüşümü kullanılarak elde edilen özneliklere göre analiz edilmiştir. k-EYK algoritması kullanılarak yapılmış olan sınıflandırma sonucunda gözler kapalı durumda ortalama sınıflandırma doğruluğu %90.73, gözler açık durumda ise %92.21 olarak hesaplanmıştır. Kroupi ve arkadaşlarının kaydedip ortak kullanıma sunduğu bu koku verilerinden nilüfer çiçeği ve peynir kokularına ait EEG verilerini kullanarak Yavuz ve arkadaşları çalışmalarını sürdürmüştür [37]. Bu çalışmada dalgacık dönüşümü kullanılarak öznelikler çıkarılmış ve Morlet, Meksika, Meyer, Coiflet ve Daubechies olmak üzere 5 çeşit dalgacık test edilmiştir. Çıkarılan öznelikler k-EYK algoritmasıyla sınıflandırılmıştır. Elde edilen sonuçlar test edilen dalgacık dönüşümlerinden Meksika dalgacığının nilüfer çiçeği ve peynir kokularının gözler açık ve kapalı iken koklanması sırasında kaydedilen EEG sinyallerinin sınıflandırmasında büyük bir potansiyele sahip olduğunu göstermiştir. Sırasıyla gözler açık ve kapalı koşullarda %98.29 ve %94.08 sınıflandırma doğruluğu elde edilmiştir. Altun ve arkadaşları ise gül suyu ve nilüfer çiçeği kokularına ait EEG verilerini kullanarak başka bir çalışma yapmıştır [38]. Bu çalışmada öznelikler çarpıklık (skewness), basıklık (kurtosis) ve işaretin 2. dereceden türevinin varyansı alınarak hesaplanıp sınıflandırılmıştır. k-EYK yöntemi kullanılarak sınıflandırma yapılmış ve neticesinde gözler açık durumda %97.31 gözler kapalı durumda ise %97.34 sınıflandırma doğruluğu elde edilmiştir.

Lorig ve arkadaşları yapmış oldukları çalışmada [39] yaşları 18 ile 24 arasında değişen 4 erkek 5 kadın gönüllü ile yaptıkları çalışmada elma, okaliptus ve lavanta kokularını kullanmıştır. 10-20 elektrot sistemine göre F<sub>7</sub>, F<sub>8</sub>, T<sub>5</sub> ve T<sub>6</sub> elektrotları temel alınmıştır. Kokular 5 mm'lik şişede 5 cm mesafede koklanmak üzere gözleri kapalı durumdaki gönüllü bireylere sunulmuştur. 1 dk olarak seçilen koklama süresi ardından 3 dk boyunca ortamın havalandırılması yapılmıştır. EEG verileri 128 Hz örnekleme frekansında kaydedilmiş ve 2-32 Hz arası bant geçiren filtre ile filtrelenmiştir. Deneyler sonrasında gönüllülere 17 maddelik bir anketi cevaplandırması istenmiştir. Sonucunda her bir koku için 10 dereceli (rahat, sıkıcı, mutlu..vs ) puanlama yapılmıştır.

10 gönüllüyle yapılan bir başka çalışmada [40] limon ve nane kokularının yanı sıra skatol denilen kötü kokulu bir gaz ve kokusuz ayrı bir deney durumu tercih edilmiştir. F<sub>3</sub>, F<sub>4</sub> ve F<sub>z</sub> elektrotları kullanılarak EEG verileri kaydedilmiştir. Deneyde gönüllülere stroop task adı verilen bilişsel kontrol testi yapılmıştır. Bu çalışmada, bilişsel test sırasında aralıklı

koku sunumunun bilişsel işlev ve psikolojik yüklemeye nasıl katkıda bulunduğu araştırılmıştır. Deneyde 2 ile 5 arası rakamlar kullanılmış ve gönüllünün bakacağı ekran üzerine gelen bu rakamların adedinin belirlenmesini hedef alan bir çalışma yapılmıştır. Örneğin; 33=2, 44444=5 olacak şekilde kişilerin doğru cevabı bir butonla işaretleyecekleri bir laboratuvar ortamı sunulmuştur. Gönüllünün monitöre uzaklığı 5m olarak ayarlanmış ve 4 dk bekleme süresinden sonra 12 dk'lık stroop task ve 4 dk işlem sonrası bekleme süresi olarak belirlenmiştir. Üç koku ve bir kokusuz durum için deney tekrarlanmış ve her bir deney sonrası 20-25 dk bekleme süresi verilip bu süreçte deney ortamının havalandırılması yapılmıştır.

Beynin farklı kokulara verdiği cevapların ortaya koyulması bakımından literatüre katkı sağlayan bu çalışmaların yanı sıra klinik açıdan kişilerin koku alma duyularında herhangi bir eksiklik veya kayıp olup olmadığının değerlendirilmesi hususu da kokuyla ilgili çalışmaların hedeflerinden biridir. Koku bozukluklarının sıklıkla görülmesi ve yaşam kalitesini düşürmesine rağmen gerek hastalar gerekse hekimler tarafından üzerinde durulmamaktadır. Tıbbi alanda iki şekilde yapılan koku testlerinden birincisi psikofizik (subjektif) testler, ikincisi ise elektrofizyolojik (objektif) testlerdir. Koku kaybının klinik olarak test edilmesi noktasında subjektif testler kullanılmaktadır. Çeşitli aşamalarla kişilere kokular koklatılıp testlerden geçirilerek alınan cevaplar doğrultusunda değerlendirmeler yapılmaktadır. Bu testlerin çoğu özgün koku eşiklerinin belirlenmesi veya çok sayıda sunulan kokunun tanımlanması yeteneğinin ölçülmesine dayanmaktadır. Objektif testler ise koklama sırasında elde edilen elektriksel işaretler incelenerek yapılmaktadır [16].

Schriever ve arkadaşları yapmış oldukları bir çalışmada [41] koku fonksiyonunun klinik araştırmasında düşük maliyetli, taşınabilir bir olfaktometre ile kokuya bağlı EEG değişiminin zaman-frekans analizinin yararlılığını araştırmıştır. Olfaktometre; kokulu bir gazın belirli konsantrasyonlarda kontrollü olarak insan burnuna sunulması ve bununla birlikte insanın koku alma duyusundaki etkisinin ölçülmesi olarak tanımlanan olfaktometri yöntemini kullanıp koku konsantrasyonunu ölçen cihazdır. İki temel prensibe dayalı olarak çalışan olfaktometrede birinci yöntemde bilinen bir koku bilinen bir konsantrasyonda kişiye sunulur ve kişide yarattığı etki ölçülür ve burnun koku alma yeteneği yorumlanır. İkincisinde ise insan burnu bir sensör gibi kullanılarak bilinmeyen koku konsantrasyonları tayin edilir [42]. Bu çalışmaya öncesinde "Sniffin 'Sticks" test batarya vasıtasıyla (klinik olarak uygulanan subjektif test) belirlendiği üzere normosmik yani normal koku hassasiyetine sahip olan ve herhangi bir koku kaybı olmayan, yaşları 20 ile 30 arasında

değişen 11 kadın toplam 20 kişi katılmıştır. Buna ek olarak koku bozukluğu olan yaşları 20 ile 68 arasında değişen 12 si kadın 18 hasta da deneyin başka bir oturumuna katılmıştır. Bu hastaların dokuzu hiposmi yani kokulara karşı duyarlılığı azalan, diğer dokuzu ise anosmi yani kokulara karşı duyarlılığı kaybolan hastalardır. Koku fonksiyonunun klinik araştırmasında düşük maliyetli, taşınabilir bir olfaktometre ile kokuya bağlı EEG değişiminin zaman-frekans analizinin yararlılığı araştırılmış ve elde edilen sonuçlarla hedefe ulaşılmıştır.

Örnekleri verildiği gibi koklama olayını temel alan EEG tabanlı çalışmalar literatürde mevcuttur. Bu çalışmalar incelendiğinde farklı kokular ile yapılan koklama deneylerinden elde edilen EEG verilerinin sınıflandırılmasında yüksek doğrulukla sonuç alındığı görülmüştür. Yazdani [33] ve Kroupi'nin [34] yapmış oldukları çalışmalarında yukarıda da bahsedildiği gibi gözler açık ve gözler kapalı olmak üzere iki ayrı durumda yapılan koklama deneyleri sonucunda kokular kaydedilmiştir. Burada gönüllülere koklatılan kokulardan en çok hoşlarına giden ve en az hoşlarına giden kokular sorulmuştur. Sınıflandırma aşamasında ise yalnızca bu hoş olan ve olmayan kokular kullanılmıştır. Böylece beynin bu zıt kokulara verdiği elektriksel tepki de ayırt edilebilecek seviyede olmuştur. Bu tez çalışmasında ise kişisel olarak değerlendirildiğinde dahi hoş olan ya da hoş olmayan şeklinde ayırt edilmesi güç, birbirine benzer 4 adet baharat yağı kokusu kullanılmıştır. Diğer taraftan sözü geçen yüksek doğrulukla sonuçlanan çalışmalarla kıyaslandığında da daha az EEG verisi kaydedilmiştir. Toplamda 8 ayrı gönüllü birey için yapılan 2'li sınıflandırmalar neticesinde bu kokular ortalama %75.41 sınıflandırma doğruluğu ile birbirinden ayırt edilebilmiştir. Böylece subjektif olarak benzer olarak değerlendirilen kokuların bile EEG sinyallerinin incelenmesi ile birbirinden yüksek doğrulukla ayırt edilebileceği sonucuna varılmıştır.



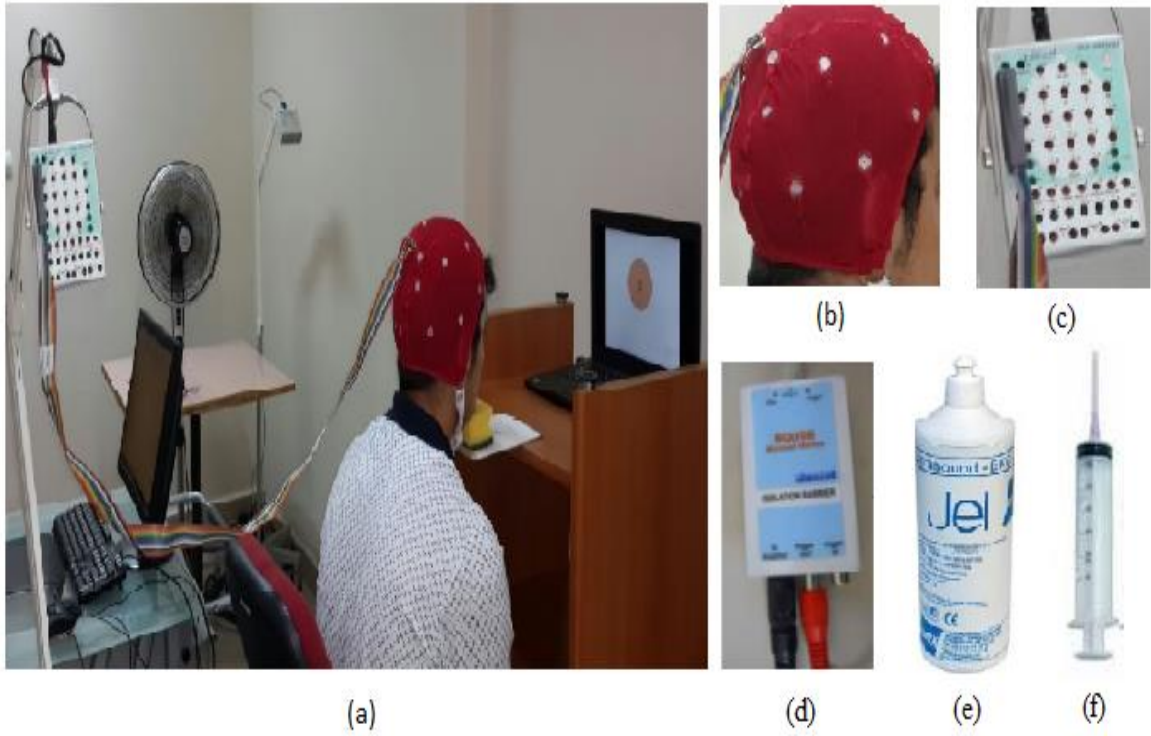
## 2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

### 2.1. Verilerin Kaydedilmesi

Bazı baharat kokularının koklanması sırasında oluşan EEG işaretlerinin incelenmesi ve sınıflandırılması başlığı adı altında yapılmış olan bu tez çalışmasında incelenen EEG verilerinin kaydedilmesi sırasında kullanılan malzemeler ve deney şartları aşağıda ayrıntılarıyla verilmiştir.

#### 2.1.1. Kullanılan EEG Cihazının Tanıtımı

EEG verileri, Karadeniz Teknik Üniversitesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü bünyesindeki EEG Araştırma Laboratuvarında Micromed marka BrainQuick model EEG ölçüm cihazı ile kaydedilmiştir.



Şekil 2.1. EEG ölçüm ekipmanları, (a) Sistemin genel görünümü, (b) EEG başlığı, (c) Yükselteç, (d) İzolasyon katı, (e) Elektrot jeli, (f) Enjektör

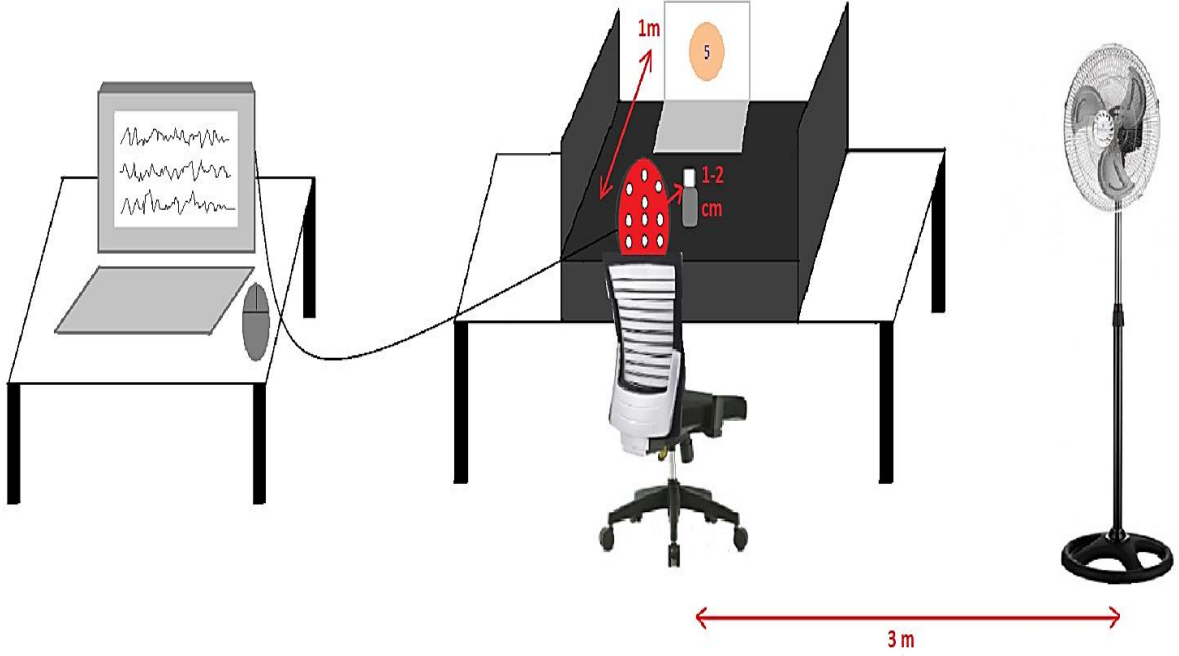
Şekil 2.1’de kullanılan EEG sisteminin genel görünümü ve bazı ekipmanlar verilmiştir. Verilerin kaydedilmesine başlanırken (b) şeklinde görülen EEG başlığı gönüllü bireyin başına uygun şekilde yerleştirilir. Ardından şekil (f)’deki gibi bir enjektörle elektrot jeli aktif olarak kullanılacak olan elektrot bölgelerine enjekte edilir. Böylece saç derisi ile EEG sistemi arasındaki empedans uygunluğu sağlanmış olur. EEG sisteminden kaynaklanacak olası bir elektrik akımının gönüllü bireye zarar vermemesi için de sistemde izolasyon katı bulunmaktadır.

### 2.1.2. Deney Ortamı ve Deneye Katılan Gönüllü Bireyler

Gönüllü bireylerin nane, karanfil, kekik ve biberiye olmak üzere 4 adet baharattan soğuk baskı yöntemiyle elde edilmiş olan yüzde yüz doğal yağları koklamaları sırasında kaydedilen EEG verileri, Karadeniz Teknik Üniversitesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü bünyesindeki EEG Araştırma Laboratuvarında gereken etik izinler alınarak kaydedilmiştir. Deneye katılacak 8 gönüllü bireyin 7’si yine bölüm lisans öğrencilerinden 1’i ise bölüm hocalarından seçilmiş olup hakkındaki bilgiler Ek 1’de verilmiştir. Gönüllülere katılımları öncesinde; yapılacak olan bilimsel çalışmanın kapsamı, EEG verileri kaydedileceği sırada uygulanacak adımlar ve deneye gelmeden önce uymaları gereken bazı maddeler bir bilgilendirme yazısıyla sunulmuştur. Ek 2’de de verilen bu bilgilendirmenin ardından onayları doğrultusunda katılımları sağlanmıştır. Deneye yaş ortalaması 23.5 olan 8 erkek gönüllü katılmıştır.

Deneyin gerçekleştiği EEG Araştırma Laboratuvarının sıcaklığı oda koşullarında 25°C olup deney sırasında kullanılan yağların kokularının odaya sinmemesi için bir adet klima ve bir adet ayaklı vantilatör ile odanın havalandırılması yapılmıştır. Şekil 2.2’de genel bir görüntüsü verilen deney ortamında gönüllünün rahat edebileceği bir sandalye, EEG verilerinin takip edildiği bir bilgisayar, kişinin koklama komutlarını takip edeceği bir ekran ve kendisine sunulan baharat yağı şişelerinin konulduğu masa bulunmaktadır. Bireyin koklama komutunu takip ettiği ekrana olan uzaklığı 1 metre (m), koklayacağı baharat yağı şişesi ile burnu arasındaki mesafe 1-2 cm ve havalandırma için kullanılan vantilatörün gönüllü bireyin bulunduğu masaya uzaklığı 3 m’dir. Gönüllü bireyin vantilatörden gelen havadan rahatsız olmaması ve kendisine sunulan yağdan aldığı kokunun gelen hava etkisiyle azalmaması için Şekil 2.2’de de görüldüğü gibi koklama

olayını gerçekleştirdiği kısım kenarlardan kapatılmıştır. Bu işlemin bir diğer avantajı da gönüllünün görüş açısını ekrana odaklanacak şekilde daraltmasıdır.



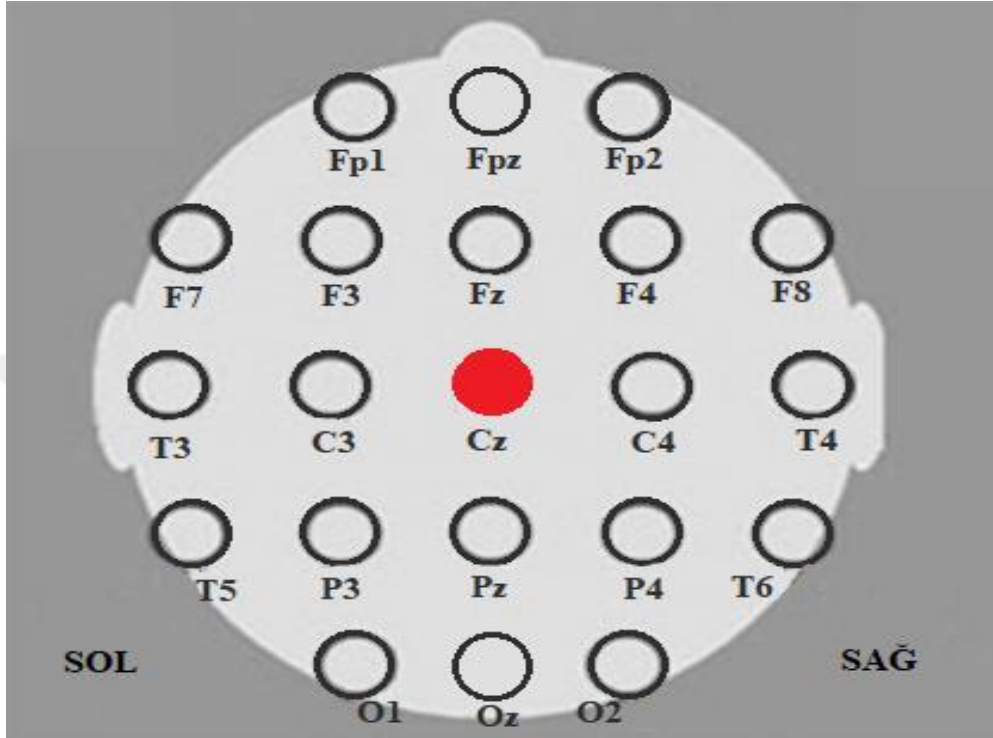
Şekil 2.2. Deney ortamının genel görünümü

### 2.1.3. EEG Verilerinin Kaydına Başlamadan Önce İzlenen Adımlar

Toplam 8 gönüllünün katılımıyla tamamlanan deneyler her bir kişi için ayrı günlerde yapılmıştır. Ek 2’de kendilerine belirtildiği gibi koku hassasiyetini etkilememesi açısından kişiler deneye gelmeden önceki 2 saat içerisinde bir şeyler yememiştir. Yine aynı sebeple 6 saat öncesine kadar sigara ve 6-8 saat öncesine kadar da çay, kahve vs içmemişlerdir. Kendilerinden istendiği gibi üzerlerinde parfüm veya testi olumsuz etkileyecek herhangi bir koku bulundurmayarak deneye hazır hale gelen gönüllülere izlenecek olan adımlar bir kez de deney ortamında anlatılmıştır. Başlamadan önce 4 adet baharat yağı gönüllülere koklatılıp tanıtılmıştır. Daha sonrasında deney esnasında kişiye sunulan yağın hangisi olduğunu anlamaması için yağ şişeleri Şekil 2.5’te görüldüğü gibi alüminyum folyo ile kaplanmıştır.

Deney boyunca takip edeceği komutlar, öncesinde denetilerak kişinin deneye hazır olması sağlanmıştır. EEG başlığı gönüllü bireyin başına uygun şekilde takılıp, elektrotların

kafaya temasını sağlayacak şekilde enjektör ile elektrot jeli elektrot noktalarından enjekte edilmiştir. Böylece empedans uygunluğu sağlanmıştır. Bütün ön hazırlıklar tamamlandıktan sonra kişi için EEG kayıtları alınmaya başlanmıştır.

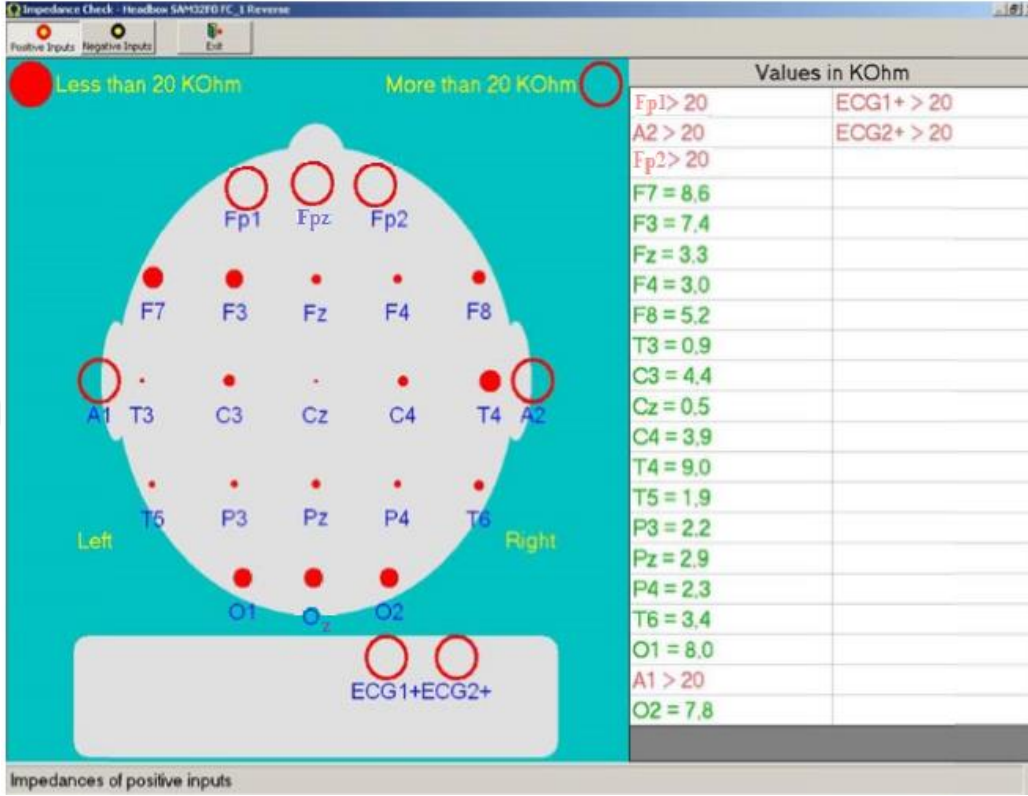


Şekil 2.3. Elektrotların saç derisine yerleşim şekli

EEG verileri, uluslararası 10-20 sistemine göre yerleştirilmiş olan 17 elektrottan 256 Hz örnekleme frekansında kaydedilmiştir. Yerleşimleri Şekil 2.3'te verilen elektrotlardan kırmızı ile gösterilen Cz noktası referans nokta olarak alınmıştır. Alın bölgesinde bulunan Fp1, Fp2 ve Fp3 elektrotlarından alınacak işaretler Elektrookulogram (EOG) artefaktlarından etkileneceği için bu kanallardan kayıt alınmamıştır. Kayıt alınan 17 elektrot ise Tablo 2.1'de verilmiştir.

EEG kayıtları alınmadan önce yapılan EEG başlığının yerleştirilmesi ve saç derisi ile elektrotlar arasında tam temasın sağlanması önemli bir aşamadır. Enjektörle sürülen jel ile temas sağlandıktan sonra oluşan empedanslar Şekil 2.4'teki ekrandan takip edilmektedir. Şekilde görüldüğü gibi beklenen teması sağlayan elektrotun kırmızı olarak görülmesi ve olabildiğince küçük bir noktaya dönüşmesidir. Kullanılan elektrotların empedans değerlerinin 20 k $\Omega$ 'dan düşük olması gerekmektedir. Şekil 2.4'te Fp1, Fp2, Fp3, A1, A2,

ECG1 ve ECG2 kullanılmayan elektrotlar olduğu için bunların görüntüleri kırmızı noktaya dönüşmediği gibi empedans değerlerinin de 20 k $\Omega$ 'dan büyük olduğu görülmektedir.



Şekil 2.4. Empedans değerlerini takip etme ekranı

Tablo 2.1. EEG kaydı alınan kanallar

Kanalın Numarası	Kanalın Adı	Kanalın Numarası	Kanalın Adı
1	F3	10	T5
2	F4	11	T6
3	F7	12	P3
4	F8	13	P4
5	Fz	14	Pz
6	C3	15	O1
7	C4	16	O2
8	T3	17	Oz
9	T4	Referans	Cz

#### 2.1.4. Verileri Kaydedilirken İzlenen Adımlar

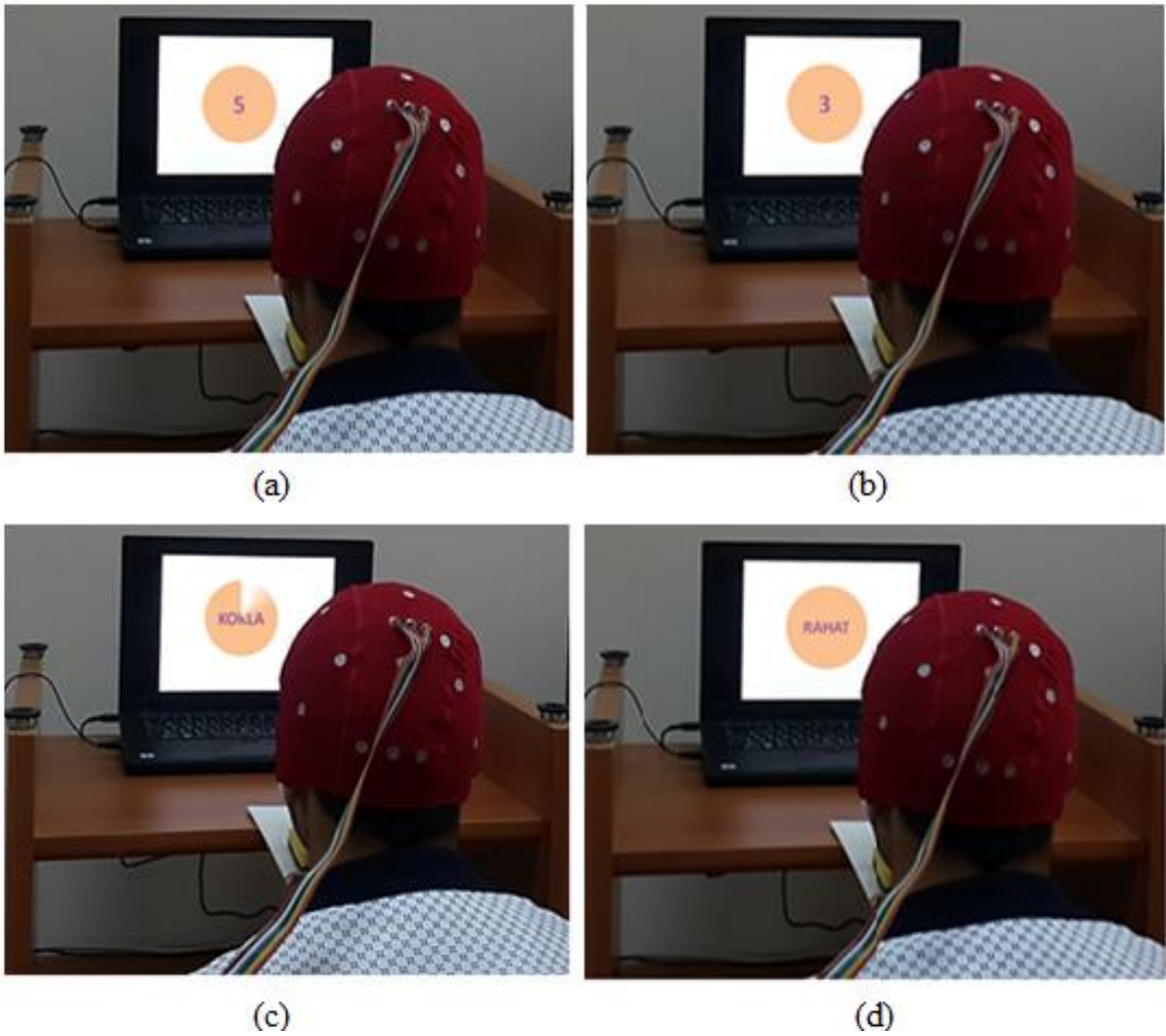
Deney boyunca gönüllü birey rahat bir sandalyede dik pozisyonda oturmakta ve takip etmesi gereken ekrana odaklanmaktadır. Uzun süre boyunca duruşunu koruması, şişe ile arasındaki mesafenin değişmemesi ve kişinin daha rahat olabilmesi için çenesi Şekil 2.5'te görüldüğü gibi masaya sabitlenen bir parça ile desteklenmiştir. Kokular gönüllünün burnu ile şişe arası mesafe 1-2 cm olacak şekilde rastgele sunulmuştur.



Şekil 2.5. Gönüllünün deney esnasındaki pozisyonu

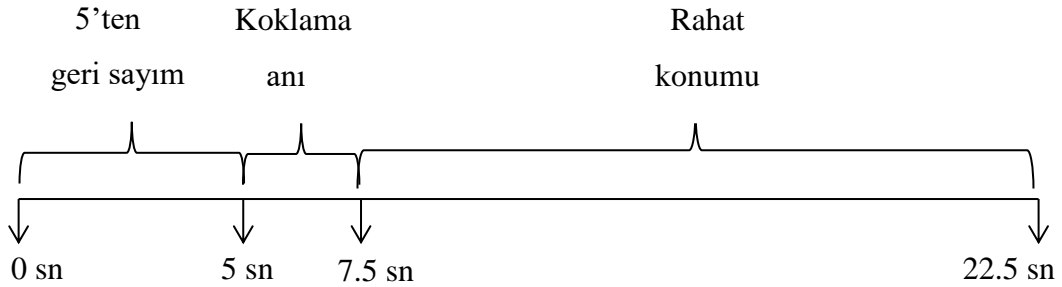
Ekrandaki komutlar Şekil 2.6'da görüldüğü gibi ilerlemekte olup kişinin koklama anını ayarlayabilmesi için öncelikle 5'ten geriye bir akış bulunmaktadır. Sonrasında ise 2.5 saniye (sn) süren kokla komutu gelmekte ve bu komut boyunca kişi kendisine sunulan ve ne olduğunu bilmediği kokuyu koklamaktadır. Koklama işlemi tamamlandıktan sonra ise 15 sn'lik rahat komutu gelmektedir. Bu sürede kişi bir sonraki koku kendisine sunulana kadar istediği şekilde hareket edebilmektedir. Koklama süresinde ise EEG verisini etkilememesi adına kişiden herhangi bir kas hareketi yapmaması ve göz kırpmaması istenmektedir.

Deney her bir oturumda 40 deneme olacak şekilde 4 ayrı oturumdan oluşmaktadır. Sonuçta nane, karanfil, kekik ve biberiye kokularından toplamda 160 koklama denemesi elde edilmektedir. Her 40 deneme sonrasında oturumlar arası 15'er dakika (dk) ara verilmektedir. Toplamda 8 gönüllü birey ile yapılan denemeler içerisinde ilk 5 kişiden bu şekilde EEG kaydı alınmıştır. Diğer 3 gönüllüye ise bunlara ek olarak koku yorulması olayını etkileyip etkilemediğini görmek amacıyla 8 denemede bir kuru kahve koklatılmıştır.



Şekil 2.6. Gönüllü bireyin deney boyunca takip ettiği komutlar, (a) Geri sayım başlangıç ekranı, (b) Geri sayımdan bir görüntü, (c) Koklama komutu, (d) Rahat pozisyona geçme komutu

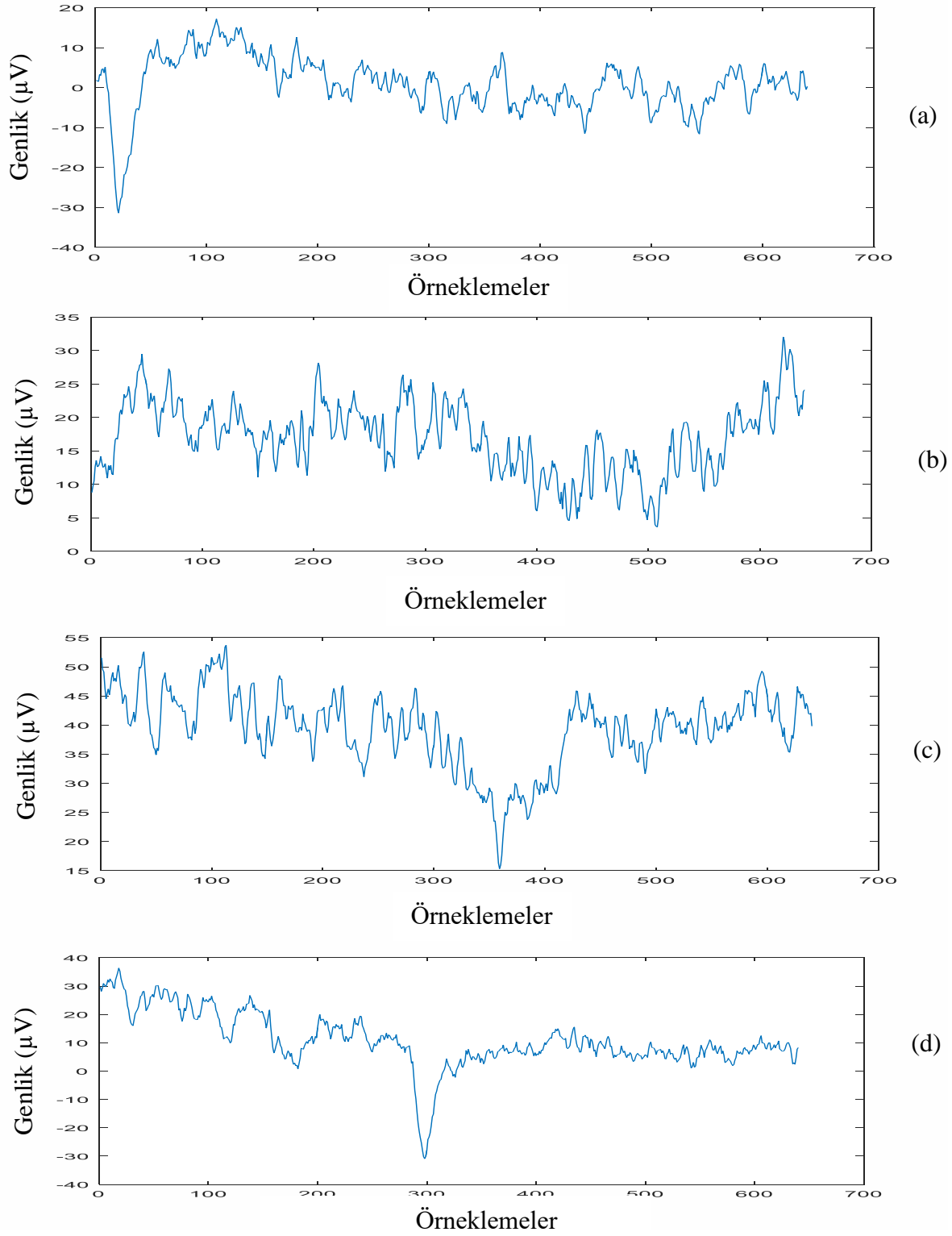
Deneyleer boyunca EEG kayıtları alınırken geçen süreç Şekil 2.7’de verilmiştir. ncesinde de bahsedildiği gibi gönüllü bireyleer izleyecekleri adımları önlerinde bulunan ekrandan takip etmişlerdir.



Şekil 2.7. Bir adet koku için EEG verilerinin kaydedilme süresi

Deneyleerde biri gönüllünün izleyeceği adımları takip ettiği bir diğer i se EEG kayıtlarının alındığı olmak üzere iki adet bilgisayar kullanılmıştır. Bir sorumlu tarafından kontrol edilen bilgisayarlarda oturumun başlama anı bilgisayar faresinin tıklamasıyla gerçekleşmektedir. Bu tıklama hem gönüllünün takip ettiği slaydı hem de sorumlunun takip ettiği EEG kayıt ekranını aktif etmektedir. Böylece komutun verilmesiyle slayt 5’ten geriye saymaya ve EEG kayıtları da alınmaya başlar. Şekil 2.7’de görüldüğü gibi 5 sn’lik bir geri sayım süresi boyunca gönüllü kokla komutunun geleceği kısma kendini hazırlar. Ardından 2.5 sn’lik kokla komutu gelir ve bu zaman diliminde gönüllü kişi kendisine sunulan kokuyu koklar. Kokla komutunun bittiği sürede EEG kaydı durdurulur. Koklama anından sonra 15 sn bir süre boyunca gönüllü birey bir sonraki kokunun kendisine sunulacağı ana kadar dinlenir. 15 sn’lik srenin bitiminde duracak şekilde hazırlanan slayt tekrar aktif edilmek için beklemektedir. İkinci koku geldiği anda yine her iki bilgisayarı aktif eden fare tıklaması ile kayıt ve 5’ten geriye sayım başlar. Bu şekilde 1. oturum nane, karanfil, kekik ve biberiye yağları ile toplamda 40 veri alınarak tamamlanır. İki oturum arası 15 dk olacak şekilde aynı adımlar diğer oturumlarda da tekrarlanır ve 4 oturum tamamlanır. Böylece 4 oturum boyunca toplamda 160 adet EEG kaydı alınmış olur. EEG verilerinin analiz edilmesi aşamasında bir tek deneme için 5’ten geriye sayım ve koklama süresi boyunca kaydedilen 7.5 sn’lik verinin son 2.5 sn’si kullanılarak 2.2 başlığında verilen yöntemler gerçekleştirilir. İlk gönüllünün 4 kokuyu koklaması sonucunda oluşan ve F3 kanalından kaydedilen EEG verilerinin bu şekilde düzenlenmiş rneği Şekil 2.8’de verilmiştir.





Şekil 2.8. AI kişisine ait F3 kanalından kaydedilen EEG dalga şekilleri, (a) Biberiye kokusunun koklanması sırasında oluşan EEG şekli, (b) Kekik kokusunun koklanması sırasında oluşan EEG şekli, (c) Karanfil kokusunun koklanması sırasında oluşan EEG şekli, (d) Nane kokusunun koklanması sırasında oluşan EEG şekli

## 2.2. Yöntem

EEG verilerinin incelenmesi ve sınıflandırılmasında ilk adımı oluşturan sinyalin alınması aşaması beyinden gelen sinyallerin tespit edilip kaydedilmesi esasına dayanır ve beyin sinyallerinin kaydedilmesinde sıklıkla EEG yöntemi kullanılır. EEG sinyallerinin kayıtları sırasında işaretin kas hareketlerinden etkilenmemesi için kişinin hiç hareket etmemesi istenir. Bunun yanı sıra çevresel etkenlerin de EEG sinyalini olumsuz etkilememesi için gürültü kaynaklarından arındırılmış bir ortamda kayıt yapılmasına özen gösterilir. Bu tez çalışmasında incelenen EEG verilerinin kaydedilmesinde nasıl bir yol izlendiği daha önceki başlıklarda verilmiştir.

Sinyalin alınması ve verilerin kaydedilmesinden sonra gerçekleşen önileme, öznitelik çıkarma ve sınıflandırma aşamalarında hangi yöntemlerin tercih edildiği ise aşağıda ayrıntılı olarak verilmiştir.

### 2.2.1. Önileme

Mikro voltlar mertebesinde çok küçük genlik değerlerine sahip olan EEG işaretleri hem kayıtlar esnasında oluşabilecek istemsiz göz kırpma, soluk alıp verme gibi fiziksel etkenlerden hem de gürültü gibi çevresel etkenlerden ötürü bozulmaya uğrayabilmektedir.

Bu bozucu etkileri en aza indirmek için EEG işaretlerine çeşitli önileme yöntemleri uygulanmaktadır.

#### 2.2.1.1. Birim Değişinti Normalleştirilmesi

Veri kümelerinde oluşacak olan fiziksel ve çevresel bozulmaları önlemek için yapılan önileme yöntemlerinde biri olan *birim değişinti normalleştirilmesi* Eşitlik 2.1'de verildiği gibi her bir verinin kendi standart sapma değerine bölünmesi ile gerçekleştirilmektedir.

Eşitlikte  $X_{norm1}$  birim değişinti normalleştirilmesi yapılmış veri olmak üzere  $X$  bir denemeye ait işareti ve  $X_{std}$  bu işaretin standart sapmasını ifade etmektedir.

$$X_{norm1} = \frac{X}{X_{std}} \quad (2.1)$$

### 2.2.1.2. Asgari – Azami Normalleştirilmesi

Veri kümelerinde oluşacak olan fiziksel ve çevresel bozulmaları önlemek için yapılan ön işleme yöntemlerinden bir diğeri de Eşitlik 2.2’de verilen *asgari-azami normalleştirilmesi*’dir. Bu yöntemde veri grubu içindeki en büyük ve en küçük değerler alınır ve diğer tüm veriler bu değerlere göre normalleştirilir. Bu işlem ile yapılması amaçlanan bütün verileri en büyük değer 1, en küçük değer ise 0 olacak şekilde 0-1 aralığına yaymaktır.

Eşitlikte  $X_{norm2}$  *asgari-azami normalleştirilmesi* yapılmış veri olmak üzere  $X$  bir denemeye ait işareti,  $X_{max}$  bu işarettaki en büyük değeri,  $X_{min}$  ise bu işarettaki en küçük değeri ifade etmektedir.

$$X_{norm2} = \frac{X - X_{min}}{X_{max} - X_{min}} \quad (2.2)$$

### 2.2.2. Öznitelik Çıkarma Yöntemleri

Beyin sinyal verisinin istenmeyen kısımları çıkarılıp özetlendikten sonra sinyalin analiz edilmesi aşamasıdır. Verideki özellikleri çözümlmek için çeşitli algoritmalar kullanılır ve öznitelik vektörü elde edilir. Çok farklı yöntemler kullanılarak EEG işaretlerini tanımlayan çeşitli öznitelikler çıkarmak mümkündür. Çıkarılan her öznitelik EEG verisini tanımlayabilir ancak bu hepsinin sınıflandırma aşamasında yüksek doğruluk sağlayacağı anlamına gelmez. Bu nedenle yüksek sınıflandırma doğruluğu ile sonuçlanacak bir öznitelik vektörü elde etmek önemli bir aşamadır.

#### 2.2.2.1. İstatistiksel Yöntemler

Bu tez çalışmasında aritmetik ortalama, basıklık, çarpıklık, türev, türev toplamı ve tekil değer ayrışımı olmak üzere 6 adet istatistiksel yöntem tercih edilmiş olup ayrıntılı açıklamaları alt başlıklarda verilmiştir.

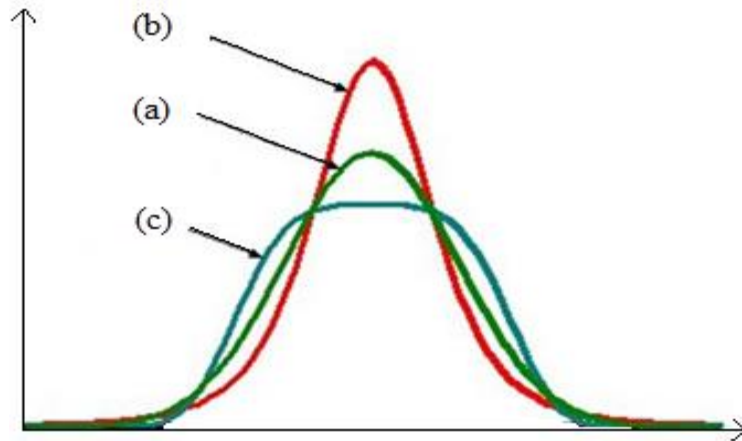
### 2.2.2.1.1. Aritmetik Ortalama

Eşitlik 2.3'te verilen aritmetik ortalama bir veri dizisinin tüm elemanları toplamının veri sayısına bölümü ile elde edilir. Burada  $N$  toplam veri sayısını,  $X_i$  ise ortalaması hesaplanacak olan verilerinden her birini göstermektedir. Aritmetik ortalaması hesaplanacak olan bir matris ise sonuçta her sütunun ortalamasını içeren bir satır vektörü elde edilir. Aritmetik ortalama Matlab ortamında ise *mean* fonksiyonu ile hesaplanmıştır.

$$\bar{X} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N X_i = \frac{1}{N} (X_1 + X_2 + \dots + X_N) \quad (2.3)$$

### 2.2.2.1.2. Basıklık

Basıklık bir verinin normal dağılım gösterip göstermediğini incelemenin yöntemlerindedir. Bu yöntem ile normal dağılım eğrisinin ne kadar dik veya basık olduğuna bakılır. Şekil 2.9'da da gösterildiği gibi basıklık katsayısının sıfır olması tam çan eğrisini yani normal dağılımlı veriyi ifade eder. Basıklık katsayısı pozitif ise eğri normal şekline göre daha dik, negatif ise eğri normale göre daha basık olur [43].



Şekil 2.9. Bir serideki basıklık durumları, (a) Normal dağılımlı seri, (b) Dik dağılımlı seri, (c) Basık dağılımlı seri

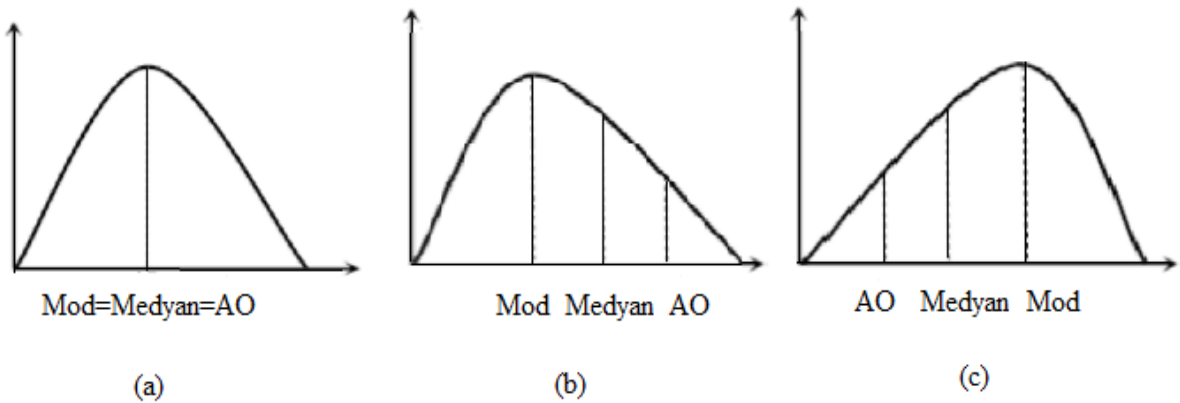
Eşitlik 2.4'te verilen basıklık formülünde  $X(i)$  basıklığı hesaplanan işareti,  $\bar{X}$  1'den  $N$ ' ye kadarki  $i$  değerlerinin aritmetik ortalamasını göstermektedir. Basıklık Matlab ortamında ise *kurtosis* fonksiyonu ile hesaplanmıştır.

$$B = \frac{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (X(i) - \bar{X})^4}{\left(\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (X(i) - \bar{X})^2\right)^2} \quad (2.4)$$

### 2.2.2.1.3. Çarpıklık

Çarpıklık bir veri dağılımının simetrisinden ne kadar uzaklaştığını ifade eder. Verinin normal dağılımından uzaklaşarak sağa ya da sola yönelen bir şekil alması yani normal dağılımından farklılık göstermesi çarpıklıktır.  $+\infty$  ile  $-\infty$  arasında değerler alabilen çarpıklık katsayısı normal dağılıma sahip bir veride sıfır olur. Şeklin sağa ve sola meyletmesine göre çarpıklık negatif ve ya pozitif çarpıklık olarak iki durumda incelenir.

Şekil 2.10'da da gösterildiği gibi aritmetik ortalama (AO) medyandan (sayısal bir veri serisi sıralandığında ortada kalan değer) büyük ise dağılım sağa çarpık yani pozitif olur. AO medyandan küçük olduğunda ise negatif çarpık olur ve dağılım sola yönelir. Aritmetik ortalama ve mod (bir sayısal veri serisinde en çok tekrarlanan değer) birbirinden uzaklaştıkça çarpıklık artar [43].



Şekil 2.10. Bir serideki çarpıklık durumları, (a) Simetrik bir seri, (b) Sağa çarpık (pozitif) seri, (c) Sola çarpık (negatif) seri

Eşitlik 2.5'te verilen çarpıklık formülünde  $X(i)$  çarpıklığı hesaplanan işareti göstermektedir. Burada  $\bar{X}$ , 1'den  $N$ ' ye kadarki  $i$  değerlerinin aritmetik ortalamasıdır. Çarpıklık Matlab'da *skewness* fonksiyonu ile hesaplanmıştır.

$$\zeta = \frac{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (X(i) - \bar{X})^3}{\left(\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (X(i) - \bar{X})^2\right)^{3/2}} \quad (2.5)$$

#### 2.2.2.1.4. Türev ve Türev Toplamı

Türev bir fonksiyon eğrisinin üzerinde seçilen herhangi bir noktadan eğriye teğet olacak şekilde çizilen bir doğrunun eğimi olarak tanımlanır [44]. Matlab ortamında *diff* fonksiyonu ile hesaplanan türevde boyutu bire eşit olmayan bir dizi boyunca  $X$ ' in bitişik öğeleri arasındaki fark alınarak işlem yapılır. Eşitlik 2.6'da verildiği gibi  $X$   $n$  boyutunda bir vektör ise türev alma işlemi sonucunda  $n - 1$  boyutunda bir vektöre dönüşür.

$$\text{diff} [X(n)] = [X(2) - X(1) \quad X(3) - X(2) \quad \dots \quad X(n) - X(n - 1)] \quad (2.6)$$

Türevi alınan işaretin toplamı ise Eşitlik 2.7'de verilmiştir. Türev toplamı  $TT$  ile  $X(n)$  fonksiyonunun uzunluğu ise  $N$  ile gösterilmiştir. Bu fonksiyon ile boyutu bire eşit olmayan bir dizi veya vektörde tüm elemanlar toplanır. Toplamı hesaplanacak olan bir matris ise sonuçta her sütunun toplamını içeren bir satır vektörü elde edilir.

$$TT = \sum_{n=1}^N (X(n) - X(n - 1)) \quad (2.7)$$

Matlab ortamında toplama *sum* fonksiyonu ile ifade edilmiş olup türev toplamı *sum(diff)* fonksiyonu ile hesaplanmıştır.

### 2.2.2.1.5. Tekil Değer Ayrışımı

Tekil değer ayrışımı (TDA) bir matrise uygulanabilecek olan çarpanlara ayırma yollarından biridir. Lineer bir cebir metodu olan TDA verilen bir matristeki problemleri belirleyerek nümerik cevaplar bulmaya yarar [53].  $A$  bir matris ve  $A \in \mathbb{R}^{m \times n}$  ( $m \geq n$ ),  $U = \mathbb{R}^{m \times m}$ ,  $V = \mathbb{R}^{n \times n}$ ,  $H = \mathbb{R}^{m \times n}$  olmak üzere;  $A$  matrisi;

$$A = UHV^T \quad (2.8)$$

biçiminde çarpanlarına ayrılır [54].

Eşitlik 2.8'de;

- $U = [u_1 \ u_2 \ \dots \ u_m]$
- $V = [v_1 \ v_2 \ \dots \ v_n]$
- $H \in \mathbb{R}^{m \times n}$  sözde köşegen (pseudodiagonal) bir matristir.  $H =$  köşegen  $(\sigma_1, \sigma_2, \dots, \sigma_{\min(m,n)})$  ve burada  $\sigma_1 \geq \sigma_2 \geq \dots \geq \sigma_{\min(m,n)} \geq 0$  olmak üzere sıralıdır [55].  $H$  matrisinin köşegen elemanları  $A$  matrisinin tekil değerleridir.

Tekil değer ayrışımı Matlab ortamında Singular Value Decomposition'dan gelen *svd* komutu ile yapılmaktadır.

### 2.2.2.2. Dalgacık Dönüşümü

Zaman ve genlik bilgisi mevcut olan bir işaretin frekans bilgileri hakkında yorum yapmak için Fourier dönüşümü (FD) uygulanmaktadır. Zaman-genlik eksenindeki işarete uygulanan FD, işareti bütün bir zaman ekseninde aldığı için anlık bilgiler hakkında yorum yapmak konusunda yetersiz kalmaktadır. FD'nin bu yetersizliği geliştirilen kısa zaman Fourier dönüşümü (KZFD) ile giderilmektedir. Bu sayede durağan olmayan bir sinyal sabit bir pencere kullanılarak durağan hale getirilir. KZFD'de kullanılan pencerenin sabit olması ile oluşan sınırlandırma ise Dalgacık Dönüşümü (DD)'nde kullanılan ölçeklenebilir bir pencere ile çözüme kavuşturulmaktadır. Bu sayede işarete bulunan yüksek frekans bileşenlerinin detaylarını analiz etmek için sıkıştırılmış, düşük frekans bileşenlerini açmak için ise geniş bir pencere kullanılır [45], [46]. Böylece FD işaretin yalnızca frekans

bilgilerini sunarken, DD ile frekans bilgilerinin yanında aynı anda zaman bileşeni hakkında da bilgilere erişilebilmektedir [47], [48].

Durağan olmayan ve zamanla değişen sinyaller için geliştirilen DD yönteminde  $X(t)$  analiz edilecek olan giriş sinyalini ve  $\psi_{x,y}(t)$  de ana dalgacık fonksiyonunu ifade etmektedir [49]. Buradaki dalgacık ortalaması sıfır olan sınırlı süreli bir dalga şeklindedir. Bir  $\psi_{x,y}(t)$  fonksiyonunun dalgacık olması için sürekli bir fonksiyon olmalı ve  $x \rightarrow \infty$  için sıfıra gitmelidir. Ana dalgacık  $\psi_{x,y}(t)$ ' nin formülü Eşitlik 2.9'da verildiği gibi hesaplanır. Eşitlik 2.10'da da giriş sinyali ile çarpımı sonucu oluşan DD formülü verilmiştir.

$$\psi_{x,y}(t) = x^{-\frac{1}{2}} \psi\left(\frac{t-y}{x}\right) \quad (2.9)$$

$$DD(y, x) = x^{-1/2} \int_{-\infty}^{+\infty} X(t) \psi\left(\frac{t-y}{x}\right) dt \quad (2.10)$$

Eşitliklerde;

$t$ : Zaman

$x$ : Dilasyon parametresi (ölçek)

$y$ : Öteleme parametresi'dir.

Bu tez çalışmasında Dalgacık Dönüşümü tabanlı öznelikler Eşitlik 2.11'de verildiği gibi Dalgacık Dönüşümü Katsayılarının (DDK) mutlak değerinin ortalaması ( $DDK_o$ ) ve Eşitlik 2.12'de verildiği gibi mutlak değerinin standart sapması ( $DDK_s$ ) hesaplanarak çıkarılmıştır. Burada  $L_{DDK}$  dalgacık dönüşümü katsayılarının uzunluğu olmak üzere denklemler aşağıda verilmiştir.

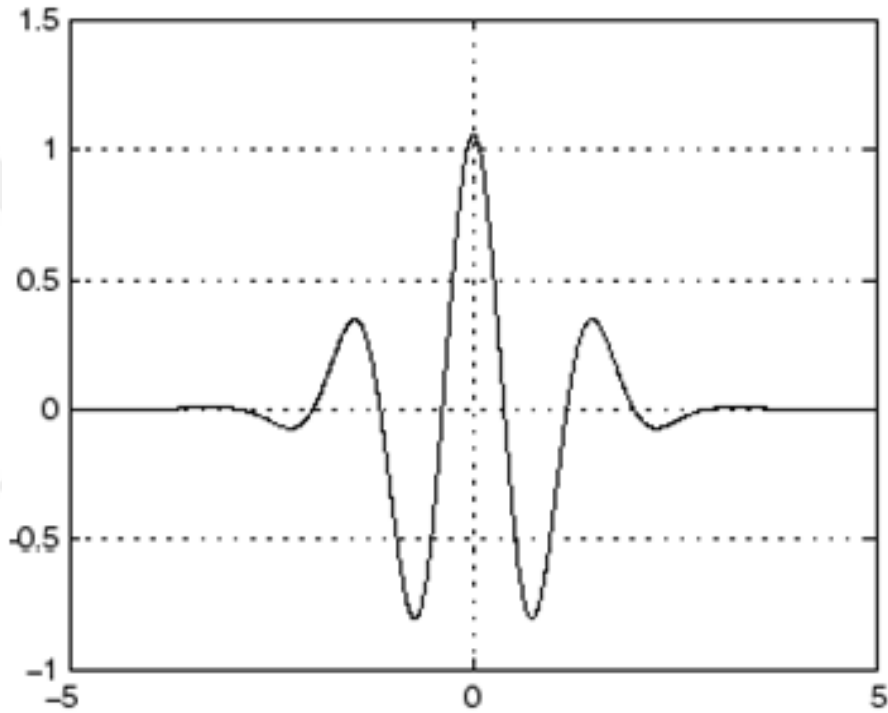
$$DDK_o = \frac{\sum |DDK|}{L_{DDK}} \quad (2.11)$$

$$DDK_s = \sqrt{\frac{\sum (|DDK| - DDK_o)^2}{L_{DDK}}} \quad (2.12)$$



Literatürde birçok çalışmada tercih edilen Dalgacık dönüşümünde önemli hususlardan biri de çalışmada uygun dalgacığın seçilmesidir. DD' de kullanılan bazı dalgacık fonksiyonları; Haar, Meyer, Symlets, Morlet, Meksican Hat, Daubechies, Coiflets ve Gaussian dalgacıklarıdır. Bu tez çalışmasında Gaussian dalgacığı tercih edilmiş olup grafiği Şekil 2.11'de verilmiştir.

Matlab ortamında *gaus* fonksiyonu ile ifade edilen Gaussian dalgacığının birden fazla çeşidi bulunmaktadır. Bu tez çalışmasında Gaussian 1 dalgacığı kullanılmıştır.



Şekil 2.11. Gaussian dalgacığı

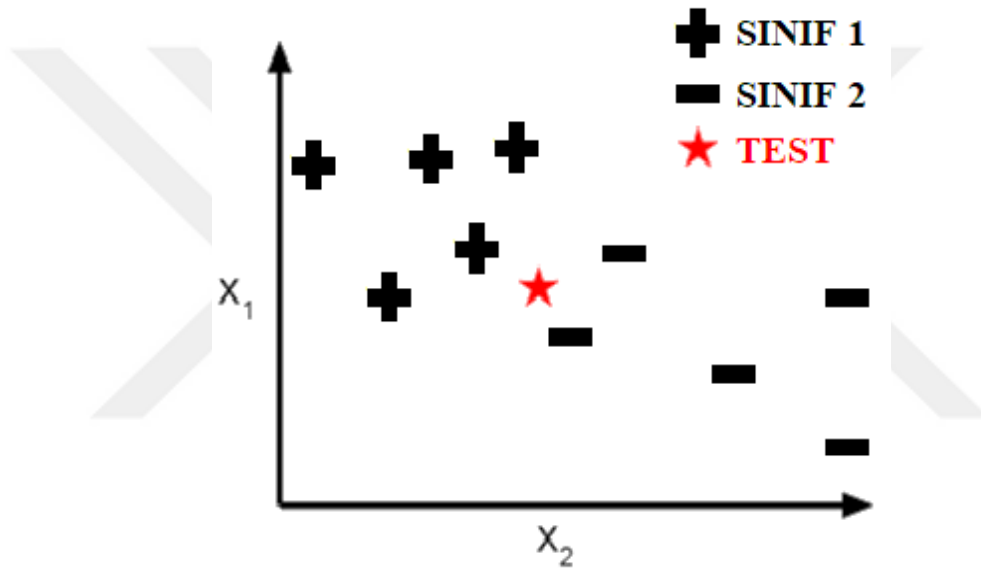
### 2.2.3. *k*-En Yakın Komşuluk Sınıflandırma Yöntemi

Sınıflandırma EEG işaretinin bir önceki adımda elde edilen öznitelik vektörü ışığında hangi sınıfa ait olduğuna karar verme aşamasıdır. Çeşitli sınıflandırma yöntemleri kullanarak elde edilen bu sınıf atama işleminin hızlı ve yüksek doğrulukla gerçekleşmesi istenir.

Bu tez çalışmasında öznitelikleri çıkarılmış olan verilerin sınıflandırılmasında EEG tabanlı çalışmalarda sıklıkla kullanılan ve yüksek sınıflandırma doğruluğuyla sonuçlanan

$k$ -en yakın komşuluk (  $k$ -EYK ) yöntemi tercih edilmiştir.  $k$ -EYK ilk olarak 1970'lerin başında parametrik olmayan bir teknik olarak istatistiksel tahmin ve örüntü tanımada kullanılmıştır [57]. Literatürde uygulama örnekleri mevcut olan bu yöntemin kolay uygulanabilirliği ve yüksek doğruluk ile sonuçlanması tercih edilme nedenleri arasındadır.

$k$ -EYK algoritmasına göre eğitim ve test kümesi olarak ayrılan verilerden test kümesinden alınan bir örneğin kendisine yakın eğitim örneklerine bakılır ve kendisine en az uzaklıkta bulunan (en yakın) eğitim örneğinin ağırlıkta olduğu sınıfa göre sınıfı belirlenir. Bu bağlamda  $k$ -EYK denetlemeli bir öğrenme algoritmasıdır [58].

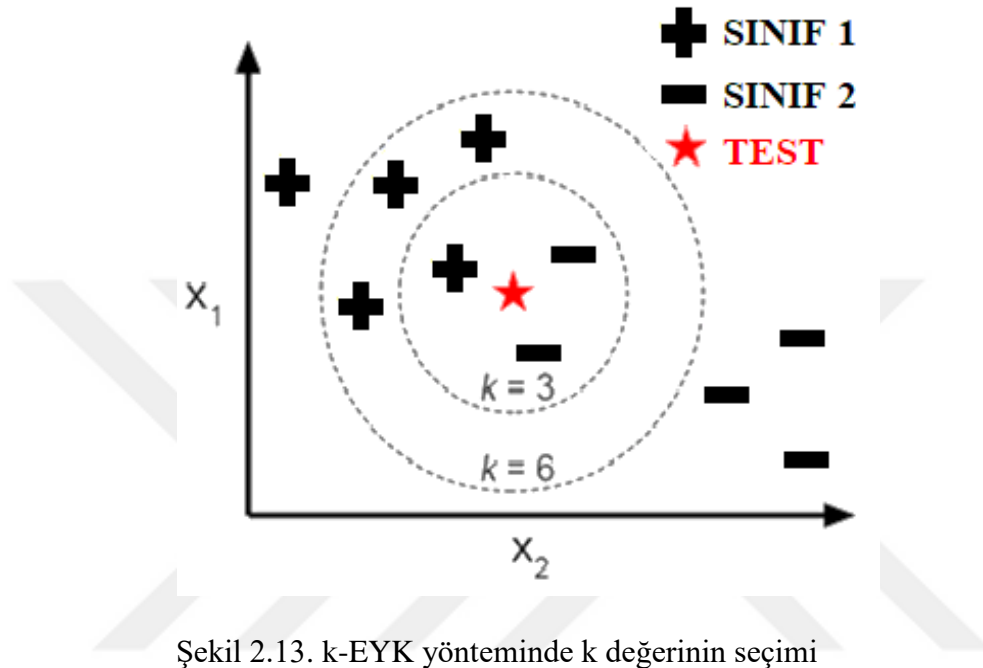


Şekil 2.12. Öznitelik vektörleri ve sınıfı belirlenecek test örneğinin iki boyutlu gösterimi

Şekil 2.12'de  $k$ -EYK yöntemi için basit bir uygulama verilmiştir. Öznitelikler artı ve eksi olan iki sınıf olarak gösterilmiştir. Kırmızı yıldız ise sınıfı belirlenecek olan test örneğini temsil etmektedir. Burada sınıfı belli olmayan ve artı ya da eksi bir sınıfa dahil olduğu bilinen yıldız örneğinin hangi sınıfa ait olduğunu belirlerken bir  $k$  değeri seçilmelidir.

Şekil 2.13'te gösterildiği gibi  $k$  değeri 3 seçildiğinde etiketsiz yıldız örneğine en yakın 3 eğitim verisi içerisinde 2 tanesinin eksi sınıf, 1 tanesinin ise artı sınıf olduğu görülür. Dolayısıyla çoğunluklu sınıf eksi olduğu için yıldız örneğinin sınıfı eksi sınıf olarak tayin edilir. Yine Şekil 2.13'te  $k$  değerinin 6 seçildiği durumda ise etiketsiz test örneği olan yıldız 6 yakın eğitim örneğine bakılır ve bunların 4 tanesinin artı sınıfa, 2

tanisinin ise eksi sınıfa ait olduğu görülür. Bu durumda ise yıldız örneğinin çoğunluklu sınıf olan artı sınıfa ait olduğu sonucuna varılacaktır. Bu örnekte de görüldüğü gibi  $k$  parametresi seçimi sonucu değiştirmekte olup uygun  $k$  değerini seçebilmek önemli bir husustur.



$k$ -EYK yönteminin yüksek doğrulukla sonuçlanması iki temel unsura bağlıdır [59]. Birincisi; en yüksek doğruluğu verecek  $k$  değerinin belirlenmesi, ikincisi ise test örneği ile eğitim örnekleri arasındaki uzaklığın hesaplanma yöntemidir. Bu uzaklığın hesaplanmasında manhattan, kosinüs, hamming, öklid, şehir bloğu ve minkosvki gibi çeşitli yöntemler kullanılmaktadır. En sık kullanılan yöntemlerden biri Eşitlik 2.13'te verilen Öklid bağıntısı olup bu tez çalışmasında da tercih edilmiştir.

$$Uzaklık = d(X_{ik}, X_{jk}) = (|X_{i1} - X_{j1}|^2 + |X_{i2} - X_{j2}|^2 + \dots)^{1/2} \quad (2.13)$$

Eşitlikteki  $X_{ik}$  ve  $X_{jk}$  sırasıyla sınıflandırması yapılan test örneği ve sınıfı belli olan komşu eğitim örneğidir.

En iyi  $k$  parametresinin bulunmasında da çeşitli yaklaşımlar mevcuttur. Bunlardan bazıları K-kat çapraz onaylama (K-fold cross-validation), birini dışarda bırak çapraz onaylama (leave one-out cross-validation) ve rastgele alt örnekleme çapraz onaylama

(random subsampling cross-validation)'dır [60]. Bu tez çalışmasında rastgele alt örnekleme yöntemi ile en ideal  $k$  parametresi hesaplanmıştır.

#### 2.2.4. Sınıflandırma Sonucu Değerlendirmesi

Sınıflandırma işleminde veriler eğitim ve test kümesi olarak iki veri kümesinden oluşur. Burada sınıfı belli olmayan test kümesinin elemanlarının sınıfı belli olan eğitim kümesi kullanılarak sınıfına karar verilmeye çalışılır. Yapılan bu sınıf belirleme işleminde ne kadar iyi bir performans elde edildiğini anlamanın çeşitli yöntemleri mevcuttur. Bunlar arasında duyarlılık, seçicilik, hata matrisi, sınıflandırma doğruluğu (SD) gibi çoğaltılabilecek yöntemler vardır. Bu tez çalışmasında sınıflandırma performansında ölçüt olarak SD alınmıştır. Eşitlik 2.14'te verildiği gibi SD tüm koku verileri ( $TK$ ) içinden doğru olarak sınıflandırılmış olan koku verilerinin ( $DK$ ) yüzde kaç olduğunu ifade etmektedir [38].

$$SD = \frac{DK}{TK} \times 100 \quad (2.14)$$

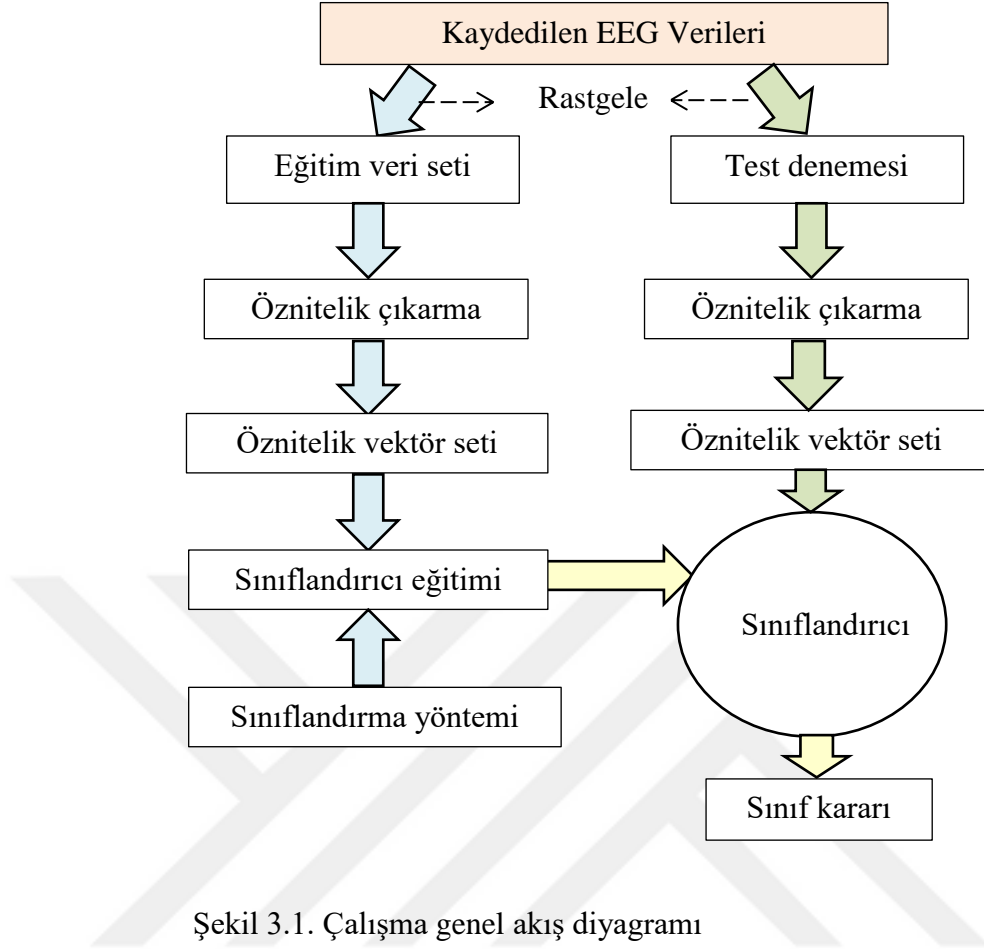
### 3. BULGULAR

Bu tez çalışması Ek 1’de bilgileri verilen 8 erkek gönüllü birey ile yapılmıştır. Gönüllülerin, soğuk baskı yöntemiyle elde edilmiş olan yüzde yüz doğal nane, karanfil, kekik ve biberiye yağlarını koklamasıyla oluşan EEG verileri kullanılmıştır. EEG verilerinin kaydedilmesi aşamasında nasıl bir yol izlendiği daha önceki başlıklarda ayrıntılarıyla verilmiştir. Tüm gönüllüler için 4 ayrı oturumda her bir kokudan eşit sayıda olacak şekilde 160 EEG verisi kaydedilmiştir. Yapılan çalışmalarda Şekil 3.1’de verildiği gibi EEG verileri rastgele eğitim ve test veri seti olacak şekilde bölünmüş öznitelik çıkarma ve sınıflandırma aşamalarında bu doğrultuda çalışılmıştır. İlk aşamada istatistiksel yöntemler ve dalgacık dönüşümü yöntemi tüm kişilere uygulanırken 160 adet EEG verisi yarısı eğitim yarısı test veri kümesi olacak şekilde rastgele bölünmüştür. Böylece tek bir koku sınıfına ait olan 40 adet EEG verisinin 20’si eğitim, 20’si test veri kümesini oluşturmuştur. Öznitelik çıkarma aşamasında 8 ayrı gönüllünün her biri için ayrı yöntemler denenmiş ve en yüksek sınıflandırma doğruluğunu veren öznitelik çıkarma yöntemi tercih edilmiştir. Tercih edilen öznitelik çıkarma yönteminin sonucunda oluşan sınıflandırma doğruluğunun belirlenmesinde doğrusal ayırma ayracı, destek vektör makineleri, naive bayes ve  $k$ -en yakın komşuluk algoritması kullanılmış ve yapılan denemeler sonucunda en yüksek SD’yi veren  $k$ -EYK tercih edilmiştir.

Deneylerde 8 gönüllü bireye koklatılmak üzere sunulan 4 adet kokunun her biri bir sınıf olmak üzere sınıflar Tablo 3.1’de verilmiştir. Kaydedilen veriler neticesinde nane, karanfil, kekik ve biberiye yağlarının ikili kombinasyonları halinde Tablo 3.2’de verildiği gibi 2 sınıflı sınıflandırmalar yapılmıştır. Her bir kişi için toplamda 6 sınıflandırma sonucu elde edilmiştir.

Tablo 3.1. Koku sınıfları

SINIFLAR	KOKU
Sınıf1 (S1)	NANE
Sınıf2 (S2)	KARANFİL
Sınıf3 (S3)	KEKİK
Sınıf4 (S4)	BİBERİYE



Tablo 3.2. İkili sınıflandırma durumları

SINIFLANDIRMA DURUMLARI	1. KOKU	2. KOKU
S1-S2	NANE	KARANFİL
S1-S3	NANE	KEKİK
S1-S4	NANE	BİBERİYE
S2-S3	KARANFİL	KEKİK
S2-S4	KARANFİL	BİBERİYE
S3-S4	KEKİK	BİBERİYE

8 gönüllü birey için Tablo 3.2’de verilen 6 sınıflandırma durumu hesaplanmış ve toplamda 48 adet SD elde edilmiştir. Her bir kişi için elde edilen SD’ler ve hangi öznitelik çıkarma yöntemleri kullanılarak elde edildiği aşağıda başlıklar halinde ayrıntılı olarak verilmiştir.

### 3.1. İstatistiksel Yöntemler Kullanılarak Yapılan $k$ -EYK Sınıflandırması

Bu tez çalışmasında EEG verilerinden öznitelik çıkarma aşamasında aritmetik ortalama, basıklık, çarpıklık, türev, türev toplamı ve tekil değer ayrışımı olmak üzere toplamda 6 adet istatistiksel yöntem (İY) tercih edilmiştir. Bu İY'ler içerisinde hangisinin hangi gönüllü bireyden elde edilen EEG işaretinde etkili olduğunu tespit etmek için bazı denemeler yapılmıştır. Tüm kişiler için 6 öznitelik çıkarma yöntemi kullanılırken her bir sınıflandırma durumu için önışleme aşamasında üç durum gözden geçirilmiştir. Bunlardan biri Norm<sub>1</sub> olarak verilen birim değışinti normalleştirmesinin, bir diğeri Norm<sub>2</sub> ile ifade edilen asgari-azami normalleştirmesinin yapıldığı durumlardır. Sonuncusu ise Norm<sub>x</sub> olarak gösterilen ve önışleme yapılmadığı anlamına gelen durumdur.

8 gönüllü bireyin her biri için Tablo 3.2'de verilen 6 adet ikili sınıflandırma durumu gerçekleştirilirken deneylerde EEG kayıtları alınan 17 kanalın (ch) tümü kullanılmıştır. Tüm katılımcılar için söylenilen şartlarda Matlab ortamında 100 koşum sonucunda  $k$ -EYK sınıflandırma yöntemi kullanılarak elde edilen sınıflandırma doğrulukları (SD), standart sapmalar (STD) ve en yüksek SD'nin elde edildiği  $k$  değeri aşağıda tablolarla verilmiştir.

Tablo 3.3. AI kişisine ait EEG verilerinden elde edilen İY sonuçları

Sınıflandırma	Önişleme	SD(%)	STD	$k$
S1-S2	Norm <sub>x</sub>	59.00	5.08	1
	Norm <sub>1</sub>	59.65	4.71	20
	Norm <sub>2</sub>	56.33	4.48	5
S1-S3	Norm <sub>x</sub>	57.83	5.46	1
	Norm <sub>1</sub>	59.88	4.94	7
	Norm <sub>2</sub>	57.00	4.68	20
S1-S4	Norm <sub>x</sub>	57.80	5.01	8
	Norm <sub>1</sub>	60.23	4.86	3
	Norm <sub>2</sub>	56.23	4.48	12
S2-S3	Norm <sub>x</sub>	56.38	5.48	7
	Norm <sub>1</sub>	60.50	4.39	6
	Norm <sub>2</sub>	56.78	5.32	3
S2-S4	Norm <sub>x</sub>	57.00	4.64	5
	Norm <sub>1</sub>	60.45	3.88	8
	Norm <sub>2</sub>	56.90	5.36	25
S3-S4	Norm <sub>x</sub>	58.38	5.36	6
	Norm <sub>1</sub>	60.00	4.06	10
	Norm <sub>2</sub>	56.33	4.48	12

Tablo 3.4. EC kişisine ait EEG verilerinden elde edilen İY sonuçları

Sınıflandırma	Önişleme	SD(%)	STD	<i>k</i>
<b>S1-S2</b>	Norm <sub>x</sub>	62.23	5.63	3
	Norm <sub>1</sub>	64.47	5.25	16
	Norm <sub>2</sub>	60.05	4.65	3
<b>S1-S3</b>	Norm <sub>x</sub>	61.20	5.97	3
	Norm <sub>1</sub>	65.67	4.47	3
	Norm <sub>2</sub>	60.83	4.61	22
<b>S1-S4</b>	Norm <sub>x</sub>	62.87	5.29	10
	Norm <sub>1</sub>	66.77	5.35	15
	Norm <sub>2</sub>	60.45	4.42	24
<b>S2-S3</b>	Norm <sub>x</sub>	62.45	4.99	4
	Norm <sub>1</sub>	64.60	4.71	5
	Norm <sub>2</sub>	60.20	4.58	18
<b>S2-S4</b>	Norm <sub>x</sub>	62.08	5.77	5
	Norm <sub>1</sub>	64.52	5.10	16
	Norm <sub>2</sub>	59.95	5.16	15
<b>S3-S4</b>	Norm <sub>x</sub>	60.75	6.25	3
	Norm <sub>1</sub>	64.33	4.83	21
	Norm <sub>2</sub>	59.90	4.83	3

Tablo 3.5. MO kişisine ait EEG verilerinden elde edilen İY sonuçları

Sınıflandırma	Önişleme	SD(%)	STD	<i>k</i>
<b>S1-S2</b>	Norm <sub>x</sub>	56.27	4.41	1
	Norm <sub>1</sub>	62.30	4.37	3
	Norm <sub>2</sub>	58.15	4.95	5
<b>S1-S3</b>	Norm <sub>x</sub>	56.57	3.93	7
	Norm <sub>1</sub>	62.08	5.10	8
	Norm <sub>2</sub>	59.00	5.41	14
<b>S1-S4</b>	Norm <sub>x</sub>	55.55	5.24	7
	Norm <sub>1</sub>	61.33	5.29	13
	Norm <sub>2</sub>	58.72	4.55	14
<b>S2-S3</b>	Norm <sub>x</sub>	56.25	5.65	8
	Norm <sub>1</sub>	59.77	5.70	1
	Norm <sub>2</sub>	58.22	5.33	1
<b>S2-S4</b>	Norm <sub>x</sub>	56.63	4.75	7
	Norm <sub>1</sub>	62.20	5.18	3
	Norm <sub>2</sub>	58.85	5.39	3
<b>S3-S4</b>	Norm <sub>x</sub>	55.42	4.84	1
	Norm <sub>1</sub>	62.20	4.95	3
	Norm <sub>2</sub>	58.63	4.45	15



Tablo 3.6. TB kişisine ait EEG verilerinden elde edilen İY sonuçları

Sınıflandırma	Önişleme	SD(%)	STD	<i>k</i>
<b>S1-S2</b>	Norm <sub>x</sub>	62.07	4.45	1
	Norm <sub>1</sub>	58.40	4.89	1
	Norm <sub>2</sub>	56.10	4.90	4
<b>S1-S3</b>	Norm <sub>x</sub>	61.47	5.34	12
	Norm <sub>1</sub>	57.50	5.14	25
	Norm <sub>2</sub>	56.75	4.93	3
<b>S1-S4</b>	Norm <sub>x</sub>	61.88	4.88	7
	Norm <sub>1</sub>	57.57	6.25	7
	Norm <sub>2</sub>	56.65	5.21	13
<b>S2-S3</b>	Norm <sub>x</sub>	60.60	5.02	7
	Norm <sub>1</sub>	57.28	4.92	7
	Norm <sub>2</sub>	56.12	4.47	11
<b>S2-S4</b>	Norm <sub>x</sub>	61.67	4.23	3
	Norm <sub>1</sub>	58.17	5.48	20
	Norm <sub>2</sub>	56.35	5.25	3
<b>S3-S4</b>	Norm <sub>x</sub>	62.15	4.52	1
	Norm <sub>1</sub>	56.23	5.56	25
	Norm <sub>2</sub>	56.47	5.22	3

Tablo 3.7. SA kişisine ait EEG verilerinden elde edilen İY sonuçları

Sınıflandırma	Önişleme	SD(%)	STD	<i>k</i>
<b>S1-S2</b>	Norm <sub>x</sub>	62.88	4.56	3
	Norm <sub>1</sub>	58.60	5.07	11
	Norm <sub>2</sub>	58.30	4.73	11
<b>S1-S3</b>	Norm <sub>x</sub>	61.40	4.45	17
	Norm <sub>1</sub>	57.72	4.53	19
	Norm <sub>2</sub>	57.78	5.61	19
<b>S1-S4</b>	Norm <sub>x</sub>	61.13	4.75	13
	Norm <sub>1</sub>	58.05	4.60	15
	Norm <sub>2</sub>	58.28	5.08	11
<b>S2-S3</b>	Norm <sub>x</sub>	61.32	5.45	17
	Norm <sub>1</sub>	58.48	4.70	10
	Norm <sub>2</sub>	58.35	5.00	19
<b>S2-S4</b>	Norm <sub>x</sub>	60.90	5.24	11
	Norm <sub>1</sub>	58.18	5.51	5
	Norm <sub>2</sub>	59.40	4.43	5
<b>S3-S4</b>	Norm <sub>x</sub>	61.17	4.74	15
	Norm <sub>1</sub>	57.25	4.74	4
	Norm <sub>2</sub>	58.45	5.29	25

Tablo 3.8. MAB kişisine ait EEG verilerinden elde edilen İY sonuçları

Sınıflandırma	Önişleme	SD(%)	STD	<i>k</i>
<b>S1-S2</b>	Norm <sub>x</sub>	64.43	5.13	5
	Norm <sub>1</sub>	61.38	5.68	7
	Norm <sub>2</sub>	61.08	4.99	6
<b>S1-S3</b>	Norm <sub>x</sub>	63.45	5.57	19
	Norm <sub>1</sub>	62.33	5.13	11
	Norm <sub>2</sub>	61.33	4.90	16
<b>S1-S4</b>	Norm <sub>x</sub>	63.88	4.78	4
	Norm <sub>1</sub>	62.97	4.89	11
	Norm <sub>2</sub>	61.05	4.98	4
<b>S2-S3</b>	Norm <sub>x</sub>	63.15	5.65	5
	Norm <sub>1</sub>	62.05	6.22	9
	Norm <sub>2</sub>	61.73	5.53	7
<b>S2-S4</b>	Norm <sub>x</sub>	63.25	4.20	23
	Norm <sub>1</sub>	61.85	5.82	19
	Norm <sub>2</sub>	62.48	4.96	11
<b>S3-S4</b>	Norm <sub>x</sub>	62.90	5.00	5
	Norm <sub>1</sub>	62.15	5.34	19
	Norm <sub>2</sub>	62.08	6.02	14

Tablo 3.9. OA kişisine ait EEG verilerinden elde edilen İY sonuçları

Sınıflandırma	Önişleme	SD(%)	STD	<i>k</i>
<b>S1-S2</b>	Norm <sub>x</sub>	64.83	4.99	3
	Norm <sub>1</sub>	58.35	5.32	7
	Norm <sub>2</sub>	61.83	4.85	9
<b>S1-S3</b>	Norm <sub>x</sub>	64.78	4.40	5
	Norm <sub>1</sub>	58.00	4.52	3
	Norm <sub>2</sub>	62.53	5.28	11
<b>S1-S4</b>	Norm <sub>x</sub>	65.95	5.83	13
	Norm <sub>1</sub>	58.43	4.47	24
	Norm <sub>2</sub>	62.25	6.40	11
<b>S2-S3</b>	Norm <sub>x</sub>	65.95	4.95	3
	Norm <sub>1</sub>	58.40	4.58	19
	Norm <sub>2</sub>	62.90	5.57	19
<b>S2-S4</b>	Norm <sub>x</sub>	65.98	5.01	5
	Norm <sub>1</sub>	58.15	5.55	3
	Norm <sub>2</sub>	62.23	5.13	17
<b>S3-S4</b>	Norm <sub>x</sub>	65.43	4.87	5
	Norm <sub>1</sub>	58.18	4.60	16
	Norm <sub>2</sub>	62.35	4.76	7

Tablo 3.10. AH kişisine ait EEG verilerinden elde edilen İY sonuçları

Sınıflandırma	Önişleme	SD(%)	STD	<i>k</i>
S1-S2	Norm <sub>x</sub>	59.95	5.10	8
	Norm <sub>1</sub>	59.75	5.15	20
	Norm <sub>2</sub>	61.53	5.29	17
S1-S3	Norm <sub>x</sub>	59.70	5.08	17
	Norm <sub>1</sub>	59.78	4.87	23
	Norm <sub>2</sub>	62.30	4.77	21
S1-S4	Norm <sub>x</sub>	58.95	5.53	24
	Norm <sub>1</sub>	58.15	4.78	25
	Norm <sub>2</sub>	61.53	4.53	19
S2-S3	Norm <sub>x</sub>	60.18	5.58	5
	Norm <sub>1</sub>	59.58	5.20	5
	Norm <sub>2</sub>	61.85	4.99	8
S2-S4	Norm <sub>x</sub>	59.08	4.90	1
	Norm <sub>1</sub>	60.43	5.06	7
	Norm <sub>2</sub>	61.50	4.97	15
S3-S4	Norm <sub>x</sub>	59.30	5.29	21
	Norm <sub>1</sub>	59.65	5.93	1
	Norm <sub>2</sub>	61.43	5.30	13

### 3.2. Dalgacık Dönüşümü Kullanılarak Yapılan *k*-EYK Sınıflandırması

8 gönüllü bireyin dört adet baharat yağını koklaması sonucunda elde edilen EEG verilerinden öznitelik çıkarılması aşamasında kullanılan bir diğer yöntem de dalgacık dönüşümüdür. Burada da tıpkı istatistiksel yöntemlerde olduğu gibi 8 gönüllü bireyin tümüne aynı yöntem uygulanmıştır. Dalgacık dönüşümü yöntemi uygulanırken 5:120 ölçeğinde Gaussian 1 dalgacığı kullanılmış ve Norm<sub>1</sub>, Norm<sub>2</sub> ve Norm<sub>x</sub> olmak üzere üç önişleme durumu değerlendirilmiştir.

6 adet ikili sınıflandırma durumu gerçekleştirilirken deneylerde EEG kayıtları alınan 17 kanalın (ch) tümü kullanılmıştır. Tüm katılımcılar için söylenen şartlarda 100 koşum sonucunda, *k*-EYK sınıflandırma yöntemi kullanılarak elde edilen sınıflandırma doğrulukları (SD), standart sapmalar (STD) ve en yüksek SD'nin elde edildiği *k* değeri aşağıda tablolarla verilmiştir. Elde edilen sonuçlar neticesinde kişiler için etkin bir yöntem olup olmadığına karar verilmiştir.

Tablo 3.11. AI kişisine ait EEG verilerinden elde edilen DD sonuçları

Sınıflandırma	Önişleme	SD(%)	STD	<i>k</i>
<b>S1-S2</b>	Norm <sub>x</sub>	60.07	4.45	19
	Norm <sub>1</sub>	57.42	5.32	17
	Norm <sub>2</sub>	57.67	5.75	9
<b>S1-S3</b>	Norm <sub>x</sub>	60.40	4.90	17
	Norm <sub>1</sub>	56.50	5.55	1
	Norm <sub>2</sub>	57.70	5.50	3
<b>S1-S4</b>	Norm <sub>x</sub>	60.07	4.35	15
	Norm <sub>1</sub>	57.75	4.83	6
	Norm <sub>2</sub>	56.15	4.46	15
<b>S2-S3</b>	Norm <sub>x</sub>	59.67	5.38	3
	Norm <sub>1</sub>	57.60	4.61	19
	Norm <sub>2</sub>	57.42	4.48	23
<b>S2-S4</b>	Norm <sub>x</sub>	60.15	4.42	1
	Norm <sub>1</sub>	57.35	5.11	9
	Norm <sub>2</sub>	56.75	5.00	21
<b>S3-S4</b>	Norm <sub>x</sub>	59.75	5.11	18
	Norm <sub>1</sub>	57.92	5.00	1
	Norm <sub>2</sub>	56.37	4.97	23

Tablo 3.12. EC kişisine ait EEG verilerinden elde edilen DD sonuçları

Sınıflandırma	Önişleme	SD(%)	STD	<i>k</i>
<b>S1-S2</b>	Norm <sub>x</sub>	56.00	2.41	7
	Norm <sub>1</sub>	59.50	4.83	24
	Norm <sub>2</sub>	62.25	4.47	3
<b>S1-S3</b>	Norm <sub>x</sub>	58.00	5.10	5
	Norm <sub>1</sub>	62.00	3.68	1
	Norm <sub>2</sub>	61.50	5.29	13
<b>S1-S4</b>	Norm <sub>x</sub>	57.25	3.42	21
	Norm <sub>1</sub>	58.75	5.55	6
	Norm <sub>2</sub>	63.00	3.68	3
<b>S2-S3</b>	Norm <sub>x</sub>	56.75	5.57	5
	Norm <sub>1</sub>	58.25	5.00	1
	Norm <sub>2</sub>	62.75	7.94	7
<b>S2-S4</b>	Norm <sub>x</sub>	58.25	2.89	6
	Norm <sub>1</sub>	56.50	4.11	5
	Norm <sub>2</sub>	31.25	4.60	1
<b>S3-S4</b>	Norm <sub>x</sub>	56.50	5.02	7
	Norm <sub>1</sub>	58.25	3.34	4
	Norm <sub>2</sub>	61.75	7.82	13

Tablo 3.13. MO kişisine ait EEG verilerinden elde edilen DD sonuçları

Sınıflandırma	Önişleme	SD(%)	STD	<i>k</i>
<b>S1-S2</b>	Norm <sub>x</sub>	55.50	6.43	15
	Norm <sub>1</sub>	55.00	5.89	14
	Norm <sub>2</sub>	55.75	7.36	1
<b>S1-S3</b>	Norm <sub>x</sub>	53.50	4.74	1
	Norm <sub>1</sub>	55.50	5.37	1
	Norm <sub>2</sub>	59.75	6.50	19
<b>S1-S4</b>	Norm <sub>x</sub>	54.25	4.41	4
	Norm <sub>1</sub>	56.25	5.17	25
	Norm <sub>2</sub>	61.00	5.16	21
<b>S2-S3</b>	Norm <sub>x</sub>	56.25	5.03	17
	Norm <sub>1</sub>	56.00	6.68	1
	Norm <sub>2</sub>	59.75	6.50	17
<b>S2-S4</b>	Norm <sub>x</sub>	53.25	6.87	5
	Norm <sub>1</sub>	55.25	4.63	25
	Norm <sub>2</sub>	58.00	4.38	6
<b>S3-S4</b>	Norm <sub>x</sub>	58.75	5.92	13
	Norm <sub>1</sub>	52.75	5.06	4
	Norm <sub>2</sub>	57.50	3.90	7

Tablo 3.14. TB kişisine ait EEG verilerinden elde edilen DD sonuçları

Sınıflandırma	Önişleme	SD(%)	STD	<i>k</i>
<b>S1-S2</b>	Norm <sub>x</sub>	64.50	3.50	14
	Norm <sub>1</sub>	67.50	6.34	8
	Norm <sub>2</sub>	68.75	3.95	25
<b>S1-S3</b>	Norm <sub>x</sub>	60.50	4.37	11
	Norm <sub>1</sub>	70.25	4.63	8
	Norm <sub>2</sub>	68.25	7.82	7
<b>S1-S4</b>	Norm <sub>x</sub>	62.00	3.07	3
	Norm <sub>1</sub>	68.50	4.74	20
	Norm <sub>2</sub>	66.25	4.28	7
<b>S2-S3</b>	Norm <sub>x</sub>	60.75	5.89	1
	Norm <sub>1</sub>	65.25	4.77	14
	Norm <sub>2</sub>	66.00	2.93	11
<b>S2-S4</b>	Norm <sub>x</sub>	63.75	4.12	10
	Norm <sub>1</sub>	68.00	4.97	15
	Norm <sub>2</sub>	69.25	4.09	9
<b>S3-S4</b>	Norm <sub>x</sub>	63.25	4.41	14
	Norm <sub>1</sub>	66.50	6.68	9
	Norm <sub>2</sub>	67.25	8.03	25

Tablo 3.15. SA kişisine ait EEG verilerinden elde edilen DD sonuçları

Sınıflandırma	Önişleme	SD(%)	STD	<i>k</i>
<b>S1-S2</b>	Norm <sub>x</sub>	57.75	5.58	1
	Norm <sub>1</sub>	65.50	4.83	22
	Norm <sub>2</sub>	60.25	4.15	5
<b>S1-S3</b>	Norm <sub>x</sub>	60.50	6.43	5
	Norm <sub>1</sub>	62.75	3.98	17
	Norm <sub>2</sub>	61.00	5.67	14
<b>S1-S4</b>	Norm <sub>x</sub>	58.50	3.94	17
	Norm <sub>1</sub>	64.00	4.59	14
	Norm <sub>2</sub>	56.50	5.55	12
<b>S2-S3</b>	Norm <sub>x</sub>	58.25	5.77	5
	Norm <sub>1</sub>	65.25	3.42	16
	Norm <sub>2</sub>	60.00	6.23	16
<b>S2-S4</b>	Norm <sub>x</sub>	58.00	4.68	13
	Norm <sub>1</sub>	61.50	4.44	11
	Norm <sub>2</sub>	61.25	5.92	18
<b>S3-S4</b>	Norm <sub>x</sub>	60.75	6.46	22
	Norm <sub>1</sub>	67.75	3.98	25
	Norm <sub>2</sub>	59.00	5.55	25

Tablo 3.16. MAB kişisine ait EEG verilerinden elde edilen DD sonuçları

Sınıflandırma	Önişleme	SD(%)	STD	<i>k</i>
<b>S1-S2</b>	Norm <sub>x</sub>	61.25	3.95	22
	Norm <sub>1</sub>	67.75	6.39	3
	Norm <sub>2</sub>	60.25	3.62	3
<b>S1-S3</b>	Norm <sub>x</sub>	61.75	4.72	22
	Norm <sub>1</sub>	65.25	4.77	11
	Norm <sub>2</sub>	58.75	3.17	5
<b>S1-S4</b>	Norm <sub>x</sub>	60.25	3.80	22
	Norm <sub>1</sub>	60.75	6.01	25
	Norm <sub>2</sub>	60.25	4.32	5
<b>S2-S3</b>	Norm <sub>x</sub>	61.25	4.89	23
	Norm <sub>1</sub>	64.00	5.79	5
	Norm <sub>2</sub>	59.75	2.48	10
<b>S2-S4</b>	Norm <sub>x</sub>	63.25	3.12	11
	Norm <sub>1</sub>	65.75	5.00	3
	Norm <sub>2</sub>	56.00	7.09	11
<b>S3-S4</b>	Norm <sub>x</sub>	62.75	4.92	12
	Norm <sub>1</sub>	66.25	5.03	3
	Norm <sub>2</sub>	57.00	4.97	17

Tablo 3.17. OA kişisine ait EEG verilerinden elde edilen DD sonuçları

Sınıflandırma	Önişleme	SD(%)	STD	<i>k</i>
<b>S1-S2</b>	Norm <sub>x</sub>	62.50	6.34	5
	Norm <sub>1</sub>	58.00	3.68	3
	Norm <sub>2</sub>	61.25	8.75	24
<b>S1-S3</b>	Norm <sub>x</sub>	61.25	5.17	1
	Norm <sub>1</sub>	59.25	6.35	1
	Norm <sub>2</sub>	60.75	5.53	1
<b>S1-S4</b>	Norm <sub>x</sub>	60.75	3.91	10
	Norm <sub>1</sub>	58.25	4.09	7
	Norm <sub>2</sub>	63.25	5.89	7
<b>S2-S3</b>	Norm <sub>x</sub>	62.25	5.19	5
	Norm <sub>1</sub>	60.25	3.42	7
	Norm <sub>2</sub>	59.75	2.99	11
<b>S2-S4</b>	Norm <sub>x</sub>	61.25	4.89	21
	Norm <sub>1</sub>	60.25	6.81	7
	Norm <sub>2</sub>	62.75	4.47	17
<b>S3-S4</b>	Norm <sub>x</sub>	59.75	6.39	3
	Norm <sub>1</sub>	59.00	4.59	6
	Norm <sub>2</sub>	61.00	3.57	5

Tablo 3.18. AH kişisine ait EEG verilerinden elde edilen DD sonuçları

Sınıflandırma	Önişleme	SD(%)	STD	<i>k</i>
<b>S1-S2</b>	Norm <sub>x</sub>	60.50	2.58	9
	Norm <sub>1</sub>	54.00	4.28	24
	Norm <sub>2</sub>	64.00	5.29	21
<b>S1-S3</b>	Norm <sub>x</sub>	60.75	5.40	5
	Norm <sub>1</sub>	57.00	6.21	5
	Norm <sub>2</sub>	62.25	5.19	4
<b>S1-S4</b>	Norm <sub>x</sub>	56.50	3.94	21
	Norm <sub>1</sub>	55.25	4.15	17
	Norm <sub>2</sub>	63.25	5.40	20
<b>S2-S3</b>	Norm <sub>x</sub>	61.00	5.29	7
	Norm <sub>1</sub>	56.00	4.28	10
	Norm <sub>2</sub>	62.00	6.74	17
<b>S2-S4</b>	Norm <sub>x</sub>	57.25	3.62	14
	Norm <sub>1</sub>	55.25	5.82	13
	Norm <sub>2</sub>	62.75	3.80	4
<b>S3-S4</b>	Norm <sub>x</sub>	60.50	4.68	24
	Norm <sub>1</sub>	53.75	5.92	11
	Norm <sub>2</sub>	61.75	6.46	4

### 3.3. Etkin Yöntemler ile Elde Edilen k-EYK Sınıflandırması

İlk aşamada tüm kişilerde en iyi sınıflandırma doğruluğunun elde edileceği etkin öznitelik çıkarma yöntemini bulmak için istatistiksel yöntemler ve dalgacık dönüşümü kullanılarak denemeler yapılmıştır. 160 EEG verisi yarısı eğitim (80), yarısı test (80) veri kümesini oluşturacak şekilde rastgele bölünmüştür. Böylece tüm kişilerde her bir kokudan kaydedilen 40 adet koklama verisinin 20'si eğitim, 20'si test verisi olmuştur. Öncelikle aritmetik ortalama, basıklık, çarpıklık, türev, türev toplamı ve tekil değer ayrışımı olmak üzere toplamda 6 adet istatistiksel yöntem aynı anda kullanılmıştır. Norm<sub>1</sub>, Norm<sub>2</sub> ve Norm<sub>x</sub> önişleme durumları için ayrı ayrı olmak üzere tüm ikili sınıflandırma seçenekleri hesaplanmıştır. Burada 17 kanalın tümü kullanılmış olup SD, STD ve en yüksek SD' nin elde edildiği  $k$  değeri bulunmuştur. Ardından dalgacık dönüşümünde Gaussian 1 dalgacığı kullanılarak 5:120 ölçeğinde hesaplamalar yapılmıştır. Burada da Norm<sub>1</sub>, Norm<sub>2</sub> ve Norm<sub>x</sub> önişleme durumları için ayrı ayrı olmak üzere tüm ikili sınıflandırma seçenekleri hesaplanmış ve 17 kanalın tümü kullanılmıştır.

Bu aşamada ise uygulanan denemelerin sonucu göz önünde bulundurularak kişiler için en yüksek SD'nin elde edildiği etkin yöntemler tespit edilmiştir. Dalgacık dönüşümü ya da istatistiksel yöntem kullanılarak kişiye özgü bulunan bu sonuçların hangi önişleme yöntemi ile elde edildiği aşağıda alt başlıklarda verilmiştir.  $k$ -EYK sınıflandırma yöntemi kullanılarak elde edilen SD, STD ve en yüksek SD'nin elde edildiği  $k$  değeri yine burada tablolarda gösterilmiştir. Burada istatistiksel yöntemlerden basıklık  $\bar{O}_1$ , çarpıklık  $\bar{O}_2$ , aritmetik ortalama  $\bar{O}_3$ , türev toplamı  $\bar{O}_4$ , tekil değer ayrışımı  $\bar{O}_5$  ve türev  $\bar{O}_6$  ile ifade edilmiştir.

Her bir kişi için bulunan etkin yöntem kullanılarak 17 kanalın tümü tek tek denenmiş ve hangi kanaldan en yüksek SD'nin elde edildiği tespit edilmiştir. Ek 3'te tüm kişilere ait tablolar halinde verilmiş olan sonuçlar aşağıda da grafikler ile gösterilmiştir.

Etkin yöntemler değerlendirilirken 1.durumda EEG verileri %50'si eğitim, %50'si test veri kümesini oluşturacak şekilde rastgele bölünmüş ve sonuçlar elde edilmiştir. 2.durumda ise EEG verilerinin %75'i eğitim, %25'i test veri kümesini oluşturacak şekilde rastgele bölünmüş ve bu durumda da sonuçlar elde edilmiştir. Tüm kişiler için bu iki durumda elde edilen sonuçlar aşağıdaki alt başlıklarda ayrıntılı olarak tablolar halinde verilmiştir. Her bir kişi için en yüksek SD'nin elde edildiği etkin yöntem kullanılarak

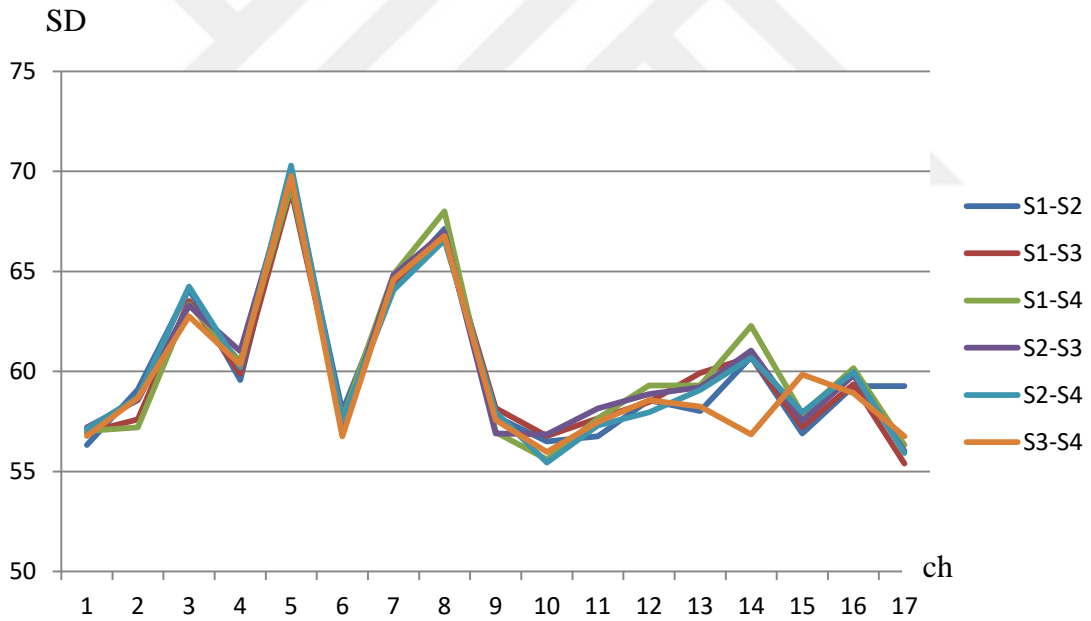


hesaplanan öznitelik vektörlerinin dağılım şekilleri eğitim ve test veri kümelerinde ayrı ayrı olmak üzere yine bu başlıklarda gösterilmiştir.

### 3.3.1. AI Kişisine Ait Sonuçlar

AI kişinin 4 adet baharat yağı kokusunu koklaması sonucunda oluşan EEG verileri üzerinde yapılan çalışmalar sonucunda  $k$ -EYK sınıflandırma yöntemiyle bulunan en yüksek SD aşağıdaki şartlarda elde edilmiştir;

- ✓ Öznitelik çıkarma yöntemi: Basıklık, çarpıklık, aritmetik ortalama ve tekil değer ayrışımı
- ✓ Önışleme: Norm<sub>2</sub>
- ✓ Kanal (ch): En yüksek SD'nin elde edildiği kanal Şekil 3.2'de görüldüğü gibi 5.kanaldır.



Şekil 3.2. AI kişisine ait etkin değerler için tüm kanallara ait SD'ler

Birinci durumda EEG verileri %50 eğitim, %50 test verisi olacak şekilde rastgele bölünmüş ve 6 sınıflandırma durumu için elde edilen SD, STD,  $k$  değeri, önışleme durumu ve kullanılan kanal Tablo 3.19'da verilmiştir.

Tablo 3.19. Birinci durumda AI kişisi için elde edilen etkin yöntem sonuçları

Sınıflandırma	Öznitelik	Önişleme	SD (%)	STD	<i>k</i> değeri	ch
S1-S2	Ö <sub>1</sub> ,Ö <sub>2</sub> ,Ö <sub>3</sub> ,Ö <sub>5</sub>	Norm <sub>2</sub>	69.82	4.34	10	5
S1-S3	Ö <sub>1</sub> ,Ö <sub>2</sub> ,Ö <sub>3</sub> ,Ö <sub>5</sub>	Norm <sub>2</sub>	69.05	4.64	6	5
S1-S4	Ö <sub>1</sub> ,Ö <sub>2</sub> ,Ö <sub>3</sub> ,Ö <sub>5</sub>	Norm <sub>2</sub>	69.30	5.99	7	5
S2-S3	Ö <sub>1</sub> ,Ö <sub>2</sub> ,Ö <sub>3</sub> ,Ö <sub>5</sub>	Norm <sub>2</sub>	69.70	5.00	8	5
S2-S4	Ö <sub>1</sub> ,Ö <sub>2</sub> ,Ö <sub>3</sub> ,Ö <sub>5</sub>	Norm <sub>2</sub>	70.30	5.32	1	5
S3-S4	Ö <sub>1</sub> ,Ö <sub>2</sub> ,Ö <sub>3</sub> ,Ö <sub>5</sub>	Norm <sub>2</sub>	69.77	5.40	1	5

İkinci durumda EEG verileri %75 eğitim, %25 test verisi olacak şekilde rastgele bölünmüş ve 6 sınıflandırma durumu için elde edilen SD, STD, *k* değeri, önişleme durumu ve kullanılan kanal Tablo 3.20’de verilmiştir.

Tablo 3.20. İkinci durumda AI kişisi için elde edilen etkin yöntem sonuçları

Sınıflandırma	Öznitelik	Önişleme	SD (%)	STD	<i>k</i> değeri	ch
S1-S2	Ö <sub>1</sub> ,Ö <sub>2</sub> ,Ö <sub>3</sub> ,Ö <sub>5</sub>	Norm <sub>2</sub>	73.65	7.03	14	5
S1-S3	Ö <sub>1</sub> ,Ö <sub>2</sub> ,Ö <sub>3</sub> ,Ö <sub>5</sub>	Norm <sub>2</sub>	72.35	7.40	1	5
S1-S4	Ö <sub>1</sub> ,Ö <sub>2</sub> ,Ö <sub>3</sub> ,Ö <sub>5</sub>	Norm <sub>2</sub>	73.80	8.26	18	5
S2-S3	Ö <sub>1</sub> ,Ö <sub>2</sub> ,Ö <sub>3</sub> ,Ö <sub>5</sub>	Norm <sub>2</sub>	73.70	7.05	7	5
S2-S4	Ö <sub>1</sub> ,Ö <sub>2</sub> ,Ö <sub>3</sub> ,Ö <sub>5</sub>	Norm <sub>2</sub>	73.85	8.37	3	5
S3-S4	Ö <sub>1</sub> ,Ö <sub>2</sub> ,Ö <sub>3</sub> ,Ö <sub>5</sub>	Norm <sub>2</sub>	73.45	8.06	12	5

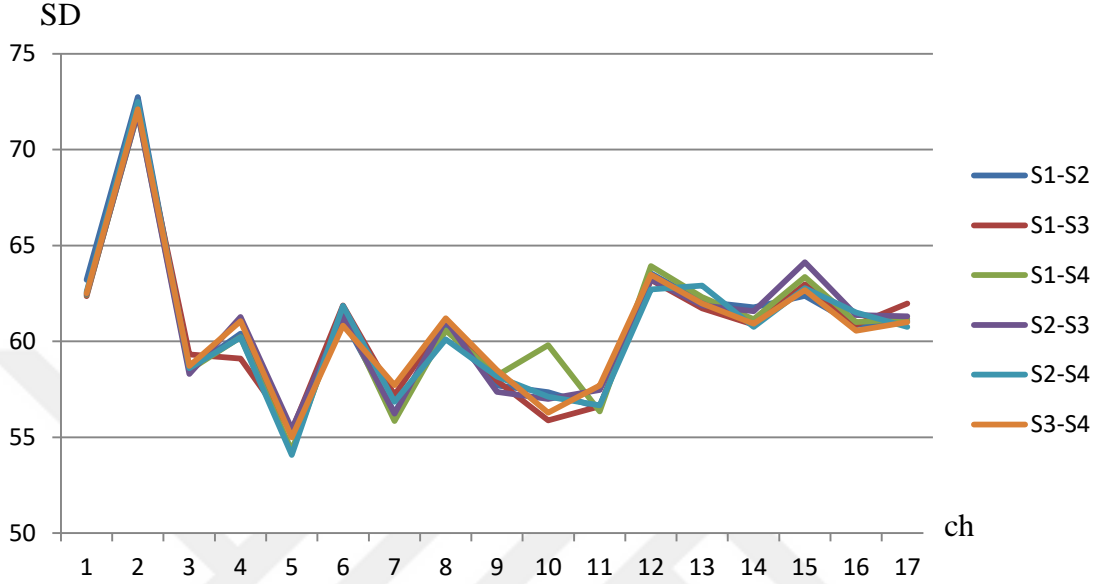
Sonuç olarak tablolar incelendiğinde en yüksek SD’nin EEG verilerinin %75 eğitim, %25 test veri kümesi olarak bölüdüğü 2. durumda elde edildiği görülmektedir. AI kişisinde etkin öznitelik çıkarma yöntemi olarak basıklık, çarpıklık, aritmetik ortalama ve tekil değer ayrışımı olmak üzere 4 adet yöntem kullanıldığı için 3 boyutu aşan öznitelik vektörlerinin dağılımı gösterilmemiştir.

### 3.3.2. EC Kişisine Ait Sonuçlar

EC kişinin 4 adet baharat yağı kokusunu koklaması sonucunda oluşan EEG verileri üzerinde yapılan çalışmalar sonucunda *k*-EYK sınıflandırma yöntemiyle bulunan en yüksek SD aşağıdaki şartlarda elde edilmiştir;

- ✓ Öznitelik çıkarma yöntemi: Basıklık

- ✓ Önişleme: Norm<sub>1</sub>
- ✓ Kanal (ch): En yüksek SD'nin elde edildiği kanal Şekil 3.3'de görüldüğü gibi 2.kanaldır.



Şekil 3.3. EC kişisine ait etkin değerler için tüm kanallara ait SD'ler

Birinci durumda EEG verileri %50 eğitim, %50 test verisi olacak şekilde rastgele bölünmüş ve 6 sınıflandırma durumu için elde edilen SD, STD,  $k$  değeri, önişleme durumu ve kullanılan kanal Tablo 3.21'de verilmiştir.

Tablo 3.21. Birinci durumda EC kişisi için elde edilen etkin yöntem sonuçları

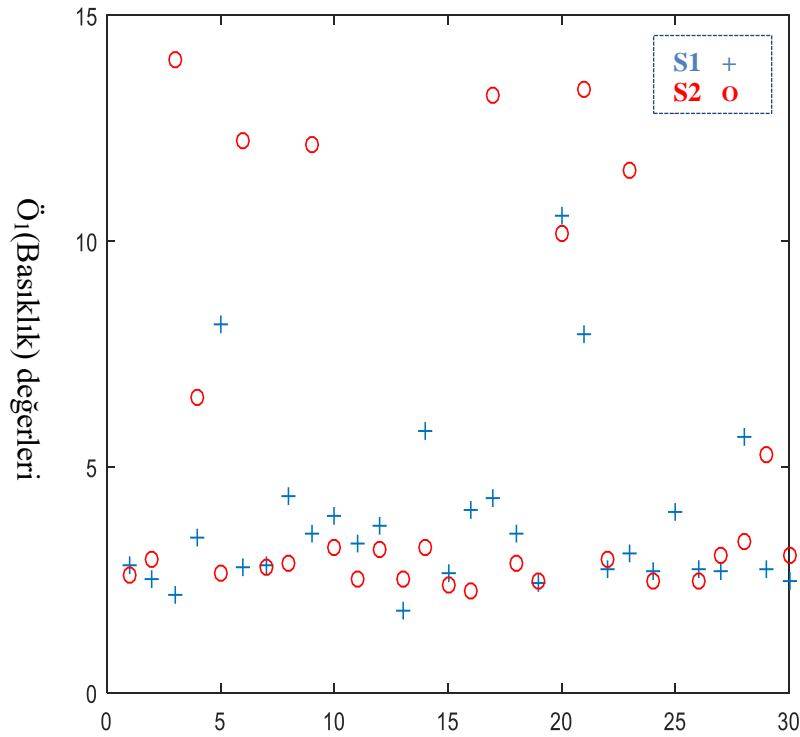
Sınıflandırma	Öznitelik	Önişleme	SD (%)	STD	$k$ değeri	ch
S1-S2	Ö <sub>1</sub>	Norm <sub>1</sub>	72.75	4.48	4	2
S1-S3	Ö <sub>1</sub>	Norm <sub>1</sub>	72.05	4.73	5	2
S1-S4	Ö <sub>1</sub>	Norm <sub>1</sub>	71.90	4.68	3	2
S2-S3	Ö <sub>1</sub>	Norm <sub>1</sub>	71.93	5.44	5	2
S2-S4	Ö <sub>1</sub>	Norm <sub>1</sub>	72.50	5.05	5	2
S3-S4	Ö <sub>1</sub>	Norm <sub>1</sub>	72.10	5.42	8	2

İkinci durumda EEG verileri %75 eğitim, %25 test verisi olacak şekilde rastgele bölünmüş ve 6 sınıflandırma durumu için elde edilen SD, STD,  $k$  değeri, önişleme durumu ve kullanılan kanal Tablo 3.22'de verilmiştir.

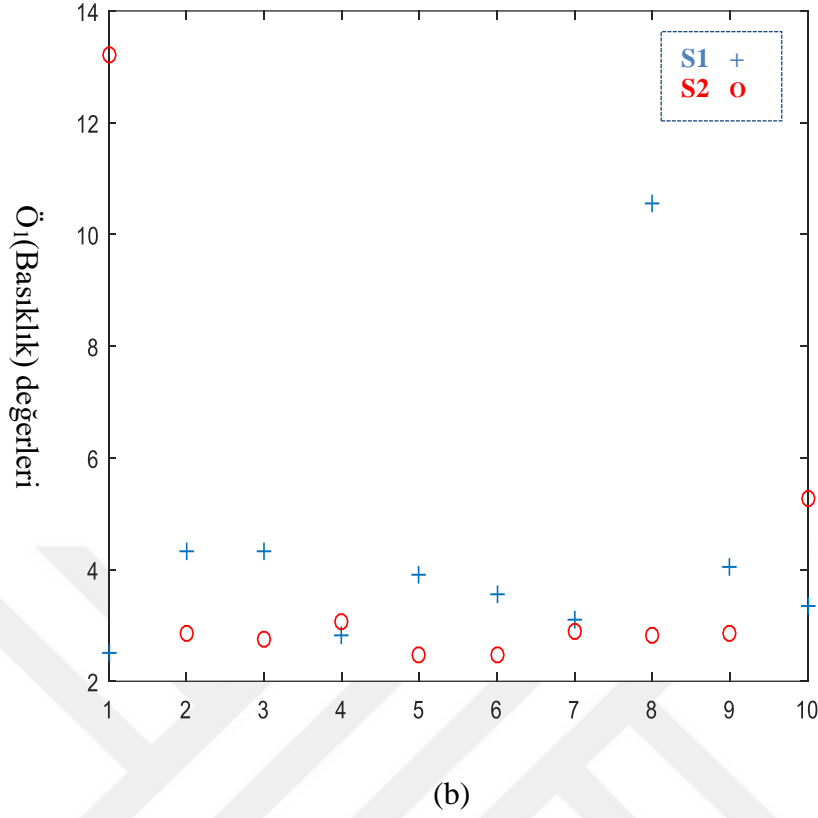
Tablo 3.22. İkinci durumda EC kişisi için elde edilen etkin yöntem sonuçları

Sınıflandırma	Öznitelik	Önişleme	SD (%)	STD	$k$ değeri	Ch
S1-S2	$\ddot{O}_1$	Norm <sub>1</sub>	77.75	6.52	3	2
S1-S3	$\ddot{O}_1$	Norm <sub>1</sub>	76.85	7.50	9	2
S1-S4	$\ddot{O}_1$	Norm <sub>1</sub>	75.60	7.53	3	2
S2-S3	$\ddot{O}_1$	Norm <sub>1</sub>	76.00	7.75	3	2
S2-S4	$\ddot{O}_1$	Norm <sub>1</sub>	76.75	7.66	10	2
S3-S4	$\ddot{O}_1$	Norm <sub>1</sub>	76.05	7.49	7	2

Sonuç olarak tablolar incelendiğinde en yüksek SD'nin EEG verilerinin %75 eğitim, %25 test veri kümesi olarak bölüdüğü 2. durumda elde edildiği görülmektedir. EC kişisinde öznitelik çıkarma yöntemi olarak basıklık ( $\ddot{O}_1$ ) kullanılmış olup bu durumda hesaplanan öznitelik vektörlerinin dağılımı Şekil 3.4'te verilmiştir. Bu dağılımda en yüksek SD'nin elde edildiği nane (S1) ve karanfil (S2) kokularının sınıflandırılması durumunda elde edilen sonuçlar kullanılmıştır. Burada Şekil 3.4 (a) eğitim verileri üzerinden hesaplanan öznitelikleri gösterirken, Şekil 3.4 (b) test verileri üzerinden elde edilen öznitelikleri göstermektedir.



(a)

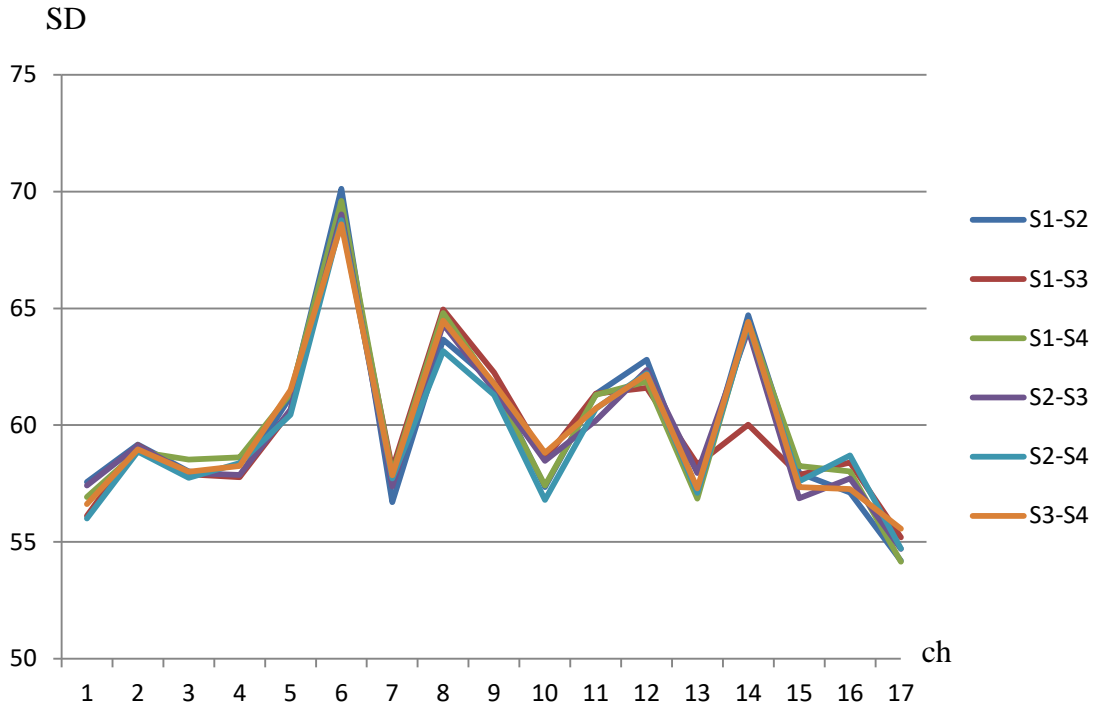


Şekil 3.4. EC kişisi için S1-S2 sınıflarına ait öznitelikler, (a) Eğitim veri seti, (b) Test veri seti

### 3.3.3. MO Kişisine Ait Sonuçlar

MO kişininin 4 adet baharat yağı kokusunu koklaması sonucunda oluşan EEG verileri üzerinde yapılan çalışmalar sonucunda *k*-EYK sınıflandırma yöntemiyle bulunan en yüksek SD aşağıdaki şartlarda elde edilmiştir;

- ✓ Öznitelik çıkarma yöntemi: Dalgacık dönüşümü (Gaussian 1)
- ✓ Önişleme: Norm<sub>2</sub>
- ✓ Kanal (ch): En yüksek SD'nin elde edildiği kanal Şekil 3.5'te görüldüğü gibi 6.kanaldır.



Şekil 3.5. MO kişisine ait etkin değerler için tüm kanallara ait SD'ler

Birinci durumda EEG verileri %50 eğitim, %50 test verisi olacak şekilde rastgele bölünmüş ve 6 sınıflandırma durumu için elde edilen SD, STD,  $k$  değeri, önerileme durumu ve kullanılan kanal Tablo 3.23'te verilmiştir.

Tablo 3.23. Birinci durumda MO kişisi için elde edilen etkin yöntem sonuçları

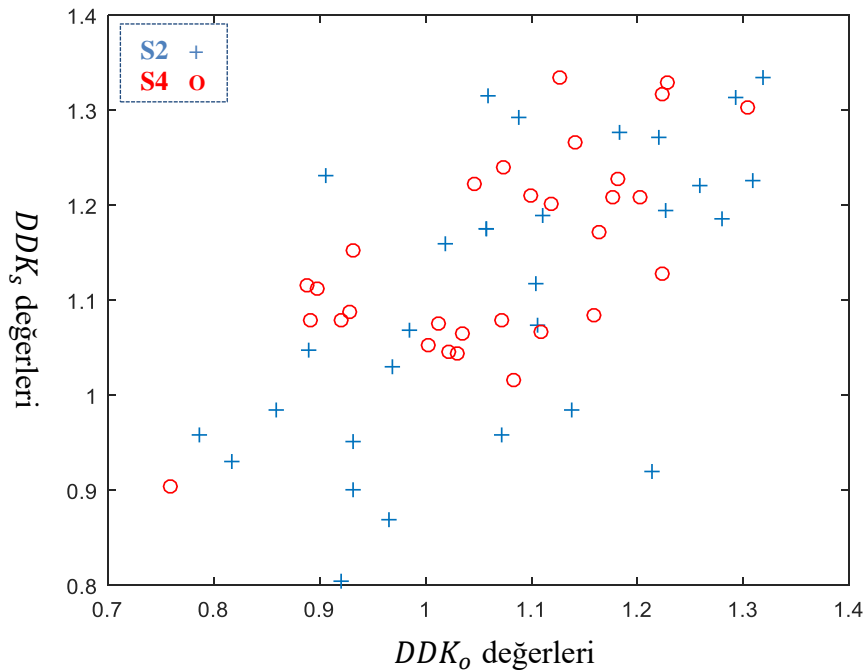
Sınıflandırma	Öznitelik	Önerileme	SD (%)	STD	$k$ değeri	Ch
S1-S2	DD	Norm <sub>2</sub>	70.12	4.89	4	6
S1-S3	DD	Norm <sub>2</sub>	69.12	5.61	1	6
S1-S4	DD	Norm <sub>2</sub>	69.60	6.02	1	6
S2-S3	DD	Norm <sub>2</sub>	69.02	5.36	5	6
S2-S4	DD	Norm <sub>2</sub>	68.77	5.13	1	6
S3-S4	DD	Norm <sub>2</sub>	68.60	5.76	4	6

İkinci durumda EEG verileri %75 eğitim, %25 test verisi olacak şekilde rastgele bölünmüş ve 6 sınıflandırma durumu için elde edilen SD, STD,  $k$  değeri, önerileme durumu ve kullanılan kanal Tablo 3.24'te verilmiştir.

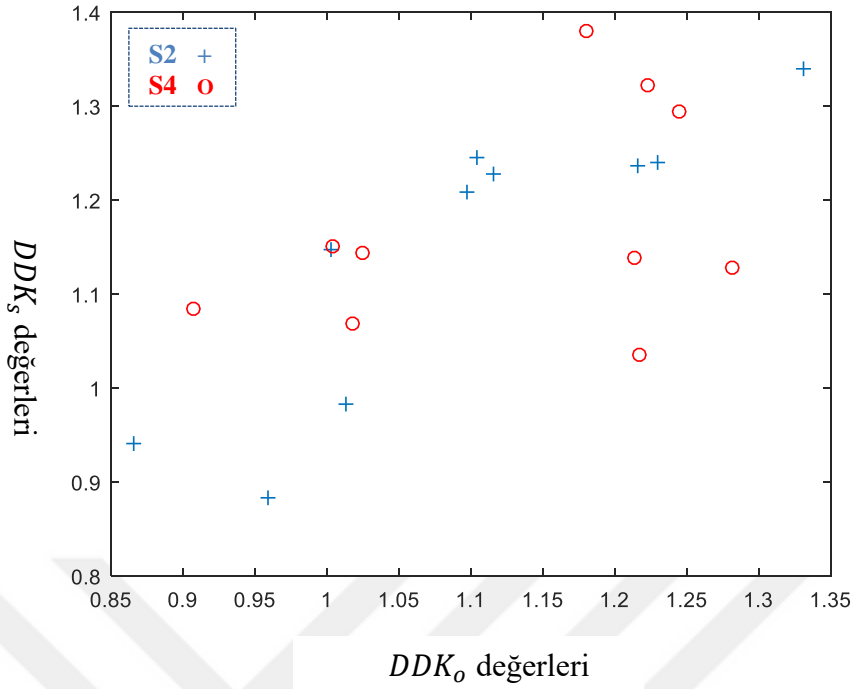
Tablo 3.24. İkinci durumda MO kişisi için elde edilen etkin yöntem sonuçları

Sınıflandırma	Öznitelik	Önişleme	SD (%)	STD	$k$ değeri	Ch
S1-S2	DD	Norm <sub>2</sub>	72.95	7.59	1	6
S1-S3	DD	Norm <sub>2</sub>	72.65	7.79	3	6
S1-S4	DD	Norm <sub>2</sub>	73.10	8.18	7	6
S2-S3	DD	Norm <sub>2</sub>	71.70	7.98	3	6
S2-S4	DD	Norm <sub>2</sub>	74.90	8.19	10	6
S3-S4	DD	Norm <sub>2</sub>	72.55	7.53	1	6

Sonuç olarak tablolar incelendiğinde en yüksek SD'nin EEG verilerinin %75 eğitim, %25 test veri kümesi olarak bölündüğü 2. durumda elde edildiği görülmektedir. MO kişisinde öznitelik çıkarma yöntemi olarak kullanılan dalgacık dönüşümünde dalgacık dönüşümü katsayılarının (DDK) mutlak değerinin ortalaması ( $DDK_o$ ) ve mutlak değerinin standart sapması ( $DDK_s$ ) öznitelikler olarak kullanılmıştır. Bu durumda hesaplanan öznitelik vektörlerinin dağılımı Şekil 3.6'da verilmiştir. Bu dağılımda en yüksek SD'nin elde edildiği karanfil (S2) ve biberiye (S4) kokularının sınıflandırılması durumunda elde edilen sonuçlar kullanılmıştır. Burada Şekil 3.6 (a) eğitim verileri üzerinden hesaplanan öznitelikleri gösterirken, Şekil 3.6 (b) test verileri üzerinden elde edilen öznitelikleri göstermektedir.



(a)



(b)

Şekil 3.6. MO kişisi için S2-S4 sınıflarına ait öznitelikler, (a) Eğitim veri seti ,  
(b) Test veri seti

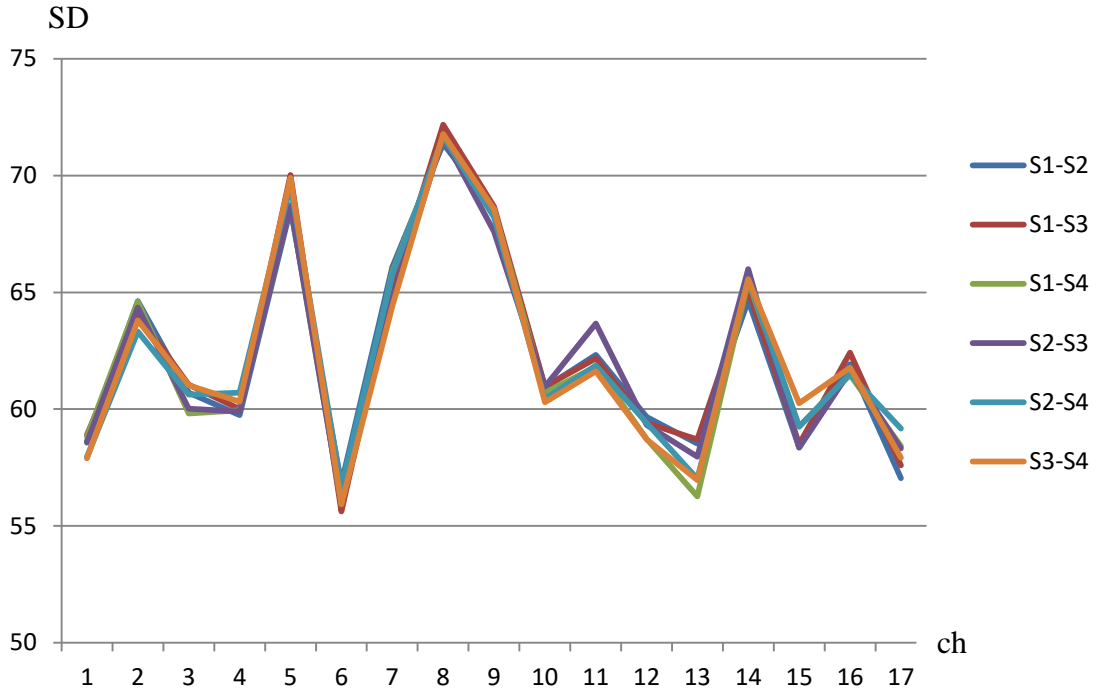
### 3.3.4. TB Kişisine Ait Sonuçlar

TB kişinin 4 adet baharat yağı kokusunu koklaması sonucunda oluşan EEG verileri üzerinde yapılan çalışmalar sonucunda  $k$ -EYK sınıflandırma yöntemiyle bulunan en yüksek SD aşağıdaki şartlarda elde edilmiştir;

- ✓ Öznitelik çıkarma yöntemi: Dalgacık Dönüşümü (Gaussian 1)
- ✓ Önışleme: Norm<sub>x</sub>
- ✓ Kanal (ch): En yüksek SD'nin elde edildiği kanal Şekil 3.7'de görüldüğü gibi

8.kanaldır.





Şekil 3.7. TB kişisine ait etkin değerler için tüm kanallara ait SD'ler

Birinci durumda EEG verileri %50 eğitim, %50 test verisi olacak şekilde rastgele bölünmüş ve 6 sınıflandırma durumu için elde edilen SD, STD,  $k$  değeri, önerileme durumu ve kullanılan kanal Tablo 3.25'te verilmiştir.

Tablo 3.25. Birinci durumda TB kişisi için elde edilen etkin yöntem sonuçları

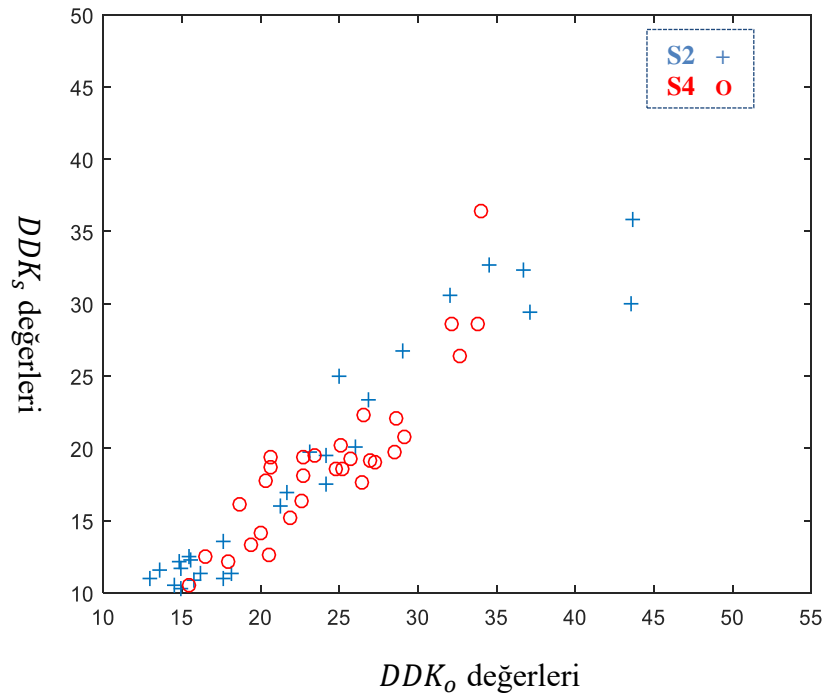
Sınıflandırma	Öznitelik	Önerileme	SD (%)	STD	$k$ değeri	ch
S1-S2	DD	Norm <sub>x</sub>	71.37	5.40	12	8
S1-S3	DD	Norm <sub>x</sub>	72.17	5.24	14	8
S1-S4	DD	Norm <sub>x</sub>	71.57	4.90	12	8
S2-S3	DD	Norm <sub>x</sub>	71.65	5.63	10	8
S2-S4	DD	Norm <sub>x</sub>	71.67	5.40	6	8
S3-S4	DD	Norm <sub>x</sub>	71.77	5.42	9	8

İkinci durumda EEG verileri %75 eğitim, %25 test verisi olacak şekilde rastgele bölünmüş ve 6 sınıflandırma durumu için elde edilen SD, STD,  $k$  değeri, önerileme durumu ve kullanılan kanal Tablo 3.26'da verilmiştir.

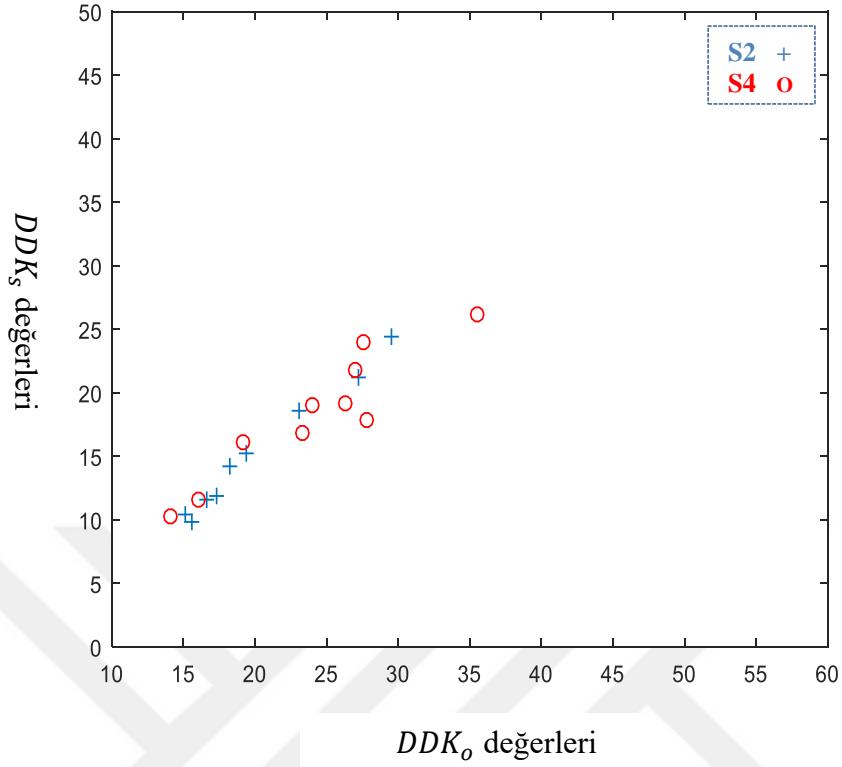
Tablo 3.26. İkinci durumda TB kişisi için elde edilen etkin yöntem sonuçları

Sınıflandırma	Öznitelik	Önişleme	SD (%)	STD	$k$ değeri	ch
S1-S2	DD	Norm <sub>x</sub>	74.75	7.79	9	8
S1-S3	DD	Norm <sub>x</sub>	75.05	9.62	4	8
S1-S4	DD	Norm <sub>x</sub>	75.05	7.60	4	8
S2-S3	DD	Norm <sub>x</sub>	74.85	8.17	3	8
S2-S4	DD	Norm <sub>x</sub>	75.70	6.47	25	8
S3-S4	DD	Norm <sub>x</sub>	73.30	8.04	14	8

Sonuç olarak tablolar incelendiğinde en yüksek SD'nin EEG verilerinin %75 eğitim, %25 test veri kümesi olarak bölüdüğü 2. durumda elde edildiği görülmektedir. TB kişisinde öznitelik çıkarma yöntemi olarak kullanılan dalgacık dönüşümünde dalgacık dönüşümü katsayılarının (DDK) mutlak değerinin ortalaması ( $DDK_o$ ) ve mutlak değerinin standart sapması ( $DDK_s$ ) öznitelikler olarak kullanılmıştır. Bu durumda hesaplanan öznitelik vektörlerinin dağılımı Şekil 3.8'de verilmiştir. Bu dağılımda en yüksek SD'nin elde edildiği karanfil (S2) ve biberiye (S4) kokularının sınıflandırılması durumunda elde edilen sonuçlar kullanılmıştır. Burada Şekil 3.8 (a) eğitim verileri üzerinden hesaplanan öznitelikleri gösterirken, Şekil 3.8 (b) test verileri üzerinden elde edilen öznitelikleri göstermektedir.



(a)



(b)

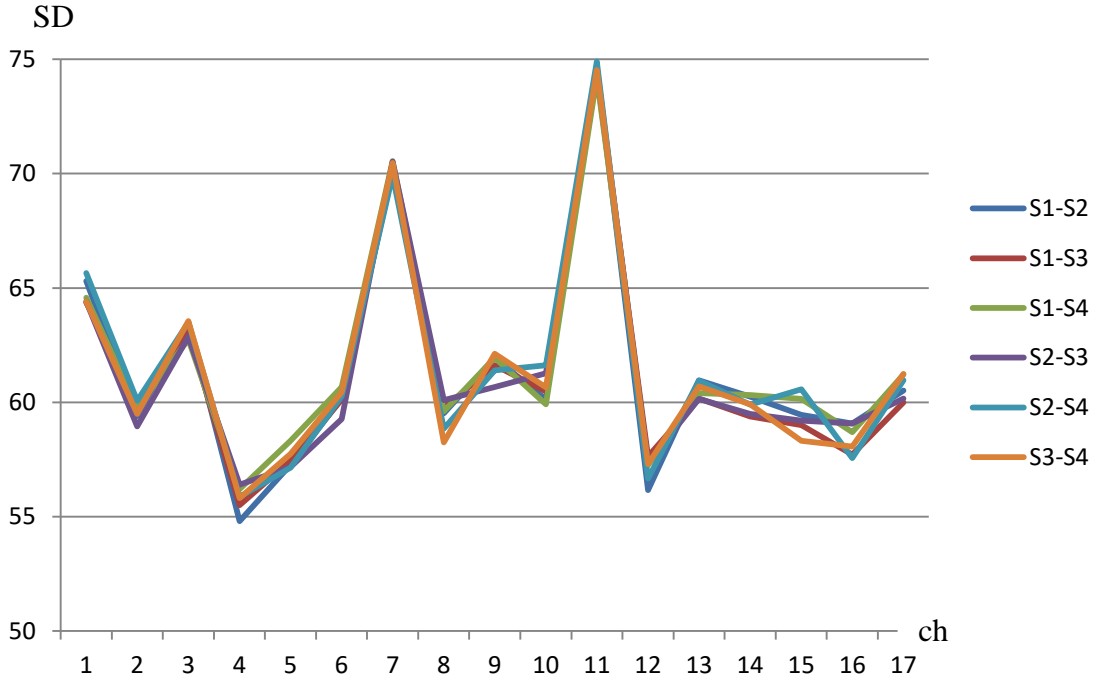
Şekil 3.8. TB kişisi için S2-S4 sınıflarına ait öznitelikler, (a) Eğitim veri seti, (b) Test veri seti

### 3.3.5. SA Kişisine Ait Sonuçlar

SA kişinin 4 adet baharat yağı kokusunu koklaması sonucunda oluşan EEG verileri üzerinde yapılan çalışmalar sonucunda *k*-EYK sınıflandırma yöntemiyle buluna en yüksek SD aşağıdaki şartlarda elde edilmiştir;

- ✓ Öznitelik çıkarma yöntemi: Basıklık, çarpıklık, tekil değer ayrışımı
- ✓ Önışleme: Norm<sub>x</sub>
- ✓ Kanal (ch): En yüksek SD'nin elde edildiği kanal Şekil 3.9'da görüldüğü gibi

11.kanaldır.



Şekil 3.9. SA kişisine ait etkin değerler için tüm kanallara ait SD'ler

Birinci durumda EEG verileri %50 eğitim, %50 test verisi olacak şekilde rastgele bölünmüş ve 6 sınıflandırma durumu için elde edilen SD, STD,  $k$  değeri, önerileme durumu ve kullanılan kanal Tablo 3.27'de verilmiştir.

Tablo 3.27. Birinci durumda SA kişisi için elde edilen etkin yöntem sonuçları

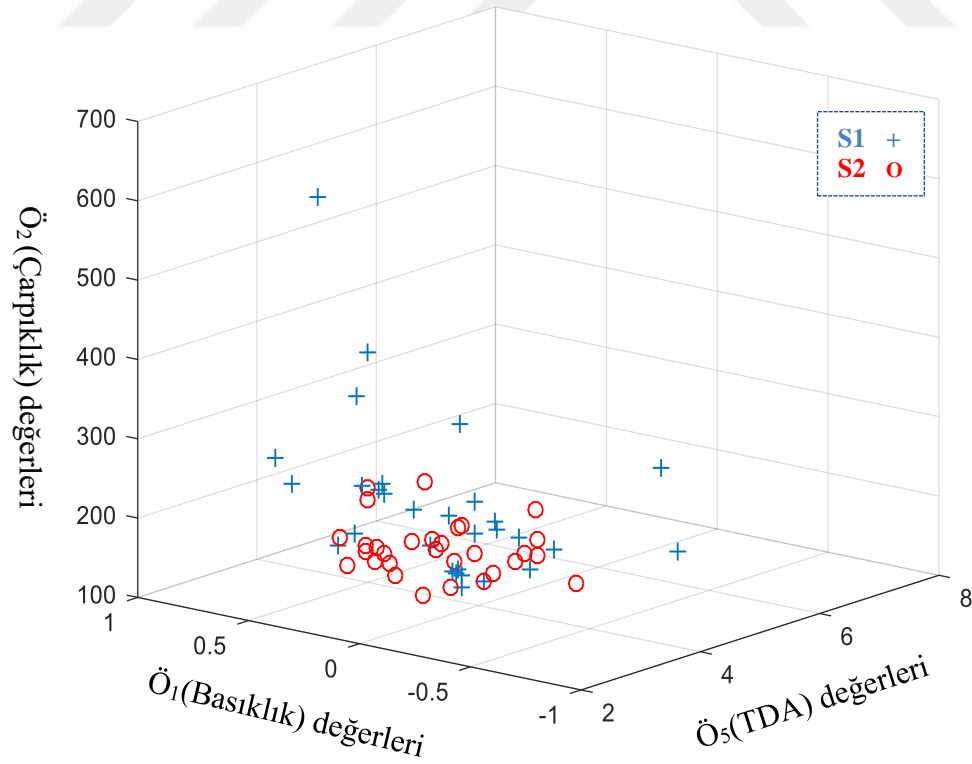
Sınıflandırma	Öznitelik	Önerileme	SD (%)	STD	$k$ değeri	Ch
S1-S2	$\ddot{O}_1, \ddot{O}_2, \ddot{O}_5$	Norm <sub>x</sub>	74.67	4.90	1	11
S1-S3	$\ddot{O}_1, \ddot{O}_2, \ddot{O}_5$	Norm <sub>x</sub>	74.35	5.01	11	11
S1-S4	$\ddot{O}_1, \ddot{O}_2, \ddot{O}_5$	Norm <sub>x</sub>	74.22	5.37	7	11
S2-S3	$\ddot{O}_1, \ddot{O}_2, \ddot{O}_5$	Norm <sub>x</sub>	74.62	4.85	9	11
S2-S4	$\ddot{O}_1, \ddot{O}_2, \ddot{O}_5$	Norm <sub>x</sub>	74.90	5.44	15	11
S3-S4	$\ddot{O}_1, \ddot{O}_2, \ddot{O}_5$	Norm <sub>x</sub>	74.52	5.11	8	11

İkinci durumda EEG verileri %75 eğitim, %25 test verisi olacak şekilde rastgele bölünmüş ve 6 sınıflandırma durumu için elde edilen SD, STD,  $k$  değeri, önerileme durumu ve kullanılan kanal Tablo 3.28'de verilmiştir.

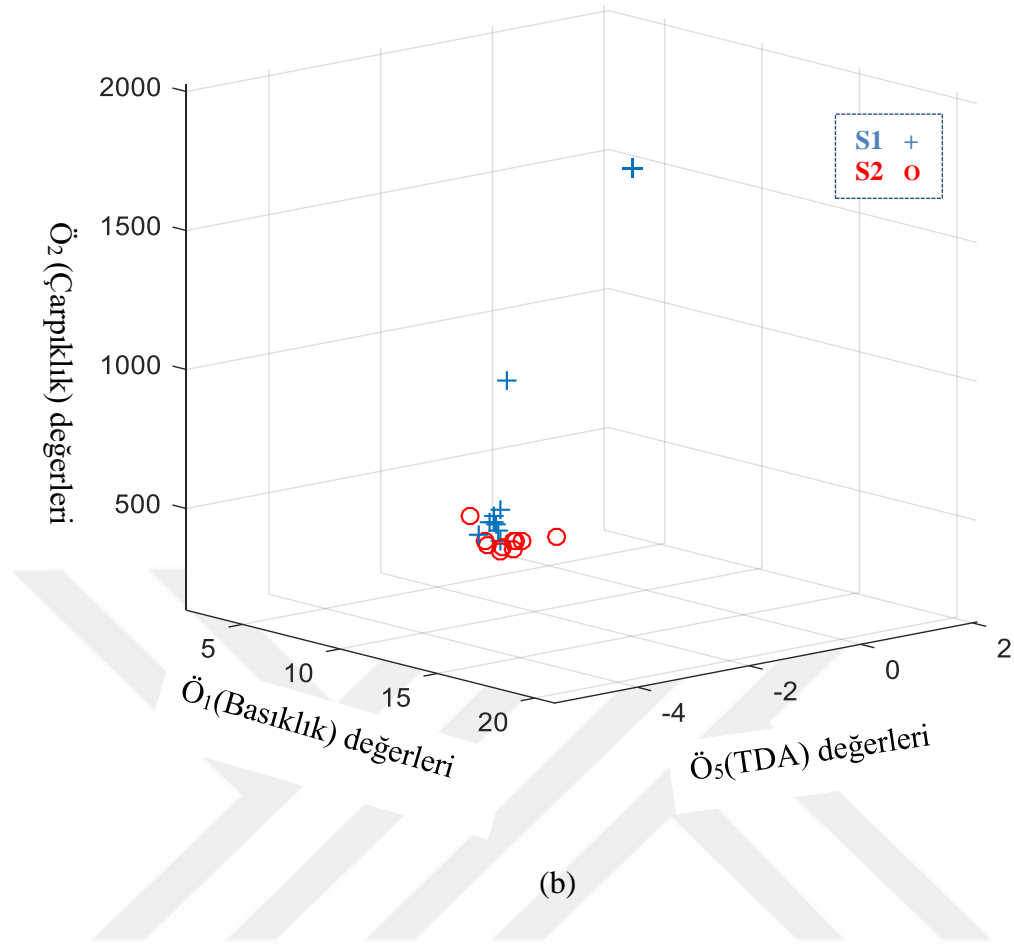
Tablo 3.28. İkinci durumda SA kişisi için elde edilen etkin yöntem sonuçları

Sınıflandırma	Öznitelik	Önişleme	SD (%)	STD	$k$ değeri	Ch
S1-S2	$\ddot{O}_1, \ddot{O}_2, \ddot{O}_5$	Norm <sub>x</sub>	77.20	7.66	13	11
S1-S3	$\ddot{O}_1, \ddot{O}_2, \ddot{O}_5$	Norm <sub>x</sub>	76.30	8.24	3	11
S1-S4	$\ddot{O}_1, \ddot{O}_2, \ddot{O}_5$	Norm <sub>x</sub>	77.10	8.79	17	11
S2-S3	$\ddot{O}_1, \ddot{O}_2, \ddot{O}_5$	Norm <sub>x</sub>	76.40	7.88	7	11
S2-S4	$\ddot{O}_1, \ddot{O}_2, \ddot{O}_5$	Norm <sub>x</sub>	76.85	7.67	6	11
S3-S4	$\ddot{O}_1, \ddot{O}_2, \ddot{O}_5$	Norm <sub>x</sub>	76.05	7.63	3	11

Sonuç olarak tablolar incelendiğinde en yüksek SD'nin EEG verilerinin %75 eğitim, %25 test veri kümesi olarak bölündüğü 2. durumda elde edildiği görülmektedir. SA kişisinde öznitelik çıkarma yöntemi olarak basıklık ( $\ddot{O}_1$ ), çarpıklık ( $\ddot{O}_2$ ) ve tekil değer ayrışımı ( $\ddot{O}_5$ ) kullanılmış olup bu durumda hesaplanan öznitelik vektörlerinin dağılımı Şekil 3.10'da verilmiştir. Bu dağılımda en yüksek SD'nin elde edildiği nane (S1) ve karanfil (S2) kokularının sınıflandırılması durumunda elde edilen sonuçlar kullanılmıştır. Burada Şekil 3.10 (a) eğitim verileri üzerinden hesaplanan öznitelikleri gösterirken, Şekil 3.10 (b) test verileri üzerinden elde edilen öznitelikleri göstermektedir.



(a)

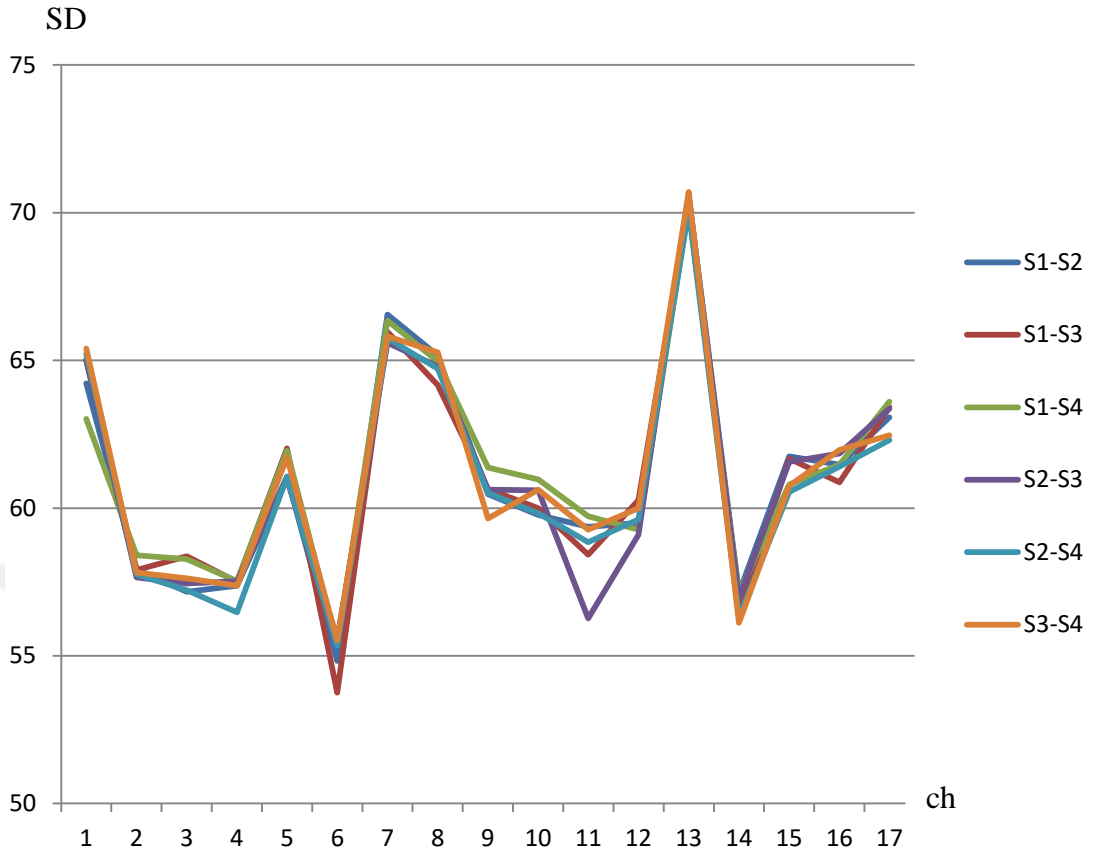


Şekil 3.10. SA kişisi için S2-S4 sınıflarına ait öznitelikler, (a) Eğitim veri seti, (b) Test veri seti

### 3.3.6. MAB Kişisine Ait Sonuçlar

MAB kişininin 4 adet baharat yağı kokusunu koklaması sonucunda oluşan EEG verileri üzerinde yapılan çalışmalar sonucunda  $k$ -EYK sınıflandırma yöntemiyle bulunan en yüksek SD aşağıdaki şartlarda elde edilmiştir;

- ✓ Öznitelik çıkarma yöntemi: Basıklık, aritmetik ortalama, türev ve tekil değer ayrışımı
- ✓ Önileme: Norm<sub>1</sub>
- ✓ Kanal (ch): En yüksek SD'nin elde edildiği kanal Şekil 3.11'de görüldüğü gibi 13.kanaldır.



Şekil 3.11. MAB kişisine ait etkin değerler için tüm kanallara ait SD'ler

Birinci durumda EEG verileri %50 eğitim, %50 test verisi olacak şekilde rastgele bölünmüş ve 6 sınıflandırma durumu için elde edilen SD, STD,  $k$  değeri, önerileme durumu ve kullanılan kanal Tablo 3.29'da verilmiştir.

Tablo 3.29. Birinci durumda MAB kişisi için elde edilen etkin yöntem sonuçları

Sınıflandırma	Öznitelik	Önerileme	SD (%)	STD	$k$ değeri	ch
S1-S2	Ö <sub>1</sub> , Ö <sub>3</sub> , Ö <sub>5</sub> , Ö <sub>6</sub>	Norm <sub>1</sub>	70.57	6.08	5	13
S1-S3	Ö <sub>1</sub> , Ö <sub>3</sub> , Ö <sub>5</sub> , Ö <sub>6</sub>	Norm <sub>1</sub>	70.30	6.24	5	13
S1-S4	Ö <sub>1</sub> , Ö <sub>3</sub> , Ö <sub>5</sub> , Ö <sub>6</sub>	Norm <sub>1</sub>	70.20	5.63	6	13
S2-S3	Ö <sub>1</sub> , Ö <sub>3</sub> , Ö <sub>5</sub> , Ö <sub>6</sub>	Norm <sub>1</sub>	70.55	5.39	3	13
S2-S4	Ö <sub>1</sub> , Ö <sub>3</sub> , Ö <sub>5</sub> , Ö <sub>6</sub>	Norm <sub>1</sub>	70.08	6.40	3	13
S3-S4	Ö <sub>1</sub> , Ö <sub>3</sub> , Ö <sub>5</sub> , Ö <sub>6</sub>	Norm <sub>1</sub>	70.70	5.66	3	13

İkinci durumda EEG verileri %75 eğitim, %25 test verisi olacak şekilde rastgele bölünmüş ve 6 sınıflandırma durumu için elde edilen SD, STD,  $k$  değeri, önişleme durumu ve kullanılan kanal Tablo 3.30'da verilmiştir.

Tablo 3.30. İkinci durumda MAB kişisi için elde edilen etkin yöntem sonuçları

Sınıflandırma	Öznitelik	Önişleme	SD (%)	STD	$k$ değeri	ch
S1-S2	Ö <sub>1</sub> ,Ö <sub>3</sub> ,Ö <sub>5</sub> , Ö <sub>6</sub>	Norm <sub>1</sub>	76.95	6.75	3	13
S1-S3	Ö <sub>1</sub> ,Ö <sub>3</sub> ,Ö <sub>5</sub> , Ö <sub>6</sub>	Norm <sub>1</sub>	76.97	7.66	4	13
S1-S4	Ö <sub>1</sub> ,Ö <sub>3</sub> ,Ö <sub>5</sub> , Ö <sub>6</sub>	Norm <sub>1</sub>	75.75	7.73	4	13
S2-S3	Ö <sub>1</sub> ,Ö <sub>3</sub> ,Ö <sub>5</sub> , Ö <sub>6</sub>	Norm <sub>1</sub>	75.90	7.19	9	13
S2-S4	Ö <sub>1</sub> ,Ö <sub>3</sub> ,Ö <sub>5</sub> , Ö <sub>6</sub>	Norm <sub>1</sub>	76.95	7.03	1	13
S3-S4	Ö <sub>1</sub> ,Ö <sub>3</sub> ,Ö <sub>5</sub> , Ö <sub>6</sub>	Norm <sub>1</sub>	76.80	6.87	1	13

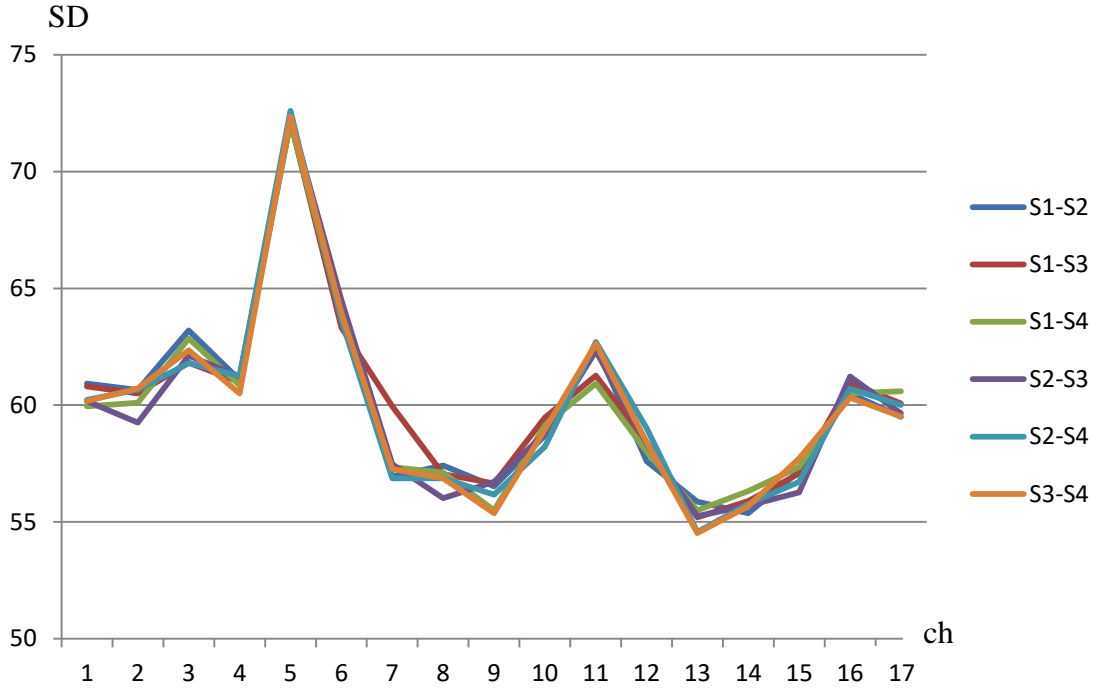
Sonuç olarak tablolar incelendiğinde en yüksek SD'nin EEG verilerinin %75 eğitim, %25 test veri kümesi olarak bölüdüğü 2. durumda elde edildiği görülmektedir. MAB kişisinde etkin öznitelik çıkarma yöntemi olarak basıklık, aritmetik ortalama, türev ve tekil değer ayrışımı olmak üzere 4 adet yöntem kullanıldığı için 3 boyutu aşan öznitelik vektörlerinin dağılımı gösterilmemiştir.

### 3.3.7. OA Kişisine Ait Sonuçlar

OA kişinin 4 adet baharat yağı kokusunu koklaması sonucunda oluşan EEG verileri üzerinde yapılan çalışmalar sonucunda  $k$ -EYK sınıflandırma yöntemiyle bulunan en yüksek SD aşağıdaki şartlarda elde edilmiştir;

- ✓ Öznitelik çıkarma yöntemi: Basıklık
- ✓ Önişleme: Norm<sub>1</sub>
- ✓ Kanal (ch): En yüksek SD'nin elde edildiği kanal Şekil 3.12'de görüldüğü gibi 5.kanaldır.





Şekil 3.12. OA kişisine ait etkin değerler için tüm kanallara ait SD'ler

Birinci durumda EEG verileri %50 eğitim, %50 test verisi olacak şekilde rastgele bölünmüş ve 6 sınıflandırma durumu için elde edilen SD, STD,  $k$  değeri, önişleme durumu ve kullanılan kanal Tablo 3.31'de verilmiştir.

Tablo 3.31. Birinci durumda OA kişisi için elde edilen etkin yöntem sonuçları

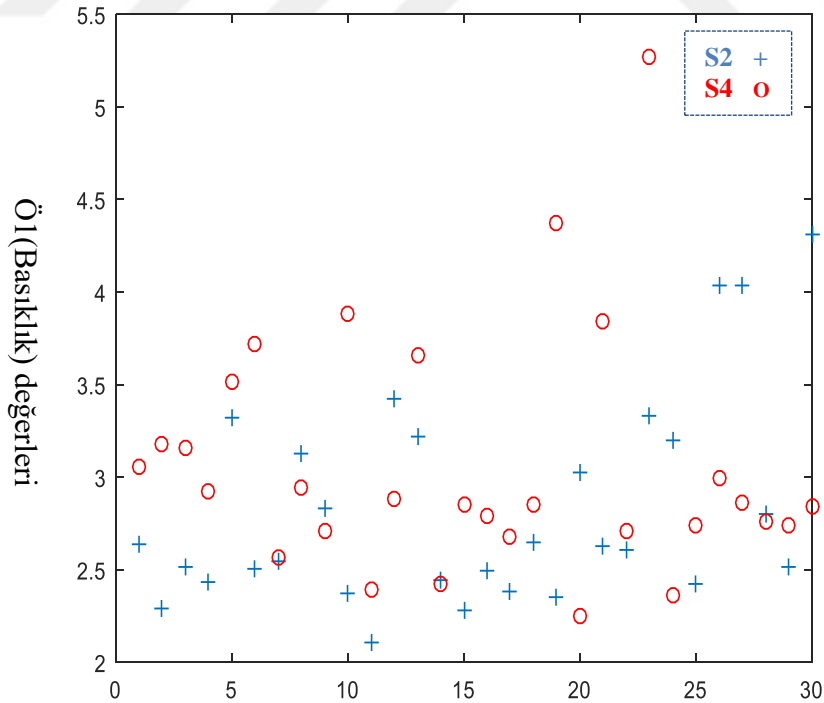
Sınıflandırma	Öznitelik	Önişleme	SD (%)	STD	$k$ değeri	ch
S1-S2	$\ddot{O}_1$	Norm <sub>1</sub>	72.20	5.07	3	5
S1-S3	$\ddot{O}_1$	Norm <sub>1</sub>	72.15	5.01	9	5
S1-S4	$\ddot{O}_1$	Norm <sub>1</sub>	72.10	4.69	6	5
S2-S3	$\ddot{O}_1$	Norm <sub>1</sub>	72.32	4.56	6	5
S2-S4	$\ddot{O}_1$	Norm <sub>1</sub>	72.60	4.60	1	5
S3-S4	$\ddot{O}_1$	Norm <sub>1</sub>	72.35	4.97	3	5

İkinci durumda EEG verileri %75 eğitim, %25 test verisi olacak şekilde rastgele bölünmüş ve 6 sınıflandırma durumu için elde edilen SD, STD,  $k$  değeri, önişleme durumu ve kullanılan kanal Tablo 3.32'de verilmiştir.

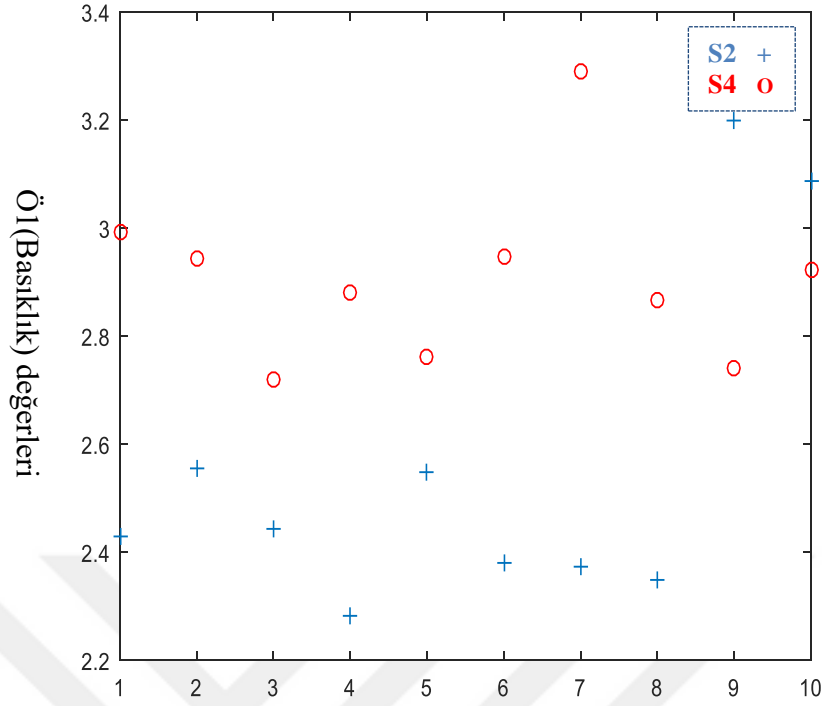
Tablo 3.32. İkinci durumda OA kişisi için elde edilen etkin yöntem sonuçları

Sınıflandırma	Öznitelik	Önişleme	SD (%)	STD	$k$ değeri	ch
S1-S2	Ö <sub>1</sub>	Norm <sub>1</sub>	75.25	8.29	1	5
S1-S3	Ö <sub>1</sub>	Norm <sub>1</sub>	75.40	7.67	4	5
S1-S4	Ö <sub>1</sub>	Norm <sub>1</sub>	75.90	6.94	13	5
S2-S3	Ö <sub>1</sub>	Norm <sub>1</sub>	75.65	7.02	3	5
S2-S4	Ö <sub>1</sub>	Norm <sub>1</sub>	76.60	7.71	3	5
S3-S4	Ö <sub>1</sub>	Norm <sub>1</sub>	75.95	7.74	1	5

Sonuç olarak tablolar incelendiğinde en yüksek SD'nin EEG verilerinin %75 eğitim, %25 test veri kümesi olarak bölündüğü 2. durumda elde edildiği görülmektedir. OA kişisinde öznitelik çıkarma yöntemi olarak basıklık (Ö<sub>1</sub>) kullanılmış olup bu durumda hesaplanan öznitelik vektörlerinin dağılımı Şekil 3.13'te verilmiştir. Bu dağılımda en yüksek SD'nin elde edildiği karanfil (S2) ve biberiye (S4) kokularının sınıflandırılması durumunda elde edilen sonuçlar kullanılmıştır. Burada Şekil 3.13 (a) eğitim verileri üzerinden hesaplanan öznitelikleri gösterirken, Şekil 3.13 (b) test verileri üzerinden elde edilen öznitelikleri göstermektedir.



(a)



(b)

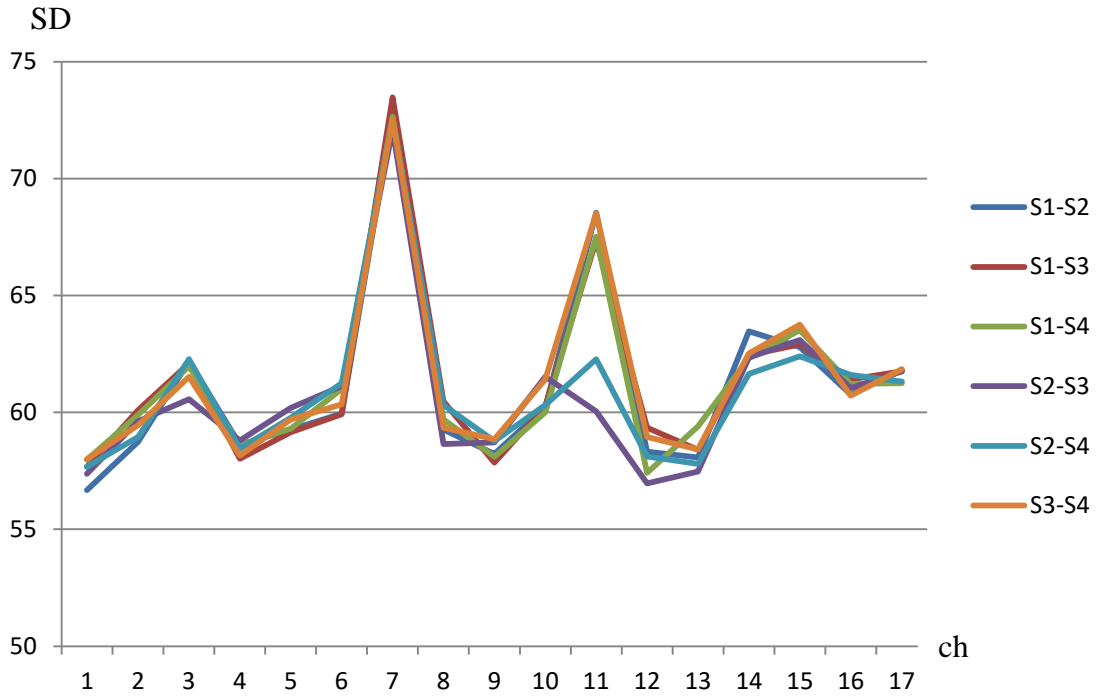
Şekil 3.13. OA kişisi için S2-S4 sınıflarına ait öznitelikler, (a) Eğitim veri seti, (b) Test veri seti

### 3.3.8. AH Kişisine Ait Sonuçlar

AH kişininin 4 adet baharat yağı kokusunu koklaması sonucunda oluşan EEG verileri üzerinde yapılan çalışmalar sonucunda *k*-EYK sınıflandırma yöntemiyle bulunan en yüksek SD aşağıdaki şartlarda elde edilmiştir;

- ✓ Öznitelik çıkarma yöntemi: Basıklık, tekil değer ayrışımı
- ✓ Önışleme: Norm<sub>2</sub>
- ✓ Kanal (ch): En yüksek SD'nin elde edildiği kanal Şekil 3.14'de görüldüğü gibi

7.kanaldır.



Şekil 3.14. AH kişisine ait etkin değerler için tüm kanallara ait SD'ler

Birinci durumda EEG verileri %50 eğitim, %50 test verisi olacak şekilde rastgele bölünmüş ve 6 sınıflandırma durumu için elde edilen SD, STD,  $k$  değeri, önerileme durumu ve kullanılan kanal Tablo 3.33'te verilmiştir.

Tablo 3.33. Birinci durumda AH kişisi için elde edilen etkin yöntem sonuçları

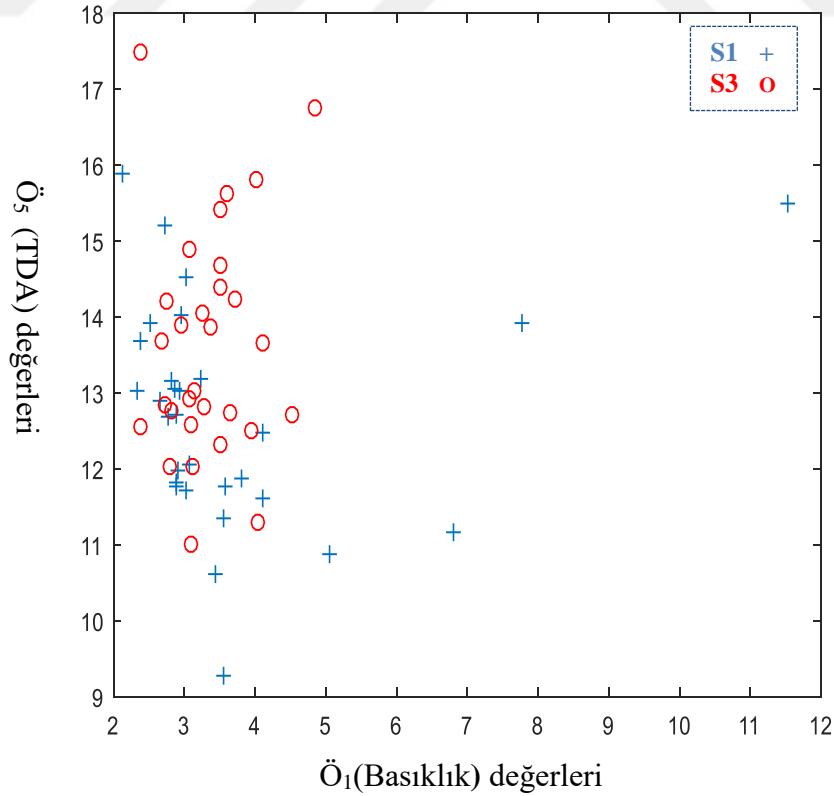
Sınıflandırma	Öznitelik	Önerileme	SD (%)	STD	$k$ değeri	Ch
S1-S2	Ö <sub>1</sub> ,Ö <sub>5</sub>	Norm <sub>2</sub>	72.68	4.24	4	7
S1-S3	Ö <sub>1</sub> ,Ö <sub>5</sub>	Norm <sub>2</sub>	73.47	4.57	5	7
S1-S4	Ö <sub>1</sub> ,Ö <sub>5</sub>	Norm <sub>2</sub>	72.65	4.21	7	7
S2-S3	Ö <sub>1</sub> ,Ö <sub>5</sub>	Norm <sub>2</sub>	72.10	5.08	3	7
S2-S4	Ö <sub>1</sub> ,Ö <sub>5</sub>	Norm <sub>2</sub>	72.53	5.17	6	7
S3-S4	Ö <sub>1</sub> ,Ö <sub>5</sub>	Norm <sub>2</sub>	72.55	5.07	4	7

İkinci durumda EEG verileri %75 eğitim, %25 test verisi olacak şekilde rastgele bölünmüş ve 6 sınıflandırma durumu için elde edilen SD, STD,  $k$  değeri, önerileme durumu ve kullanılan kanal Tablo 3.34'te verilmiştir.

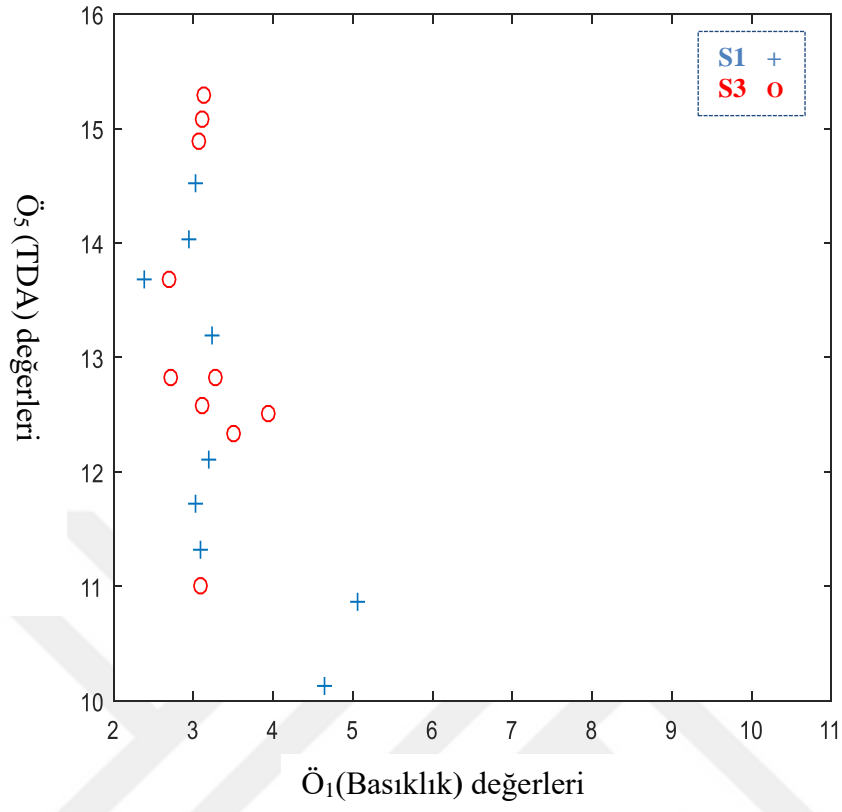
Tablo 3.34. İkinci durumda AH kişisi için elde edilen etkin yöntem sonuçları

Sınıflandırma	Öznitelik	Önişleme	SD (%)	STD	$k$ değeri	Ch
S1-S2	Ö <sub>1</sub> ,Ö <sub>5</sub>	Norm <sub>2</sub>	76.85	7.44	5	7
S1-S3	Ö <sub>1</sub> ,Ö <sub>5</sub>	Norm <sub>2</sub>	76.95	8.49	1	7
S1-S4	Ö <sub>1</sub> ,Ö <sub>5</sub>	Norm <sub>2</sub>	76.30	7.60	5	7
S2-S3	Ö <sub>1</sub> ,Ö <sub>5</sub>	Norm <sub>2</sub>	76.55	7.83	3	7
S2-S4	Ö <sub>1</sub> ,Ö <sub>5</sub>	Norm <sub>2</sub>	76.15	7.20	1	7
S3-S4	Ö <sub>1</sub> ,Ö <sub>5</sub>	Norm <sub>2</sub>	76.45	8.04	1	7

Sonuç olarak tablolar incelendiğinde en yüksek SD'nin EEG verilerinin %75 eğitim, %25 test veri kümesi olarak bölündüğü 2. durumda elde edildiği görülmektedir. AH kişisinde öznitelik çıkarma yöntemi olarak basıklık (Ö<sub>1</sub>) ve tekil değer ayrışımı (Ö<sub>5</sub>) kullanılmış olup bu durumda hesaplanan öznitelik vektörlerinin dağılımı Şekil 3.15'te verilmiştir. Bu dağılımda en yüksek SD'nin elde edildiği nane (S1) ve kekik (S3) kokularının sınıflandırılması durumunda elde edilen sonuçlar kullanılmıştır. Burada Şekil 3.15 (a) eğitim verileri üzerinden hesaplanan öznitelikleri gösterirken, Şekil 3.15 (b) test verileri üzerinden elde edilen öznitelikleri göstermektedir.



(a)



(b)

Şekil 3.15. AH kişisi için S1-S3 sınıflarına ait öznitelikler, (a) Eğitim veri seti, (b) Test veri seti

#### 4. SONUÇLAR

Milyarlarca sinir hücresi ve daha fazlası destek hücresiyle birlikte belki de dünyadaki en karmaşık sistem olan insan beyni üzerine yapılan çalışmalar her geçen gün artmaktadır. Fiziksel ya da duygusal girdilere karşı beynin oluşturduğu elektriksel tepkiyi ölçmenin çeşitli yöntemleri vardır. Bu tez çalışmasında da tercih edilen elektroensefalografi (EEG) en sık kullanılan yöntemlerden biridir. Kolaylıkla elde edilebilir olması, diğer yöntemlere kıyasla daha ucuz olması ve daha az acı vermesi tercih edilme nedenleri arasında sayılabilir.

Sinir sisteminin komuta merkezi olan insan beyninin görevlerinden biri de duyu organlarından gelen uyarıları alması ve değerlendirmesidir. Duyu organlarından gelen uyarılardan biri de koklama olayıdır. Koklama olayını temel alan EEG tabanlı çalışmaların sayısı son yıllarda artmaya başlasa da deneysel çalışmaların eksikliği, kullanılan kokuların sınırlılığı ve oluşan çıktılardaki farklılıklar kesin bir yargıya ulaşılmasını zorlaştırmaktadır. Beş duyu organıyla kıyaslandığında yaşamımızdaki önemine rağmen subjektif olması nedeniyle koku duyusu yeterince incelenememiştir. Koku duyusunun değerlendirilmesi subjektif ve objektif testlerle mümkündür. Kokunun klinik olarak test edilmesinde subjektif testler kullanılmaktadır. Bu testlerin çoğu özgün koku eşiklerinin belirlenmesi veya çok sayıda sunulan kokunun tanımlanması yeteneğinin ölçülmesine dayanmaktadır. Objektif testler ise koklama sırasında oluşan elektriksel işaretler incelenerek yapılmakla birlikte klinik açıdan henüz geliştirilememiştir.

Literatürde kokunun objektif değerlendirilmesine dayanan EEG tabanlı çalışmalar mevcuttur. Bu çalışmalarda gönüllü kişilere sunulan kokuların koklatılması sonucu oluşan EEG verileri kullanılarak kokuların ayırt edilebilmesi amaçlanmıştır. Yazdani ve arkadaşları yapmış oldukları çalışmada 5 gönüllü bireye gözleri kapalı ve gözleri açık olmak üzere iki durumda kokular sunmuştur. Denemeler sonrasında katılımcılara memnun oldukları ve olmadıkları kokular sorulmuş ve belirlenen bu kokular sınıflandırılmıştır. Yapılan ikili sınıflandırma sonucunda 5 kişi için ortalama %79.91 SD ile kokular birbirinden ayırt edilmiştir. Kroupi ve arkadaşları tarafından yapılan EEG tabanlı başka bir koku çalışmasında ise kediotu, nilüfer çiçeği, gül suyu ve peynir kokuları olmak üzere 4 adet koku kullanılmıştır. 5 gönüllü birey ile yapılan bu çalışmada da gözler kapalı ve gözler açık iki durum için EEG verileri kaydedilmiştir. Katılımcılara gözler açık ve kapalı durumları için ayrı ayrı olmak üzere en çok beğendikleri ve hiç beğenmedikleri kokular

sorulmuştur. Alınan cevaplar neticesinde koku ayırımı yapılmış ve bu doğrultuda sınıflandırma yapılmıştır. Sonuç olarak bu iki sınıflı problemde tüm katılımcılar için ortalama %90 sınıflandırma doğruluğu elde edilmiştir.

Yazdani ve Kroupi'nin yapmış oldukları çalışmalarında kokular subjektif olarak değerlendirildiğinde hoş olan ve hoş olmayan şeklinde ayırt edilebilecek şekilde seçilmiştir. Sınıflandırma aşamasında ise yalnızca en çok hoş giden ve en az hoş giden kokular kullanılmıştır. Böylece beynin bu zıt kokulara verdiği elektriksel tepki de ayırt edilebilecek seviyede olmuştur.

Bu tez çalışmasında ise yüzde yüz soğuk baskı yöntemiyle elde edilen 4 adet baharat yağı (nane, karanfil, kekik ve biberiye) kullanılarak yapılan koklama deneyleri neticesinde oluşan EEG verileri incelenmiştir. 8 gönüllü bireyin katılımıyla yapılan çalışmalar her bir kişi için 4 oturumda gerçekleşmiştir. Oturumlarda 40'ar deneme olacak şekilde bir kişi için toplamda 160 koklama verisi elde edilmiştir. Koklama süresi deneyler öncesi yapılan çalışmalar ile denenerek 2.5 sn olarak belirlenmiştir. Her bir koklama arasında 15 sn, oturumlar arası ise 15 dk ara verilmiştir. Gönüllü katılımcıların ilk 5'inden bu şekilde EEG kaydı alınmıştır. Diğer 3 gönüllüye ise bunlara ek olarak koku yorulması olayını etkileyip etkilemediğini görmek amacıyla 8 deneme de bir kuru kahve koklatılmıştır. Elde edilen çıktılar yorumlandığında ise kuru kahve koklatılmasının sonuçları etkilemediği görülmüştür.

Nane, karanfil, kekik ve biberiye yağları ile ikili sınıflandırmalar(nane-karanfil, nane-kekik, nane-biberiye, karanfil-kekik, karanfil-biberiye, kekik-biberiye) yapılarak tüm kişiler için 6 sınıflandırma sonucu elde edilmiştir. Öznitelik çıkarma aşamasında ilk olarak dalgacık dönüşümü, bant gücü, özbağlanım yöntemi gibi yöntemler denenmiştir. Bunlar dışında istatistiksel yöntemlerden basıklık, çarpıklık, standart sapma, aritmetik ortalama, varyans, türev, ikinci dereceden türev, ikinci dereceden türevin varyansı, türev toplamı, tekil değer ayrışımı gibi öznitelik çıkarma yöntemleri de denenmiştir. Bu ön denemeler sonrasında en iyi sonuçların dalgacık dönüşümünde gaussian 1 dalgacığının kullanıldığı durumda ve istatistiksel yöntemlerden basıklık, çarpıklık, aritmetik ortalama, türev toplamı, tekil değer ayrışımı ve türev'in kullanıldığı durumlarda elde edildiği görülmüştür. Bu aşamadan sonra etkin yöntemlerin tespitinde bu öznitelik çıkarma yolları üzerinden denemeler yapılmıştır.

Kişilere özgü seçilen etkin öznitelik çıkarma yönteminden sonra sınıflandırma aşamasında doğrusal ayırma ayırıcı, destek vektör makineleri, naive bayes ve  $k$ -EYK



yöntemleri kullanılmıştır. Yapılan sınıflandırmalar neticesinde en yüksek sınıflandırma doğruluğunun *k*-EYK sınıflandırma yöntemi ile elde edildiği görülmüş ve çalışmalar boyunca sınıflandırma yöntemi olarak bu yöntem tercih edilmiştir.

Her bir kişi için etkin öznitelik çıkarma, önışleme ve sınıflandırma yöntemi tespit edildikten sonra sonuçlar hem verilerin %50 eğitim, %50 test veri kümesi olacak şekilde rastgele bölündüğü durum hem de %75 eğitim, %25 test veri kümesi olacak şekilde rastgele bölündüğü durum olmak üzere iki durumda da hesaplanmıştır. Sonuçta en yüksek SD'ler verilerin %75 eğitim veri kümesi, %25 test veri kümesi olarak rastgele bölündüğü durumda elde edilmiştir.

AI kişisinden elde edilen EEG verilerinde asgari-azami normalleştirmesi yapılarak; basıklık, çarpıklık, aritmetik ortalama ve tekil değer ayrışımı öznitelik çıkarma yöntemleri kullanılmıştır. *k*-EYK yöntemi ile yapılan sınıflandırma ile 6 sınıflandırma durumu için ortalama %73.47 SD ile kokular birbirinde ayırt edilebilmiştir.

EC kişisinden elde edilen EEG verilerinde ise birim değışinti normalleştirmesi yapılmış ve öznitelik çıkarma yöntemi olarak basıklık tercih edilmiştir. *k*-EYK yöntemi ile yapılan sınıflandırma ile 6 sınıflandırma durumu sonucunda ortalama %76.50 SD elde edilmiştir.

MO kişisi için yapılan denemeler neticesinde en etkin yöntemin dalgacık dönüşümü olduğu bulunmuştur. Gaussian 1 dalgacığı kullanılarak gerçekleştirilen sınıflandırmada asgari-azami normalleştirmesi yapılmıştır. Sonuç olarak *k*-EYK sınıflandırma yöntemiyle yapılan 6 sınıflandırma durumunda ortalama %72.98 SD elde edilmiştir.

TB kişisinden elde edilen EEG verilerinde de en yüksek SD dalgacık dönüşümü ile elde edilmiştir. Gaussian 1 dalgacığı kullanılarak gerçekleştirilen öznitelik çıkarma aşamasından sonra sonuç olarak *k*-EYK sınıflandırması ile 6 sınıflandırma durumu için ortalama %74.78 SD ile kokular birbirinden ayırt edilebilmiştir.

SA kişisine ait EEG verileri ile yapılan denemeler neticesinde *k*-EYK yöntemiyle elde edilen en yüksek SD'yi veren öznitelik çıkarma tekniklerinin basıklık, çarpıklık ve tekil değer ayrışımı olduğu bulunmuştur. Sonuçta 6 sınıflandırma durumu için ortalama %76.65 SD ile kokular ayırt edilebilmiştir.

MAB kişisinde ise en yüksek SD'yi elde etmek için birim değışinti normalleştirmesi yapılmıştır. Öznitelik çıkarma aşamasında basıklık, aritmetik ortalama, türev ve tekil değer ayrışımı tercih edilmiştir. Sonuç olarak *k*-EYK sınıflandırması ile 6 sınıflandırma durumu için ortalama %76.55 SD elde edilmiştir.

OA kişisine ait EEG verileri ile yapılan denemeler neticesinde ise birim değışinti normalleştirmesi uygulanmış ve basıklık öznitelik çıkarma yöntemi ile en yüksek SD elde edilmiştir. *k*-EYK sınıflandırma yöntemiyle 6 sınıflandırma durumu için ortalama %75.79 SD ile kokular birbirinden ayırt edilmiştir.

AH kişisi için tercih edilen etkin yöntemde asgari-azami normalleştirmesi uygulanmış ve öznitelik çıkarma yöntemi olarak basıklık ve tekil değer ayrışımı kullanılmıştır. Sonuçta 6 sınıflandırma durumu için *k*-EYK yöntemi ile ortalama %76.54 SD elde edilmiştir.

Sonuç olarak nane, karanfil, kekik ve biberiye olmak üzere yüzde yüz soğuk baskı yöntemiyle elde edilen 4 adet doğal yağın 8 gönüllü kişi tarafından koklanması ile elde edilen EEG verileri incelenmiştir. Her bir kişi için özgün yöntemler kullanılarak 4 kokunun ikili sınıflandırmaları yapılmış ve Tablo 4.1’de verildiği gibi ortalama %75.41 sınıflandırma doğruluğu ile kokular birbirinden ayırt edilmiştir. Literatürdeki çalışmalarla kıyaslandığında bu çalışmada kullanılan 4 koku da aynı türden kokulardan seçilmiştir. Diğer taraftan bahsedilen çalışmalarla kıyaslandığında kaydedilen EEG verilerinin sayısı daha azdır. Subjektif olarak gönüllülere sorulduğunda dahi ayırt etmekte güçlük çektikleri bu kokular EEG verileri kullanılarak yüksek doğrulukla ayırt edilebilmiştir.

Tablo 4.1. Tüm kişiler için ortalama SD sonuçları

<b>KİŞİLER</b>	<b>ORTALAMA SD (%)</b>
AI	73.47
EC	76.50
MO	72.98
TB	74.78
SA	76.65
MAB	76.55
OA	75.79
AH	76.54
<b>ORTALAMA</b>	75.41

Elde edilen sonuçlar kokuların ikili sınıflandırma durumları için ayrı ayrı değerlendirildiğinde hangi iki kokunun daha yüksek SD ile ayırt edilebildiğini görmek için 8 kişiden elde edilen SD’lerin ortalaması hesaplanmış ve Tablo 4.2’de verilmiştir.

Tablo 4.2. Tüm ikili sınıflandırma durumları için ortalama SD sonuçları

<b>KOKU SINIFLARI</b>	<b>ORTALAMA SD (%)</b>
S1-S2	75.67
S1-S3	75.31
S1-S4	75.33
S2-S3	75.09
S2-S4	75.97
S3-S4	75.07
<b>ORTALAMA</b>	75.41

Tabloda görüldüğü gibi çok küçük bir farkla en iyi SD karanfil ve biberiye kokularının sınıflandırıldığı S2-S4 ikili sınıflandırma durumunda elde edilmiştir. Ancak genel olarak tabloya bakıldığında tüm kokuların ortalama %75.41 SD ile birbirinden ayırt edildiği görülmüştür.

## 5. ÖNERİLER VE TARTIŞMA

Her geçen gün üzerine yapılan çalışmalar artmasına rağmen merak konusu olmayı sürdüren insan beyninin görevlerinden biri de duyu organlarından gelen uyarıları alması ve değerlendirmesidir. Bu değerlendirme beyinde iletişim halinde bulunan milyarlarca sinir hücresi tarafından gerçekleşir. İletişim halindeki bu sinir hücrelerinin elektriksel aktivitesi elektroensefalografi (EEG) sinyalini meydana getirmektedir. EEG kayıtları sıklıkla kafatasını kaplayacak şekilde giyilen bir başlık üzerine yerleştirilmiş elektrotlar yardımıyla alınmaktadır. Duyu organlarından gelen uyarılardan biri de koklama olayıdır. Diğer duyular ile kıyaslandığında karmaşıklığıyla dikkat çeken koku duyusu üzerine yapılan çalışmalar artmaktadır. İnsan beyninin hangi bölgesinin hangi duylara cevap verdiği üzerinde sonuçlara varılmış olsa da çeşitli kokulara verdiği cevaplar ve bu cevaplar arasındaki farklılıklar tam anlamıyla netleştirilememiştir. Son yıllarda yapılan EEG tabanlı çalışmalar mevcut olmakla birlikte deneysel çalışmaların yetersizliği, sınırlı koku kullanılması ya da elde edilen bulgulardaki farklılıklar beynin tepkisinin tam olarak ortaya koyulamama nedenlerindedir.

Koku duyusunun değerlendirilmesi hususunda subjektif ve objektif olmak üzere iki çeşit test mevcuttur. Subjektif testler kişilere kokular sunulup sözel olarak verdiği cevapların kaydedilmesi ile yapılır. Objektif testler ise kişiye kokulu uyarılar verilip bunların oluşturduğu elektriksel sinyallerin EEG yöntemiyle kaydedilmesiyle yapılır. Klinik olarak subjektif testler yapılmakta olup objektif yöntemler henüz uygulanmamaktadır.

Bu çalışmada 8 gönüllüye 4 adet baharattan yüzde yüz soğuk baskı yöntemiyle elde edilen yağlar uygun deney şartlarında koklatılmış ve oluşan EEG sinyalleri kaydedilmiştir. Kaydedilen veriler uygun ön işleme, öznitelik çıkarma ve sınıflandırma aşamalarında geçirilerek ikili sınıflandırmalar ile kokuların ayırt edilmesi sağlanmıştır. Literatürdeki benzer çalışmalarda yapılan hoş ve hoş olmayan koku ayırımı yapılmadan benzer kokular koklatılarak sınıflandırma yapılması koku alanında yapılan çalışmalara katkı sağlamıştır. Böylelikle normal şartlarda kişilere sorulduğunda ayırt etmekte zorluk yaşayabileceği kokuların da beyin sinyalleri kullanılarak ayırt edilebileceği gösterilmiştir.

Bu tip çalışmalarda mikro voltlar mertebesinde çok küçük genlik değerlerine sahip olan EEG işaretleri kullanıldığından hem kayıtlar esnasında oluşabilecek istemsiz göz

kırpma, soluk alıp verme gibi fiziksel etkenlerden hem de gürültü gibi çevresel etkenlerden ötürü bozulmaya uğrayabilmektedir. Bu nedenle ilk etapta kayıtlar alınırken bu hususa dikkat etmek gerekir. Fazla bozucu etki içeren bir sinyal ile yapılan çalışmanın yüksek doğrulukla sonuçlanması zor olacağı için öncelikle ilerleyen aşamalara geçmeden önce olası bu sorun halledilmelidir. Bu tez çalışmasında EEG verileri kaydedilirken sessiz bir ortam tercih edilmiş ve koklama esnasında gönüllünün gözünü kırpmaması ve herhangi bir kas hareketi yapmaması istenmiştir. Sonrasında ise bazı kişilerde uygun önleme yöntemi kullanılarak bozucu etkililer en aza indirilmeye çalışılmıştır. EEG verilerinin kaydedilmesi aşamasında sonra ise uygun öznitelik çıkarma metodunu seçmek bu alandaki çalışmalarda can alıcı noktayı oluşturmaktadır. Elde edilen EEG verisi için uygun olmayan bir öznitelik çıkarma yöntemi sonucunda yapılacak sınıflandırmanın yüksek doğruluk getirmesi beklenemez. Bu çalışmada da her bir kişi için etkin yöntem kişiye özgü seçilerek en yüksek SD'nin elde edilmesi hedeflenmiştir.

EEG tabanlı yapılan bu ve benzeri çalışmalarda genellikle EEG kayıtları 10-20 elektrot sistemine göre yerleştirilmiş elektrotların bulunduğu EEG başlığı kullanılarak yapılmaktadır. Bu tez çalışmasında da EEG verileri toplamda 17 kanal üzerinden kaydedilmiştir. Kafanın ön kısmına denk gelen 3 elektrottan göz kırpma hareketlerinden daha çok etkilenmesi dezavantajından dolayı kayıt alınmamıştır. Burada uygun kanal seçimi ve elektrotlardan verinin doğru bir şekilde alınması da bir diğer önemli husustur. Elektrotların saçlı deriye temasını sağlayan elektrot jelinin uygun şekilde uygulanması ve empedans uyumunun sağlanması gerekmektedir. Bu çalışmada her bir kişi için kayıt alınan 17 kanalın hepsi tek tek denenmiş ve en iyi SD'yi veren kanal kullanılmıştır. Deneysel çalışmalarda çok sayıda EEG verisi kullanılarak deneme yapılması SD'nin güvenilirliğini arttıracığından hem fazla sayıda gönüllü katılımı hem de çok sayıda deneme ile kayıt alınması önemli konulardan birisidir. Bu çalışmada 8 gönüllü ile her biri için 40'ar denemeden oluşan 4 oturumla EEG kayıtları alınmış olup toplamda bir kişiden 160 EEG verisi elde edilmiştir.

Bu tez çalışmasının yanı sıra koku çeşidi, gönüllü katılımcı sayısı ve deneme sayıları artırılarak farklı çalışmalar yapılabileceği gibi burada ikili kombinasyonlarla yapılan sınıflandırmalar sonucunda elde edilen SD, 4 sınıf aynı anda kullanılarak daha geliştirilmiş bir yolla çözüme kavuşturulabilir.

## 6. KAYNAKLAR

1. Aydemir, Ö. "Classification of electroencephalography signals recorded during smelling of valerian and rosewater odors." Telecommunications and Signal Processing (TSP), 2016 39th International Conference on. IEEE, 2016.
2. Aydemir, Ö. ve Kayıkçıoğlu, T., "EEG Tabanlı Beyin Bilgisayar Arayüzleri", Akademik Bilişim Konferansı, Şubat 2009, Şanlıurfa, Bildiriler Kitabı, 7-13.
3. Placidi, G., Avola, D., Petracca, A., Sgallari, F. and Spezialetti, M. "Basis for the implementation of an EEG-based single-trial binary brain computer interface through the disgust produced by remembering unpleasant odors ", *Neurocomputing* ,160,308–318, February 2015.
4. Mascaraque, L. L. and Trejo, J. L., "From the nose to the brain: Olfaction and Neuroscience" , *The Anatomical Record* ,296(9), 1285–1286, 2013.
5. McCane, L. M., Sellers, E. W., McFarland, D. J., Mak, J. N., Carmack, C. S., Zeitlin, D., ve Vaughan, T. M., Brain-computer interface (BCI) evaluation in people with amyotrophic lateral sclerosis, *Amyotrophic lateral sclerosis and frontotemporal degeneration*, 15, 3 (2014) 207-215.
6. Uchida, N., Buck, D. W., He, D., Reitsma, M. J., Masek, M., Phan, T. V. ve Weissman, I. L., Direct isolation of human central nervous system stem cells, *Proceedings of the national academy of sciences*, 97, 26 (2000) 14720-14725.
7. Bean, B. P., The action potential in mammalian central neurons, *Nature Reviews Neuroscience*, 8, 6 (2007) 451-465.
8. Bularka, S. ve Gontean, A., Brain-Computer Interface review, In Electronics and Telecommunications (ISETC), June 2016, Timisoara, Bildiriler Kitabı: 219-222.
9. Ivry, R. B. ve Keele, S. W., Timing functions of the cerebellum, *Journal of Cognitive Neuroscience*, 1, 2 (1989) 136-152.
10. Polomac, N., et al. "Generators and Connectivity of the Early Auditory Evoked Gamma Band Response." *Brain topography*, 1-14, 2015.
11. Vaughan, T.M., Brain-computer interface technology: A Review of the Second International Meeting, *IEEE Trans. Neural Syst. Rehabil. Eng.*, 11 (2003) 94– 109.
12. Kayıkcioglu, T. ve Aydemir, O., "A Polynomial Fitting and k-NN Based Approach for Improving Classification of Motor Imagery BCI Data" , *Pattern Recognition Letters*, 31,11 (2010) 1207-1215.
13. Curran, E. A., ve Stokes, M. J., "Learning to control brain activity: a review of the production and control of EEG components for driving brain-computer interface (BCI) systems", *Brain and cognition*, 51, 3 (2003) 326-336.

14. Niedermeyer, E. ve Da Silva, F.H.L., “Electroencephalography: Basic Principles, Clinical Applications and Related Fields”, 5th edition, Lippincott Williams and Wilkins, ABD, 2004.
15. Ersop, M. E., “EEG İşaret Analiz Metotlarının Karşılaştırmalı Bir Çalışması”, Yüksek Lisans Tezi, Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa, 2003.
16. Evren, C., Yiğit, V. B. and Çınar, F. , "Koku fonksiyonunun subjektif değerlendirilmesi." Kulak Burun Bogaz İhtis Derg. 25.1 (2015), 59-64.
17. Çırpar, Ö., Multuk, N., and Arıkan, O. K. , "KOKU BOZUKLUKLARI." Bidder Tıp Bilimleri Dergisi, 2012
18. Cullen, M. M, Leopold, D. A. , “Disorders of smell and taste”, Med Clin North Am 1999;83:57-74.
19. Nakashima, T., Kimmelman, C. P. , Snow, J. B.,”Structure of human fetal and adult olfactory neuroepithelium”, Archives of otolaryngology, 1984;110:641-6.
20. Hummel, T., Sekinger, B. , Wolf, S. R., Pauli, E., Kobal, G. “Sniffin’ Sticks”: olfactory performance assessed by the combined testing of odor identification, odor discrimination and olfactory threshold. Chemical senses, 1997;22:39-52.
21. Doty R. L, Kimmelman C.P. and Lesser R.P. “Smell and taste and their disorders.” In: Asbury AK, McKhann GM, McDonald WI, eds. Diseases of the nervous system: clinical neurobiology. 2d ed. Philadelphia: Saunders, 1993; pp. 390-403.
22. Costanzo, R. M. "Smell and taste disorders in head injury and neurosurgery patients." Clinical measurements of taste and smell , 1986, New York, pp. 565-7
23. Blankertz, B., Curio, G., ve Müller, K. R., “Classifying single trial EEG: Towards brain computer interfacing”, Advances in neural information processing systems, 1 (2002) 157-164
24. Neuper, C., Müller, G. R., Kübler, A., Birbaumer, N., ve Pfurtscheller, G., “Clinical application of an EEG-based brain–computer interface: a case study in a patient with severe motor impairment”, Clinical neurophysiology, 114, 3 (2003) 399-409.
25. Zhou, S. M., Gan, J. Q. ve Sepulveda, F., “Classifying Mental Tasks Based on Features of Higher-Order Statistics from EEG Signals in Brain–Computer Interface”, Information Sciences, 178(2008) 1629-1640.
26. Weiskopf, N., Mathiak, K., Bock, S. W., Scharnowski, F., Veit, R., Grodd, W., Goebel, R., ve Birbaumer, N., “Principles of a brain–computer interface (BCI) based on real-time functional magnetic resonance imaging”, (fMRI, IEEE transactions on biomedical engineering, 51, 6 (2004) 966–970.

27. Wilson, J. A., Felton, E. A., Garell, P. C., Schalk, G., ve Williams, J. C., “ECoG factors underlying multimodal control of a brain-computer interface”, IEEE transactions on neural systems and rehabilitation engineering, 14, 2 (2006) 246-250.
28. Kwoh, Y. S., Hou, J., Jonckheere, E. A., ve Hayati, S., “A robot with improved absolute positioning accuracy for CT guided stereotactic brain surgery”, IEEE Transactions on Biomedical Engineering, 35, 2 (1988) 153-160.
29. Filipek, P. A., Kennedy, D. N., Caviness, V. S., Rossnick, S. L., Spraggins, T. A., and Starewicz, P. M., “Magnetic resonance imaging–based brain morphometry: development and application to normal subjects”, Annals of neurology, 25, 1 (1989) 61-67.
30. Tsujimoto, H. , et al. "Chaotic analysis of EEG activities stimulated by pleasant odor and unpleasant odor." Engineering in Medicine and Biology Society, 1996. Bridging Disciplines for Biomedicine. Proceedings of the 18th Annual International Conference of the IEEE, 3. IEEE, 1996.
31. Kroupi, E. , Sopic D. , and Ebrahimi T.. "Non-linear EEG features for odor pleasantness recognition." Quality of Multimedia Experience (QoMEX), 2014 Sixth International Workshop on. IEEE, 2014.
32. Xu, H. , Kroupi, E. and Ebrahimi, T. , "Functional connectivity from EEG signals during perceiving pleasant and unpleasant odors." Affective Computing and Intelligent Interaction (ACII), 2015 International Conference on. IEEE, 2015.
33. Yazdani, A. , et al. "Electroencephalogram alterations during perception of pleasant and unpleasant odors." Quality of Multimedia Experience (QoMEX), 2012 Fourth International Workshop on. IEEE, 2012.
34. Kroupi, E., Yazdani, A., Vesin, J. M., & Ebrahimi, T., “EEG correlates of pleasant and unpleasant odor perception”. ACM T MULTIM COMPUT, 11(1s), 13, 2014.
35. Aydemir, Ö. "Classification of electroencephalography signals recorded during smelling." Signal Processing and Communication Application Conference (SIU), 2016 24th. IEEE, 2016.
36. Aydemir, Ö. "Classification of electroencephalography signals recorded during smelling of valerian and rosewater odors." Telecommunications and Signal Processing (TSP), 2016 39th International Conference on. IEEE, 2016.
37. Yavuz, E. and Aydemir, Ö. "Olfaction recognition by EEG analysis using wavelet transform features." INnovations in Intelligent SysTems and Applications (INISTA), 2016 International Symposium on. IEEE, 2016.
38. Altun, H. and Aydemir, Ö. “Classification of electroencephalography signals recorded during smelling of rosewater and lotus flower odors”, In Electric Electronics, Computer Science, Biomedical Engineerings' Meeting (EBBT), April 2017 ,(pp. 1-4). IEEE.



39. Lorig, T. S. and Schwartz, G. E. "Brain and odor: I. Alteration of human EEG by odor administration." *Psychobiology* 16.3 (1988): 281-284.
40. Koike, T. , Kaneki, N., Yamada, H., & Kamimura, H. "Effect of odorant presentation on changes in cognitive interference and brain activity during counting Stroop task." *Biometrics and Kansei Engineering (ICBAKE), 2011 International Conference on. IEEE, 2011.*
41. Schriever, V. A., Han, P., Weise, S., Hösel, F., Pellegrino, R. and Hummel, T. , "Time frequency analysis of olfactory induced EEG-power change", 2017, *PLoS ONE* 12(10): e0185596.
42. Güvener, H. "Investigation of Odorous Emissions and Immissions in Ankara With Olfactometer." *Trabajo de Grado, Turquía (2004).*
43. Mardia, K. V. Measures of multivariate skewness and kurtosis with applications. *Biometrika*, 1970, 519-530.
44. Han, R., ve Wei, Q., "Joint selection of time and frequency segments for classifying multiclass EEG data in motor imagery based BCIs", In *Fuzzy Systems and Knowledge Discovery (FSKD), Ağustos 2015, Zhangjiajie, Bildiriler Kitabı: 1571-1576.*
45. Strang, G., Nguyen, T., "Wavelets and filter banks", *Wellesley-Cambridge Press, 1996.*
46. Burrus, C.S., Gopinath, R.A. ve Guc, H., "Introduction to Wavelets and Wavelet Transforms", *Texas, Prentice Hall, 1998*
47. Meyer, Y. Wavelets, "Algorithms and Applications", *Philadelphia: SIAM, 1993.*
48. Chan, T. "Wavelet Basics", *Royal Military College of Canada, 1996.*
49. Aydemir, Ö., "Common spatial pattern-based feature extraction from the best time segment of BCI data", *Turkish Journal of Electrical Engineering & Computer Sciences*, 24, 5 (2016) 3976-3986
50. Aydemir, O. ve Kayikcioglu, T., "Decision tree structure based classification of EEG signals recorded during two dimensional cursor movement imagery", *Journal of neuroscience methods*, 229 (2014) 68-75.
51. Li, P., Wang, X., Li, F., Zhang, R., Ma, T., Peng, Y., ... & Yao, D. "Autoregressive model in the  $L_p$  norm space for EEG analysis", *Journal of neuroscience methods*, 240, 170-178, 2015.
52. Asres, A., Dou, H., Zhou, Z., Zhang, Y. and Zhu, S., "A combination of AR and neural network technique for EMG pattern identification", *18th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine And Biology Society, Amsterdam, 1464-1465, 1996.*

53. Aslantas, V., "A singular-value decomposition-based image watermarking using genetic algorithm" , AEU - International Journal of Electronics and Communications, 62 (5), pp: 386-394, 2008.
54. Golub, G. H., and Reinsch, C. "Singular value decomposition and least squares solutions." Numerische mathematik 14.5 (1970): 403-420.
55. Fan, M. Q., Wang, H. X., Li, S.K. "Restudy on SVD-based watermarking scheme", Applied Mathematics and Computation, 203(2), pp: 926-930, 200
56. Aydemir, Ö. "Combining sub-band power features extracted from different time segments of EEG trials." Telecommunications and Signal Processing (TSP), July 2017, 40th International Conference on. IEEE.
57. Kayikcioglu, T. and Aydemir, O. "A polynomial fitting and k-NN based approach for improving classification of motor imagery BCI data", Pattern Recognition Letters, 31, 11 (2010) 1207-1215.
58. Mensh, B. D., Werfel, J., Seung, H. S., "BCI competition 2003-data set Ia: combining gamma-band power with slow cortical potentials to improve single-trial classification of electroencephalographic signals", IEEE Transactions on Biomedical Engineering, 51, 6 (2004) 1052-1056.
59. Duda, R. O., Hart, P. E. and Stork, D. G., "Pattern Classification", 2nd edition, Wiley, NY, 2001.
60. Aydemir, Ö., "İmlecin İki Boyutlu Hareketinin Hayali Sırasında Kaydedilmiş EEG İşaretlerinin Karar Ağaç Yapısı Esaslı Sınıflandırılması", Doktora Tezi, KTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 2013

## 7. EKLER

Ek 1

Tablo 7.1. Deneye katılan gönüllü kişiler hakkında bilgi

<b>GÖNÜLLÜ KİŞİLER</b>	<b>AD SOYAD</b>	<b>YAŞ</b>	<b>DENEY TARİHİ</b>
KİŞİ 1 (AI)	Abdülkerim İSKENDEROĞLU	22	19.07.2017
KİŞİ 2 (EC)	Emre ÇİFTÇİ	23	20.07.2017
KİŞİ 3 (MO)	Mahmut ÖZER	21	25.07.2017
KİŞİ 4 (TB)	Tevfik BULUT	22	26.07.2017
KİŞİ 5 (SA)	Sinan ALTUNBİLEK	22	27.07.2017
KİŞİ 6 (MAB)	Muhammet Ali BİLGİN	22	01.08.2017
KİŞİ 7 (OA)	Önder AYDEMİR	35	02.08.2017
KİŞİ 8 (AH)	Alihan HEKİMOĞLU	21	03.08.2017

Ek 2

## DENEYE KATILACAK GÖNÜLLÜ KİŞİLER İÇİN BİLGİLENDİRME

“*Bazı Baharat Kokularının Koklanması Sırasında Oluşan EEG İşaretlerinin İncelenmesi ve Sınıflandırılması*” adı altında yapacağımız çalışmamızda siz gönüllülere 4 çeşit baharattan elde edilmiş olan yağlar ( nane, karanfil, kekik ve biberiye) koklanmak üzere uygun şartlarda sunulacaktır. Deney sırasında EEG verileri, bölümümüz anabilim dalı lisansüstü araştırmaları için kullanılan Micromed marka BrainQuick model cihaz ile bölümümüz içerisinde bulunan EEG Araştırma Laboratuvarı’nda kaydedilecektir. Deneyden önce deney ortamını görmemiz sağlanacak ve nasıl bir yol izleneceği sizlere anlatılacaktır. Genel hatlarıyla bilgi verilecek olunursa; Deney sırasında rahat bir sandalyeye oturup önünüzde bulunan ekrana bakmanız istenecektir. Ekrandaki sunuda izleyeceğimiz adımlar bulunup sizden ekrana iyice odaklanıp komutları uygulamanız istenecektir. Öncesinde de açıklaması yapılacaktır. Başınıza yerleştirilecek olan EEG kepi oldukça rahat ve acısız olmakla birlikte sizin kokuları kokladığınız sırada elde edilen EEG sinyalleri kaydedilecektir.

### Deneye Gelmeden Önce Siz Gönüllülerden İstenenler;

- Koku testi öncesindeki 2 saat içerisinde bir şeyler yememeniz tercih edilir. Hemen yemek sonrası yapılan testlerde koku ile ilgili konsantrasyonlarda düşmeler olmaktadır.
- Gelmeden 6-8 saat öncesine kadar çay, kahve içmemiş olmanız rica edilir.
- Teste gelmeden 6 saat öncesine kadar sigara içmemiş olmanız rica edilir.
- Testte üzerinizde herhangi bir parfüm ya da testi olumsuz etkileyebilecek bir koku bulunmaması rica edilir.
- Deneye geleceğiniz esnada koku almanızı etkileyecek herhangi bir rahatsızlık (grip vs.) mevcutsa tarafımızın bilgilendirilmesi rica edilir.

**NOT:** Çalışmamızda gönüllü olduğunuz ve vermiş olduğunuz desteğiniz için teşekkür ederiz.

Yrd. Doç. Dr. Önder AYDEMİR

Elektrik-Elektronik Müh. Hilal ALTUN

Ek 3

Tablo 7.2. AI kişisine ait etkin yöntemin tüm kanallara ait SD'leri

<b>ch</b> \ <b>Sınıf</b>	<b>S1-S2</b>	<b>S1-S3</b>	<b>S1-S4</b>	<b>S2-S3</b>	<b>S2-S4</b>	<b>S3-S4</b>
<b>1</b>	56.32	56.95	57.02	57.20	57.12	56.77
<b>2</b>	59.10	57.60	57.20	58.57	58.70	58.67
<b>3</b>	64.12	63.52	63.35	63.30	64.25	62.75
<b>4</b>	59.57	59.87	60.50	61.02	60.22	60.35
<b>5</b>	<b>69.82</b>	<b>69.05</b>	<b>69.30</b>	<b>69.70</b>	<b>70.30</b>	<b>69.77</b>
<b>6</b>	58.00	57.57	57.60	57.07	57.55	56.75
<b>7</b>	64.35	64.30	64.85	64.82	64.07	64.60
<b>8</b>	67.12	66.82	68.00	66.95	66.57	66.77
<b>9</b>	57.75	58.17	56.97	56.90	57.97	57.57
<b>10</b>	56.50	56.77	55.60	56.85	55.45	55.97
<b>11</b>	56.75	57.65	57.65	58.15	57.30	57.47
<b>12</b>	58.57	58.47	59.30	58.87	57.95	58.57
<b>13</b>	58.02	59.92	59.30	59.20	59.07	58.25
<b>14</b>	60.72	60.72	62.27	61.05	60.67	56.85
<b>15</b>	56.90	57.22	57.87	57.52	57.95	59.85
<b>16</b>	59.27	59.37	60.17	59.82	59.97	58.92
<b>17</b>	59.27	55.40	56.32	56.02	55.92	56.75

Tablo 7.3. EC kişisine ait etkin yöntemin tüm kanallara ait SD'leri

<b>ch</b> \ <b>Sımf</b>	<b>S1-S2</b>	<b>S1-S3</b>	<b>S1-S4</b>	<b>S2-S3</b>	<b>S2-S4</b>	<b>S3-S4</b>
<b>1</b>	63.20	62.35	62.42	62.47	62.57	62.50
<b>2</b>	<b>72.75</b>	<b>72.05</b>	<b>71.90</b>	<b>71.93</b>	<b>72.50</b>	<b>72.10</b>
<b>3</b>	58.52	59.32	58.50	58.30	58.60	58.72
<b>4</b>	60.40	59.10	60.22	61.27	60.20	61.05
<b>5</b>	55.10	55.35	54.30	55.42	54.07	55.00
<b>6</b>	61.17	61.87	61.52	61.32	61.85	60.82
<b>7</b>	56.27	57.20	55.85	56.22	56.85	57.72
<b>8</b>	60.70	61.10	60.57	61.10	60.10	61.20
<b>9</b>	57.70	57.95	58.22	57.37	58.17	58.50
<b>10</b>	57.35	55.87	59.80	57.00	57.12	56.27
<b>11</b>	56.55	56.62	56.35	57.47	56.67	57.70
<b>12</b>	63.55	63.20	63.92	63.22	62.70	63.47
<b>13</b>	62.07	61.72	62.30	61.87	62.90	61.97
<b>14</b>	61.77	60.87	61.15	61.57	60.75	60.92
<b>15</b>	62.37	62.97	63.35	64.12	62.77	62.67
<b>16</b>	60.85	60.87	61.00	61.37	61.50	60.55
<b>17</b>	61.05	61.98	61.17	61.30	60.75	61.00

Tablo 7.4. MO kişisine ait etkin yöntemin tüm kanallara ait SD'leri

<b>ch</b> \ <b>Sınıf</b>	<b>S1-S2</b>	<b>S1-S3</b>	<b>S1-S4</b>	<b>S2-S3</b>	<b>S2-S4</b>	<b>S3-S4</b>
<b>1</b>	57.57	56.12	56.92	57.42	56.00	56.62
<b>2</b>	59.17	59.15	58.87	59.12	58.87	58.97
<b>3</b>	58.02	57.90	58.52	57.95	57.75	58.00
<b>4</b>	57.80	57.77	58.62	57.87	58.37	58.25
<b>5</b>	61.22	60.60	61.35	60.67	60.45	61.50
<b>6</b>	<b>70.12</b>	<b>69.12</b>	<b>69.60</b>	<b>69.02</b>	<b>68.77</b>	<b>68.60</b>
<b>7</b>	56.70	58.12	57.92	57.37	57.72	57.85
<b>8</b>	63.67	64.95	64.80	64.32	63.17	64.47
<b>9</b>	61.80	62.25	61.65	61.50	61.30	61.77
<b>10</b>	57.35	58.55	57.42	58.47	56.80	58.82
<b>11</b>	61.34	61.35	61.30	60.20	60.70	60.72
<b>12</b>	62.80	61.60	61.87	62.37	62.22	62.17
<b>13</b>	57.15	58.32	56.85	57.95	57.10	57.30
<b>14</b>	64.70	60.02	64.40	64.07	64.30	64.42
<b>15</b>	57.95	57.87	58.25	56.87	57.60	57.35
<b>16</b>	57.12	58.40	58.02	57.72	58.70	57.27
<b>17</b>	54.20	55.20	54.15	54.70	54.72	55.57

Tablo 7.5. TB kişisine ait etkin yöntemin tüm kanallara ait SD'leri

<b>Sınıf</b> <b>ch</b>	<b>S1-S2</b>	<b>S1-S3</b>	<b>S1-S4</b>	<b>S2-S3</b>	<b>S2-S4</b>	<b>S3-S4</b>
<b>1</b>	58.62	58.90	58.82	58.57	57.95	57.90
<b>2</b>	64.62	64.05	64.60	64.35	63.32	63.80
<b>3</b>	60.70	61.05	59.82	60.02	60.62	61.02
<b>4</b>	59.75	60.00	59.95	59.90	60.70	60.32
<b>5</b>	68.57	70.02	68.75	68.70	69.57	69.90
<b>6</b>	56.82	55.62	55.95	55.95	56.67	55.92
<b>7</b>	66.07	65.20	65.85	64.72	65.75	64.40
<b>8</b>	<b>71.37</b>	<b>72.17</b>	<b>71.57</b>	<b>71.65</b>	<b>71.67</b>	<b>71.77</b>
<b>9</b>	68.50	68.67	68.52	67.60	68.22	68.55
<b>10</b>	60.92	60.97	60.70	60.97	60.45	60.30
<b>11</b>	62.32	62.17	61.82	63.67	61.87	61.62
<b>12</b>	59.67	59.40	58.72	59.32	59.40	58.70
<b>13</b>	58.52	58.70	56.27	57.97	57.02	56.97
<b>14</b>	64.65	65.12	65.47	66.00	65.57	65.55
<b>15</b>	58.37	58.50	59.25	58.35	59.25	60.25
<b>16</b>	61.92	62.42	61.47	61.62	61.50	61.77
<b>17</b>	57.05	57.60	58.42	58.32	59.17	57.92



Tablo 7.6. SA kişisine ait etkin yöntemin tüm kanallara ait SD'leri

<b>ch</b> \ <b>Sınıf</b>	<b>S1-S2</b>	<b>S1-S3</b>	<b>S1-S4</b>	<b>S2-S3</b>	<b>S2-S4</b>	<b>S3-S4</b>
<b>1</b>	65.30	64.37	64.57	64.40	65.65	64.40
<b>2</b>	59.40	60.02	59.77	58.95	60.07	59.50
<b>3</b>	63.50	63.07	62.75	62.87	63.50	63.55
<b>4</b>	54.80	55.50	56.20	56.40	55.87	55.82
<b>5</b>	57.27	57.45	58.32	57.17	57.15	57.75
<b>6</b>	60.17	60.12	60.67	59.27	60.27	60.45
<b>7</b>	70.35	70.07	70.55	70.52	69.92	70.47
<b>8</b>	59.52	59.75	59.60	60.10	58.85	58.25
<b>9</b>	61.95	61.62	61.95	60.67	61.40	62.12
<b>10</b>	60.12	60.47	59.92	61.27	61.62	60.65
<b>11</b>	<b>74.67</b>	<b>74.35</b>	<b>74.22</b>	<b>74.62</b>	<b>74.90</b>	<b>74.52</b>
<b>12</b>	56.17	57.64	57.25	57.37	56.67	57.30
<b>13</b>	60.97	60.17	60.40	60.15	60.95	60.70
<b>14</b>	60.25	59.38	60.32	59.50	59.90	59.92
<b>15</b>	59.45	59.00	60.15	59.20	60.57	58.32
<b>16</b>	59.07	57.72	58.70	59.07	57.57	58.07
<b>17</b>	60.52	60.00	61.22	60.17	60.97	61.25

Tablo 7.7. MAB kişisine ait etkin yöntemin tüm kanallara ait SD'leri

Sınıf ch	S1-S2	S1-S3	S1-S4	S2-S3	S2-S4	S3-S4
1	64.22	65.02	63.02	65.00	65.22	65.40
2	57.92	57.90	58.40	57.65	57.75	57.82
3	57.17	58.37	58.27	57.45	57.22	57.62
4	57.37	57.50	57.52	57.52	56.47	57.37
5	61.07	62.02	61.95	60.97	61.05	61.72
6	54.82	53.75	55.37	55.57	55.35	55.52
7	66.55	65.97	66.35	65.60	65.75	65.82
8	65.17	64.17	64.97	64.80	64.72	65.27
9	60.47	60.65	61.37	60.62	60.52	59.65
10	59.77	60.00	60.97	60.60	59.82	60.62
11	59.37	58.42	59.72	56.27	58.85	59.27
12	59.50	60.27	59.27	59.10	59.62	60.00
13	<b>70.57</b>	<b>70.30</b>	<b>70.20</b>	<b>70.55</b>	<b>70.08</b>	<b>70.70</b>
14	57.12	56.45	57.12	56.95	56.32	56.12
15	61.75	61.67	60.80	61.57	60.55	60.75
16	61.47	60.87	61.47	61.85	61.40	61.97
17	63.07	63.42	63.60	63.37	62.30	62.47

Tablo 7.8. OA kişisine ait etkin yöntemin tüm kanallara ait SD'leri

<b>Sınıf</b> <b>ch</b>	<b>S1-S2</b>	<b>S1-S3</b>	<b>S1-S4</b>	<b>S2-S3</b>	<b>S2-S4</b>	<b>S3-S4</b>
<b>1</b>	60.92	60.80	59.95	60.17	60.22	60.17
<b>2</b>	60.65	60.50	60.10	59.25	60.67	60.72
<b>3</b>	63.20	61.82	62.85	62.12	61.80	62.35
<b>4</b>	61.07	61.00	60.85	61.22	61.25	60.50
<b>5</b>	<b>72.20</b>	<b>72.15</b>	<b>72.10</b>	<b>72.32</b>	<b>72.60</b>	<b>72.35</b>
<b>6</b>	64.22	63.32	63.77	64.50	63.65	63.95
<b>7</b>	56.95	59.95	57.35	57.47	56.87	57.27
<b>8</b>	57.42	57.05	57.12	56.02	56.87	56.87
<b>9</b>	56.52	56.65	55.50	56.72	56.17	55.37
<b>10</b>	58.70	59.47	59.15	58.80	58.22	58.97
<b>11</b>	62.52	61.27	60.92	62.32	62.70	62.62
<b>12</b>	57.60	58.40	58.00	58.35	59.00	58.40
<b>13</b>	55.87	55.20	55.50	55.25	54.57	54.52
<b>14</b>	55.37	55.90	56.32	55.70	55.77	55.67
<b>15</b>	57.17	57.07	57.35	56.27	56.72	57.72
<b>16</b>	60.50	60.95	60.50	61.22	60.70	60.32
<b>17</b>	59.50	60.07	60.60	59.65	60.00	59.52

Tablo 7.9. AH kişisine ait etkin yöntemin tüm kanallara ait SD'leri

<b>Sınıf</b> <b>ch</b>	<b>S1-S2</b>	<b>S1-S3</b>	<b>S1-S4</b>	<b>S2-S3</b>	<b>S2-S4</b>	<b>S3-S4</b>
<b>1</b>	56.67	57.67	57.97	57.37	57.67	58.00
<b>2</b>	58.75	60.10	59.90	59.62	58.95	59.45
<b>3</b>	62.20	62.10	61.97	60.57	62.27	61.52
<b>4</b>	58.62	58.02	58.60	58.80	58.45	58.15
<b>5</b>	59.27	59.15	59.30	60.20	59.77	59.70
<b>6</b>	59.95	59.92	61.00	61.12	61.25	60.35
<b>7</b>	<b>72.68</b>	<b>73.47</b>	<b>72.65</b>	<b>72.10</b>	<b>72.53</b>	<b>72.55</b>
<b>8</b>	59.27	60.47	59.70	58.65	60.32	59.35
<b>9</b>	58.22	57.85	58.10	58.72	58.77	58.85
<b>10</b>	60.22	60.27	60.00	61.52	60.32	61.42
<b>11</b>	68.55	67.35	67.52	60.05	62.27	68.52
<b>12</b>	58.32	59.35	57.42	56.97	58.12	58.95
<b>13</b>	58.07	58.40	59.40	57.47	57.80	58.42
<b>14</b>	63.47	62.45	62.32	62.34	61.65	62.52
<b>15</b>	62.80	62.90	63.52	63.10	62.40	63.75
<b>16</b>	60.77	61.42	61.22	61.05	61.60	60.72
<b>17</b>	61.80	61.75	61.25	61.75	61.32	61.85

## ÖZGEÇMİŞ

Hilal ALTUN, 1990 yılında Trabzon'da doğdu. İlköğretim ve ortaöğretimini şehirde tamamlayıp, 2008 yılında Trabzon Lisesi'nden mezun oldu. 2009 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümünde üniversite eğitimine başladı. 2013 yılında lisans eğitimini tamamladı ve aynı yıl üniversitesinde yüksek lisans eğitimine başladı. Biyomedikal alanda yürütülen çalışmalara ilgi duyan Altun iyi derecede İngilizce bilmektedir.



