

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**



TRABZON



KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ORCID : - - -

Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünce

Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : / /

Tezin Savunma Tarihi : / /

Tez Danışmanı :
ORCID : - - -

Trabzon

ÖNSÖZ

Biyosinyal tabanlı duygu tanıma sistemleri zorlu bir araştırma problemidir. Duygu tanıma problemlerinin çoğu yüz ifade görüntülerinin analizine dayanır. Ancak bilimsel bilginin artması ve teknolojik gelişmelerle birlikte çok modlu duygu tanıma yaklaşımlarına doğru bir eğilimin olduğu görülmektedir. Çok modlu duygu tanıma yaklaşımları belirli bir duygu durumunu tespit etmek için farklı biyolojik bilgileri bir arada kullanır. Özellikle son yıllarda, farklı biyolojik bilgilerin eş zamanlı kullanımı literatüre pozitif katkı sunmuştur.

Tez çalışmasında, çok modlu duygu tanıma sistemleri için örüntü tanıma tekniklerinden faydalanarak çevresel etkilerden arındırılmış bir sistemin oluşturulması amaçlanmıştır. İlk olarak literatüre kıyasla daha geniş ölçekli ve zengin bir veri seti (Karadeniz Teknik Üniversitesi Multimodal Emotion Dataset, KMED) oluşturulmuştur. İkinci olarak, bu veri setinde makine öğrenmesi ve bilgisayarlı görme yaklaşımları kullanarak duyguları tanıma için özgün sinyal-görüntü dönüşümü yaklaşımları önerilmiştir. Son olarak, literatürde sıklıkla kullanılan DEAP veri seti ve bu çalışmada oluşturulan KMED veri setiyle çok modlu yaklaşımlar için değerlendirmeler yapılmıştır. Çalışmada, ayrıca yeni çok modlu bir yaklaşım önerilerek mevcut literatüre bilimsel katkıda bulunulmuştur.

Doktora eğitim-öğretimim, tez çalışmalarım ve akademik yaşantım boyunca görüş ve tecrübeleriyle yol gösteren çok değerli danışmanım Prof. Dr. Cemal KÖSE'ye minnet ve şükranlarımı sunarım. Çalışmalarım sürecinde rehberlik eden tez izleme komitesi üyeleri Prof. Dr. Mustafa ULUTAŞ ve Doç. Dr. Önder AYDEMİR'e teşekkürlerimi sunarım. Doktora hayatım boyunca yanımda olan eşim Çağatay Murat YILMAZ'a, kıymetli annem ve babam Fatma ve Osman HATİPOĞLU'na, kardeşlerim Muhammet ve Bedirhan HATİPOĞLU'na, eğitim hayatımda yol gösteren amcam Saim HATİPOĞLU'na, tez çalışmamın başlangıcında hayatıma dahil olup bu zorlu süreçte yaşantıma anlam katan biricik kızım Leyla Gülfem'e, arkadaşlarıma ve veri seti oluşturulmasında katkı sağlayan değerli katılımcılara şükranlarımı sunarım. Tez çalışmasına 121E002 ve 119E397 numaralı projelerle destek veren TÜBİTAK'a da teşekkürlerimi saygılarımla arz ederim.

Bahar HATİPOĞLU YILMAZ

Trabzon 2022

TEZ ETİK BEYANNAMESİ

Doktora Tezi olarak sunduğum “Sinyal Görüntü Dönüşümleri Yardımıyla Çok Modlu Duygu Tanıma Sisteminin Geliştirilmesi” başlıklı bu çalışmayı baştan sona kadar danışmanım Sayın Prof. Dr. Cemal Köse’nin 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. 11/11/2022

Bahar HATİPOĞLU YILMAZ

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ	III
TEZ ETİK BEYANNAMESİ.....	IV
İÇİNDEKİLER.....	V
ŞEKİLLER DİZİNİ	XI
TABLolar DİZİNİ.....	XIV
SEMBOLLER DİZİNİ	XVI
1. GENEL BİLGİLER	1
1.1. Giriş.....	1
1.2. Çok Modlu Yaklaşımlar.....	2
1.2.1. Detaylı Yüz Sensörleri	3
1.2.2. Görsel Olmayan Sensörler	4
1.2.2.1. Ses	4
1.2.2.2. EEG ve EKG Sensörleri.....	4
1.2.2.3. Derinlik Kamerası	6
1.2.3. Hedef Odaklı Sensörler	6
1.3. Tezin Kapsamı	6
1.4. Literatür.....	8
1.4.1. Yalnızca EEG Sinyalleri ile Yapılan Duygu Tanıma Çalışmaları.....	9
1.4.2. EEG-tabanlı Çok Modlu Duygu Tanıma Çalışmaları.....	10
1.5. Öznitelik Çıkarma Yöntemleri.....	12
1.5.1. Yerel İkili Örüntüler.....	12
1.5.2. Ölçekten Bağımsız Öznitelik Dönüşümü.....	16
1.5.3. Harris Köşe Bulma Algoritması.....	17
1.5.4. Ki-karesel Uzaklığı	18
1.6. Sınıflandırma Yöntemleri	18
1.6.1. K-En Yakın Komşuluk Algoritması	18
1.6.2. Destek Vektör Makineleri.....	20
1.6.2.1. Doğrusal Ayrılabilir İkili Sınıflandırma	20
1.6.2.2. Ufak Bir Hatayla Doğrusal Ayrılamama Durumu	22
1.6.2.3. Doğrusal Olmayan Destek Vektör Makineleri.....	23

2.	YAPILAN ÇALIŞMALAR	24
2.1.	Açı-Genlik Dönüşümü Yaklaşımları-I.....	24
2.1.1.	Değişim Noktaları Arasındaki Uzaklığın Hesaplanması	24
2.1.2.	Açı ve Genlik Değerlerinin Belirlenmesi.....	26
2.1.3.	Açı-Genlik Değerlerinin Koordinat Düzlemine Yerleştirilmesi	27
2.1.4.	Açı-Genlik Görüntüleri	30
2.1.5.	Öznitelik Seviyesinde Birleştirme Yaklaşımları	41
2.1.5.1.	Öznitelik Seviyesinde Birleştirme-1	41
2.1.5.2.	Öznitelik Seviyesinde Birleştirme-2	43
2.1.6.	Sınıflandırma.....	44
2.1.6.1.	Destek Vektör Makineleri	44
2.2.	Açı-Genlik Dönüşümü Yaklaşımları-II	45
2.2.1.	Birinci AGD Yaklaşımı	45
2.2.2.	İkinci AGD Yaklaşımı	47
2.3.	Önerilen Füzyon Yöntemleri	49
2.3.1.	Sensör Seviyesinde Birleştirme	49
2.3.2.	Öznitelik Seviyesinde Birleştirme-3	50
2.4.	Öznitelik Çıkarma ve Sınıflandırma	51
2.5.	Çok Modlu Duygu Tanıma Veri Setinin Oluşturulması	52
2.5.1.	Denek Bilgileri.....	53
2.5.2.	Kayıt Sırasında Deneklere İzletilecek Paradigmanın Hazırlanması	54
2.5.3.	Deney Paradigması Zaman Çizelgesi	55
2.5.4.	Kayıt Alımında Dikkat Edilen Hususlar	57
2.5.5.	Kayıtlar Sırasında Karşılaşılan Zorluklar	58
2.5.6.	EPOC Flex Salin Sensör Kayıt Cihazı ile EEG Kayıtlarının Alınması	59
2.5.6.1.	Cihazın Teknik Özellikleri.....	62
2.5.6.2.	Cihaz İçin Alınan Güvenlik Önlemleri	63
2.5.6.3.	Denetleyici, Şarj ve LED Göstergeleri	63
2.5.6.4.	Sensörlerin Özellikleri ve Renklendirilmesi	63
2.5.6.5.	EPOC Flex Kep.....	64
2.5.6.6.	Yüksek Sinyal Kalitesiyle Kayıt Alma	65
2.5.6.7.	Cihazın Temizlenmesi.....	65
2.5.7.	EEG Sinyallerinin Ön İşlenmesi	66

2.5.8.	Videolardan Çıkarılan Yüz Görüntülerinin Hazırlanması	71
2.5.9.	Maksimum Benzersizlik Tabanlı En Benzersiz Görüntü Bulma	72
3.	BULGULAR VE İRDELEME	76
3.1.	DEAP Veri Seti İçin Bulgular ve İrdeleme.....	76
3.1.1.	DEAP Veri Seti	77
3.1.2.	AGD-I İçin Deneysel Sonuçlar ve Analizler	78
3.1.2.1.	EEG Sinyallerine SGD Uygulanmasıyla Elde Edilen AGG'ler İçin Deneysel Sonuçlar ve Analizler.....	79
3.1.2.2.	EOG Sinyallerine SGD Uygulanmasıyla Elde Edilen AGG'ler İçin Deneysel Sonuçlar ve Analizler.....	82
3.1.2.3.	EEG ve EOG Sinyallerinden Elde Edilen AGG'lere ÖSB-1 ve ÖSB-2 Uygulanmasıyla Elde Edilen Deneysel Sonuçlar ve Analizler	85
3.1.3.	AGD-II İçin Deneysel Sonuçlar ve Analizler	94
3.1.3.1.	Birinci AGD Yaklaşımının DEAP Veri Setindeki EEG Sinyallerine Uygulanmasıyla Elde Edilen Sonuçlar ve Analizler.....	96
3.1.3.1.1.	Yüz Görüntülerinin, AGG'lerinin, SSB ve ÖSB Öncesi/Sonrası K-EYK ile Sınıflandırılmasından Elde Edilen Sonuçlar ve Analizler	96
3.1.3.1.2.	Yüz, AGG, SSB ve ÖSB Yöntemlerinin DVM ile Sınıflandırılmasıyla Elde Edilen Sonuçlar ve Analizler	100
3.1.3.2.	İkinci AGD Yaklaşımının EEG Sinyallerine Uygulanmasıyla Elde Edilen Sonuçlar ve Analizler.....	103
3.2.	KMED Veri Seti İçin Bulgular ve İrdeleme	111
3.2.1.	AGD-II İçin Deneysel Sonuçlar ve Analizler	111
3.2.2.	KMED Veri Seti Yüz Görüntüleri Sınıflandırma Sonuçları.....	113
3.2.2.1.	Yüz Görüntüleri İçin K-EYK Sınıflandırma Sonuçları ve Analizler.....	113
3.2.2.2.	Yüz Görüntüleri İçin DVM Sınıflandırma Sonuçları ve Analizler.....	114
3.2.3.	Birinci AGD ile Elde Edilen Sinyal Görüntüleri ve Yüz Görüntülerinin Füzyon Öncesi ve Sonrası K-EYK ile Sınıflandırılmasıyla Elde Edilen Sonuçlar ve Analizler.....	115
3.2.4.	Birinci AGD ile Elde Edilen Sinyal Görüntüleri ve Yüz Görüntülerinin Füzyon Öncesi ve Sonrası DVM ile Sınıflandırılmasıyla Elde Edilen Sonuçlar ve Analizler.....	122
3.2.5.	İkinci AGD ile Elde Edilen Sinyal Görüntüleri ve Yüz Görüntülerinin Füzyon Öncesi ve Sonrası K-EYK ile Sınıflandırılmasıyla Elde Edilen Sonuçlar ve Analizler.....	128
3.2.6.	İkinci AGD ile Elde Edilen Sinyal Görüntülerinin Füzyon Öncesi ve Sonrası DVM ile Sınıflandırılmasıyla Elde Edilen Sonuçlar ve Analizler.....	135

4.	SONUÇLAR	144
5.	ÖNERİLER VE TARTIŞMA	153
6.	KAYNAKLAR	154
ÖZGEÇMİŞ		



Doktora Tezi

ÖZET

SİNYAL GÖRÜNTÜ DÖNÜŞÜMLERİ YARDIMIYLA ÇOK MODLU DUYGU TANIMA SİSTEMİNİN GELİŞTİRİLMESİ

Bahar Hatipoğlu YILMAZ

Karadeniz Teknik Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı
Danışman: Prof. Dr. Cemal KÖSE
2022, 164 Sayfa

Duygu tanıma, insanlar arasında akıl yürütme ve etkileşimi geliştirmek için çeşitli uygulamalarda önemli bir yere sahiptir. Fakat duygu dış uyaranların da etkisiyle çok hızlı değişebildiğinden duygu tanıma problemlerinin klasik yöntemlerle çözülmesi oldukça zordur. Tez çalışmasında çok modlu duygu tanıma sistemleri için hem özgün aç genlik dönüşümü (AGD) yöntemleri hem de farklı türdeki giriş verilerini birleştiren özgün füzyon yöntemleri önerilmiştir. Tez çalışmasının ilk bölümünde Elektroensefalografi (EEG) ve Elektrookülografi (EOG) sinyallerine AGD'ler uygulanmıştır. Elde edilen aç genlik görüntüleri (AGG) iki farklı yaklaşımla (ÖSB-1, ÖSB-2) öznitelik seviyesinde birleştirilmiş ve destek vektör makineleriyle (DVM) sınıflandırılmıştır. İkinci bölümde ise EEG sinyalleri ve yüz görüntüleri giriş verileri olarak kullanılmıştır. EEG sinyallerine özgün iki AGD yöntemi uygulanmıştır. Yüz görüntüleri arasındaki benzersiz görüntü ise otomatik olarak belirlenmiştir. Bu iki farklı giriş verisi Sensör Seviyesinde Birleştirme (SSB), ÖSB-3 olarak adlandırılan iki farklı yaklaşımla birleştirilmiştir. Son olarak hem k-en yakın komşuluk (K-EYK) hem de DVM ile sınıflandırma gerçekleştirilmiştir. Tüm bunlara ek olarak, çok modlu duygu tanıma çalışmaları için özgün KMED çok modlu veri seti oluşturulmuştur. Yöntemlerin performansları hem KMED hem de DEAP veri setlerinde sınanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Elektroensefalografi, Elektrookülografi, Yüz görüntüleri, Çok modlu duygu tanıma, Açı-genlik dönüşümü, Açı-genlik görüntüleri, Sensör seviyesinde birleştirme, Öznitelik seviyesinde birleştirme.

PhD. Thesis

SUMMARY

DEVELOPMENT OF MULTIMODAL EMOTION RECOGNITION SYSTEM WITH THE HELP OF SIGNAL TO IMAGE TRANSFORMATIONS

Bahar Hatipoğlu YILMAZ

Karadeniz Technical University
The Graduate School of Natural and Applied Sciences
Computer Engineering Graduate Program
Supervisor: Prof. Dr. Cemal KÖSE
2022, 164 Pages

Emotion recognition has gained significant attention in various applications to develop reasoning and interaction between people. However, emotion recognition problems are very difficult to solve with classical methods, because emotions can change quickly because of complex external stimuli. In this thesis, both novel angle amplitude transformation (AAT) methods and fusion methods for combining different types of input data were proposed for multimodal emotion recognition. In the first part of the thesis, AAT was applied to Electroencephalography (EEG) and Electrooculogram (EOG) signals. The obtained angle amplitude graph (AAG) images were then combined with two different approaches (FLF-1 and FLF-2) at the feature level, and classified with support vector machines (SVM). In the second part, EEG signals and facial images were used as input data. Also, two new AAT methods were applied to the EEG signals. Among all face images, the most unique one is determined automatically. Then, the two different input data were combined with two newly proposed approaches (Sensor level fusion (SLF) and FLF-3). Finally, classification was performed with both k-nearest neighbor (kNN) and SVM. In addition to all these, a novel multimodal dataset KMED was created for multimodal emotion recognition studies. The performances of the proposed methods were tested on both KMED and DEAP datasets.

Key Words: Electroencephalography, Electrooculogram, Facial images, Multimodal emotion recognition, Angle-amplitude transformation, Angle amplitude graph images, Sensor level fusion, Feature level fusion.

ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1.1. Merkez ve komşu piksel örnekleri.....	13
Şekil 1.2. Karşılaştırma sonucu yeni piksel değerleri.....	14
Şekil 1.3. Farklı yarıçap ve komşu nokta sayıları için temsili YİÖ gösterimleri: (a) $r=1$ ve komşu nokta sayısı 8, (b) $r=2$ ve komşu nokta sayısı 16, (c) $r=3$ ve komşu nokta sayısı 24	14
Şekil 1.4. (a) Orijinal yüz görüntüsü, YİÖ görüntüsü ve YİÖ histogramı, (b) örnek açı genlik görüntüsü, YİÖ görüntüsü ve YİÖ histogramı	15
Şekil 1.5. K-EYK’da test verisinin sınıflandırması: (a) K-EYK önce ve (b) sonrası.....	19
Şekil 2.1. (a) Yerel maksimum ve (b) minimum noktalarının gösterimleri.....	24
Şekil 2.2. Örnek bir sinyalde temsili iki maksimum noktası	28
Şekil 2.3. Maksimum noktaları için açı ve genlik değerlerinin koordinat düzlemindeki konumları.....	28
Şekil 2.4. Örnek bir sinyalde temsili iki minimum noktası	29
Şekil 2.5. Minimum noktaları için açı ve genlik değerlerinin koordinat düzlemindeki konumları.....	30
Şekil 2.6. Herhangi bir maks. noktasının sağ ve sol yanındaki birinci min. noktaları	31
Şekil 2.7. Herhangi bir maks. noktasının sol yanındaki birinci min. noktası ve sağ yanındaki ikinci min. noktası.....	31
Şekil 2.8. Herhangi bir maks. noktasının sol yanındaki birinci min. noktası ve sağ yanındaki üçüncü min. noktası	32
Şekil 2.9. Herhangi bir maks. noktasının sol yanındaki birinci min. noktası ve sağ yanındaki bir ve ikinci min. noktaları.....	32
Şekil 2.10. Herhangi bir maks. noktasının sol yanındaki birinci min. noktası ve sağ yanındaki bir ve üçüncü min. noktaları	33
Şekil 2.11. Herhangi bir maks. noktasının sol yanındaki birinci min. noktası ve sağ yanındaki iki ve üçüncü min. noktaları.....	33
Şekil 2.12. Herhangi bir maks. noktasının sol yanındaki birinci min. noktası ve sağ yanındaki bir, iki ve üçüncü min. noktaları	34
Şekil 2.13. High (a) ve low (b) arousal sınıflarına ait bir sinyale Yaklaşım-1 uygulanmasıyla elde edilen görüntüler (AGG-1)	34
Şekil 2.14. High (a) ve low (b) arousal sınıflarına ait bir sinyale Yaklaşım-2 uygulanmasıyla elde edilen görüntüler (AGG-2)	35
Şekil 2.15. High (a) ve low (b) arousal sınıflarına ait bir sinyale Yaklaşım-3 uygulanmasıyla elde edilen görüntüler (AGG-3)	35

Şekil 2.16. High (a) ve low (b) arousal sınıflarına ait bir görüntüye Yaklaşım-4 uygulanmasıyla elde edilen görüntüler (AGG-4)	36
Şekil 2.17. High (a) ve low (b) arousal sınıflarına ait bir sinyale Yaklaşım-5 uygulanmasıyla elde edilen görüntüler (AGG-5)	36
Şekil 2.18. High (a) ve low (b) arousal sınıflarına ait bir sinyale Yaklaşım-6 uygulanmasıyla elde edilen görüntüler (AGG-6)	37
Şekil 2.19. High (a) ve low (b) arousal sınıflarına ait bir sinyale Yaklaşım-7 uygulanmasıyla elde edilen görüntüler (AGG-7)	37
Şekil 2.20. S01'e ait (a) high ve (b) low valence sınıflarına ait bir sinyale Yaklaşım-1 uygulanmasıyla elde edilen görüntüler (AGG-1)	38
Şekil 2.21. S01'e ait (a) high ve (b) low valence sınıflarına ait bir sinyale Yaklaşım-2 uygulanmasıyla elde edilen görüntüler (AGG-2)	38
Şekil 2.22. S01'e ait (a) high ve (b) low valence sınıflarına ait bir sinyale Yaklaşım-3 uygulanmasıyla elde edilen görüntüler (AGG-3)	39
Şekil 2.23. S01'e ait (a) high ve (b) low valence sınıflarına ait bir sinyale Yaklaşım-4 uygulanmasıyla elde edilen görüntüler (AGG-4)	39
Şekil 2.24. S01'e ait (a) high ve (b) low valence sınıflarına ait bir sinyale Yaklaşım-5 uygulanmasıyla elde edilen görüntüler (AGG-5)	40
Şekil 2.25. S01'e ait (a) high ve (b) low valence sınıflarına ait bir sinyale Yaklaşım-6 uygulanmasıyla elde edilen görüntüler (AGG-6)	40
Şekil 2.26. S01'e ait (a) high ve (b) low valence sınıflarına ait bir sinyale Yaklaşım-7 uygulanmasıyla elde edilen görüntüler (AGG-7)	41
Şekil 2.27. Öznitelik seviyesinde birleştirme-1 yönteminin akış diyagramı	42
Şekil 2.28. Öznitelik seviyesinde birleştirme-2 yönteminin akış diyagramı	44
Şekil 2.29. Birinci AGD yaklaşımı için temsili yerel maks. ve min. noktaları	46
Şekil 2.30. Birinci AGD ile (a) komik, (b) korku, (c) tiksiniç ve (d) rahatlama duygu kategorileri için elde edilen AGG'ler	47
Şekil 2.31. İkinci AGD yaklaşımı için temsili yerel maks. ve min. noktaları	48
Şekil 2.32. İkinci AGD ile (a) komik, (b) korku, (c) tiksiniç ve (d) rahatlama kategorileri için elde edilen AGG'ler.....	48
Şekil 2.33. Tiksiniç kategorisinde kaydedilmiş bir EEG sinyali ve yüz görüntüsü için SSB işleminin akışı.....	50
Şekil 2.34. Öznitelik seviyesinde birleştirme-3 yönteminin akış diyagramı	51
Şekil 2.35. Duygu tanıma veri seti hazırlanırken kullanılan paradigma.....	55
Şekil 2.36. Deney ortamında çekilmiş bir kadın denek görüntüsü	58
Şekil 2.37. EPOC Flex salin sensör kullanan EEG kayıt cihazı kiti.....	60
Şekil 2.38. Örnek 32 elektrotun başlık setine yerleşimi	61

Şekil 2.39. Kaydedilen EEG sinyallerinin kayıt arayüzünde görüntülenmesi.....	62
Şekil 2.40. Epoc Flex kepinin 72 boşluklu sensör haritası	65
Şekil 2.41. Komik kategorisinde (a) örnek bir ham sinyal, (b) 1-50 Hz ve (c) 4-45 Hz aralıklarında filtrelenmiş sinyaller.....	68
Şekil 2.42. Korku kategorisinde (a) ham sinyal, (b) 1-50 Hz ve (c) 4-45 Hz aralıklarında filtrelenmiş sinyaller	69
Şekil 2.43. Tiksinç kategorisinde (a) ham sinyal, (b) 1-50 Hz ve (c) 4-45 Hz aralıklarında filtrelenmiş sinyaller.....	70
Şekil 2.44. Rahatlama kategorisinde (a) ham sinyal, (b) 1-50 Hz ve (c) 4-45 Hz aralıklarında filtrelenmiş sinyaller.....	71
Şekil 2.45. Deneklerden (a-b) komik ve (c-d) tiksime duygu durumlarında kaydedilen örnek video çerçeve dizileri.....	73
Şekil 2.46. KMED veri seti için (a) yüz görüntülerini içeren örnek bir çerçeve dizisi ve (b) ilk üç en benzersiz yüz görüntüsü	75
Şekil 2.47. DEAP veri seti için (a) yüz görüntülerini içeren örnek bir çerçeve dizisi ve (b) ilk üç en benzersiz yüz görüntüsü	75
Şekil 3.1. DEAP-VAL için elde edilen tüm sonuçların karşılaştırmalı grafiği	92
Şekil 3.2. DEAP-ARO için elde edilen tüm sonuçların karşılaştırmalı grafiği	93
Şekil 3.3. DEAP-VAL için elde edilen tüm sonuçların karşılaştırmalı grafiği	110
Şekil 3.4. DEAP-ARO için elde edilen tüm sonuçların karşılaştırmalı grafiği	110
Şekil 3.5. Birinci AGD ile elde edilen sinyal görüntüleri ve yüz görüntülerinin füzyon öncesi ve sonrası K-EYK ile sınıflandırılmasından elde edilen sonuçlar ve analizler.....	122
Şekil 3.6. Birinci AGD ile elde edilen sinyal görüntüleri ve yüz görüntülerinin füzyon öncesi ve sonrası DVM ile sınıflandırılmasından elde edilen sonuçlar ve analizler.....	128
Şekil 3.7. İkinci AGD ile elde edilen sinyal görüntüleri ve yüz görüntülerinin füzyon öncesi ve sonrası K-EYK ile sınıflandırılmasından elde edilen sonuçlar ve analizler.....	134
Şekil 3.8. İkinci AGD ile elde edilen sinyal görüntüleri ve yüz görüntülerinin füzyon öncesi ve sonrası DVM ile sınıflandırılmasıyla elde edilen sonuçlar ve analizler.....	141

TABLolar DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 2.1. Denek bilgileri	53
Tablo 2.2. Erkek deneklere ait kayıt sayıları.....	56
Tablo 2.3. Kadın deneklere ait kayıt sayıları	56
Tablo 3.1. DEAP veri setine uygulanan tüm yöntemler sonucunda elde edilen sınıflandırma doğruluklarının yer aldığı tablo isimleri.....	76
Tablo 3.2. DEAP veri seti için detaylı bilgi.....	78
Tablo 3.3. Sadece EEG sinyallerinden elde edilen sinyal görüntülerinin VAL boyutundaki sınıflandırılma sonuçları	80
Tablo 3.4. Sadece EEG sinyallerinden elde edilen sinyal görüntülerinin ARO boyutundaki sınıflandırılma sonuçları	81
Tablo 3.5. Sadece EOG sinyallerinden elde edilen sinyal görüntülerinin VAL boyutundaki sınıflandırılma sonuçları	83
Tablo 3.6. Sadece EOG sinyallerinden elde edilen sinyal görüntülerinin ARO boyutundaki sınıflandırılma sonuçları	84
Tablo 3.7. ÖSB-1 yaklaşımının uygulanması sonucunda elde edilen VAL boyutundaki sınıflandırılma sonuçları	87
Tablo 3.8. ÖSB-1 yaklaşımının uygulanması sonucunda elde edilen ARO boyutundaki sınıflandırılma sonuçları	89
Tablo 3.9. ÖSB-2 yaklaşımının uygulanması sonucunda elde edilen VAL boyutundaki sınıflandırılma sonuçları	90
Tablo 3.10. ÖSB-2 yaklaşımının uygulanması sonucunda elde edilen ARO boyutundaki sınıflandırılma sonuçları	91
Tablo 3.11. AGD-I için literatür karşılaştırması	94
Tablo 3.12. Birinci AGD Yaklaşımı için yüz, AGG, sensör ve öznitelik seviyesinde birleştirme sonrasında elde edilen K-EYK sınıflandırılma sonuçları	99
Tablo 3.13. Birinci AGD yaklaşımı için yüz, AGG, sensör ve öznitelik seviyesinde birleştirme sonrasında elde edilen DVM sınıflandırılma sonuçları	103
Tablo 3.14. İkinci AGD yaklaşımı için yüz, AGG, sensör ve öznitelik seviyesinde birleştirme sonrasında elde edilen K-EYK sınıflandırılma sonuçları	106
Tablo 3.15. İkinci AGD yaklaşımı için yüz, AGG, sensör ve öznitelik seviyesinde birleştirme sonrasında elde edilen DVM sınıflandırılma sonuçları	109
Tablo 3.16. KMED veri setine uygulanan tüm yöntemler sonucunda elde edilen sınıflandırma doğruluklarının yer aldığı tablo isimleri.....	112
Tablo 3.17. Yüz görüntülerinde K-EYK ile elde edilen ikili sınıflandırılma sonuçları	113
Tablo 3.18. Yüz görüntülerinde DVM ile elde edilen ikili sınıflandırılma sonuçları	115

Tablo 3.19. Birinci AGD yaklaşımı sonucunda elde edilen AGG'nin K-EYK ile sınıflandırılmasından elde edilen sınıflandırma doğrulukları.....	116
Tablo 3.20. Birinci AGD yaklaşımı sonucu elde edilen AGG'nin SS'de yüz görüntüleri ile birleştirilmesinden elde edilen görüntülerin K-EYK ile sınıflandırılmasından elde edilen sınıflandırma doğrulukları.....	118
Tablo 3.21. Birinci AGD yaklaşımıyla elde edilen AGG'nin ÖS'de yüz görüntüleri ile birleştirilmesinden elde edilen vektörlerin K-EYK ile sınıflandırılmasından elde edilen sınıflandırma doğrulukları.....	121
Tablo 3.22. Birinci AGD yaklaşımı sonucunda elde edilen AGG'nin DVM ile sınıflandırılmasından elde edilen sınıflandırma doğrulukları.....	123
Tablo 3.23. Birinci AGD yaklaşımıyla elde edilen AGG'nin SS'de yüz görüntüleri ile birleştirilmesinden elde edilen görüntülerin DVM ile sınıflandırılmasından elde edilen sınıflandırma doğrulukları.....	125
Tablo 3.24. Birinci AGD yaklaşımıyla elde edilen AGG'nin ÖS'de yüz görüntüleri ile birleştirilmesinden elde edilen vektörlerin DVM ile sınıflandırılmasından elde edilen sınıflandırma doğrulukları.....	126
Tablo 3.25. İkinci AGD yaklaşımı sonucunda elde edilen AGG'nin K-EYK ile sınıflandırılmasından elde edilen sınıflandırma doğrulukları.....	129
Tablo 3.26. İkinci AGD yaklaşımıyla elde edilen AGG'nin SS'de yüz görüntüleri ile birleştirilmesinden elde edilen görüntülerin K-EYK ile sınıflandırılmasına ait sınıflandırma doğrulukları	131
Tablo 3.27. İkinci AGD yaklaşımıyla elde edilen AGG'nin ÖS'de yüz görüntüleri ile birleştirilmesinden elde edilen vektörlerin K-EYK ile sınıflandırılmasına ait sınıflandırma doğrulukları	132
Tablo 3.28. İkinci AGD yaklaşımıyla elde edilen AGG'nin DVM ile sınıflandırılmasına ait sınıflandırma doğrulukları	135
Tablo 3.29. İkinci AGD yaklaşımıyla elde edilen AGG'nin SS'de yüz görüntüleri ile birleştirilmesiyle elde edilen görüntülerin DVM ile sınıflandırılmasından elde edilen sınıflandırma doğrulukları.....	137
Tablo 3.30. İkinci AGD yaklaşımı sonucu elde edilen AGG'nin ÖS'de yüz görüntüleri ile birleştirilmesiyle elde edilen vektörlerin DVM ile sınıflandırılmasından elde edilen sınıflandırma doğrulukları.....	140
Tablo 3.31. AGD-II + giriş verisi EEG ve yüz görüntüleri için literatür karşılaştırması .	142

SEMBOLLER DİZİNİ

2B	2 Boyutlu
ADT	Algısal Doğrusal Tahmin (Perceptual Linear Prediction-PLP)
AGD	Açı-Genlik Dönüşümü
AGG	Açı-Genlik Görüntüsü
BSÖ	Bağıl Spektral Öznitelikler (Relative Spectral Features-RASTA)
ÇDSD	Çok Değişkenli Senkrosıkıştırma Dönüşümü (Multivariate Synchrosqueezing Transform-MSST)
DAA	Doğrusal Ayırtaç Analizi
DEAP	Fizyolojik Sinyalleri Kullanan Duygu Analizi Veri Tabanı (A Database for Emotion Analysis using Physiological Signals)
DVM	Destek Vektör Makineleri (Support Vector Machine- SVM)
EDA	Elektro-dermal Aktivite
EEG	Elektroansefalografi
EKG	Elektrokardiyografi
EMG	Elektromiyografi
EOG	Elektrookülografi
ESA	Evrişimsel Sinir Ağları (Convolutional Neural Network)
FKD	Faz-Kilitleme Değeri
GCT	Galvanik Cilt Tepkisi
K-EYK	K En Yakın Komşusu Algoritması (K-Nearest Neighbour Algorithm-kNN)
KMED	Karadeniz Technical University Multimodal Emotion Dataset
KSB	Karar Seviyesinde Birleştirme (Decision Level Fusion-DLF)
KYM	Kırmızı, Yeşil ve Mavi (Red, Green and Blue-RGB)
MAMAD	Minimum Artıklık Maksimum Alaka Düzeyi (Minimum Redundancy Maximum Relevance)
Maks	Maksimum
MFKK	Mel frekans kepsral katsayıları (Mel Frequency Cepstral Coefficients- MFCC)
Min	Minimum
ÖBÖD	Ölçekten Bağımsız Öznitelik Dönüşümü (Scale Invariant Feature Transform-SIFT)

ÖSB	Öznitelik Seviyesinde Birleştirme (Feature Level Fusion-FLF)
SSB	Sensör Seviyesinde Birleştirme (Sensor Level Fusion-SLF)
TA	Torbalama Ağaçları (Bagging Tree-BT)
TBA	Temel Bileşen Analizi
UKVH	Uzun Kısa Vadeli Hafıza Ağları (Long Short Term Memory-LSTM)
VAL	Valence
YFK	Yerel Faz Kuantalama (Local Phase Quantization-LPQ)
YİÖ	Yerel ikili örüntüler (Local Binary Pattern-LBP)



1. GENEL BİLGİLER

1.1. Giriş

Duygu tanıma insanlar arası iletişim kurabilme, muhakeme yapabilme ve etkili karar verebilme gibi konular nedeniyle dikkat çekici bir başlık haline gelmiştir. Duygular çeşitli his, düşünce ve davranışlardan üretilen psikolojik durumlar dizisini ifade etmekle birlikte insan iletişiminde önemli rol oynamaktadır [1]. Dahili ve harici aktivitelerle ilgili karmaşık psiko-fizyolojik bir süreç olan duygu günlük yaşantımızda önemli bir yer tutar ve insan zekasının büyük bir kısmını duygusal zekanın oluşturduğu düşünülür [2]. Ayrıca, insan duygusunun karmaşık dış uyaranlar nedeniyle kolay ve hızlı değişebilen bir duruma sahip olduğu görülmüştür [3]. Literatürde insan duygusunu ifade etmek için evrensel düzeyde kabul edilmiş bir tanım olmamakla birlikte bazıları şu şekilde listelenebilir: (i) zihinsel değil aynı zamanda bilişsel ve davranışsal unsurlarla ilgili fizyolojik bir durum; (ii) birçok sinirsel ve kimyasal bütünleşmeyi içeren karmaşık bir davranışsal olay [4, 5]; (iii) genellikle bilinçli çaba göstermeden meydana gelen kısa ve keskin duyu dalgaları. Tüm bu tanımlamalardan yola çıkarak duygu tanıma problemi her geçen gün araştırmacıların dikkatini daha çok çekmiştir. Araştırmacılar insan duygusunu anlamak ve doğru kategorize etmek için yüz ifadeleri, ses sinyalleri, mimik gibi dışsal etkenler ile elektroansefalografi (EEG), elektrokardiyografi (EKG) gibi sinyalleri analiz etmeye çalışmaktadır [5]. Veri toplama aşaması nispeten basit ve ulaşılabilirliği kolay olması sebebiyle duygu tanıma çalışmaları daha çok yüz görüntüleri kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Ancak, yüz ifadesinin analizi sırasında ön plandaki deneklerin geçici hareketleri, ortamın karmaşık ve gürültülü olması gibi nedenler araştırmacıları görüntü dışında farklı verilerle çalışmaya yönlendirmiştir. Bunun yanında aydınlatma değişimi, deneğe bağımlılık ve kafa hareketlerinin değişmesi duygu tanıma sisteminin performansını olumsuz etkilemektedir. Bu durumlar göz önüne alındığında, otomatik duygu tanıma sistemleri için çok modlu yaklaşımlar teknolojik gelişmelere bağlı olarak araştırmaların odak noktası haline gelmiştir.

Çok modlu duygu tanıma sistemleri için farklı türdeki bilgilerin uygun şekilde bir arada kullanılması gerekir. Literatürde çok modlu duygu tanıma sistemleri, farklı biyolojik sinyalleri veya biyolojik bilgileri en uygun şekilde birleştirmek için kullanılan füzyon yöntemler sayesinde gerçekleştirilir. Bu yöntemler genel olarak sensör, öznelik ve karar

seviyesinde birleştirme olarak üç ana başlık altında toplanabilir. Farklı birleştirme yöntemleri geliştirilecek çok modlu sistemin performansını oldukça etkilemektedir. Çünkü duyguyu ifade eden farklı türdeki örüntülere ait bilgilerin doğru birleştirilmesi, kodlanması, analizi ve yorumlanması sistematik yaklaşımlar sayesinde doğru bir şekilde oluşturulabilir. Literatürde doğru ve pratik çalışabilecek çok modlu duygu tanıma sistemlerinin insan hayatına kazandırılması için birçok problemin çözülmesi gerektiği görülmektedir. Doktora çalışmasında bu amaçla, gerçekçi sonuçlar üreten ve farklı türdeki bilgilerin (2B’lu görüntülere dönüştürülmüş EEG sinyalleri-2B’lu görüntülere dönüştürülmüş EOG sinyalleri ve 2B’lu görüntülere dönüştürülmüş EEG sinyalleri-Yüz görüntüleri) bir arada kullanıldığı çok modlu bir duygu tanıma sisteminin oluşturulması hedeflenmiştir. Önerilen yöntemin geçerliliği çalışma bünyesinde oluşturulan veri setinde ve çok modlu duygu tanıma sistemi için EEG sinyalleri, çevresel sinyaller ve yüz görüntü verilerini barındıran DEAP [6] veri seti ile de sınamalarla gerçekleştirilmiştir. Çalışmada kullanılan tüm giriş verileri (EEG sinyalleri, EOG sinyalleri ve yüz görüntüleri) deneklere çeşitli duyguları içerisinde barındıran kısa videolar izletilmesi sırasında kaydedilmiş giriş verileridir.

Önerilen yöntemle; (1) çok modlu bilgi içeren çalışmalar için etkili ve başarılı yeni bir yaklaşım literatüre kazandırılmış, (2) bu tür sistemlere ait örüntülerin sınıflandırma performansları artırılmış ve (3) mevcut problemlerde kullanılabilecek çok modlu yeni bir veri seti literatüre kazandırılmıştır.

1.2. Çok Modlu Yaklaşımlar

İnsanlar duygularını ifade etmek için yüz ifadeleri, mimik ve ses gibi farklı ipuçları kullanır. Yüz ifadelerini kullanarak insan iletişiminin gerçekleşme oranı %55’e ulaşırken, sözlü dil kullanımı ve diğer benzer yollar ise yaklaşık %7’lik bir orana ulaşmıştır [7]. İnsanlar arası etkileşimin en etkin yolu kabul edilen yüz ifadelerini genel olarak pozitif ve negatif yüz ifadeleri olarak iki genel başlık altında toplanmak mümkündür. Pozitif yüz ifadeleri, mutluluk ve memnuniyet gibi sağlıklı duygu durumlarını ifade ederken, negatif yüz ifadeleri üzüntü ve kızgınlık gibi sağlıksız duygu durumlarını ifade etmektedir. Bu duygu durumlarını belirlemek amacıyla birçok duygu tanıma sistemi önerilmiştir. Yüz ifadelerinden duygu tanıma bu sistemlerin en genel örneklerinden biridir. Bu sistemleri

gelişigüzel (spontane) ve poz-tabanlı olarak adlandırılan iki başlık altında toplanmak mümkündür. Gelişigüzel sistemler insanların günlük rutinlerini kaydettikleri sırada oluşan yüz ifadeleri kullanılarak geliştirilirken, poz-tabanlı sistemlerde insanlardan bir şeyi yapmaları istenir ve bu isteğe göre verilen tepkiler yardımıyla sistem gerçekleştirilir [8]. Bu tarz duygu tanıma sistemlerinde en popüler sensör kameradır. Fakat kamera tabanlı bir sistem söz konusu olduğunda aydınlatma varyasyonu, kafa pozu ve denek bağımlılığı gibi etkenler sistemin performansını oldukça etkilemektedir. Bu vb. kısıtlamalar nedeniyle çok modlu yaklaşımlar devreye girmekte ve iki farklı sensör (kamera, EEG, EOG, vb.) kullanılarak duygu verileri kaydedilmektedir. Bu işlem farklı türden verileri bir araya getiren füzyon yöntemler (multimodal-çok modlu yaklaşımlar) olarak adlandırılmaktadır.

Çok modlu yaklaşımlarda kullanılan bilgiler farklı sensörlerden edinilen verilerden oluşmaktadır. İnsanların birbirleriyle olan iletişimde duygularını sözlü veya görsel olarak ifade edebilmeleri nedeniyle duygular çok modlu kabul edilmektedir [9]. Yapılan çalışmalar incelendiğinde, duyguyu yüz ifadesi, fonetik tonlama gibi çok modlu bilgiler yardımıyla tanımlamanın zor bir süreci kapsadığı görülmektedir. Tüm bu zorlu sürece rağmen heterojen verilerin tamamlayıcılığı sağlama, daha sağlam tahmin yapmaya yardımcı olma ve tanıma güvenilirliğini artırma gibi nedenlerle çok modlu füzyon duygu tanıma araştırmaları da oldukça popüler olmuştur [9]. Literatür incelendiğinde, duygu tanıma sistemlerinin performansına katkı sağlayacak füzyon yaklaşımlarda kullanılacak sensörlerin (1) detaylı yüz sensörleri, (2) görsel olmayan sensörler ve (3) hedef odaklı sensörler şeklinde üç ana başlıkta toplanabileceği görülmektedir.

1.2.1. Detaylı Yüz Sensörleri

Duyguları tespit etmek için tüm yüzü analiz etmenin yanında yüzün her bölümünden yakalanacak yeni örüntüleri bulmak da önemlidir. Örneğin, göz yüzün ayrılmaz bir parçası olmasının yanında, dikkat, odaklanma ve uyuşukluk gibi zihinsel durumları da ortaya koymaktadır. Gözlerin tam olarak nereye ve nasıl odaklandıkları sorularına cevap verebilen göz izleme sensörleri sayesinde bireylerin zihinsel faaliyetleri hakkında bilgiler toplamak mümkündür. Literatürdeki birçok çalışmada bu sensörlerden faydalanılarak bireylerin duygu durum tespitleri belirlenmeye çalışılmıştır. Örneğin, [10] yüz görüntüleri ile yaptıkları duygu

tanıma çalışmasında önceki çalışmaların aksine keyfi yüz görüntülerini kullanmış ve yüz görüntülerinin bölgesel kovaryans matrisi temsiline dayanan bir yöntem önermiştir. [11] yüz görüntülerinden duygunun tanındığı literatür çalışmalarında genellikle önyüz veya önyüze yakın yüz ifadelerinin kullanıldığını vurgulamıştır. [12] evrimsel sinir ağları modellerini kullanan bir derin öğrenme tekniği ile yüz görüntülerinden duygu tanıma yapmıştır. Bu çalışmada aynı zamanda yüz görüntülerinden yaş ve cinsiyet tespiti de yapılmaya çalışmıştır.

1.2.2. Görsel Olmayan Sensörler

1.2.2.1. Ses

Kamera sistemlerinde görüntü kaydı yapılırken aynı anda ses kaydı da yapılmaktadır. Fakat literatürde yer alan birçok çalışmada duygu tanıma yalnızca yüz görüntüleri olan görsel verilerden faydalanarak gerçekleştirilmiştir. Bazı araştırmalarda nadiren ses sinyalleri de kullanılarak doğru ve güvenilir sistemler irdelenmiştir. Yüz ifadelerinin beden ve ses ile iyi seviyede ilişkili olduğu kanıtlanmış bir gerçektir. Fakat sesli ve görsel bilgileri birleştirmek için uygun füzyon yöntemleri bulmak oldukça zordur. Sadece ses yardımıyla yapılan duygu tanıma çalışmalarından bazıları şu şekildedir: [13] derin bir evrimsel sinir ağı mimarisi ile ses örneklerinden duygu tanımıştır. [14] çağrı merkezleri için önemli olan öfke ve nötr konuşma durumlarını ayırt etmek için yine ses sinyallerini kullanarak duygu tanımıştır.

1.2.2.2. EEG ve EKG Sensörleri

Fizyolojik sinyallerden EKG, EEG, Elektromiyografi (EMG) ve Elektrokülografi (EOG) genel olarak medikal alanda kullanılmaktadır. EKG kalbin elektriksel aktivitesi sonucunda oluşan bir sinyal türüdür ve kalbe takılan elektrotlar ile kaydedilir. EEG sinyalleri ise beynin elektriksel aktivitesi sonucunda oluşur ve kafaya takılan elektrotlar yardımıyla kaydedilir [15]. EMG sinyalleri kaslarda oluşan elektriksel aktiviteyi değerlendirmek için kullanılır. Tıpta EMG testi nöromusküler anormallikleri tespit etmek için kullanılırken, duygu tanıma alanında ise bilişsel duygu ve fizyolojik tepkiler arasındaki ilişkiyi bulmak

için kullanılır [16, 17]. Literatürde EMG temelli araştırmaların çoğunun, yüz taklitlerinin çeşitli uyaranlara verilen duygusal tepkiye katkıda bulunduğu hipoteziyle yüz ifadelerinin analizinde kullanıldığı belirtilmiştir [18]. EOG sinyalleri ise insan gözünün ön ve arkası arasında var olan kornea retinal potansiyeli ölçülerek kaydedilir. Genellikle oftalmolojik (ophthalmological) tanısı koyma veya göz hareketlerini kaydetmek için kullanılır. Tüm bu sinyal türleri arasında duygu tanıma çalışmalarında en çok EEG sinyalleri tercih edilir. EKG, EMG ve EOG ise tek başlarına kullanılmayıp genellikle çok modlu yaklaşımlardaki en az iki giriş verisinden birisi olarak kullanılır. Bu çalışmalardan bazıları şu şekildedir: [19] yüz ifadelerinin yanı sıra EKG sinyallerini de kullanarak duygu tanımıştır. Bu çalışmada sevinç, iğrenme, eğlenme gibi duyguları ortaya çıkarmak için farklı film/video klipleri kullanılıp EKG ve solunum sinyalleri özelliklerine dayalı danışmanlı bir duygusal tepkileri öğrenme yaklaşımı önerilmiştir. [20] ise EOG ve EMG sinyalleri ile duygu tanımaya çalışmıştır. Çalışmada öncelikle zaman domen, frekans domen ve entropi tabanlı öznelilikler çıkarılmış, sonrasında hesaplanan öznelilikler DVM, Naive Bayes ve Yapay Sinir Ağı (YSA) ile sınıflandırılmıştır. [21] çalışması EEG, Galvanik Cilt Tepkisi (GCT), EMG ve kalp atımı bilgilerini kullanarak duygusal durumu güvenilir bir şekilde tanımlamaya çalışmıştır. [22] ise giyilebilir edinim cihazı ile elektro-dermal aktivite (EDA), kalp atış hızı, EMG ve cilt sıcaklığı verilerini kullanarak yaşlılardaki duygu durumunu izleme ve saptamaya çalışmıştır. [23] dört kanallı biyosensörler yardımıyla deneklere müzik dinletirken kaydettikleri EMG, EKG, cilt iletkenliği ve solunum değişikliği bilgileriyle duygu tanıma için veri analizi ve sınıflandırma yapmıştır. Çalışmalar incelendiğinde EEG dışındaki tekniklerin yardımcı bir veri ile kullanılarak duygu tanımaya katkı sağladıkları görülmüştür. EEG sinyalleri, analiz edilmelerinin basitliği, iyi zaman ve uzamsal çözünürlüğe sahip olmaları nedeniyle duygu tanımda yaygın kullanılır hale gelmiştir [24]. EEG kayıt sistemleri ayrıca ucuz ve erişilebilir olması nedeniyle hem çok modlu hem de tek başına duygu tanıma çalışmalarında sıkça tercih edilir. Örneğin [25] duygu içerikli fotoğraflara bakılırken 26 kadın denekten kaydedilen EEG sinyallerini ile çeşitli duygu türlerini tanımıştır. [26] ise benzer şekilde 26 kadın denekten kaydedilen EEG sinyalleri ile duygu değerlik ayrımı için bir rezervuar hesaplama modeli önermiştir.

1.2.2.3. Derinlik Kamerası

Derinlik kamerası, kamera mesafesine göre piksel yoğunluklarını derinlemesine görüntüler olarak ayırabilen bir sensördür. Derinlik görüntüleri KYM (Kırmızı, Yeşil ve Mavi) görüntülerinden daha etkin öznitelik sağlamaktadır. Ayrıca kolay temin edilebilen derinlik kameraları, yüzün geometrik şeklini aydınlatma değişikliklerine karşı geliştirilmiş sağlamlıklarıyla yakalayarak araştırmacılara güvenilir üç boyutlu yüz görüntüleri sunmaktadır [27]. Bu görüntüler vücut hareketi ve yüz tanıma gibi bilgisayar destekli birçok uygulamada kullanılmaktadır.

1.2.3. Hedef Odaklı Sensörler

Görüntünün çeşitli kısımlarında dağıtılan sıcaklıkları hesaplayan kızılötesi termal görüntüler yüz ifade sistemlerinin tasarımında karşılaşılan aydınlatma sorunlarını çözmek için kullanılabilir. Kızılötesi termal kameralar on beş yıldan fazla zamandır benzer çalışmalarda kullanılır. Fakat genellikle sınırlı sayıda veri içeren veri setleri ile çalışıldığından sistemin gerçek dünya problemlerine uygulanabilirliği azalmıştır.

1.3. Tezin Kapsamı

Veri toplama zorlukları ve doğru birleştirme (füzyon) yönteminin belirlenmesi EEG tabanlı çok modlu duygu tanıma sistemlerinin yaygın kullanımını engelleyen en önemli sebeplerdir. Çalışmaların birçoğu bu problemlerden dolayı yeterli veri içermemekte ve düşük doğrulukta çalışmaktadır. Bu problemler çeşitli yaklaşımlarla çözülebilir. Örneğin; (i) biyolojik bilgi düzeyinde birbirleriyle doğru bir şekilde korele edilebilen bilgilere yoğunlaşılabilir, (ii) denek düzeyinde kullanıcılar eğitilip duygu tanıma sistemlerinde üretilen EEG sinyallerinin veya herhangi bir biyolojik bilginin doğru ve istikrarlı kontrolü sağlanabilir veya (iii) bilgi toplama seviyesinde ise gürültü, oturma gibi değişimlere dayanıklı, yeterli verilerden oluşan veri setleri oluşturulabilir. Yeni çözümlerin üretilmesi için çalışmalar özellikle çok modlu duygu tanıma teknikleri kullanılarak devam etmektedir.

Tez çalışmasında, bu problemlerden bir kısmını veri seti hazırlama seviyesinde, diğer kısmının ise farklı biyolojik bilgilerin doğru bir şekilde çok modlu yaklaşımlarla birleştirilmesi seviyesinde çözümü amaçlanmıştır. Tezin hipotezi bu nedenle “çok modlu duygu tanımanın iki önemli aşaması olan biyolojik bilgi toplama ve farklı biyolojik bilgilerin birleştirilmesi aşamaları için probleme uygun özgün yaklaşımların tasarlanmasıyla EEG ve temelli duygu tanıma sistemlerinin performansları iyileştirilebilir” kuramı üzerine temellendirilmiştir.

Duygu durumlarının EEG nörogörüntüleme tekniği ve kamera ile kaydedilen yüz görüntülerinden edinilmesi, örüntü tanıma teknikleri ile anlamlandırılması ve karar verici sistemlerin geliştirilmesi günümüzdeki popüler araştırma alanlarıdır. Birçok çalışmada, biyomedikal duygu tanıma sistemlerinin geliştirilmesi, iyileştirilmesi ve gerekli araştırmaların tamamlanmasına destek olunmaya çalışılmaktadır. Bu nedenlerle, EEG temelli çok modlu duygu tanıma sistemlerini güvenilir bir şekilde sınıflandırabilecek özgün örüntü tanıma yaklaşımlarının irdelenmesi bu tez çalışmasında amaçlanmıştır.

Çalışmalarda öncelikle rastlantısal sinyal verilerinin önüne geçmek için birçok kanaldan gelen EEG sinyallerinin doğru seçimi sağlanmıştır. EEG sinyallerinin zaman düzlemindeki farklı geçiş noktalarına ait açığenlik bilgilerinden faydalanarak özgün 2 Boyutlu (2B) görüntüler oluşturulmuştur. Daha sonra bu görüntülerin farklı biyolojik bilgilerle birleştirilmesi (sensör, öznetelik ve karar seviyelerinde) aşamasında görülen eksiklikler giderilmeye çalışılmıştır. Birleştirme işlemi sensör ve öznetelik seviyesi olmak üzere iki farklı seviyede gerçekleştirilmiştir. Öncelikli olarak sensör seviyesinde birleştirmeye odaklanılmıştır. Hataların azaltılıp daha iyi sonuçların alınması için hem sinyal görüntü dönüşümünde hem de birleştirilmesinde düzenlemeler yapılmış, gerektiğinde sınıflandırma modelleri güncellenmiştir. Öznetelik çıkarma ve sınıflandırma yöntemlerinin parametre değerlerinin otomatik belirlenmesine yönelik düzenlemeler yapıp bu değerler sadece eğitim verileri kullanılarak tespit edilmiştir. Ayrıca, çok modlu duygu tanıma için EEG kayıtları ve yüz görüntülerini içeren yeni bir veri seti oluşturulmuştur. EEG kayıtları EPOC Flex Salin Sensör kiti ile müdahalesiz alınmıştır. Yöntemlerin performansları hem tez çalışmasında hazırlanan veri seti ile hem de çok modlu yaklaşımlar için literatürde sıklıkla tercih edilen DEAP veri seti ile ölçülmüştür. Kayıtların alınmasından sınıflandırılmasına kadar olan sürecin yürütülmesiyle çok modlu duygu tanıma problemlerinin daha iyi gözlenmesi ve bu alandaki eksikliklerin giderilmesine katkı sağlanmıştır.

Tez çalışmasında öncelikle çok modlu duygu tanıma sistemleri hakkında detaylı bilgiler verilmiştir. Daha sonra konunun içinde barındırdığı yöntemlerin tanımları yapılmış ve literatürde yer alan çalışmalar sunularak eksik görülen yönler anlatılmıştır. Genel bilgiler kısmında, sırasıyla çok modlu yaklaşımlarla gerçekleştirilen duygu tanıma araştırmaları hakkında genel bilgilendirmeler yapılarak kullanılan sensör türleri gibi konular açıklanmış, sonrasında tezin kapsamı ve literatürdeki duygu tanıma çalışmaları listelenmiştir. Yapılan çalışmalar kısmında, tez kapsamında hazırlanan çok modlu duygu veri seti hazırlık aşamaları ile detaylıca sunulmuş, ardından tez çalışmasında önerilen sinyal görüntü dönüşümleri ve füzyon yöntemler açıklanmıştır. Bulgular ve irdeleme bölümünde, deneylerin gerçekleştirilmesi ve deneyler sonucunda elde edilen bulgular detaylı açıklamalar ile verilmiştir. Sonuçlar bölümünde, çalışmalardan elde edilen temel sonuçlar detaylı irdelenerek verilmiştir. Öneriler ve tartışmalar bölümünde ise deneyler sonucunda çok modlu duygu tanıma araştırmalarından yapılan çıkarımlar ve tez çalışmaları sürecinde elde edilen deneyimlerle şekillenen öneriler sunulmuştur.

1.4. Literatür

Duygusal bilgi insan iletişiminin temelini oluşturduğundan, duygu tanıma insan makine arasındaki tam etkileşime yönelik temel bir bileşen olarak kabul edilir [28]. Duygu tanıma çalışmaları bu nedenle son dönemlerde popüler hale gelmiştir. Yüz görüntüleri, ses veya fizyolojik sinyaller gibi giriş verilerinin ayrı ayrı kullanıldığı tek girişli duygu tanıma çalışmalarının yanı sıra günümüzde artarak çalışılan çok modlu duygu tanıma çalışmaları da literatürde yer almaktadır. Doğru sınıflandırma için davranışsal ve biyometrik özniteliklerin tahmin yeteneklerini birleştirmeyi amaçlayan çok modlu duygu tanıma sistemleri, tek girişli duygu tanıma sistemlerinde veri işlemenin getirdiği sınırlamaların üstesinden gelmek ve tanıma sağlamlığını artırmak için özellikle son dönemlerde oldukça ilgi görmektedir [5]. Bu sistemler genellikle EEG sinyallerinin farklı biyolojik bilgilerle birleştirilmesi, ön işlemler, öznitelik çıkarma ve sınıflandırma şeklinde dört aşamadan oluşmaktadır. Tez çalışmasında tüm bu aşamalar gerçekleştirilerek çok modlu bir duygu tanıma sistemi oluşturulmaya çalışılmıştır. Bölüm 1.4.1’de yalnızca EEG sinyalleri ve Bölüm 1.4.2’de EEG tabanlı çok modlu yaklaşımlar kullanılarak literatürde gerçekleştirilen çalışmalar verilmiştir.

1.4.1. Yalnızca EEG Sinyalleri ile Yapılan Duygu Tanıma Çalışmaları

Literatürde duygu tanıma amacıyla yüz görüntüleri, ses bilgileri ve EEG gibi fizyolojik sinyaller kullanılmıştır. Yalnızca EEG sinyalleri kullanılarak gerçekleştirilmiş duygu tanıma çalışmalarından bazıları şu şekildedir. Yang ve ark. [29] çalışmalarında elde ettikleri yüksek boyutlu öznitelikleri destek vektör makineleri (DVM) ile sınıflandırmıştır. Yöntemin performansı literatürde sıklıkla kullanılan DEAP ve SEED veri setlerinde ölçülmüştür. Wang ve ark. [30] faz-kitleme değeri (FKD) tabanlı grafiksel evrişimli sinir ağı (ESA) modelini önermiştir. Bu çalışmalar da DEAP ve SEED veri setlerinde yürütülmüştür. Özel ve ark. [31] çok kanallı EEG sinyallerini sınıflandırmak amacıyla çok değişkenli senkrosıkıştırma dönüşümü (MSST) kullanarak zaman-frekans analizine dayalı bir yöntem önermiştir. Yöntem DEAP veri setinde sınanmış ve öznitelikler doğrusal DVM'ler yardımıyla sınıflandırılmıştır. Choi ve Kim [32] uzun kısa vadeli hafıza ağları (Long Short Term Memory-LSTM) kullanan bir sınıflandırma modeli önermiş, model verimliliğini DEAP veri setinde sınamıştır. Li ve ark. [33] DEAP veri setinde yürüttükleri çalışmada öncelikle ön işlenmiş sinyalleri dört alt frekans bandına bölmüştür. Daha sonra bu alt bantlardan entropi ve enerji özniteliklerini çıkarıp k-en yakın komşuluk (k-EYK) algoritması yardımıyla sınıflandırmıştır. Chen ve ark. [34] DEAP veri setine ait duygu tabanlı EEG sinyallerinin ESA'lar yardımıyla sınıflandırılmasına odaklanmıştır. Zamana ait (temporal) öznitelikler ile frekans öznitelikleri ve bunların kombinasyonlarını kullanmış ve öznitelikleri bagging tree (BT), DVM, doğrusal ayırtaç analizi (DAA), Bayes DAA ve ESA yardımıyla sınıflandırmışlardır. Zhang ve ark. [35] deneysel biçim ayrıştırma yöntemi ve otoregresif model kullanarak EEG sinyalleri ile çalışan bir duygu tanıma sistemi önermişlerdir. Deneyleri DEAP veri setinde yürütmüş ve sınıflandırıcı olarak DVM kullanmışlardır. Atkinson ve Campos [36] minimum artıklık maksimum alaka düzeyi (minimum redundancy maximum relevance) yöntemini kullanarak çok kanallı EEG sinyallerinden öznitelikler çıkarmış ve elde ettikleri öznitelikleri DVM ile sınıflandırmıştır. Verma ve Tiwary [37] çekirdek tabanlı temel bileşenler analizi ile EEG sinyallerine önışlem yapmış, k-EYK ve radyal tabanlı DVM'ler ile duyguları sınıflandırmışlardır. Zheng ve ark. ise [38] çok kanallı EEG sinyallerine ait entropi öznitelik değerlerini derin inanç ağlarına ile sınıflandırmışlardır.

1.4.2. EEG-tabanlı Çok Modlu Duygu Tanıma Çalışmaları

Çok modlu duygu tanıma yaklaşımları tek bir kaynaktan gelen veriyi işlemenin getirdiği sınırlamaların üstesinden gelmek ve tanıma sağlamlığını artırmak için son dönemlerde oldukça ilgi kazanmıştır [5]. EEG tabanlı çok modlu bazı duygu tanıma çalışmaları şu şekildedir. Thammason ve ark. [39] çok modlu duygu tanıma için yeni bir sistem önermişlerdir. Yöntemin etkililiği müzik dinleyen deneklerden elde edilen beyin dalgaları ve psikolojik sinyaller (EEG, EKG, GCT) kullanılarak anlamaya çalışılmıştır. Denek grubu 22-32 yaş aralığında 8 kadın ve 1 erkek bireyden oluşmaktadır. Sinyaller EEGLAB kütüphanesinin pop_eegfiltnew isimli fonksiyonuyla filtrelenmiştir. Filtrelenmiş sinyallere güç spektral yoğunluğu yöntemi uygulanarak öznitelikler çıkarılmış ve DVM ile öznitelikler sınıflandırılmıştır. Çalışmada karar seviyesinde birleştirme yaklaşımı çoklu veri kaynağının sonuçlarını birleştirmek için kullanılmıştır. Zhalehpour ve ark. [40] peak (benzersiz) çerçeve olarak adlandırılan ve videolardan çıkarılan yüz görüntüleri arasında en benzersiz yüz görüntüsünü ifade eden video çerçevelerinin seçimine dayanan çok modlu bir yaklaşım önermişlerdir. Önerilen yaklaşımlar sırasıyla maksimum benzersizlik tabanlı (MAX-DIST), kümeleme tabanlı (DEND-CLUSTER) ve duygu yoğunluğu tabanlı (IEFS) yöntemler olarak adlandırılmıştır. Yöntemlerin performansları eINTERFACE [41] ve BAUM 1a [42] veri setlerinde sınanmıştır. Yerel faz kuantalama (Local Phase Quantization-LPQ) kullanarak en benzersiz çerçevelerden çıkarılan yüz görüntülerinden öznitelikler çıkarılmıştır. Benzer şekilde Mel frekans kepsstral katsayıları (Mel Frequency Cepstral Coefficients- MFCC) ve bağıl spektral öznitelikler (Relative Spectral Features) tabanlı algısal doğrusal tahmin (Perceptual Linear Prediction) yöntemleri öznitelik çıkarmada kullanılmıştır. Ses öznitelikleri radyal tabanlı DVM'ler, görüntü öznitelikleri ise doğrusal çekirdek tabanlı DVM'ler yardımıyla sınıflandırılmıştır. Son aşamada ise karar seviyesinde birleştirme yaklaşımıyla ses ve video bilgileri birleştirilmiştir. Torres ve ark. [43] çok modlu duygu tanıma için DVM tabanlı bir öznitelik seçme yöntemi önermişlerdir. Deneyler literatürde sıklıkla kullanılan DEAP ve MAHNOB-HCI veri setlerinde gerçekleştirilmiştir. Soleymani ve ark. [44] kullanıcı bağımsız bir duygu tanıma modeli önermişlerdir. Giriş verisi olarak EEG sinyalleri, göz bebeğinde büyüme oranı ve bakış uzaklığı bilgileri kullanılmıştır. Çıkarılan özniteliklere maksimum-minimum normalizasyonu uygulamış ve radyal tabanlı DVM'ler ile de elde edilen normalize edilmiş öznitelikler sınıflandırılmıştır.

Çalışmalarda ek olarak hem öznitelik hem de karar seviyesinde birleştirme kullanılmıştır. Huang ve ark. [45] iki farklı karar seviyesinde birleştirme yöntemi önermiş ve çok yönlü duygu tanıma yapmıştır. Giriş verisi olarak EEG sinyalleri ve yüz görüntüleri kullanılmıştır. Yüz görüntüleri AdaBoost algoritmasıyla tespit edilmiş ve öznitelikler ileri beslemeli sinir ağları ile sınıflandırılmıştır. Diğer taraftan EEG sinyallerine güç spektral yoğunluğu uygulanarak öznitelikler hesaplanıp DVM'lere verilmiştir. Yin ve ark. [46] çoklu füzyon katmanı tabanlı yığılmış otomatik kodlayıcının topluluk sınıflandırıcılarıyla (multiple-fusion layer based ensemble classifier of stacked auto-encoder - MESAE) yaptıkları çalışmaların performans değerlendirmelerini DEAP veri setinde gerçekleştirmişlerdir. Kortelainen ve ark. [47] fizyolojik sinyallerle yüz ifadelerini birleştirerek çok modlu yöntemlerle duygu tanıma yapmışlardır. Deneklere duygusal içerikli fotoğraflar gösterilerek kalp atış değişikliği, nabız sıklığı ve yüz ifade bilgileri kaydedilmiştir. Öznitelikler sınıf ortalamalı ve bir birimlik standart sapmalı olacak şekilde normalize edilmiş ve K-EYK algoritmasıyla sınıflandırılmıştır. Shu ve Wang [48] fizyolojik sinyaller arasındaki doğal bağımlılıkları modellemek için kısıtlı Boltzmann makinelerini önermişlerdir. Çoklu fizyolojik sinyal öznitelikleri kısıtlı Boltzmann makineleriyle çıkarılmış ve DVM'lerle sınıflandırarak çok modlu tanınmıştır. Zhang [49] ifade ve EEG etkileşimli çok modlu bir duygu tanıma yaklaşımı önermiştir. Çalışmada sırasıyla karar ağaçları yardımıyla öznitelik seçme yöntemi uygulanmış, EEG sinyalleri ve yüz ifadelerini birleştirmek için bimodal derin otomatik çözümleyici kullanılmış ve DVM'lerle sınıflandırma yapılmıştır. Huang ve ark. [50] çok kanallı EEG sinyalleri ile çevresel fizyolojik sinyaller arasındaki korelasyonu otomatik araştırmak için topluluk ESA modelini önermişlerdir. Huang ve ark. diğer bir çalışmada [51] yüz görüntüleri ve EEG sinyallerini kullanarak çok modlu duygu tanıma yapmaya çalışmışlardır. Önerdikleri iki farklı karar seviyesinde birleştirme yaklaşımını DEAP ve MAHNOB-HCI veri setlerinde sınamışlardır. Li ve ark. yaptıkları çok modlu duygu tanıma çalışması [71] için EEG sinyalleri ve yüz görüntülerini kullanmışlardır. Yüz ifadelerini transfer öğrenmeye dayalı çok görevli ESA ile tespit etmişlerdir. EEG sinyalleri için denek bağımlı modeli DVM ile denek bağımsız modeli ise UKVH ile sınıflandırmışlardır. Füzyon aşamasında ise KSB yöntemini kullanmışlardır. Önerdikleri yöntemi ise DEAP ve MAHNOB-HCI veri setleri üzerinde sınamışlardır. Zhao ve Chen ise [72] yine çok modlu duygu tanıma çalışmaları için EEG sinyalleri ve yüz ifadelerini kullanmışlardır. İkili-doğrusal evrimsel ağ ile yüz görüntülerinin özniteliklerini

çıkarmışlardır. EEG sinyallerini ise üç grupta frekans bandı görüntü dizisine dönüştürmüşlerdir. Son olarak yüz görüntülerinden ve sinyallerden çıkardıkları öznitelikleri birleştirmek için 3 katmanlı ve çift yönlü bir UKVH kullanmışlardır. Yine önerilen yöntemi DEAP ve MAHNOB-HCI veri setleri üzerinde sınınamışlardır. Tan ve ark. [73] ise çalışmalarında yine EEG sinyallerini ve yüz görüntülerini kullanan başka bir çalışma yapmışlardır. Ve bu iki giriş bilgisine ait sonuçları birleştirmek için Monte Carlo yöntemini kullanmışlardır. Çalışmalarını ise Fer2013 ve SEED-IV veri setleri üzerinden sınınamışlardır.

Özetlemek gerekirse, EEG tabanlı çok modlu duygu tanıma sistemleri için literatürde çok sayıda yöntem önerilmiştir. Bu yöntemler genel olarak biyolojik bilgilere ait örüntülerden faydalanan duygu tanıma kullanılır ve güvenilir tanıma sistemlerinin tasarımı için önem taşır. Kullanılan sınıflandırıcılar genel olarak: (i) destek vektör makineleri, (ii) uzun kısa vadeli hafıza ağları, (iii) en yakın komşu sınıflandırıcıları, (iv) doğrusal ayırtaç analizi yaklaşımları ve (v) sınıflandırıcı kombinasyonları şeklindedir. Literatürde çok modlu duygu tanıma çalışmalarında DVM en çok kullanılan yöntemdir ve çalışmalar genellikle DEAP veri setinde yürütülmüştür. DVM günlük yaşam problemlerinde doğrusal ayrılabilir verilere oldukça az rastlanması ve yüksek genelleme yeteneğindeki başarısından dolayı özellikle bilgisayarla görme alanında oldukça tercih edilmektedir [52, 53]. DVM temelinde doğrusal ayrıştırılabilen dağılımlar için en başarılı ayırıcı hiper düzlemleri bulmaya çalışır (öğrenme) ve destek vektörler sayesinde belirlediği bu başarılı hiper düzlemlere göre sınıflandırma gerçekleştirir. Ancak, öznitelik uzayında doğrusal ayrıştırmanın mümkün olmadığı durumlarda, veriler çeşitli dönüşümlerle farklı boyutta ve doğrusal ayrıştırmanın gerçekleştirilebileceği uzaylara taşınarak sınıflandırılmaya çalışılır.

1.5. Öznitelik Çıkarma Yöntemleri

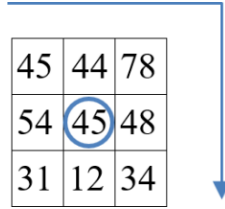
1.5.1. Yerel İkili Örüntüler

Yerel ikili örüntüler (YİÖ) görüntü dokularını tanımlamak amacıyla önerilmiş bir algoritmadır [88]. YİÖ operatörünü geliştirmek için temel fikir 2 boyutlu yüzey dokularının iki tanımlayıcı ölçü ile tanımlanabilmesidir [89]. Bu iki tanımlayıcı yerel uzamsal örüntüler (local spatial patterns) ve gri derece kontrastıdır (gray scale contrast). YİÖ algoritmasının

avantajları ortam aydınlatma değişimlerine karşı duyarlı olması ve hesaplama maliyetinin düşük olmasıdır [90]. Algoritmanın temeli ise, YİÖ operatörünün bir piksel etrafında yer alan 3×3 'lük komşuluğundaki sekiz pikselin gri seviyedeki değerlerini karşılaştırmasına ve sonucunda ikili bir değerin elde edilmesine dayanmaktadır [89, 123]. YİÖ operatörü bu nedenle merkez pikselin gri seviyeleri arasındaki ikili karşılaştırmaların sıralanmış seti olarak düşünülebilir. Son olarak ikili değerler YİÖ'leri hesaplamak için onluk sayıya çevrilir ve çıkış değeri eşitlik (1.1)'de ki gibi tanımlanır [91].

$$YİÖ(x_c, y_c) = \sum_{i=0}^7 2^i S(g_i - g_c) \quad (1.1)$$

Eşitlikteki g_c değeri merkez pikseldeki gri seviye değerini, $g_i (i = 0, 1, \dots, 7)$ merkez piksel etrafındaki sekiz pikselin gri seviye değerini, (x_c, y_c) merkez pikselin koordinat değerlerini ifade etmektedir [90]. Örneğin, bir görüntüye ait herhangi bir koordinatta yer alan bir merkez piksel için 3×3 'lük komşulukta YİÖ değeri aşağıdaki gibi (Şekil 1.1) hesaplanır. Merkez piksel değeri 45 ve çevresindeki 8 komşu piksel değerleri dizisi (sol üst köşeden itibaren sırasıyla 45, 44, 78, 48, 34, 12, 31 ve 54) şeklinde aşağıdaki gibi gösterilsin.



45	44	78
54	45	48
31	12	34

Şekil 1.1. Merkez ve komşu piksel örnekleri

Merkez ve komşu piksel değerleri arasında ok yönünde sol üst köşeden itibaren ilerlenerek eşitlik (1.2)'deki karşılaştırma yapılır. Bu karşılaştırma işleminde merkez piksel değeri (45) komşu piksel değerlerinden büyük veya eşitse komşu piksel değeri 1, diğer durumlarda ise 0 olarak atanır.

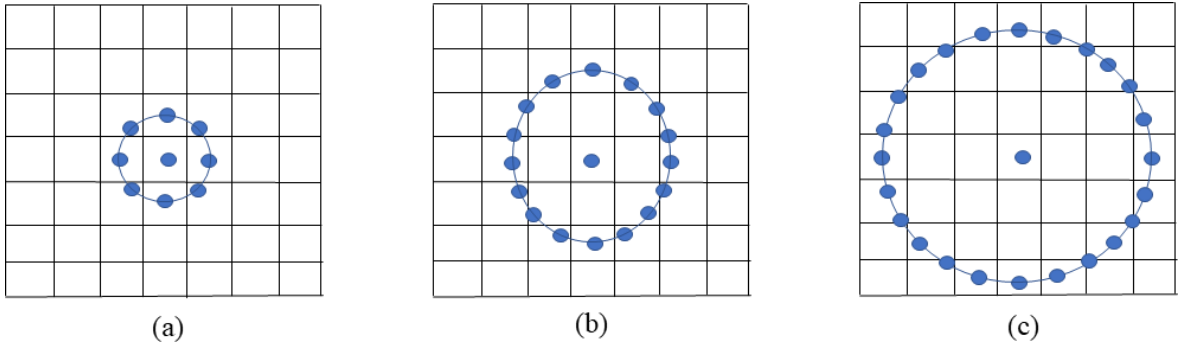
$$S(g_i - g_c) = \begin{cases} 1, & g_i \geq g_c \\ 0, & \text{diğer durumlarda} \end{cases} \quad (1.2)$$

Bu karşılaştırma işlemi tamamlandıktan sonra merkez piksel etrafındaki yeni değerler Şekil 1.2’de ki gibi olur.

1	0	1
1	45	1
0	0	0

Şekil 1.2. Karşılaştırma sonucu yeni piksel değerleri

Son olarak yine sol üst köşeden başlanarak ok yönünde ilerleyip değerler birleştirilerek 10110001 şeklinde ikili bir sayı değeri elde edilir. Bu ikili değerin onluk tabandaki karşılığı ise $(= 1x2^0 + 0x2^1 + 0x2^2 + 0x2^3 + 1x2^4 + 1x2^5 + 0x2^6 + 1x2^7)$ 177 olarak hesaplanmaktadır. Yukarıda verilen hesaplamalara ek olarak YİÖ algoritması için 3x3 komşuluk dışında daha verimli sonuçlar elde edebilmek amacıyla yarıçap değeri ve komşu nokta sayısı değiştirilebilir [91]. Tez çalışmasında algoritma 3 farklı yarıçap değeri ve buna bağlı olarak 3 farklı sayıda komşu nokta için denenmiştir. Bu yarıçap değerleri ve komşuluğun temsili gösterimi Şekil 1.3’te ki gibi verilmektedir.

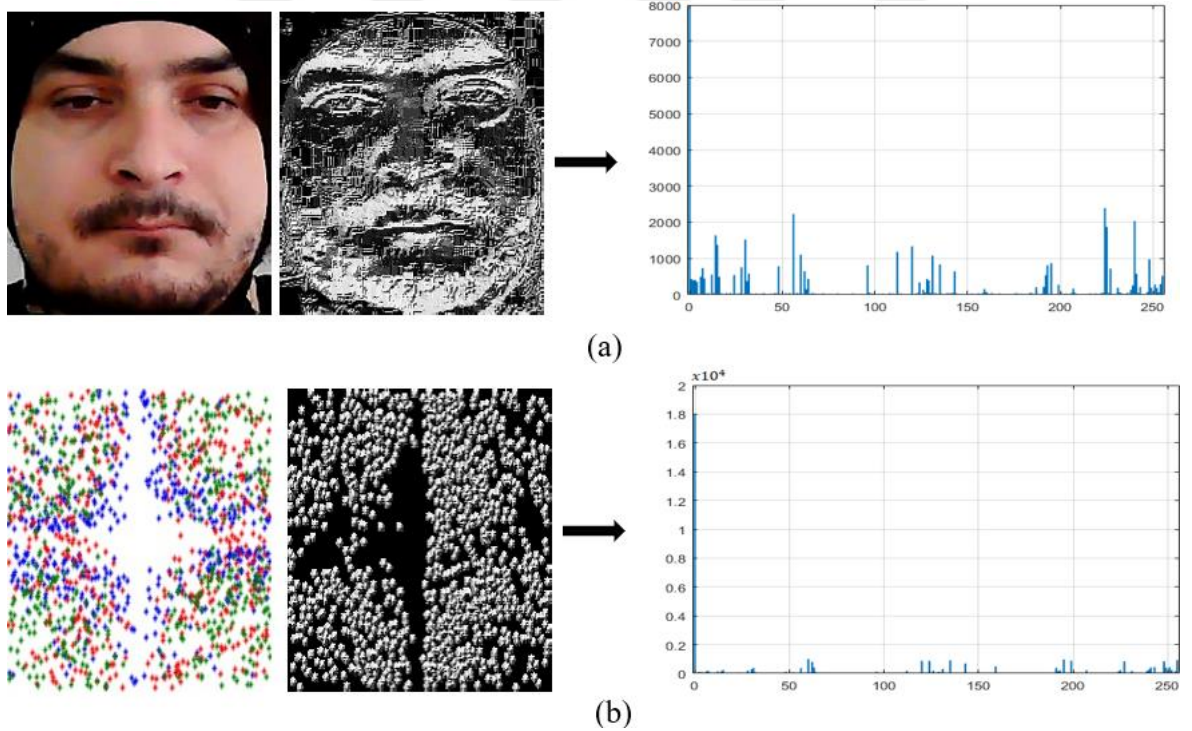


Şekil 1.3. Farklı yarıçap ve komşu nokta sayıları için temsili YİÖ gösterimleri: (a) $r=1$ ve komşu nokta sayısı 8, (b) $r=2$ ve komşu nokta sayısı 16, (c) $r=3$ ve komşu nokta sayısı 24

Tez çalışması kapsamında YİÖ algoritması; (i) sinyal görüntülerinden öznetelik çıkarılırken (füzyondan önce), (ii) sensör seviyesinde birleştirilmiş görüntülerden öznetelik

çıkarılırken ve (iii) öznitelik seviyesinde füzyon yapılırken sadece yüz görüntülerinden öznitelik çıkarma amacıyla kullanılmıştır. Bu görüntülerden öznitelikler çıkarılırken sırasıyla aşağıdaki adımlar uygulanmıştır.

- Algoritmadan daha etkin sonuçlar elde edebilmek amacıyla görüntüler dörtgensel alt bölgelere ayrılır. Çalışmada yer alan tüm görüntüler 200×200 boyutunda kaydedilmiş ve 3×3 boyutunda alt bölgelere ayrılmıştır.
- Daha sonra bu alt bölgelerin tek tek YİÖ kodları hesaplanır ve histogramları çıkarılır.
- Daha sonra bu bölgesel histogramlar bir histogramda toplanır [92]. En son elde edilen histogram (1×256) boyutlu YİÖ öznitelik vektörünü temsil eder.
- Son olarak basit histogram benzerlikleri kullanılarak sınıflandırma gerçekleştirilir. Şekil 1.4'te bir deneğe ait yüz görüntüsü ve bir adet AGG'sü için YİÖ görüntüleri ve elde edilen histogramlar verilmektedir.



Şekil 1.4. (a) Orijinal yüz görüntüsü, YİÖ görüntüsü ve YİÖ histogramı, (b) örnek açığı genlik görüntüsü, YİÖ görüntüsü ve YİÖ histogramı

1.5.2. Ölçekten Bağımsız Öznitelik Dönüşümü

Ölçekten bağımsız öznitelik dönüşümü (ÖBÖD/Scale Invariant Feature Transform-SIFT) anahtar nokta elde etmek ve tanımlamak için önerilen öteleme, ölçekleme ve döndürmeden bağımsız bir algoritmadır. Algoritma temel olarak, ölçeksel uzaydaki uç noktaların (min-maks) tespit edilmesi (scale-space extrema detection), kilit noktalarının konumlarının belirlenmesi (keypoint localization), döngüsel değişime karşı dayanıklılık kazanılması (orientation assignment) ve anahtar nokta tanımlayıcısının (description generation) bulunması şeklinde dört adımdan oluşur.

Adım 1: Ölçeksel uzaydaki uç noktaların tespiti aşamasında görüntüleri farklı ölçeklerde evriştirmek için Gauss filtresi kullanılır. Gauss bulanık görüntüler sürekli orijinal görüntüden oluşturulur. Yani sürekli asıl görüntünün yarısı boyutunda yeni bulanık bir görüntü oluşturulur. Daha sonra anahtar noktalar eşitlik (1.3) ve (1.4)'te verilen Gauss farkı (DoG) fonksiyonuyla hesaplanır [60]. Eşitliklerde G ifadesi Gauss fonksiyonunu, I kullanılan görüntüyü, L ise giriş görüntüsünün ölçek uzayı temsilini eder. k değeri çarpımsal sabiti, (x, y) koordinat değerlerini ve $*$ sembolü ise konvolüsyon işlemini ifade eder.

$$L(x, y) = G(x, y, \sigma) * I(x, y) \quad (1.3)$$

$$D(x, y, \sigma) = L(x, y, k\sigma) - L(x, y, \sigma) \quad (1.4)$$

Adım 2: Belirsiz olarak kabul edilen bazı anahtar noktalar filtrelenir. Çünkü ilk adımda çok fazla sayıda oluşturulan aday anahtar noktaların bazıları istikrarsız (durağan olmayan) yapıda kabul edilir [61]. Dolayısıyla bu aşamada sadece durağan yapıdaki anahtar noktalar saklanıp diğerleri elenir. DoG fonksiyonu kenarlara duyarlı olduğundan kenarların kaldırılması gerekir. Bu işlem için Harris köşe bulma algoritması kullanılır.

Adım 3: Görüntüye rotasyondan bağımsızlık kazandırmak amacıyla her anahtar noktaya oryantasyon atanır [62]. Gauss uygulanarak bulanıklaştırılmış görüntülerde yer alan her anahtar nokta için etrafındaki komşu bölgelerde yer alan her piksel için gradyan (eğim) büyüklüğü ve yönüne bakılır. Hesaplanan değerler, her kutusu 10 derece içeren 36 kutuluk bir histograma yerleştirilir. Histogramın tepe noktası hedef oryantasyon bilgisini ifade eder.

Adım 4: Her anahtar nokta için tanımlayıcı (descriptor) vektörler hesaplanır. Bu tanımlayıcılar için öncelikle her biri 8 kutu içeren 4x4 piksel komşuluğunda oryantasyon histogramları oluşturulur. Yani bu 8 kutu içeren 4x4 piksel komşuluğundaki histogramlar 128 vektör belirtir. Bu vektörler anahtar nokta tanımlayıcılarını ifade eder.

1.5.3. Harris Köşe Bulma Algoritması

Harris köşe bulma algoritması bir sinyalin lokal otokorelasyon fonksiyonuna yani sinyalin farklı zamanlardaki değerleri arasındaki korelasyona dayanır [63, 64]. Algoritma genel olarak kamera kalibrasyonu, görüntü eşleştirme, izleme veya video sabitleme için kullanılır [65]. Genel yaklaşımı çevreleyen komşulukta birden fazla yöndeki kenarları gösteren ilgi noktalarının bulunmasına dayanır. Bulunan bu ilgi noktaları da görüntünün köşe noktaları olarak adlandırılır. Algoritma adımları aşağıdaki gibidir.

Adım 1: Görüntüdeki her piksel için (x, y) otokorelasyon matrisi M eşitlik (1.5)'te ki gibi hesaplanır. Bu notasyonda I_x ve I_y türevleri göstermektedir.

$$M = \sum_{x,y} \begin{bmatrix} I_x^2 & I_x I_y \\ I_x I_y & I_y^2 \end{bmatrix} \quad (1.5)$$

Adım 2: M matrisine eşitlik (1.6)'da ki Gauss filtresi uygulanır.

$$G(x, y, \sigma) = \left(\frac{1}{2\pi\sigma^2} \right) e^{-\frac{(x^2+y^2)}{2\sigma^2}} \quad (1.6)$$

Adım 3: Her (x, y) piksel değeri için köşelerin cevap ölçüsü eşitlik (1.7)'de ki yanıt fonksiyonuyla hesaplanır. Eşitlikteki k sabiti genellikle $[0.04 - 0.06]$ aralığından seçilen bir katsayı değeridir.

$$R = \{I_x^2 \times I_y^2 - (I_x I_y)^2\} - k \{I_x^2 + I_y^2\}^2 \quad (1.7)$$

Adım 4: Köşe noktalarını aramak için yanıt fonksiyonunun yerel bir maksimumu belirlenir ve köşe noktaları t eşik değeri aracılığıyla saptanır.

1.5.4. Ki-kareesel Uzaklığı

Ki-kareesel uzaklığı herhangi bir veri örneğinin iki veya daha fazla sınıflandırılmasının bağımsız olup olmadığını belirlemek için kullanılan ve parametrik olmayan istatistiksel bir testtir [86]. Uzaklık tespiti için yapılan test, bir kategori için beklenen ve gözlenen frekans değerleri arasında istatistiksel olarak anlamlı bir farkın (şansa bağlı olmayan muhtemel bir fark) olup olmadığını belirlemek için kullanılır [87]. Bu uzaklık değeri olan $d(x, y)$ iki histogram arasındaki uzaklığı ifade eder ve eşitlik (1.8)'deki gibi hesaplanır. Notasyonda $x = [x_1, x_2, \dots, x_n]$ gözlenen ve $y = [y_1, y_2, \dots, y_n]$ beklenen değerler için girişleri ifade eder.

$$d(x, y) = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n \frac{(x_i - y_i)^2}{x_i + y_i} \quad (1.8)$$

Tez çalışmasında ki-kareesel uzaklığı en benzersiz yüz görüntüsünün belirlenmesi aşamasında Bölüm 2.5.9'da kullanılmıştır.

1.6. Sınıflandırma Yöntemleri

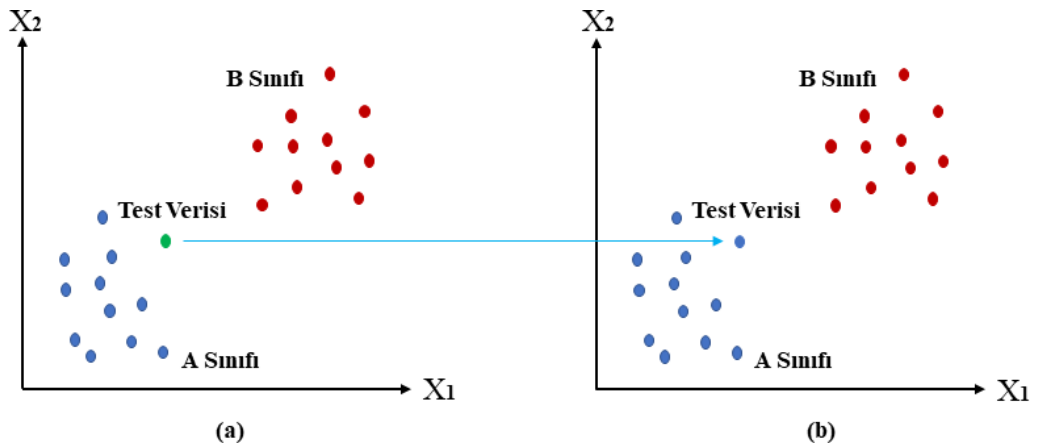
1.6.1. K-En Yakın Komşuluk Algoritması

K en yakın komşuluk (K-EYK) ilk olarak 1951'de Evelyn Fix ve Joseph Hodges tarafından önerilen daha sonra Thomas Cover tarafından geliştirilen danışmanlı öğrenme tekniğine dayalı en basit makine öğrenmesi algoritmalarından birisidir [93, 94]. Aynı zamanda örüntü tanıma, sınıflandırma ve regresyon için sıkça tercih edilen ve parametrik olmayan bir algoritmadır [91]. Parametrik olmayan bir algoritma olması temel veriler üzerinde herhangi bir varsayımda bulunmadığını göstermektedir [95, 96]. Aynı zamanda

tembel algoritma olarak da bilinir çünkü öğrenme işlemini eğitim kümesi üzerinden yapmaz bunun yerine eğitim aşamasında veri kümesini depolar ve test örneği geldiğinde bu veriyi kendisine en çok benzeyen kategoride sınıflandırır [97]. Algoritma, yeni durum/veriler ile mevcut durumlar arasındaki benzerliği varsayar ve yeni durumu mevcut kategorilere en çok benzeyen kategoriye dahil eder. K-EYK algoritmasının avantajları, uygulamasının oldukça basit olması ve büyük eğitim verileri için bazen daha etkili sonuçlar üretmesidir [98]. Dezavantajı ise tüm eğitim örnekleri için veri noktaları arasında uzaklık hesabı yapıldığından maliyeti oldukça yüksektir [99]. Algoritmanın aşamaları genel olarak aşağıdaki gibidir:

- k adet etiketi bilinen eğitim seti örneği (komşu nokta) seçilir,
- k adet komşu nokta ile test örneği arasında uzaklık hesabı yapılır,
- Hesaplanan uzaklık değerine göre k en yakın komşu nokta alınır,
- Bu k adet komşunun her kategorideki eğitim örneği sayısını belirlenir,
- Bu örneklerin yer aldığı kategorilerin çoğunluğuna bakarak test örneğinin kategorisi belirlenir [93].

Şekil 1.5'te A ve B gibi iki farklı sınıfa ait eğitim örnekleri verilmektedir. Mavi noktalar A sınıfına ait eğitim örneklerini, kırmızı noktalar ise B sınıfına ait eğitim örneklerini göstermektedir. Test örneği olarak yeşil nokta verilmektedir. Bu nokta için yukarıdaki algoritmanın tüm aşamaları uygulandığında A sınıfına dahil olduğu görülmektedir.



Şekil 1.5. K-EYK'da test verisinin sınıflandırması: (a) K-EYK önce ve (b) sonrası

Literatürde farklı problemler için Manhattan $d(x, y) = \sum_{i=1}^n |x_i - y_i|$, Minkowski $d(x, y) = (\sum_{i=1}^n |x_i - y_i|^p)^{1/p}$, Öklid, vb. gibi farklı uzaklık hesaplama ölçütleri önerilmiştir. Tez çalışmasında eşitlik (1.9)'da ki Öklid uzaklık metriği kullanılmıştır [92]. Denklemden yer alan x ve y noktaları aralarında uzaklık hesabı yapılacak noktaları, k ise komşu nokta sayısını ifade etmektedir.

$$d(x, y) = \sqrt{\sum_{i=1}^k (x_i - y_i)^2} \quad (1.9)$$

1.6.2. Destek Vektör Makineleri

Destek Vektör Makineleri (DVM) ilk olarak Cortes ve Vapnik tarafından tasarlanmıştır [100, 101]. Özellikle bilgisayarla görme alanındaki günlük yaşam problemlerinde doğrusal ayrılabilir verilere oldukça az rastlanmaktadır. Bu nedenle yüksek genelleme yeteneğine sahip olan DVM literatürdeki çalışmalarda sıklıkla kullanılmıştır [52, 53]. DVM temel olarak doğrusal ayrıştırılabilen veriler için en iyi ayırıcı hiper düzlemi bulmaya çalışır ve bu hiper düzleme göre sınıflandırma gerçekleştirir. Yani DVM mekanizması sınıflandırma gereksinimlerini karşılayabilecek en uygun sınıflandıran hiper düzlemleri bulmaya çalışacak şekilde düzenlenmiştir [67]. Örneğin; DVM yüzlerce veya binlerce hileli ve hileli olmayan kredi kartı faaliyet raporunu inceleyerek hileli kredi kartını tanıyabilecek yetenektedir [102].

1.6.2.1. Doğrusal Ayrılabilir İkili Sınıflandırma

İki farklı sınıfa ait verilerin doğrusal ayrılabilirliğini varsayalım. K tane eğitim örneğimiz olsun. Her x_i girişi için y_i etiketi vardır ve eğitim verileri $\{x_i, y_i\}, i = 1, \dots, K$ $y_i \in \{-1, 1\}$ şeklinde gösterilmektedir. Formüldeki K değeri boyutu ifade eder. Burada iki farklı sınıfa ait verilerin doğrusal ayrılabilirliğini varsaymak tek bir doğru ile bu sınıfların ayrılabilmesi anlamına gelir [52]. Bu ayırıcı düzlem (hiper düzlem) $wx + b = 0$ ile hesaplanır ki formülde yer alan w hiper düzlemin normalini ifade eder [52, 103]. Ek olarak

destek vektörleri hiper düzleme en yakın olan örneklerdir [104]. DVM algoritması genel olarak w ve b parametrelerinin bulunmasına odaklanır ve eğitim örneklerinin eşitlik (1.10) ve (1.11)'de ki kısıtları sağlaması gerekir.

$$x_i w + b \geq +1 \quad y_i = +1 \quad (1.10)$$

$$x_i w + b \leq -1 \quad y_i = -1 \quad (1.11)$$

Yukarıdaki denklemler bileştirildiğinde $y_i(x_i w + b) - 1 \geq 0 \quad \forall_i$ eşitliği elde edilir. Hiper düzlemi destek vektörlerinden oldukça uzağa yerleştirmek için marjinin $1/\|w\|$ maksimum olması ve bunun için $\|w\|$ değerinin minimum olması gerekir. Yukarıda verilen kısıtlar altında marjinin maksimum olabilmesi için lagrange çarpanı α 'nın $\alpha_i > 0 \quad \forall_i$ denkleme dahil edilmesi yani lagrange formülasyonu yapılması gerekir [105]. Lagrange formülasyonu sonucunda elde edilen eşitlikler (1.12) ve (1.13)'te ki gibidir.

$$L_p = \frac{1}{2} \|w\|^2 - \sum_{i=1}^L \alpha_i [y_i(x_i w + b) - 1] \quad (1.12)$$

$$L_p = \frac{1}{2} \|w\|^2 - \sum_{i=1}^L \alpha_i y_i(x_i w + b) - 1 + \sum_{i=1}^L \alpha_i \quad (1.13)$$

Daha sonra denklem w 'ye (eşitlik (1.14)) ve b 'ye (eşitlik (1.15)) göre ayrı ayrı türevleri alınarak sıfıra eşitlenir ve minimize eden w ve b ve maksimize eden α değeri bulunmaya çalışılır [105].

$$\frac{\partial L_p}{\partial w} = 0 \rightarrow w = \sum_{i=1}^L \alpha_i y_i x_i \quad (1.14)$$

$$\frac{\partial L_p}{\partial b} = 0 \rightarrow \sum_{i=1}^L \alpha_i y_i = 0 \quad (1.15)$$

Bu denklemler L_p formülünde yerine koyulduğunda eşitlik (1.16) elde edilir.

$$L_p = \sum_{i=1}^L \alpha_i - \frac{1}{2} \sum_{i,j} \alpha_i \alpha_j y_i y_j x_i x_j \quad \alpha_i \geq 0 \quad \forall_i, \quad \sum_{i=1}^L \alpha_i y_i = 0 \quad (1.16)$$

1.6.2.2. Ufak Bir Hatayla Doğrusal Ayrılama Durumu

Eğitim örnekleri tamamen doğrusal ayrılabilir durumda değilse Bölüm 1.6.2.1’de anlatılan denklemlere pozitif zayıflık değişkeni $\xi_i, i = 1, \dots, K$ olarak adlandırılan değişkenler eklenerek güncellenir [106] (eşitlik (1.17) ve (1.18)).

$$x_i w + b \geq +1 - \xi_i \quad y_i = +1 \quad (1.17)$$

$$x_i w + b \leq -1 + \xi_i \quad y_i = -1 \quad (1.18)$$

Yukarıdaki denklemler bileştirildiğinde $y_i(x_i w + b) - 1 + \xi_i \geq 0 \quad \xi_i \geq 0, \forall_i$ eşitliği elde edilir. Doğrusal ayrılama durumunda denklemlere bir C üst sınırının eklenmesi gerekir [107]. Bu C üst sınır değeri lagrange çarpanlarının alabileceği maksimum değeri ifade eder [108]. Bu şartlar altında lagrange formülasyonu eşitlik (1.19)’da ki gibi düzenlenir. Formülasyonda yer alan μ_i değeri zayıflık değişkeninin pozitif olmasını garantilemek için kullanılan lagrange parametresidir [52].

$$L_p = \frac{1}{2} \|w\|^2 + C \sum_{i=1}^K \xi_i - \sum_{i=1}^K \alpha_i [y_i(x_i w + b) - 1 + \xi_i] - \sum_{i=1}^K \mu_i \xi_i = 0 \quad (1.19)$$

Yukarıdaki formülün çözümü oldukça zor olduğundan denklemin w ’ye (eşitlik (1.20)), b ’ye (eşitlik (1.21)) ve ξ_i ’ye (eşitlik (1.22)) göre ayrı ayrı türevleri alınarak sıfıra eşitlenir.

$$\frac{\partial L_p}{\partial w} = 0 \rightarrow w = \sum_{i=1}^L \alpha_i y_i x_i \quad (1.20)$$

$$\frac{\partial L_p}{\partial b} = 0 \rightarrow \sum_{i=1}^L \alpha_i y_i = 0 \quad (1.21)$$

$$\frac{\partial L_p}{\partial \xi_i} = 0 \rightarrow C = a_i + \mu_i \quad (1.22)$$

Bu denklemlerden elde edilenler L_p formülünde yerine konursa eşitlik (1.23) elde edilir.

$$L_p = \sum_{i=1}^L \alpha_i - \frac{1}{2} \sum_{i,j} \alpha_i \alpha_j y_i y_j x_i x_j \quad 0 \leq a \leq C \quad \forall_i \quad \sum_{i=1}^L \alpha_i y_i = 0 \quad (1.23)$$

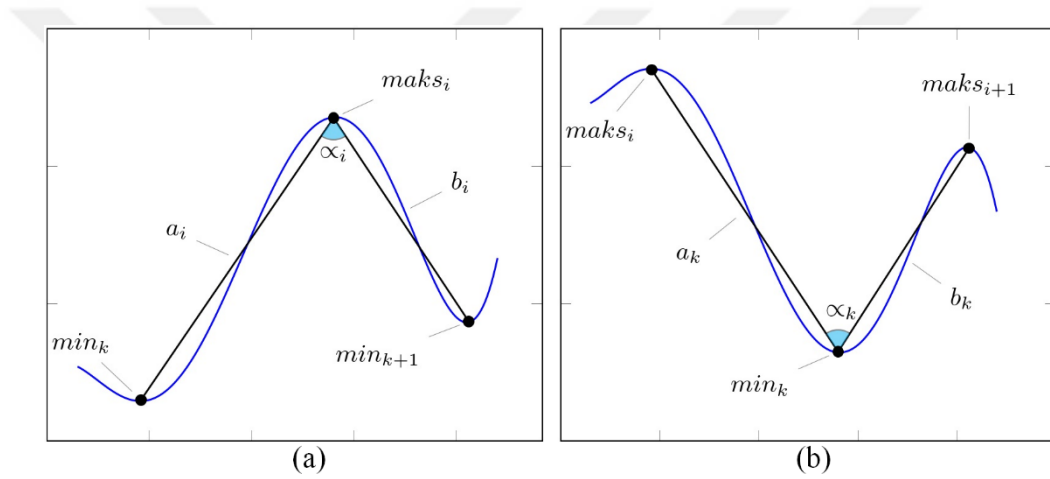
1.6.2.3. Doğrusal Olmayan Destek Vektör Makineleri

Ancak, tez çalışmasında olduğu gibi öznitelik uzayında doğrusal ayrıştırmanın mümkün olmadığı durumlarda, orijinal giriş uzayı öznitelik uzayı olarak adlandırılan yüksek boyutlu bir başka uzaya taşınır [68]. Bu işlem ise lineer çekirdek $K(x_i, x_j) = (x_i \cdot x_j)$, polinomsal çekirdek $K(x_i, x_j) = (x_i \cdot x_j + 1)^p$, radyal tabanlı çekirdek $K(x_i, x_j) = e^{-\gamma(x_i - x_j)^2}$ ve sigmoid çekirdek $K(x_i, x_j) = \tanh(\eta x_i \cdot x_j + v)$ fonksiyonu olarak adlandırılan dört ayrı çekirdek fonksiyonu yardımıyla gerçekleştirilir [109]. Tez çalışmasında öznitelik uzayında doğrusal ayrılmayan veriler üzerindeki sınıflandırma işleminde radyal temelli çekirdek fonksiyonu kullanılmıştır.

2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

2.1. Açık-Genlik Dönüşümü Yaklaşımları-I

Tez çalışmasının bu kısmında DEAP veri setinde yer alan EEG ve EOG sinyallerine farklı açık-genlik dönüşümü (AGD) yaklaşımları uygulanarak bir sinyalden yedi ayrı sinyal görüntüsü elde edilmiştir [59]. Uygulanan dönüşüm yöntemlerine ait detaylı açıklamalar Bölüm 2.1.1 ile 2.1.3 arasında verilmiştir.



Şekil 2.1. (a) Yerel maksimum ve (b) minimum noktalarının gösterimleri

2.1.1. Değişim Noktaları Arasındaki Uzaklığın Hesaplanması

Hesaplamada öncelikle bir sinyaldeki tüm yerel maksimum (maks) ve yerel minimum (min) noktaları tespit edilmektedir. Bir yerel maks noktası Şekil 2.1 (a)'daki gibi yerel maksimum olarak kabul edilen bölgedeki en yüksek genlik değerine sahip nokta olarak kabul edilmektedir. Bir yerel minimum noktası ise Şekil 2.1 (b)'deki gibi yerel minimum olarak kabul edilen bölgedeki en düşük genlik değerine sahip nokta olarak kabul edilmektedir [110]. İkinci aşamada, mevcut değişim noktasının sağ ve sol yanındaki değişim noktalarıyla arasındaki uzaklıklar Öklid metriği ile hesaplanmaktadır. Herhangi bir yerel maksimum bölgesi için; t_i . yerel maksimum bölgesinde yer alan sol $a_i(t_i)$ uzaklığı $maks_i(x_i, y_i)$ ve $min_k(x_k, y_k)$ noktaları arasında yer almakta ve eşitlik (2.1) ile hesaplanmaktadır.

$$a_i(t_i) = \sqrt{\left((X_{i,k})^2 + (Y_{i,k})^2\right)} \quad (2.1)$$

Bu eşitlikte $X_{i,k}$ ve $Y_{i,k}$ değerleri sırasıyla $\max_i(x_i)$ - $\min_k(x_k)$ ve $\max_i(y_i)$ - $\min_k(y_k)$ farklarından yola çıkarak belirlenmektedir. Benzer şekilde; herhangi bir yerel maksimum bölgesi için t_i . yerel maks. bölgesinde yer alan sağ $b_i(t_i)$ uzaklığı $\max_i(x_i, y_i)$ ve $\min_{k+1}(x_{k+1}, y_{k+1})$ noktaları arasındaki uzaklıktan faydalanarak eşitlik (2.2) ile hesaplanmaktadır. Bu eşitlikte ise $X_{i,k+1}$ ve $Y_{i,k+1}$ değerleri sırasıyla $\max_i(x_i)$ - $\min_{k+1}(x_{k+1})$ ve $\max_i(y_i)$ - $\min_k(y_{k+1})$ ile hesaplanmaktadır.

$$b_i(t_i) = \sqrt{\left((X_{i,k+1})^2 + (Y_{i,k+1})^2\right)} \quad (2.2)$$

Herhangi bir yerel minimum bölgesi için; t_k . yerel min. bölgesinde yer alan sol $a_k(t_k)$ uzaklığı $\min_k(x_k, y_k)$ ve $\max_i(x_i, y_i)$ noktaları arasında yer almakta ve eşitlik (2.3) ile hesaplanmaktadır.

$$a_k(t_k) = \sqrt{\left((X_{k,i})^2 + (Y_{k,i})^2\right)} \quad (2.3)$$

Bu eşitlikte $X_{k,i}$ ve $Y_{k,i}$ değerleri sırasıyla $\min_k(x_k)$ - $\max_i(x_i)$ ve $\min_k(y_k)$ - $\max_i(y_i)$ farklarından yola çıkarak belirlenmektedir. Benzer şekilde; herhangi bir yerel minimum bölgesi için t_k . yerel min. bölgesinde yer alan sağ $b_k(t_k)$ uzaklığı $\min_k(x_k, y_k)$ ve $\max_{i+1}(x_{i+1}, y_{i+1})$ noktaları arasındaki uzaklıktan faydalanarak eşitlik (2.4) ile hesaplanmaktadır. Bu eşitlikte $X_{k,i+1}$ ve $Y_{k,i+1}$ değerleri sırasıyla $\min_k(x_k)$ - $\max_{i+1}(x_{i+1})$ ve $\min_k(y_k)$ - $\max_{i+1}(y_{i+1})$ farklarından yola çıkarak belirlenmektedir.

$$b_k(t_k) = \sqrt{\left((X_{k,i+1})^2 + (Y_{k,i+1})^2\right)} \quad (2.4)$$

2.1.2. Açık ve Genlik Değerlerinin Belirlenmesi

Algoritmanın bu aşamasında açı ve buna bağlı olarak genlik değerleri hesaplanmaktadır [111]. Açık hesabı için öncelikle herhangi bir değişim noktasının sağ ve sol yanındaki değişim noktalarına doğrular çekilmektedir. Daha sonra bu doğruların arasında yer alan açının arkatanjantı ($\tan \alpha = \alpha_{i,k} \rightarrow \alpha = \tan^{-1}(\alpha_{i,k})$) hesaplanmaktadır. Açık (α) notasyonunda, $\alpha \in \{\alpha_r\}$ ve $r \in \{0, 1, \dots, K\}$ aralığında bir açı dizisi olarak kabul edilmiştir. Gösterimdeki K değeri açı sayısını ifade etmektedir. α açısının hesaplanması detaylı olarak aşağıdaki gibidir.

Öncelikle, örneğin Şekil 2.1 (a)'da verilen $\max_i(x_i, y_i) - \min_k(x_k, y_k)$ ve $\max_i(x_i, y_i) - \min_{k+1}(x_{k+1}, y_{k+1})$ noktaları ve Şekil 2.1 (b)'de verilen $\min_k(x_k, y_k) - \max_i(x_i, y_i)$ ve $\min_k(x_k, y_k) - \max_{i+1}(x_{i+1}, y_{i+1})$ noktaları arasında kalan doğruların eğimleri hesaplanmaktadır. Sırasıyla m_r ve m_{r+1} şeklinde isimlendirilen doğru eğimleri eşitlik (2.5) yardımıyla hesaplanmaktadır. Bu eşitlikte yer alan x_r ve y_r değerleri mevcut değişim noktasına ait birinci boyut değerlerini ifade ederken, x_{r+1} ve y_{r+1} değerleri ise aynı değişim noktasına ait ikinci boyut değerlerini ifade etmektedir.

$$m_r = \frac{y_{r+1} - y_r}{x_{r+1} - x_r} \quad (2.5)$$

İkinci olarak, açı değerleri eşitlik (2.6) yardımıyla pozitif veya negatif tanımlı iki ayrı gruba ayrılmaktadır.

$$\alpha_{i,k} = \begin{cases} \frac{m_r - m_{r+1}}{1 - (m_r x m_{r+1})} & \text{Pozitif tanımlı açılar için } \alpha_i \\ -1x \left(\frac{m_r - m_{r+1}}{1 - (m_r x m_{r+1})} \right) & \text{Negatif tanımlı açılar için } \alpha_k \end{cases} \quad (2.6)$$

Mevcut noktanın genlik değeri $R_r(t_r)$ ise eşitlik (2.7)'de ile hesaplanmaktadır. Bu eşitliğe göre öncelikle değişim noktasının sağ veya sol yanındaki uzaklık değerlerinden (Şekil 1 (a) için $a_i(t_i)$ veya $b_i(t_i)$ ve Şekil 1 (b) için $a_k(t_k)$ veya $b_k(t_k)$) mutlak değerce daha büyük olan tespit edilmektedir. Daha sonra, $R_r(t_r)$ genlik değeri küçük olan değer

büyük olana bölünmesiyle elde edilmektedir. Bu işlemin amacı mevcut genlik değerini $[-1,1]$ aralığına çekmektir.

$$R_r(t_r) = \begin{cases} b_r(t_r)/a_r(t_r) & b_r(t_r) < a_r(t_r) \\ -1x(a_r(t_r)/b_r(t_r)) & \text{diğer durumlarda} \end{cases} \quad (2.7)$$

2.1.3. Açı-Genlik Değerlerinin Koordinat Düzlemine Yerleştirilmesi

Bir önceki kısımda hesaplan açı ve ilgili genlik değerleri bu aşamada bir düzleme yerleştirilir. Bu düzlemde normalizeli genlik değerini x eksenini ve açı değerini ise y eksenini temsil etmektedir. Buna bağlı olarak düzlem 4 eşit parçaya ayrılmakta ve noktaların düzleme yerleştirilmeleri şu kurallar dikkat alınarak yapılmaktadır.

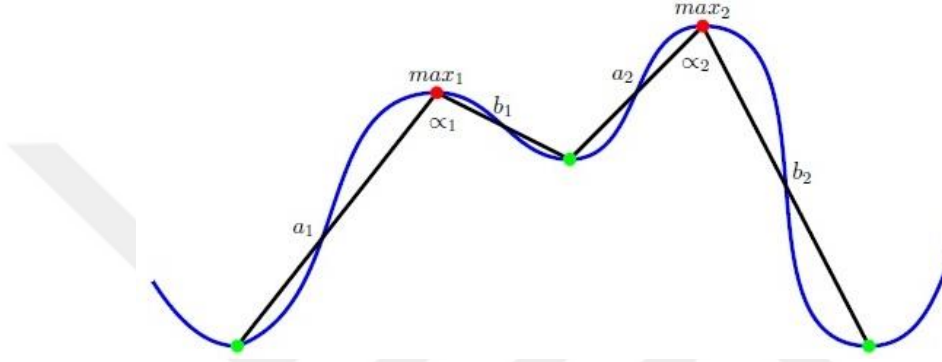
- Açı pozitif olarak tanımlanmışsa, sağ veya sol üst koordinat düzlemine yerleştirilir.
- Açı negatif olarak tanımlanmışsa, sağ veya sol alt koordinat düzlemine yerleştirilir.
- Eğer açığa bağlı hesaplanan genlik değeri pozitif olarak tanımlanmışsa, sağ alt veya üst koordinat düzlemine yerleştirilir.
- Eğer açığa bağlı hesaplanan genlik değeri negatif olarak tanımlanmışsa, sol alt veya üst koordinat düzlemine yerleştirilir.

Tüm bu adımlar tamamlandı hesaplanan açı-genlik değerlerini temsil eden noktalar düzleme yerleştirildikten sonra ilgili sinyale ait $Img(i,j)$ görüntüsü elde edilir. Bu görüntünün matematiksel temsili eşitlik (2.8)'de ki gibidir.

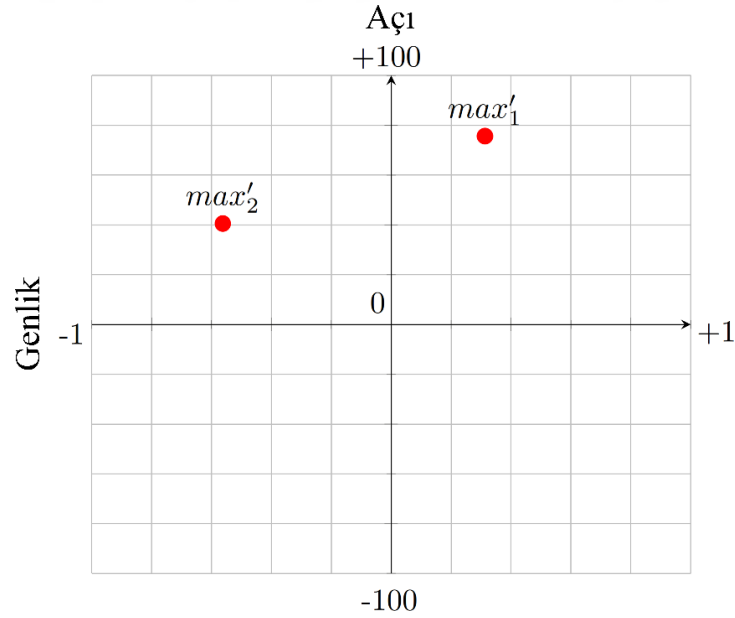
$$Img(i,j) = \sum_{r=1}^n Img_r(\alpha_r(t_r), R_r(t_r)) \quad (2.8)$$

Şekil 2.2'de herhangi bir sinyalde yer alan iki farklı maksimum noktasının temsili gösterimi yer almaktadır. Şekildeki α_1 ve α_2 açıları pozitif tanımlı açılar olarak kabul edilmektedir. Dolayısıyla bu şekildeki maksimum noktalarına bağlı olan tüm açı ve genlik değerleri koordinat düzleminin üst kısmına yerleştirilmektedir. Düzlemde sağ mı yoksa sol

konuma m₁ yerleştirilecekleri ise bu açılara bağlı olarak hesaplanan genlik değerleriyle belirlenmektedir. max_1 noktasının sol yanındaki minimum noktasıyla arasındaki a_1 uzaklık değeri, sağ yanındaki minimum noktasıyla arasındaki b_1 uzaklık değerinden daha büyükse, genlik değeri b_1/a_1 ile hesaplanır. Daha sonra elde edilen genlik değeri pozitif tanımlı olarak etiketlenip koordinat düzleminin sağ tarafına yerleştirilir.



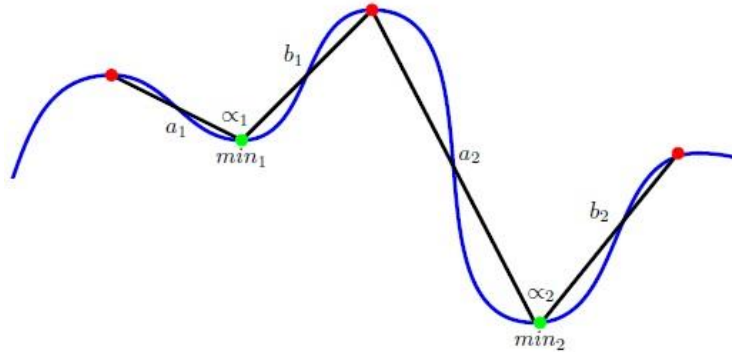
Şekil 2.2. Örnek bir sinyalde temsili iki maksimum noktası



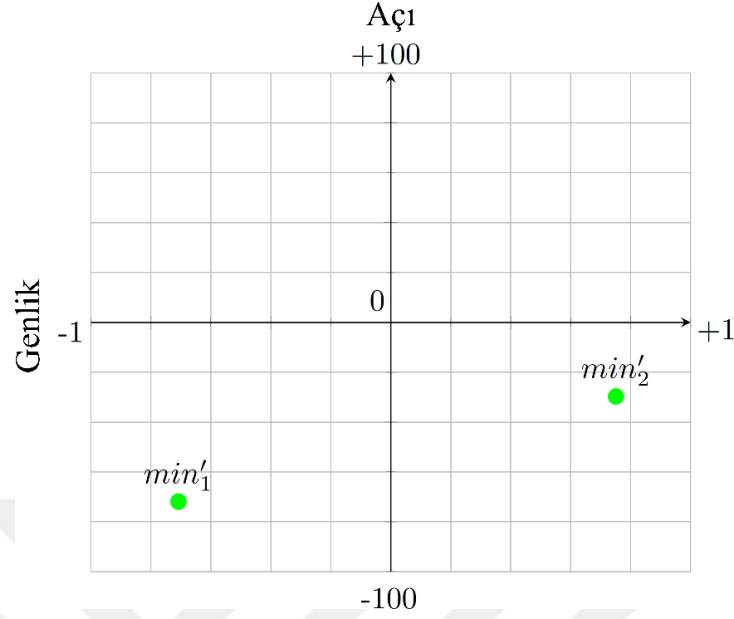
Şekil 2.3. Maksimum noktaları için açı ve genlik değerlerinin koordinat düzlemindeki konumları

$maks_2$ noktasının sol yanındaki minimum noktasıyla arasındaki a_2 uzaklığı, sağ yanındaki minimum noktasıyla arasındaki b_2 uzaklığından küçükse, genlik değeri a_2/b_2 ile hesaplanır. Daha sonra elde edilen genlik değeri negatif tanımlı olarak etiketlenip koordinat düzleminin sol kısmına yerleştirilir. Şekil 2.3'te $maks_1$ ve $maks_2$ noktaları için hesaplanan açı ve genlik değerlerinin koordinat düzlemine yerleştirilmiş temsili görüntüleri verilmektedir.

Herhangi bir sinyal üzerinde yer alan iki farklı minimum noktasının temsili gösterimi Şekil 2.4'te ki gibidir. Şekildeki α_1 ve α_2 açıları negatif tanımlı açılar olarak kabul edilmektedir. Dolayısıyla bu şekildeki minimum noktalarına bağlı tüm açı ve genlik değerleri koordinat düzleminin alt kısmına yerleştirilmektedir. Düzlemde sağ mı yoksa sol konuma mı yerleştirilecekleri ise yine bu açılara bağlı olarak hesaplanan genlik değerleriyle belirlenmektedir. min_1 noktasının sol yanındaki maks noktasıyla arasındaki a_1 uzaklık değeri, sağ yanındaki maks noktasıyla arasındaki b_1 uzaklığından küçükse, genlik değeri a_1/b_1 ile hesaplanır. Daha sonra elde edilen genlik değeri negatif tanımlı olarak etiketlenip koordinat düzleminin sol tarafına yerleştirilir. min_2 noktasının sol yanındaki maks noktasıyla arasındaki a_2 uzaklık değeri, sağ yanındaki maks noktasıyla arasındaki b_2 uzaklığından büyükse genlik değeri b_2/a_2 ile hesaplanır. Elde edilen genlik değeri pozitif tanımlı olarak etiketlenip koordinat düzleminin sağ tarafına yerleştirilir. min_1 ve min_2 noktaları için hesaplanan açı ve genlik değerlerinin koordinat düzlemine yerleştirilmiş temsili görüntüleri Şekil 2.5'te verilmektedir.



Şekil 2.4. Örnek bir sinyalde temsili iki minimum noktası

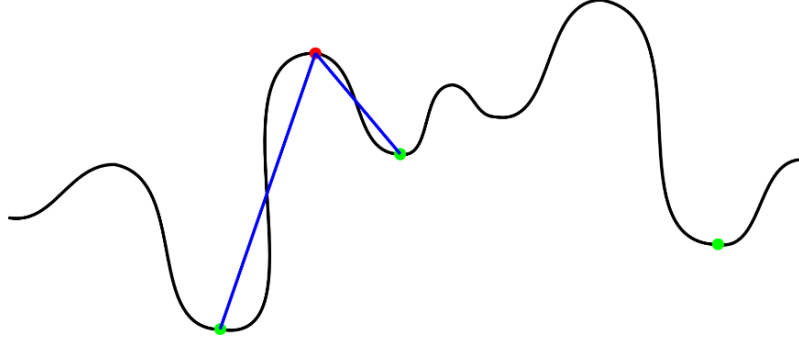


Şekil 2.5. Minimum noktaları için açı ve genlik değerlerinin koordinat düzlemindeki konumları

2.1.4. Açı-Genlik Görüntüleri

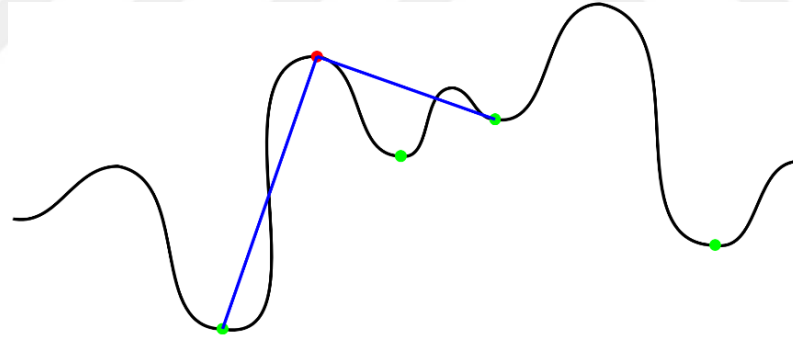
Çalışmanın bu kısmında, Bölüm 2.1.1 ile Bölüm 2.1.3 arasında irdelenmiş olan tüm bu işlemler farklı değişim noktalarının kombinasyonlarının bir araya getirilmesiyle yedi farklı kez tekrarlanmış ve yedi ayrı yaklaşım önerilmiştir (Yaklaşım 1-7). Bu yaklaşımların uygulanmasıyla bir duygu tabanlı sinyalden yedi ayrı Açı-Genlik Görüntüsü (AGG) elde edilmiş ve bu görüntülerin çok modlu yaklaşımlardaki etkisi incelenmiştir. Bu yaklaşımlarda, mevcut değişim noktasının hemen sol yanındaki nokta daima sabit tutulmuş ve tüm yaklaşım kombinasyonlarında bu nokta kullanılmıştır. Ayrıca, çeşitlilik oluşturulması için mevcut değişim noktasının sağ yanındaki birinci, ikinci ve üçüncü değişim noktaları ayrı ayrı kullanılmıştır. Önerilen bu yaklaşımlar ve her yaklaşımda kullanılan değişim nokta bilgileri aşağıda detaylı olarak listelenmiştir.

Yaklaşım 1: Herhangi bir sinyalde rastgele seçilen bir maks. değişim noktasının sol yanındaki birinci min. değişim noktası ile sağ yanındaki birinci min. değişim noktasının Şekil 2.6'da ki gibi birlikte kullanıldığı yaklaşımdır. Yaklaşım 1 ile elde edilen sinyal görüntüsü Açı Genlik Görüntüsü 1 (AGG-1) olarak adlandırılmıştır.



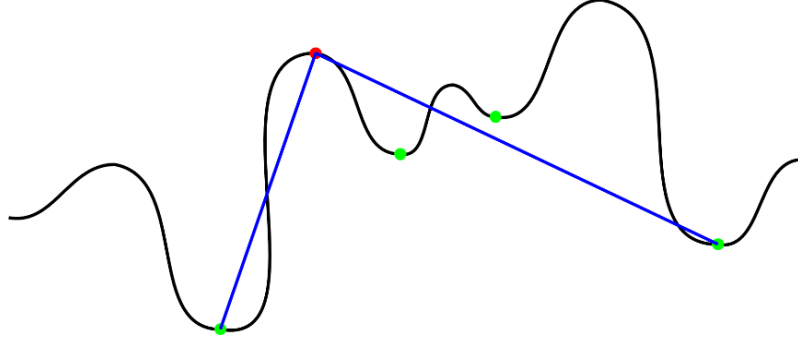
Şekil 2.6. Herhangi bir maks. noktasının sağ ve sol yanındaki birinci min. noktaları

Yaklaşım 2: Herhangi bir sinyalde rastgele seçilen bir maks. değişim noktasının sol yanındaki birinci min. değişim noktası ile sağ yanındaki ikinci min. değişim noktasının Şekil 2.7’de ki gibi birlikte kullanıldığı yaklaşımdır. Yaklaşım 2 ile elde edilen sinyal görüntüsü Açık Genlik Görüntüsü 2 (AGG-2) olarak adlandırılmıştır.



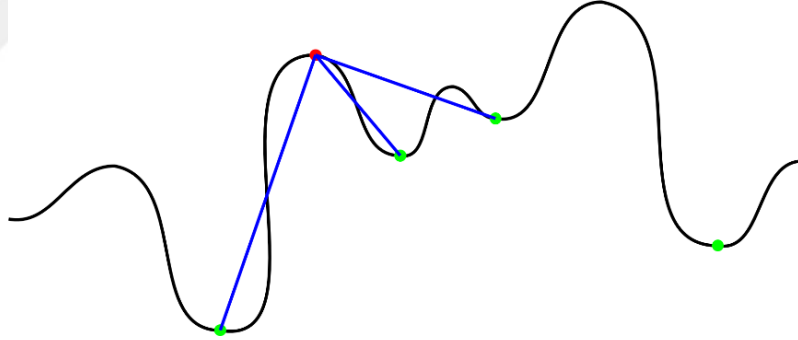
Şekil 2.7. Herhangi bir maks. noktasının sol yanındaki birinci min. noktası ve sağ yanındaki ikinci min. noktası

Yaklaşım 3: Herhangi bir sinyalde rastgele seçilen bir maks. değişim noktasının sol yanındaki birinci min. değişim noktası ile sağ yanındaki üçüncü min. değişim noktasının Şekil 2.8’de ki gibi birlikte kullanıldığı yaklaşımdır. Yaklaşım 3 ile elde edilen sinyal görüntüsü Açık Genlik Görüntüsü 3 (AGG-3) olarak adlandırılmıştır.



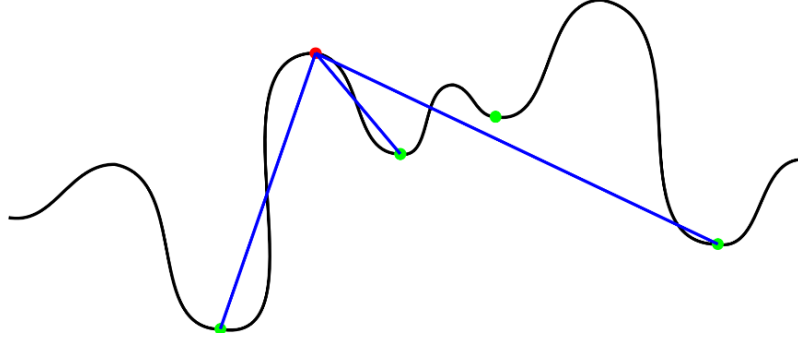
Şekil 2.8. Herhangi bir maks. noktasının sol yanındaki birinci min. noktası ve sağ yanındaki üçüncü min. noktası

Yaklaşım-4: Herhangi bir sinyalde rastgele seçilen bir maks. değişim noktasının sol yanındaki birinci min. değişim noktası ile sağ yanındaki birinci ve ikinci min. değişim noktalarının Şekil 2.9’da ki gibi birlikte kullanıldığı yaklaşımdır. Yaklaşım 4 ile elde edilen sinyal görüntüsü Açık Genlik Görüntüsü 4 (AGG-4) olarak adlandırılmıştır.



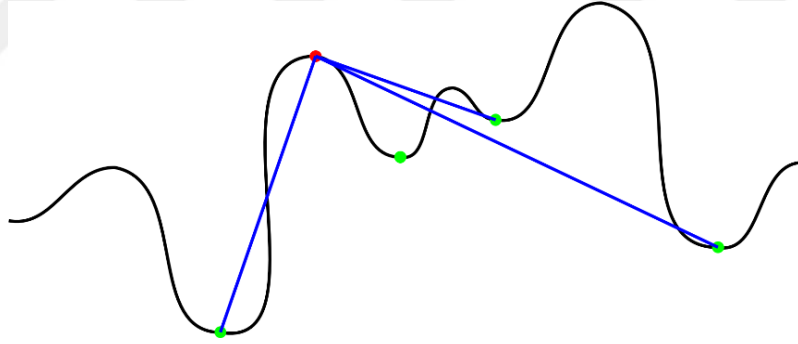
Şekil 2.9. Herhangi bir maks. noktasının sol yanındaki birinci min. noktası ve sağ yanındaki bir ve ikinci min. noktaları

Yaklaşım-5: Herhangi bir sinyalde rastgele seçilen bir maks. değişim noktasının sol yanındaki birinci min. değişim noktası ile sağ yanındaki birinci ve üçüncü min. değişim noktalarının Şekil 2.10’da ki gibi birlikte kullanıldığı yaklaşımdır. Yaklaşım 5 ile elde edilen sinyal görüntüsü Açık Genlik Görüntüsü 5 (AGG-5) olarak adlandırılmıştır.



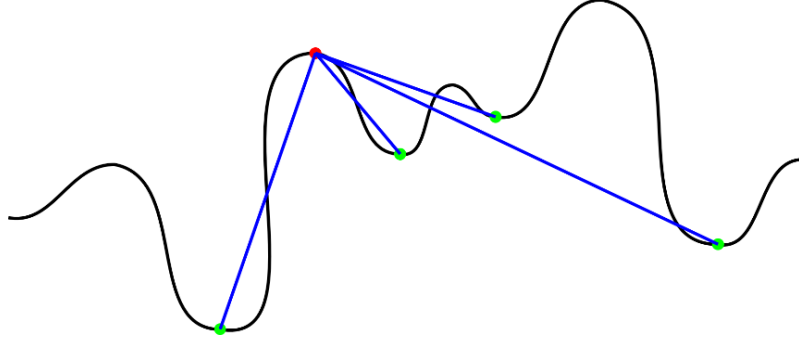
Şekil 2.10. Herhangi bir maks. noktasının sol yanındaki birinci min. noktası ve sağ yanındaki bir ve üçüncü min. noktaları

Yaklaşım-6: Herhangi bir sinyalde rastgele seçilen bir maks. değişim noktasının sol yanındaki birinci min. değişim noktası ile sağ yanındaki ikinci ve üçüncü min. değişim noktalarının Şekil 2.11’de ki birlikte kullanıldığı yaklaşımdır. Yaklaşım 6 ile elde edilen sinyal görüntüsü Açık Genlik Görüntüsü 6 (AGG-6) olarak adlandırılmıştır.



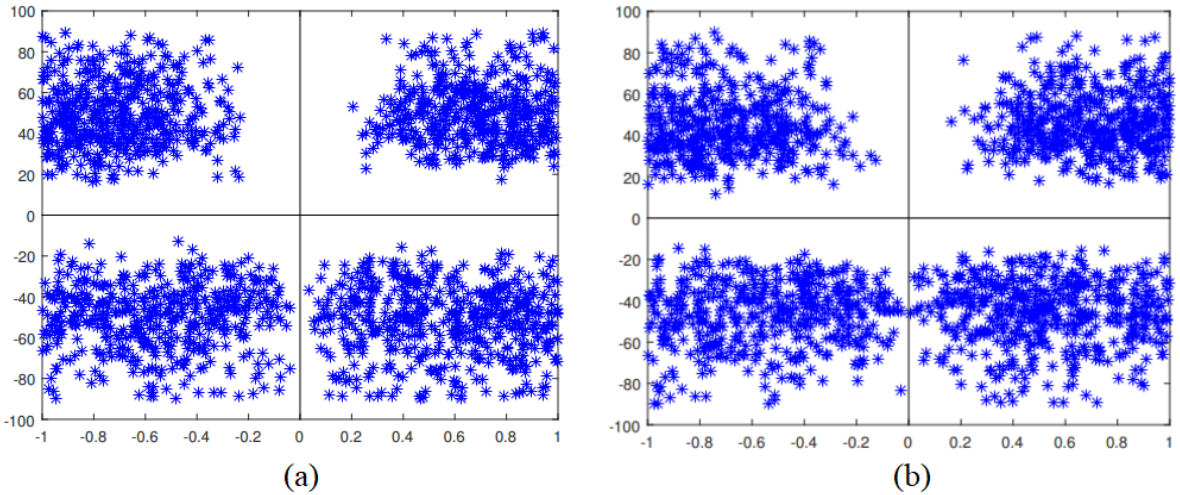
Şekil 2.11. Herhangi bir maks. noktasının sol yanındaki birinci min. noktası ve sağ yanındaki iki ve üçüncü min. noktaları

Yaklaşım-7: Herhangi bir sinyalde rastgele seçilen bir maks. değişim noktasının sol yanındaki birinci min. değişim noktası ile sağ yanındaki birinci, ikinci ve üçüncü min. değişim noktalarının Şekil 2.12’de ki birlikte kullanıldığı yaklaşımdır. Yaklaşım 7 ile elde edilen sinyal görüntüsü Açık Genlik Görüntüsü 7 (AGG-7) olarak adlandırılmıştır.

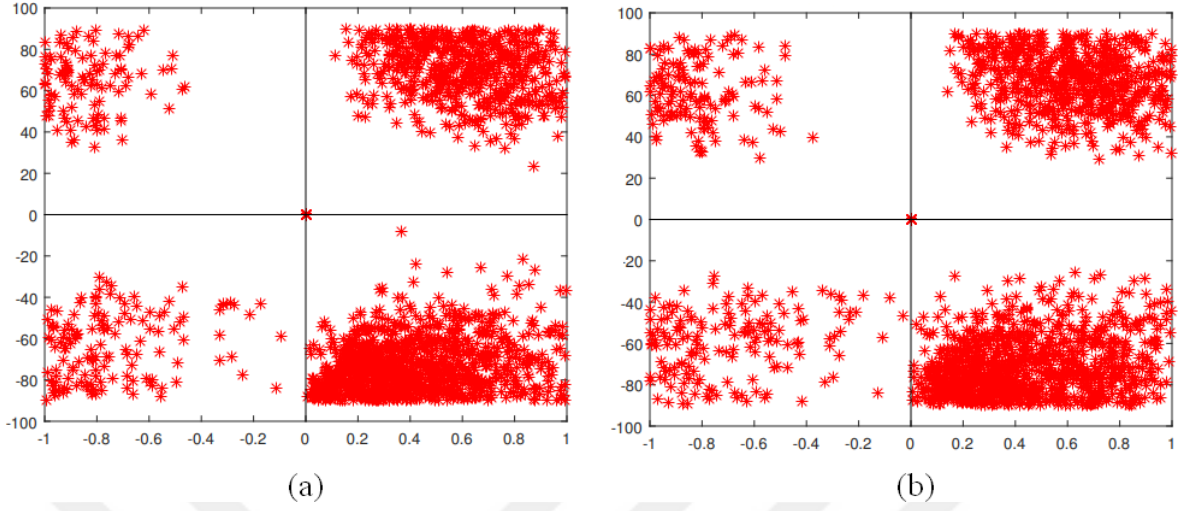


Şekil 2.12. Herhangi bir maks. noktasının sol yanındaki birinci min. noktası ve sağ yanındaki bir, iki ve üçüncü min. noktaları

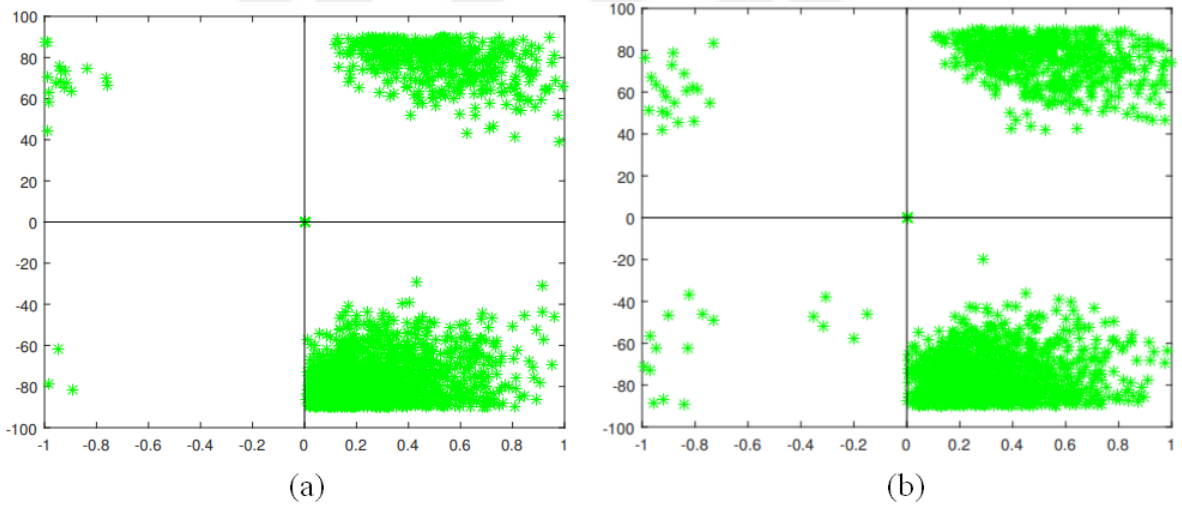
Önerilen 7 dönüşüm yöntemi DEAP veri setindeki EEG ve EOG sinyallerine ayrı ayrı uygulanmıştır. Şekil 2.6 ile Şekil 2.12 aralığında, rastgele bir yerel maks. noktası için sinyal üzerinde verilen tüm hesaplamalar aynı zamanda (Şekil 2.1 (b)'de ki gibi) tüm yerel min. noktaları için de tekrar edilmiştir. S01 deneye ait bir sinyaldeki tüm yerel maks. ve min. noktaların kullanılması sonucunda elde edilen AGG'ler Şekil 2.13 ile Şekil 2.19 aralığında verilmektedir. Bu görüntüler DEAP veri setinde arousal sınıfında yer alan EEG sinyallerine yedi farklı açı genlik dönüşümü uygulanmasıyla elde edilen açı genlik görüntüleridir.



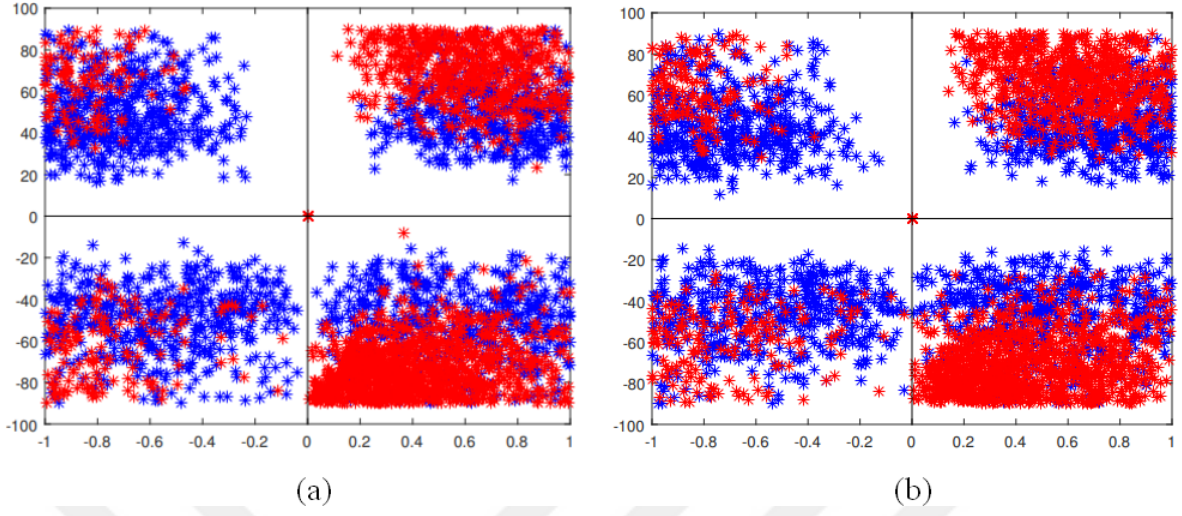
Şekil 2.13. High (a) ve low (b) arousal sınıflarına ait bir sinyale Yaklaşım-1 uygulanmasıyla elde edilen görüntüler (AGG-1)



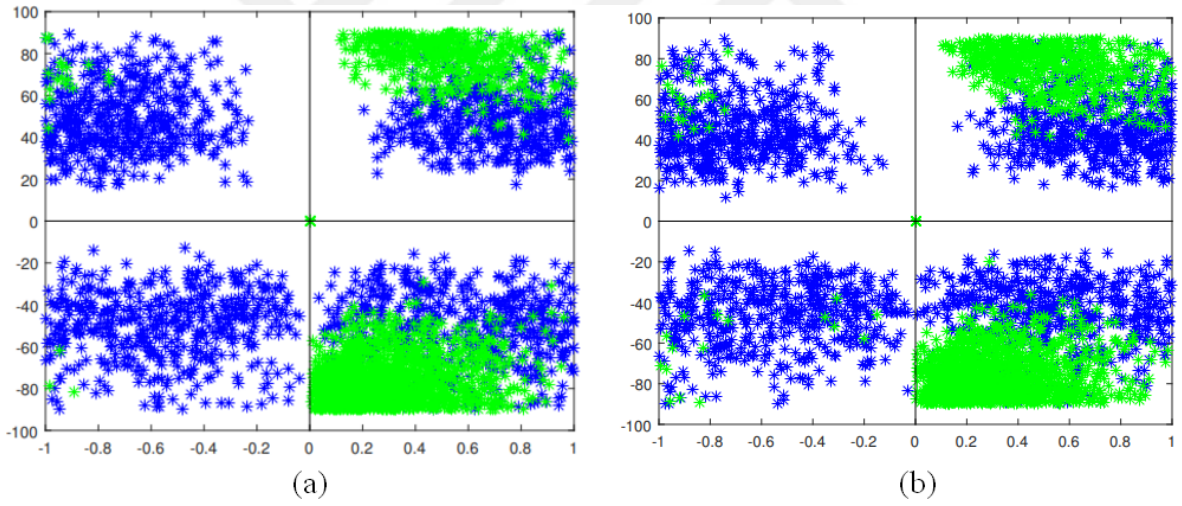
Şekil 2.14. High (a) ve low (b) arousal sınıflarına ait bir sinyale Yaklaşım-2 uygulanmasıyla elde edilen görüntüler (AGG-2)



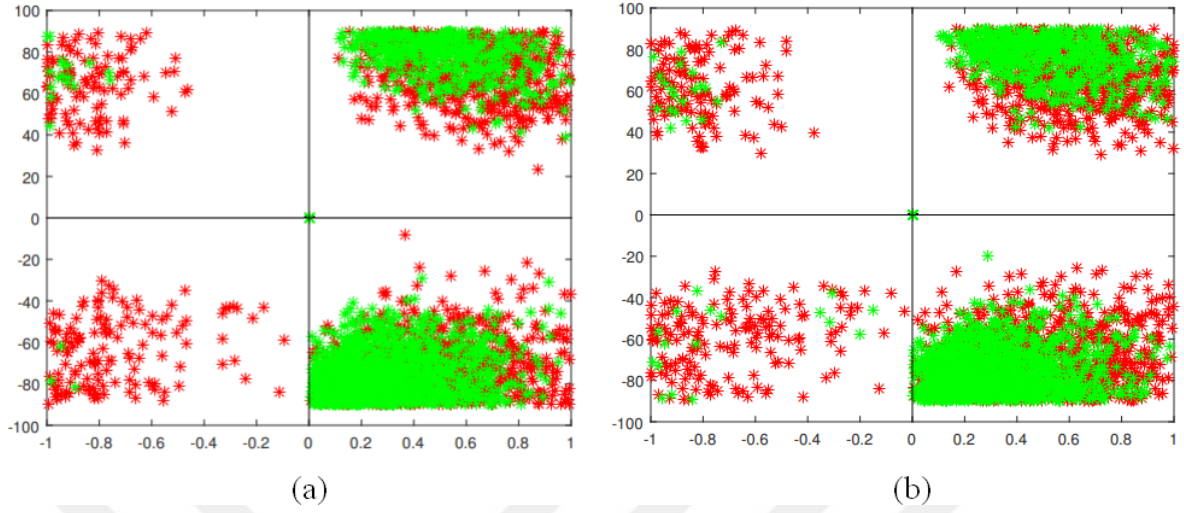
Şekil 2.15. High (a) ve low (b) arousal sınıflarına ait bir sinyale Yaklaşım-3 uygulanmasıyla elde edilen görüntüler (AGG-3)



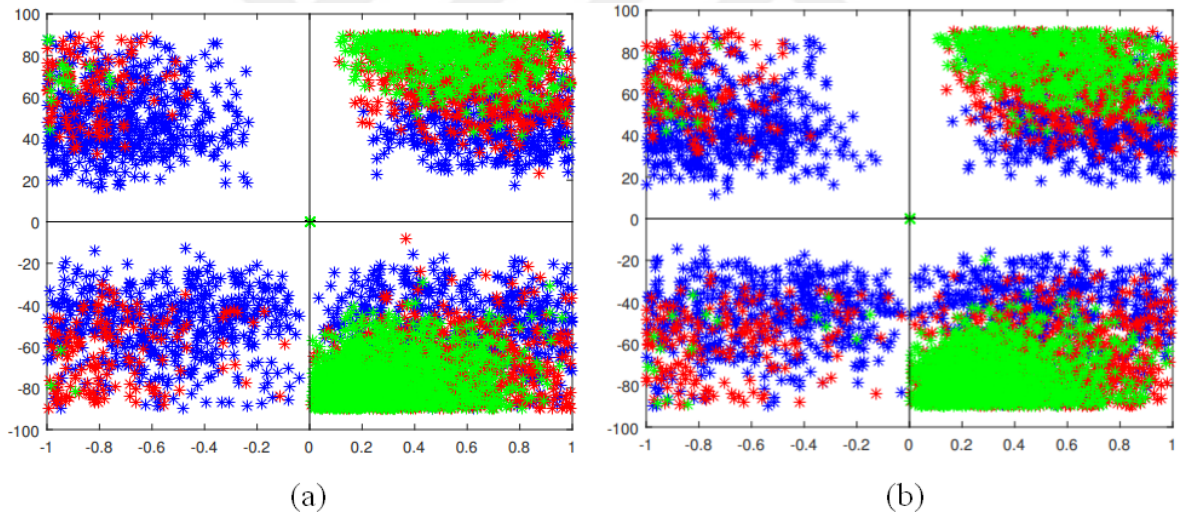
Şekil 2.16. High (a) ve low (b) arousal sınıflarına ait bir görüntüye Yaklaşım-4 uygulanmasıyla elde edilen görüntüler (AGG-4)



Şekil 2.17. High (a) ve low (b) arousal sınıflarına ait bir sinyale Yaklaşım-5 uygulanmasıyla elde edilen görüntüler (AGG-5)

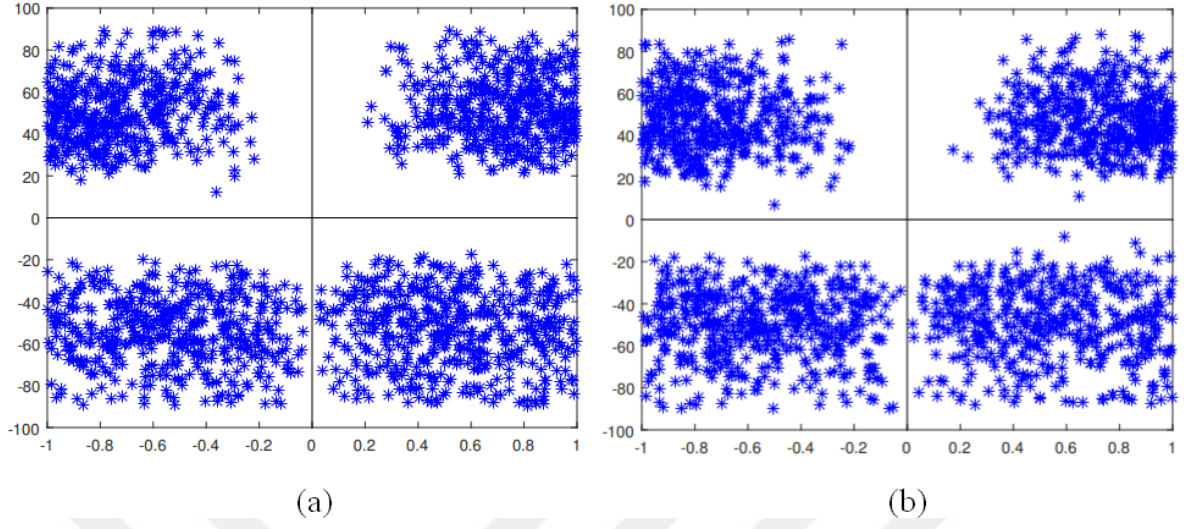


Şekil 2.18. High (a) ve low (b) arousal sınıflarına ait bir sinyale Yaklaşım-6 uygulanmasıyla elde edilen görüntüler (AGG-6)

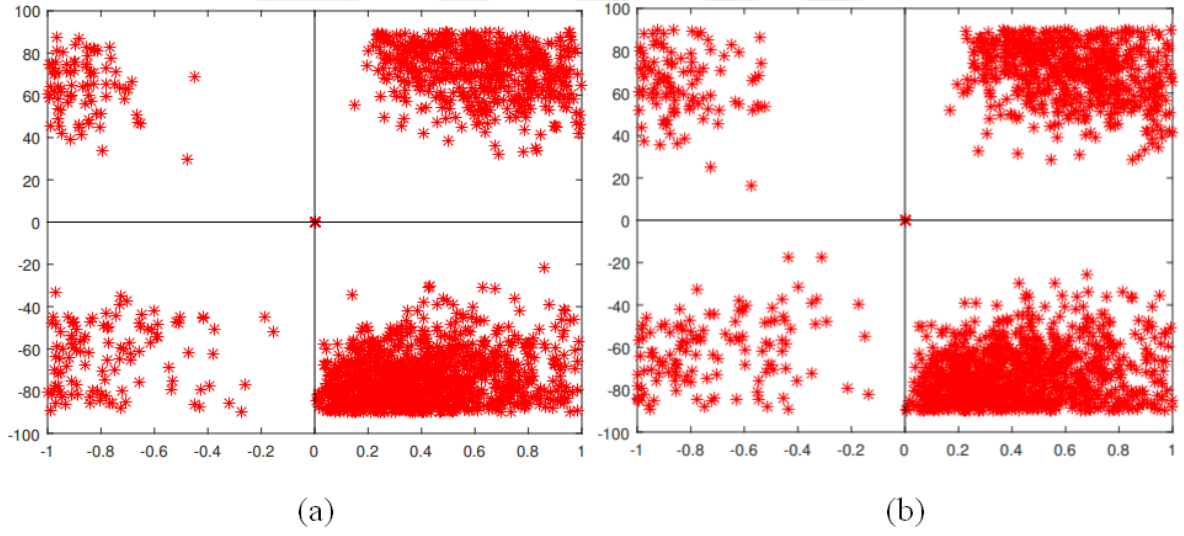


Şekil 2.19. High (a) ve low (b) arousal sınıflarına ait bir sinyale Yaklaşım-7 uygulanmasıyla elde edilen görüntüler (AGG-7)

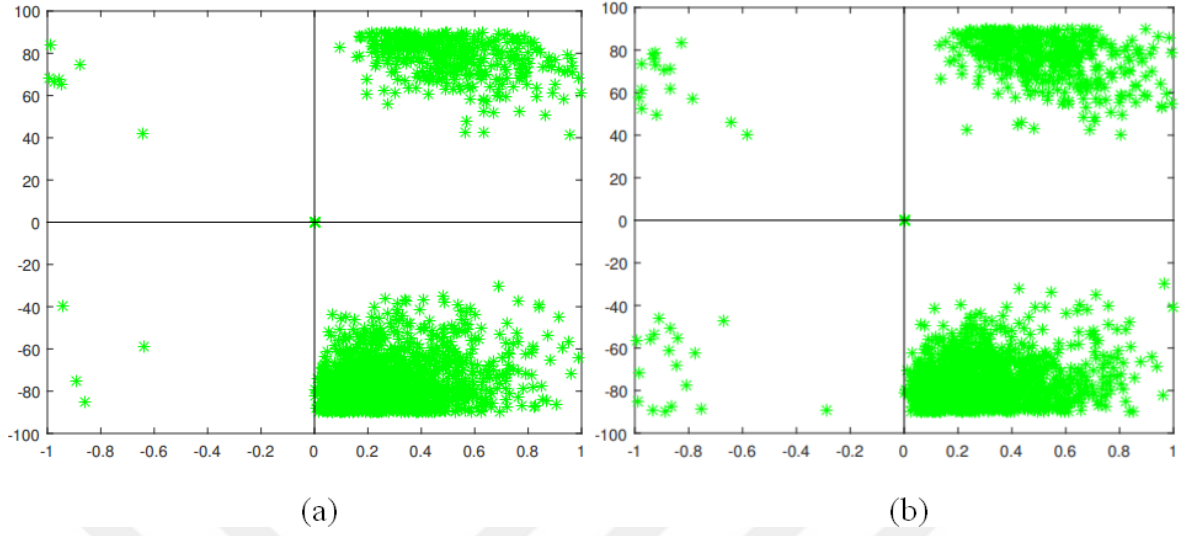
DEAP veri setinde valence sınıfında yer alan EEG sinyallerine yedi farklı açılı genlik dönüşümü uygulanmasıyla elde edilen açılı genlik görüntüleri Şekil 2.20 ile Şekil 2.26 aralığında verilmektedir.



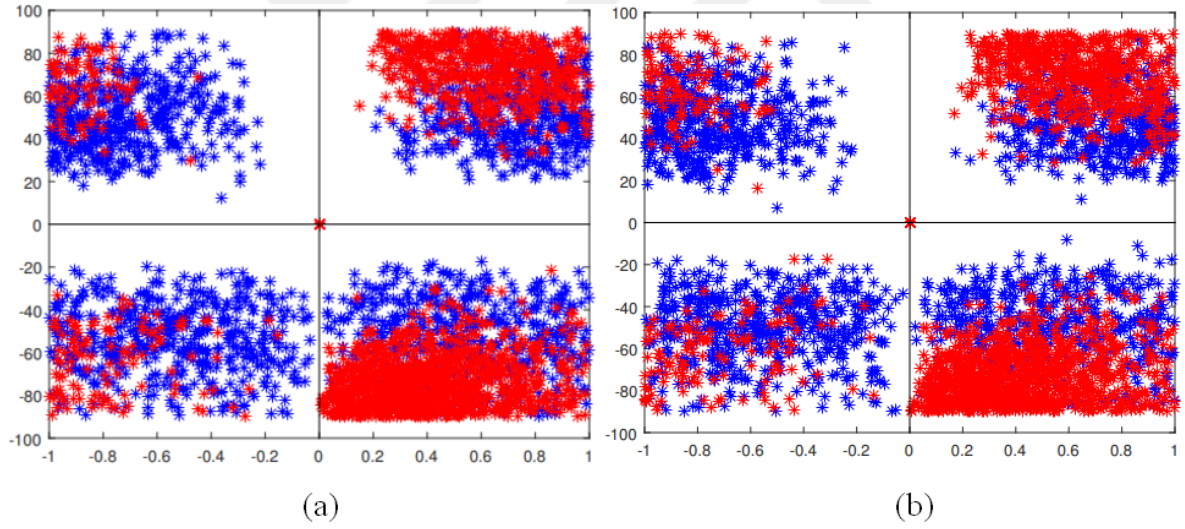
Şekil 2.20. S01'e ait (a) high ve (b) low valence sınıflarına ait bir sinyale Yaklaşım-1 uygulanmasıyla elde edilen görüntüler (AGG-1)



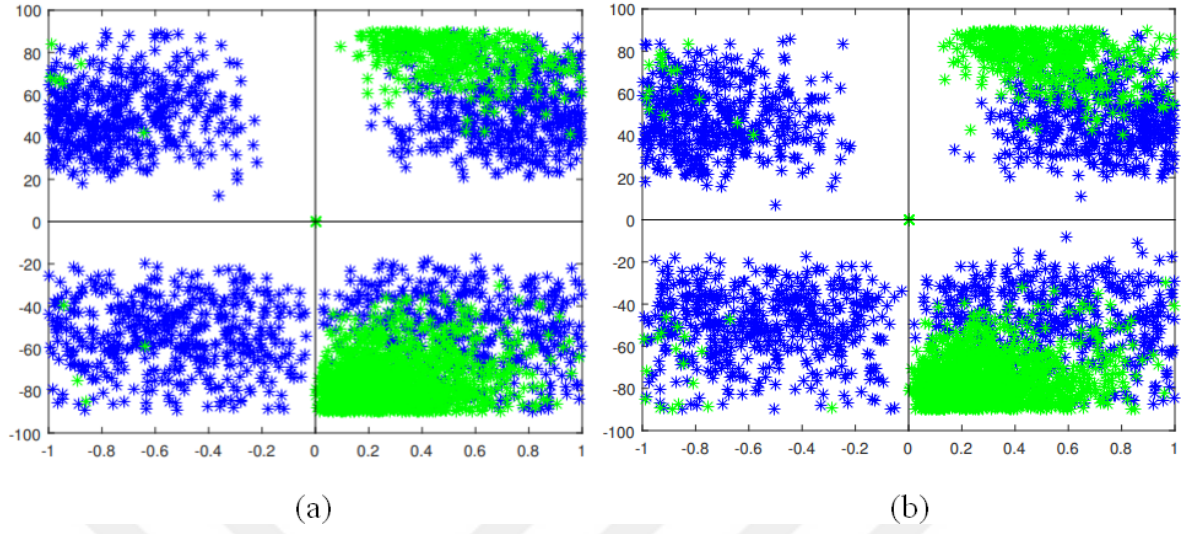
Şekil 2.21. S01'e ait (a) high ve (b) low valence sınıflarına ait bir sinyale Yaklaşım-2 uygulanmasıyla elde edilen görüntüler (AGG-2)



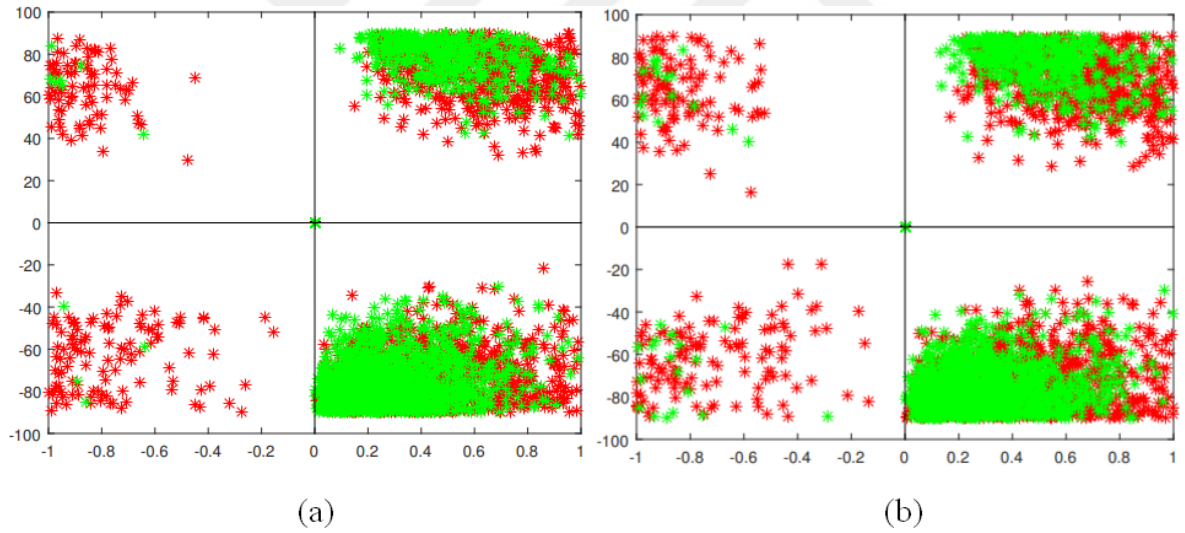
Şekil 2.22. S01'e ait (a) high ve (b) low valence sınıflarına ait bir sinyale Yaklaşım-3 uygulanmasıyla elde edilen görüntüler (AGG-3)



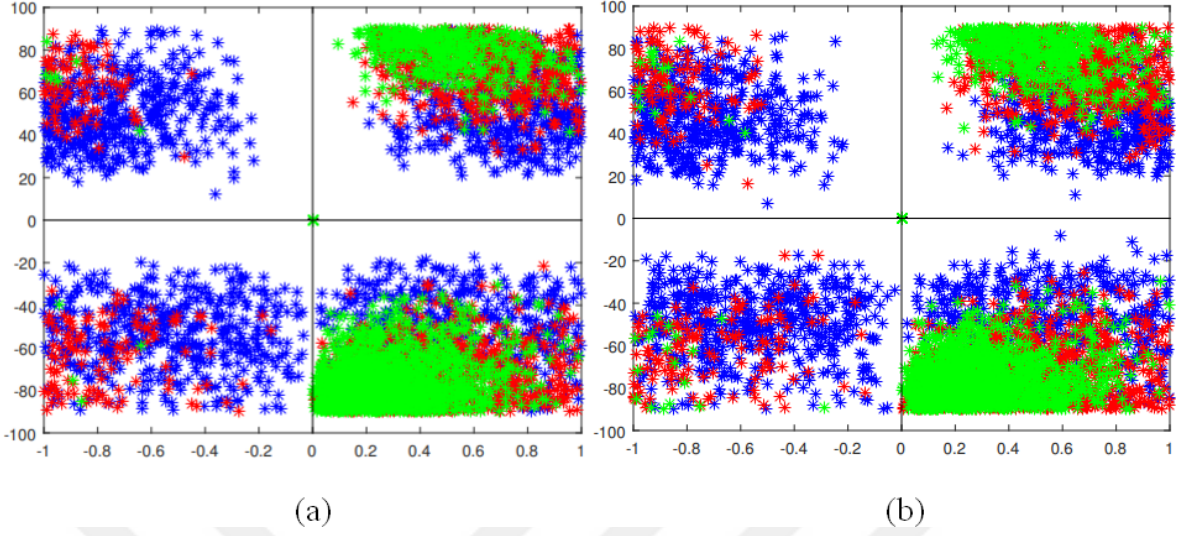
Şekil 2.23. S01'e ait (a) high ve (b) low valence sınıflarına ait bir sinyale Yaklaşım-4 uygulanmasıyla elde edilen görüntüler (AGG-4)



Şekil 2.24. S01'e ait (a) high ve (b) low valence sınıflarına ait bir sinyale Yaklaşım-5 uygulanmasıyla elde edilen görüntüler (AGG-5)



Şekil 2.25. S01'e ait (a) high ve (b) low valence sınıflarına ait bir sinyale Yaklaşım-6 uygulanmasıyla elde edilen görüntüler (AGG-6)



Şekil 2.26. S01'e ait (a) high ve (b) low valence sınıflarına ait bir sinyale Yaklaşım-7 uygulanmasıyla elde edilen görüntüler (AGG-7)

2.1.5. Öznitelik Seviyesinde Birleştirme Yaklaşımları

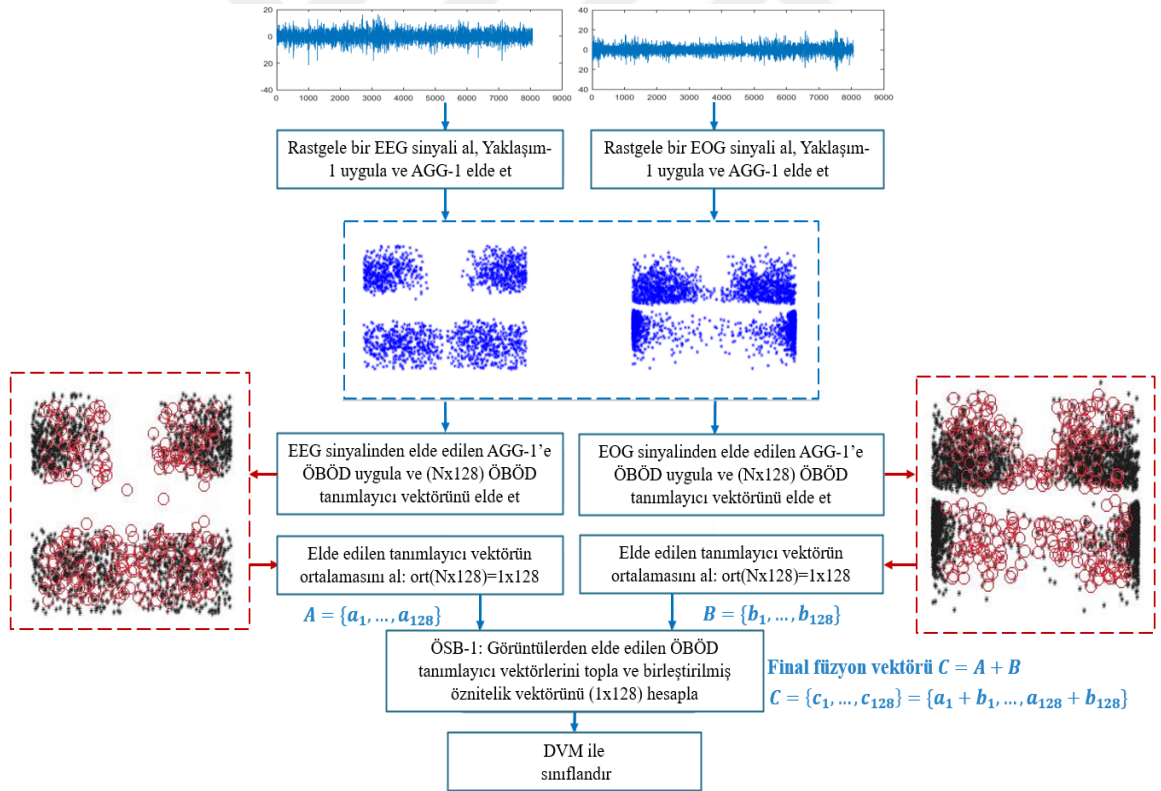
Füzyon yöntemler literatürde üç ana başlık altında toplanır [129]. Bu başlıklar sensör seviyesinde birleştirme (SSB), öznitelik seviyesinde birleştirme (ÖSB) ve karar seviyesinde birleştirmedir (KSB). Tez çalışmasının bu kısmında iki farklı öznitelik seviyesinde birleştirme yaklaşımı önerilmiştir. Öznitelik seviyesinde birleştirme yaklaşımında iki veya daha fazla öznitelik vektörü birleştirilip tek bir öznitelik vektörü elde edilir [66]. Bu basit öznitelik vektörü veriyle ilişkili ve sınıflandırmaya katkı sağlayacak şekilde bilgiler içermelidir [122]. Çalışmada uygulanan öznitelik birleştirme yöntemi, duygu tabanlı EEG sinyallerinden oluşturulmuş AAG görüntüleri ve yine duygu tabanlı EOG sinyallerinden oluşturulmuş AAG görüntülerinden ayrı ayrı elde edilen ÖBÖD vektörlerinin birleştirilmesiyle gerçekleştirilmiştir.

2.1.5.1. Öznitelik Seviyesinde Birleştirme-1

İki farklı sinyal görüntüsünden elde edilen öznitelik vektörlerini birleştirmek amacıyla önerilen ilk yaklaşım öznitelik seviyesinde birleştirme-1 (ÖSB-1) olarak adlandırılmıştır. ÖSB-1 yaklaşımında izlenen akış Şekil 2.27'de verildiği gibidir. Yaklaşımındaki birinci giriş

verisi, EEG sinyaline herhangi bir açı-genlik dönüşümü yaklaşımının uygulanmasıyla elde edilen AGG'ye öznitelik çıkarma aşamasında ÖBÖD uygulanmasıyla elde edilen vektördür. İkinci giriş verisi ise EOG sinyaline yine birinci giriş verisine uygulanan açı-genlik dönüşümü yaklaşımının aynısının uygulanmasıyla elde edilen AGG'ye öznitelik çıkarma aşamasında ÖBÖD uygulanması sonucu elde edilen vektördür.

İki giriş verisinin elde edilmesi sonrası aşamada bu giriş verilerinin toplanmasıyla füzyon vektörü hesaplanır. Füzyon vektörün hesaplanması şu şekildedir. EEG sinyalinden elde edilen AGG'ye ait ÖBÖD vektörü $A = \{a_1, \dots, a_{128}\}$ şeklinde, EOG sinyalinden elde edilen AGG'ye ait ÖBÖD vektörü de $B = \{b_1, \dots, b_{128}\}$ şeklinde ifade edilsin. Final füzyon vektörü $C = A + B$ giriş vektörlerinin tüm bileşenlerinin ayrı ayrı toplanmasıyla 1×128 boyutlu olarak $C = \{c_1, \dots, c_{128}\} = \{a_1 + b_1, \dots, a_{128} + b_{128}\}$ hesaplanır.



Şekil 2.27. Öznitelik seviyesinde birleştirme-1 yönteminin akış diyagramı

Şekil 2.27’de görüldüğü gibi ilk giriş verisi rastgele olarak seçilmiş bir EEG sinyalini, ikincisi ise rastgele seçilmiş bir EOG sinyalini gösterir. İkinci aşamada, sinyallere rastgele

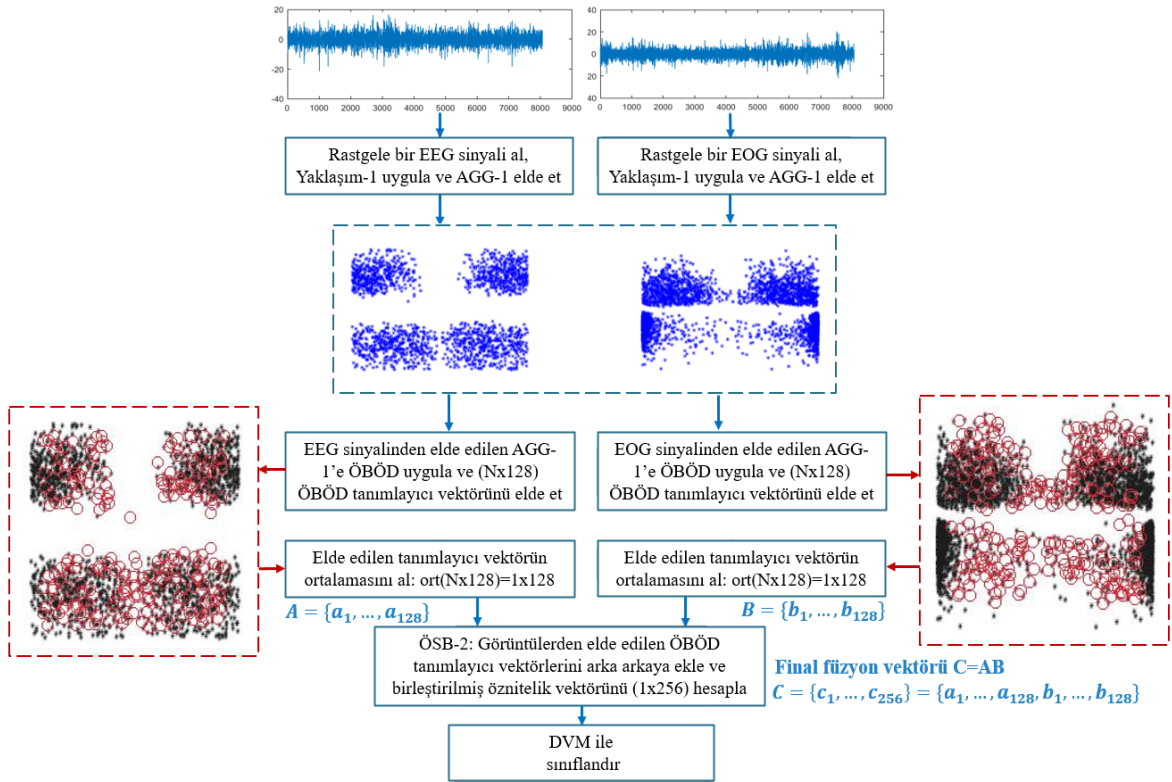
olarak Yaklaşım-1 uygulanmış ve her ikisi için de ayrı ayrı sinyal görüntüleri (AGG-1) elde edilmiştir. Elde edilen sinyal görüntülerine öznitelik çıkarma aşamasında ayrı ayrı ÖBÖD uygulanmış ve $N \times 128$ boyutlu vektörler elde edilmiştir. Daha sonra her bir $N \times 128$ boyutlu ÖBÖD vektörünün ortalaması alınarak 1×128 boyutlu öznitelik vektörü elde edilmiştir. Bu ortalama işlemi [130, 131, 132, 133] çalışmalarından esinlenerek gerçekleştirilmiştir. Bu işlem sonunda her bir sinyal görüntüsü 1×128 boyutlu öznitelik vektörü ile temsil edilmiştir. Son aşamada ise EEG sinyalinden elde edilen AGG'ye ait 1×128 boyutlu vektör ile EOG sinyalinden elde edilen AGG'ye ait 1×128 boyutlu vektör ÖSB-1 yaklaşımı yardımıyla birleştirilerek 1×128 boyutlu füzyon vektörü elde edilmiştir.

2.1.5.2. Öznitelik Seviyesinde Birleştirme-2

İki farklı sinyal görüntüsünden elde edilen öznitelik vektörlerini birleştirmek için önerilen ikinci yaklaşım öznitelik seviyesinde birleştirme-2 (ÖSB-2) olarak adlandırılmıştır. ÖSB-2 yaklaşımında izlenen akış Şekil 2.28'de verildiği gibidir. İkinci yaklaşımda da birinci giriş verisi EEG sinyaline herhangi bir açı-genlik yaklaşımının uygulanmasıyla elde edilen AGG'ye öznitelik çıkarma aşamasında ÖBÖD uygulanmasıyla elde edilen vektördür. İkinci giriş verisi ise EOG sinyaline yine birinci giriş verisine uygulanan açı-genlik yaklaşımının aynısının uygulanmasıyla elde edilen AGG'ye öznitelik çıkarma aşamasında ÖBÖD uygulanmasıyla elde edilen vektördür. Bu yaklaşımın ilk öznitelik seviyesinde birleştirme yönteminden farkı aşağıdaki füzyon vektörün elde edildiği aşamadır.

Yine birinci yaklaşımda olduğu gibi EEG sinyalinden elde edilen AGG'ye ait ÖBÖD vektörü $A = \{a_1, \dots, a_{128}\}$ şeklinde ve EOG sinyalinden elde edilen AGG'ye ait ÖBÖD vektörü de $B = \{b_1, \dots, b_{128}\}$ şeklinde ifade edilsin. Final füzyon vektörü $C = AB$ giriş vektörlerinin arka arkaya eklenmesiyle 1×256 boyutlu olarak $C = \{c_1, \dots, c_{128}\} = \{a_1, \dots, a_{128}, b_1, \dots, b_{128}\}$ şeklinde hesaplanır. Şekil 2.28'de görüldüğü gibi ilk giriş verisi rastgele olarak seçilmiş bir EEG sinyalini, ikincisi ise rastgele seçilmiş bir EOG sinyalini ifade eder. İkinci aşamada, sinyallere rastgele olarak Yaklaşım-1 uygulanmış ve her ikisi için de ayrı ayrı sinyal görüntüleri (AGG-1) elde edilmiştir. Elde edilen sinyal görüntülerine öznitelik çıkarma aşamasında ayrı ayrı ÖBÖD algoritması uygulanmış ve $N \times 128$ boyutlu ÖBÖD vektörleri elde edilmiştir. Daha sonra her bir $N \times 128$ boyutlu ÖBÖD vektörünün

ortalaması alınarak 1×128 boyutlu öznitelik vektörü elde edilmiştir. Yani bu işlemin sonunda her bir sinyal görüntüsü artık 1×128 boyutlu öznitelik vektörü ile temsil edilmiştir. Son aşamada ise EEG sinyalinden elde edilen AGG'ye ait 1×128 boyutlu vektör ile EOG sinyalinden elde edilen AGG'ye ait 1×128 boyutlu vektör ÖSB-1 yaklaşımı yardımıyla birleştirilerek 1×256 boyutlu füzyon vektörü elde edilmiştir.



Şekil 2.28. Öznitelik seviyesinde birleştirme-2 yönteminin akış diyagramı

2.1.6. Sınıflandırma

2.1.6.1. Destek Vektör Makineleri

Tez kapsamında önerilen ÖSB-1 ve ÖSB-2 yaklaşımlarıyla elde edilen füzyon vektörlerin öğrenilip sınıflandırılması istatistiksel öğrenme teorisi üzerine kurulan destek vektör makineleri (DVM) ile gerçekleştirilmiştir. Özellikle bilgisayarla görme alanındaki gibi günlük yaşam problemlerinde doğrusal ayrılabilir verilere oldukça az rastlandığından,

DVM'ler yüksek genelleme yeteneklerinden dolayı sıklıkla kullanılmaktadır [52, 53]. Öznitelik uzayında doğrusal ayrışmasının mümkün olmadığı durumlarda, ayrışmanın daha başarılı olacağı düşünülen yüksek boyutlu başka bir uzaya taşıma yapılmaktadır [68]. Tez çalışmasında öznitelik uzayında doğrusal ayrılmayan verilerin sınıflandırmasında radyal temelli çekirdek fonksiyonu kullanarak bu işlem gerçekleştirilmiştir.

2.2. Açı-Genlik Dönüşümü Yaklaşımları-II

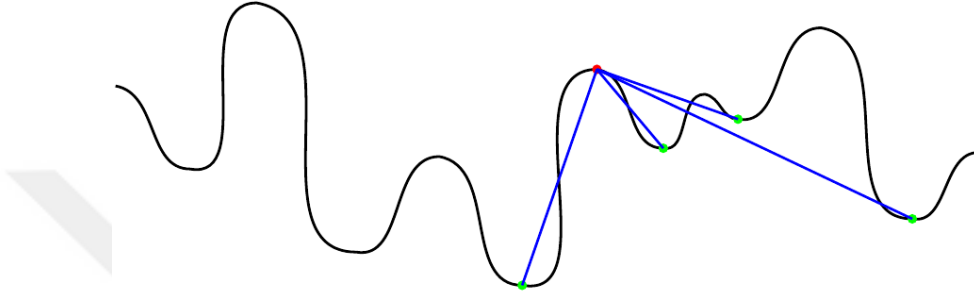
Tez çalışmasının bu bölümünde iki yeni ve farklı açı-genlik dönüşümü (AGD) yaklaşımı önerilmiştir. Önerilen yaklaşımlara ait matematiksel hesaplamaların temeli Bölüm 2.1.1, Bölüm 2.1.2 ve Bölüm 2.1.3'te anlatılmıştır. Farklılaşan kısımları alt bölümlerde detaylı olarak anlatılmıştır.

Önerilen birinci yaklaşımda herhangi bir maks. noktasının sadece sol yanındaki min. noktası ile sağ yanındaki ilk üç min. noktasının beraber kullanımıyla elde edilen sinyal görüntüleri kullanılmıştır. İkinci yaklaşımda ise bir maks. noktasının sol yanında yer alıp art arda gelen ilk üç min. noktası ile sağ yanında yer alıp art arda gelen ilk üç min. noktasının birlikte kullanılmasıyla elde edilen sinyal görüntüleri kullanılmıştır. Önerilen yaklaşımlarda yalnızca maks. noktasından min. noktalarına olan uzaklıklarla açı-genlik görüntüleri elde edilirken min. noktaları için işlemler tekrarlanmamıştır. Kısaca AGG'ler elde edilirken yalnızca Şekil 2.1 (a)'da yer alan temsili yerel maks. bölgesi için hesaplamalar yapılmış ve Şekil 2.1 (b)'de yer alan temsili yerel min. bölgesi için herhangi bir hesaplama yapılmamıştır.

2.2.1. Birinci AGD Yaklaşımı

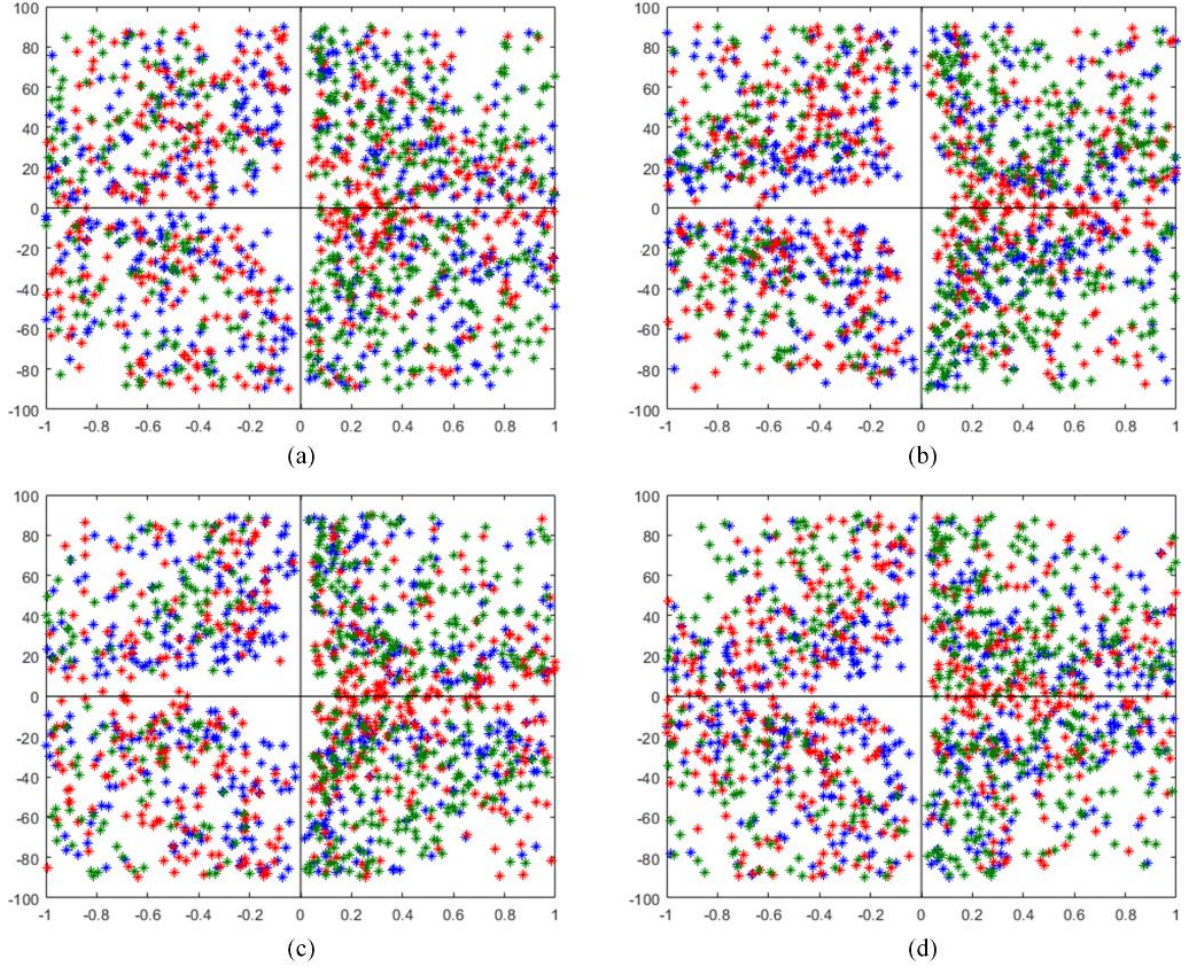
Birinci AGD yaklaşımı, mevcut yerel maks. noktasının hemen sol yanındaki min. noktası ve hemen sağ yanındaki art arda gelen ilk üç min. noktasının kullanılmasıyla AGG'lerin elde edilmesine dayanır. Tez çalışmasının bu kısmında, Bölüm 2.1'de önerilen yaklaşımlardan farklı olarak herhangi bir min. noktasından maks. noktasına uzaklık hesabı yapılmamıştır. Tüm hesaplamalar yerel maks. noktalarından yerel min. noktalarına çekilen doğrular arasında kalan açılar ve bunlara bağlı hesaplanan genlik değerlerinin

kullanılmasıyla yapılmıştır. Şekil 2.29’da birinci AGD yaklaşımı için kullanılan noktalar örnek bir sinyalde gösterilmektedir. Şekildeki yerel maks. noktası sinyaldeki herhangi bir yerel maks. noktasını göstermektedir. Yöntemde sinyal üzerinde gezilerek tüm yerel maks. noktaları için hesaplamalar tekrarlanmıştır.



Şekil 2.29. Birinci AGD yaklaşımı için temsili yerel maks. ve min. noktaları

Birinci AGD yaklaşımının uygulanması sonucunda 4 farklı kategori için elde edilen AGG’ler Şekil 2.30’da verilmiştir. Şekil 2.30 (a)’da komik kategorisine ait bir sinyale Birinci AGD uygulanmasıyla elde edilen AGG, Şekil 2.30 (b)’de korku kategorisine ait bir sinyale Birinci AGD uygulanmasıyla elde edilen AGG, Şekil 2.30 (c)’de tiksiniç kategorisine ait bir sinyale Birinci AGD uygulanmasıyla elde edilen AGG ve Şekil 2.30 (d)’de rahatlama kategorisine ait bir sinyale Birinci AGD uygulanmasıyla elde edilen AGG gösterilmektedir.

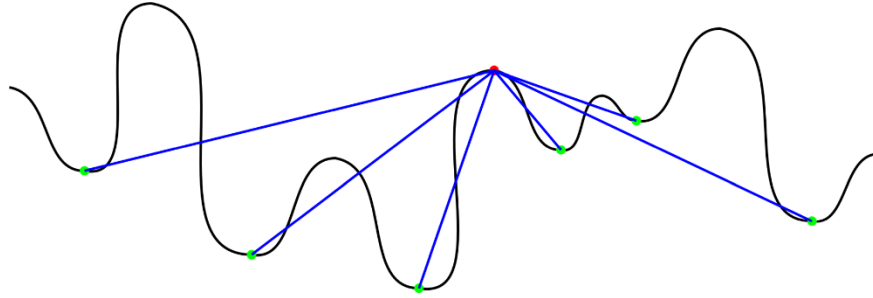


Şekil 2.30. Birinci AGD ile (a) komik, (b) korku, (c) tiksiniç ve (d) rahatlama duygu kategorileri için elde edilen AGG'ler

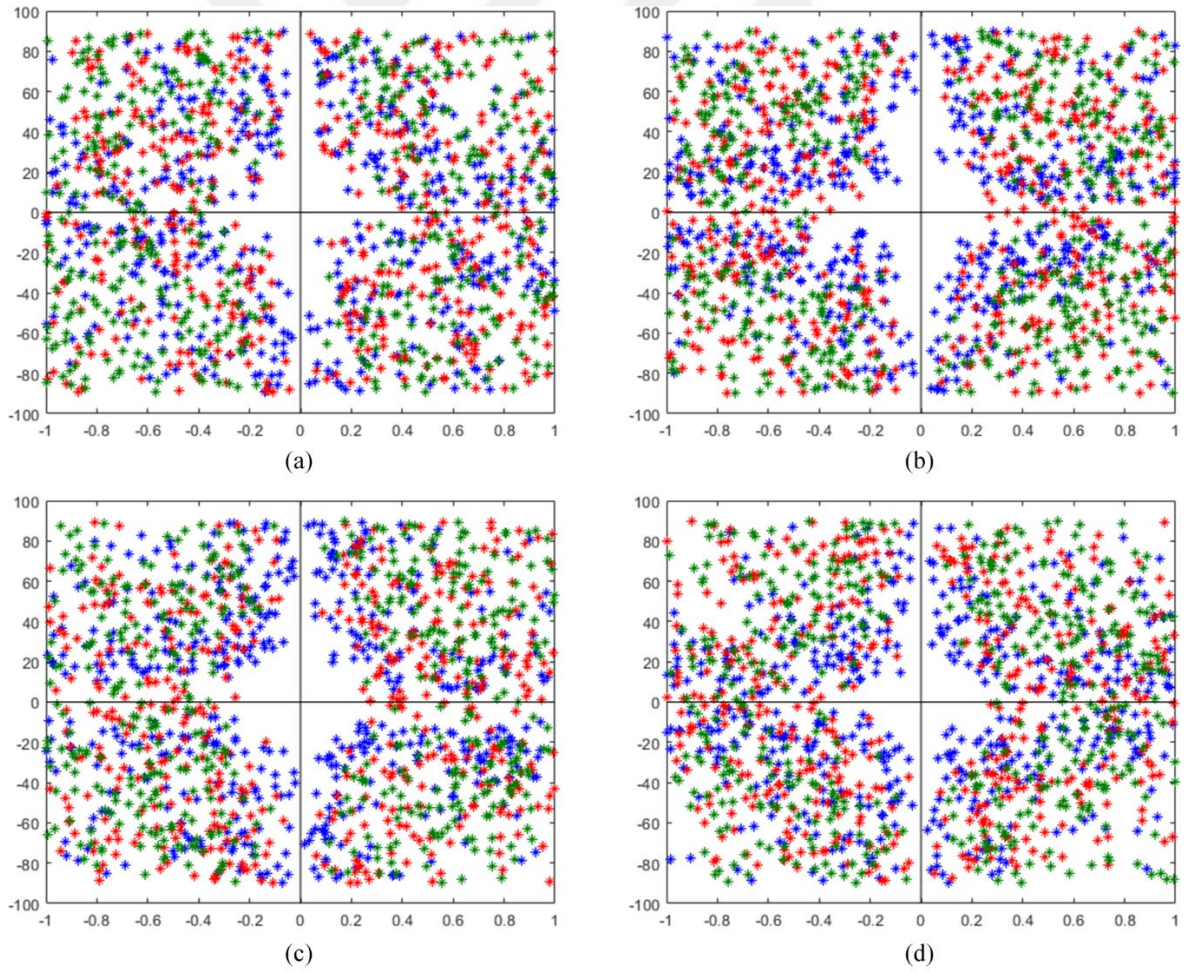
2.2.2. İkinci AGD Yaklaşımı

Birinci AGD yaklaşımı, mevcut yerel maks. noktasının hemen sol yanındaki art arda gelen ilk üç min. noktası ve hemen sağ yanındaki art arda gelen ilk üç min. noktasının kullanılmasıyla AGG'lerin elde edilmesine dayanır. Tez çalışmasının bu kısmında, Bölüm 2.1'de önerilen yaklaşımlardan farklı olarak, herhangi bir min. noktasından maks. noktasına uzaklık hesabı yapılmamıştır. Tüm hesaplamalar yerel maks. noktalarından yerel min. noktalara çekilen doğrular arasında kalan açılar ve buna bağlı hesaplanan genlik değerleri ile yapılmıştır. Şekil 2.31'de ikinci AGD yaklaşımında kullanılan noktalar örnek bir sinyalde gösterilmiştir. Şekilde yer alan yerel maks. noktası sinyaldeki herhangi bir yerel maks.

noktasını göstermektedir. Yöntemde sinyal üzerinde gezilerek tüm yerel maks. noktaları için hesaplamalar tekrarlanmıştır.



Şekil 2.31. İkinci AGD yaklaşımı için temsili yerel maks. ve min. noktaları



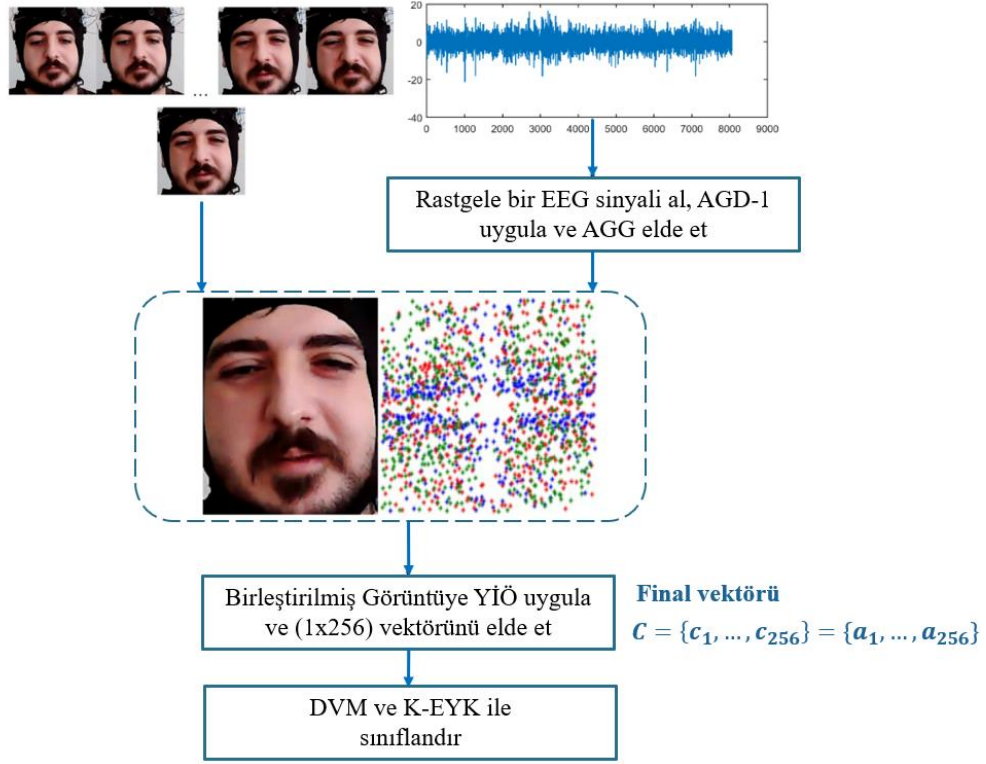
Şekil 2.32. İkinci AGD ile (a) komik, (b) korku, (c) tiksiniç ve (d) rahatlama kategorileri için elde edilen AGG'ler

İkinci AGD yaklaşımının uygulanması sonucunda 4 farklı kategori için elde edilen AGG'ler Şekil 2.32'de verilmiştir. Şekil 2.32 (a)'da komik kategorisine ait bir sinyale Birinci AGD uygulanmasıyla elde edilen AGG, Şekil 2.32 (b)'de korku kategorisine ait bir sinyale Birinci AGD uygulanmasıyla elde edilen AGG, Şekil 2.32 (c)'de tiksiniç kategorisine ait bir sinyale Birinci AGD uygulanmasıyla elde edilen AGG ve Şekil 2.32 (d)'de rahatlama kategorisine ait bir sinyale Birinci AGD uygulanmasıyla elde edilen AGG gösterilmektedir.

2.3. Önerilen Füzyon Yöntemleri

2.3.1. Sensör Seviyesinde Birleştirme

Birleştirme yöntemlerinde temel amaç farklı iki veya daha fazla biyolojik bilgiyi bir araya getirerek tek bir biyolojik bilgi oluşturmak ve daha etkili, güvenilir sonuçlar elde etmektir. Sensör seviyesinde füzyon, biyometrik olarak öznelik çıkarma aşamasından önce gerçekleştirilmektedir [124, 125, 126, 127, 128, 129]. Tez çalışmasının bu kısmında sensör seviyesinde birleştirme (SSB) yapılmıştır. Yöntemde öncelikle deneklere ait EEG kayıtları 2B görüntülere dönüştürülmüştür. İkinci olarak EEG sinyalleri ile aynı zamanda elde edilen deneklerin yüz ifadelerine ait video kayıtlarından en benzersiz yüz görüntüleri otomatik olarak tespit edilmiştir. Videolardan en benzersiz yüz görüntüsünü otomatik olarak bulmak için kullanılan yöntem Bölüm 2.5.8 ve Bölüm 2.5.9'da detaylıca anlatılmıştır. Gereksiz görüntü bölgeleri hem sınıflandırma başarısını azaltmakta hem de işlem maliyetini arttırmaktadır. Bu amaçla, yüz görüntülerinden duygu bilgisi içermeyen yüz bölgesi dışındaki kısımlar çıkarılıp net yüz bölgeleri elde edilmiştir. Son olarak, elde edilen iki görüntü sensör seviyesinde birleştirilerek tek bir görüntü elde edilmiştir. Tüm öznelik çıkarma ve sınıflandırma işlemleri bu görüntülerle gerçekleştirilmiştir. Şekil 2.33'te tez çalışmasında hazırlanan KMED veri setindeki D08 deneği için tiksiniç kategorisinde kaydedilen en benzersiz yüz görüntüsü ve EEG sinyalinin 2B görüntüsünün birleştirilmesi sonucunda elde edilen birleştirilmiş görüntü verilmiştir. Ek olarak yine Şekil 2.33'te SSB işleminin akışı verilmiştir.

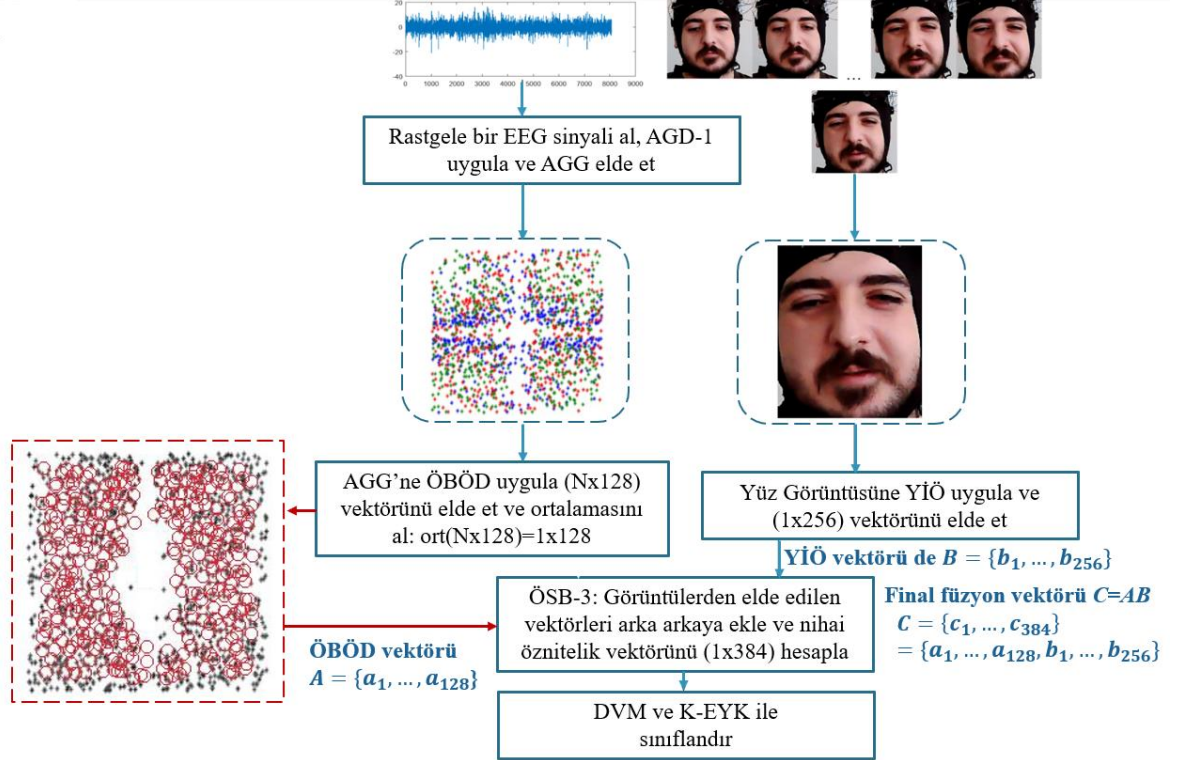


Şekil 2.33. Tiksınç kategorisinde kaydedilmiş bir EEG sinyali ve yüz görüntüsü için SSB işleminin akışı

2.3.2. Öznitelik Seviyesinde Birleştirme-3

Tez çalışmasının bu kısmında EEG sinyallerine AGD-II yaklaşımlarının uygulanması sonucunda elde edilen sinyal görüntülerinden çıkarılan öznitelik vektörleri ile yüz görüntülerinden çıkarılan öznitelik vektörlerini birleştirilmesiyle önerilen yaklaşım öznitelik seviyesinde birleştirme-3 (ÖSB-3) olarak adlandırılmıştır. Bu yaklaşımda, birinci giriş verisi EEG sinyaline herhangi bir açı-genlik yaklaşımının uygulanmasıyla elde edilen AGG'ye öznitelik çıkarma aşamasında ÖBÖD uygulanmasıyla elde edilen vektördür. İkinci giriş verisi ise yüz görüntüsüne öznitelik çıkarma aşamasında YİÖ uygulanmasıyla elde edilen vektördür. Yaklaşımın aşamaları şu şekildedir. EEG sinyalinden elde edilen AGG'ye ait ÖBÖD vektörü $A = \{a_1, \dots, a_{128}\}$ ve yüz görüntüsünden elde edilen YİÖ vektörü de $B = \{b_1, \dots, b_{256}\}$ şeklinde ifade edilsin. Final füzyon vektörü $C = AB$ giriş vektörlerinin arka arkaya eklenmesiyle 1×384 boyutlu olarak $C = \{c_1, \dots, c_{384}\} = \{a_1, \dots, a_{128}, b_1, \dots, b_{256}\}$ hesaplanır. ÖSB-3'ün akış diyagramı Şekil 2.34'te ki gibidir. Görüleceği üzere, öncelikle

herhangi bir duygu kategorisi için kaydedilen bir EEG sinyaline AGD-I uygulanarak görüntüye dönüştürülmüştür. Ayrıca, EEG sinyalleri ile eş zamanlı kaydedilen yüz görüntülerinden en benzersiz olan elde edilmiş ve gereksiz bölgeler çıkarılmıştır. Son olarak oluşturulan bu iki görüntüden öznitelikler ayrı ayrı çıkarılıp birleştirilip sınıflandırılmıştır.



Şekil 2.34. Öznitelik seviyesinde birleştirme-3 yönteminin akış diyagramı

2.4. Öznitelik Çıkarma ve Sınıflandırma

Bilimsel çalışmalarda doğru öznitelik çıkarma ve sınıflandırma yönteminin belirlenmesi girdiler ile çıktılar arası ilişkiyi en doğru ifade edecek öğrenme modellerinin bulunmasını sağlamaktadır. Tez çalışmasında gürültüden olabildiğince arındırılmış bir ortamda çok modlu bir duygu tanıma sisteminin geliştirilmesi amaçlanmıştır. Literatür incelendiğinde, duygu tanıma sistemlerinin barındırdığı sorunların çözümü için birçok öznitelik çıkarma ve sınıflandırma yönteminin önerildiği görülmektedir. Ancak, çalışmaların daha sağlıklı ilerleyebilmesi için kullanılabilecek veri setlerinin sayısı artırılmalıdır. Ayrıca,

farklı öznitelik çıkarma ve sınıflandırma yöntemlerin bir arada kullanılmasına bağlı olarak sonuçların genellenmesi konusunda yeni yöntemler önerilmelidir. Tez çalışmasında, son yıllarda özellikle, bilgisayarla görme, görüntü işleme gibi alanlarda başarılı sonuçlar üreten öznitelik çıkarma yöntemleri (TBA, YİÖ, ÖBÖD-SIFT) vb.) arasından en uygun olan belirlenerek etkin öznitelikler çıkarılmaya çalışılmıştır.

Tez çalışmasında farklı dokuya sahip iki görüntünün (yüz görüntüsü ve 2B sinyal görüntüsü) sensör seviyesinde birleştirilmesiyle oluşan yeni görüntüden öznitelik çıkarmak için YİÖ algoritması (bknz. Bölüm 1.5.1) tercih edilmiştir. Öznitelik seviyesinde birleştirme aşamasında ise yüz görüntülerine ait öznitelikler YİÖ ile çıkarırken, sinyal görüntülerine ait öznitelikler ÖBÖD (bknz. Bölüm 1.5.2) ile çıkarılmıştır. Elde edilen etkin özniteliklerin sınıflandırılması aşamasında ise literatürde sıklıkla kullanılan ve başarılı sonuçlar üreten sınıflandırıcılar (DVM, RO, K-EYK vb.) arasından seçim yapılmıştır. Hem sensör seviyesinde hem de öznitelik seviyesinde yapılan füzyon işlemi sonrasında elde edilen öznitelikler hem K-EYK (bknz. Bölüm 1.6.1) hem de DVM (bknz. Bölüm 1.6.2) ile sınıflandırılmıştır. Özniteliklerin iki farklı yöntemle sınıflandırılma nedeni, yöntemlerin farklı sınıflandırıcılar kullanıldığında da başarılı sonuçlar üretebildiğini göstermek ve farklı sınıflandırıcılar için performans değerlendirmesi yapmaktır.

2.5. Çok Modlu Duygu Tanıma Veri Setinin Oluşturulması

Duygu tanıma amacıyla çok modlu yani birden fazla biyolojik bilgi içeren KMED veri setinin oluşturulması için öncelikle etik kurul raporu alınması gerekmektedir. Bu nedenle, deneklerin verilerini kaydetmek için, ülkemizde yürütülecek olan katılımcısı insan olan araştırmalarda 5237 sayılı Türk Ceza Kanunu Madde 90, 3359 sayılı Sağlık Hizmetleri Kanunu Ek 10. Madde ve Türkiye'nin taraf olduğu anlaşmalar gereğince KTÜ Tıp Fakültesi Bilimsel Araştırmalar Etik Kurulu'ndan etik kurul yönergesine uygun olarak 10.05.2019 tarih, 24237859-351 sayılı ve 2019/74 protokol numaralı Etik Kurul raporu alınmıştır.

Çok modlu duygu tanıma sistemlerinin doğru bir şekilde analiz edilmesi ve performanslarının geliştirilmesi gerekmektedir. Çalışmalar incelendiğinde genellikle aynı veri setlerinde çalışıldığı ve yeterli sayıda çok modlu veri seti olmadığı görülmektedir. Çünkü katılımcılardan aynı anda birden fazla biyolojik bilgi kaydını almak kolay bir işlem

değildir. Çok modlu duygu tanıma çalışmalarının başarısı, sistemli oluşturulmuş, gürültüden ve tüm dış etkenlerden arındırılmış bir ortam, iyi bilgilendirilmiş yeterli sayıda denek ve materyallerin eksiksiz olmasına bağlıdır. Var olan sistemler incelediğinde umut vaat eden sonuçların elde edildiği görülmektedir. Ancak, bu sistemler için faydalı olacak biyolojik bilgilerin doğru kullanımı ve birleştirme yöntemlerinin birçoğunun da henüz uygulanmamış olması bu sistemlerin geliştirmeye açık olduğunu göstermektedir. Tez çalışmasında, literatür detaylıca irdelenmiş ve gelecekteki potansiyel çalışmalar göz önüne alınarak KMED adlı yeni bir veri seti oluşturulmuştur. Bu işlemde çeşitli kategorilerdeki videolar deneklere izletilmiş ve izleme sırasındaki EEG sinyalleri ile yüz görüntüleri eş zamanlı kaydedilmiştir.

2.5.1. Denek Bilgileri

KMED veri seti 15 farklı deneğe ait kayıtların alınmasıyla oluşturulmuştur. Denekler Karadeniz Teknik Üniversitesi'nde öğrenim gören lisans, lisansüstü düzeydeki öğrenciler ile akademisyenlerin oluşturduğu bir çalışma grubudur. Kayıtların alınması öncesinde çalışmanın amaç, detaylar ve etik ilkelerini içeren asgari bilgilendirilmiş gönüllü olur formu deneklere okutulmuş ve sonrasında imzalamaları istenmiştir. Doğru kayıtların alınması için duygu tanıma sistemi, kayıtların nasıl alınacağı, kayıt sırasında nelere dikkat edilmesi gerektiği, hangi durumlarda kayıt alımının başarısız olacağı ve durdurulacağı gibi konularda denekler bilgilendirilmiştir. Deneklere ait bazı bilgiler Tablo 2.1'de ki gibidir.

Tablo 2.1. Denek bilgileri

Denek	Yaş	Cinsiyet	Eğitim durumu
D01	30	Erkek	Yüksek Lisans
D02	25	Erkek	Lisans
D03	24	Erkek	Lisans
D04	33	Erkek	Doktora
D05	30	Erkek	Yüksek Lisans
D06	25	Erkek	Lisans
D07	34	Erkek	Yüksek Lisans
D08	25	Erkek	Lisans

Tablo 2.1'in devamı

D09	35	Erkek	Yüksek Lisans
D10	31	Erkek	Yüksek Lisans
D11	32	Kadın	Doktora
D12	30	Erkek	Yüksek Lisans
D13	35	Kadın	Lisans
D14	27	Kadın	Yüksek Lisans
D15	26	Erkek	Lisans

2.5.2. Kayıt Sırasında Deneklere İzletilecek Paradigmanın Hazırlanması

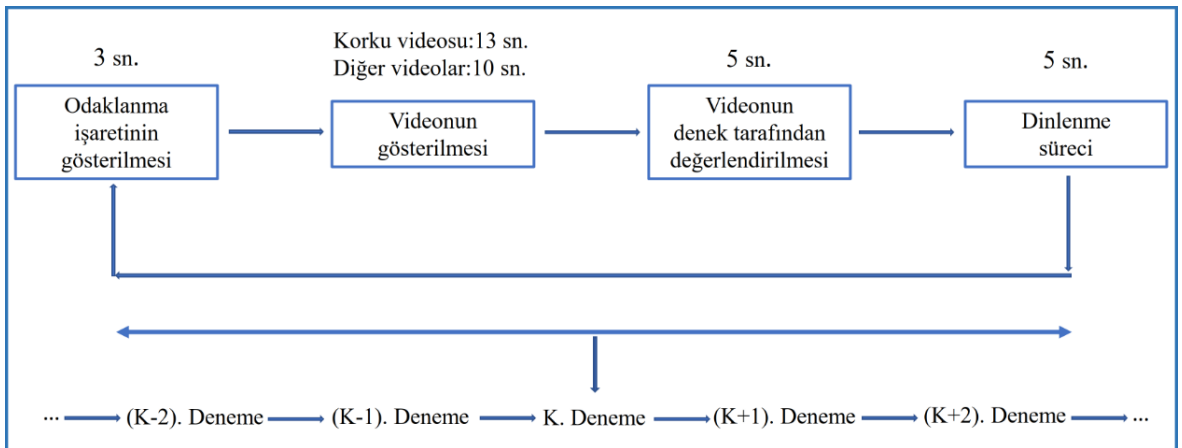
Paradigma için ilk aşamada birçok kategoriden film kesitini bir arada bulunduran ve duygusal video içerik analizi için hazırlanan LIRIS-ACCEDDE [69] veri setinden faydalanılmıştır. Bu veri setindeki videolar kategorilere bölündükten sonra belirli bir denek grubuna (iki erkek ve beş kadından oluşan) izletilmiştir. Deneklerden videoları komik, korkunç, tiksiniç ve rahatlama kategorinde 1-10 arası puanlama ile oylamaları istenmiştir. Bu video belirleme aşamasında herhangi bir kayıt alınmayıp denek grubunu en çok etkileyen duygu durumları belirlenmeye çalışılmıştır. Oylanan her video için verilen puan değerlerine göre ortalama bir değer hesaplanarak, en çok ve en az gülünen duygu durumları ile en çok ve en az korkulan duygu durumları değerlendirilmeye çalışılmıştır. Bu değerlendirmeler ve geri dönüşlerle veri setindeki video içeriklerinin çalışmalar için uygun olmadığı kanısına varılmıştır. Bu nedenle, çok modlu duygu tanıma veri setini oluşturmada kullanılacak deney paradigması tarafımızca hazırlanmıştır. Duygu tanıma paradigmasında komik, korkunç, tiksiniç ve rahatlama içerikli dört farklı kategorideki video kayıtlarına yer verilmiştir. Deneyler sırasında izletilen video içerikleri çeşitli filmler ve Youtube platformu kullanılarak hazırlanmıştır. Deneylerde karışık bir sırada izletilen videolara ait detaylar şu şekildedir.

1. Komik içerikli 10 saniyelik video kayıtları (kaynak: komedi filmleri ve youtube)
2. Korku içerikli 13 saniyelik video kayıtları (kaynak: korku filmleri ve youtube)
3. Tiksiniç içerikli 10 saniyelik video kayıtları (kaynak: youtube)
4. Rahatlama içerikli 10 saniyelik video kayıtları (kaynak: youtube)

2.5.3. Deney Paradigması Zaman Çizelgesi

KMED veri seti literatür çalışmalarında sıklıkla kullanılan DEAP veri setinin deney paradigması örnek alınarak hazırlanmıştır. Şekil 2.35'te zaman çizelgesi verilen paradigma adım adım şu şekildedir:

1. Her deneme dinlenme süreci ile başlamıştır. Daha sonra ekranda $t=0$ sn'de bir odaklanma işareti gösterilmiş ve odaklanmanın başlangıcında ayrıca sesli bir uyarı yapılmıştır. Deneklerin gerçekleştirecekleri göreve daha iyi odaklanmaları için her biri 1 sn olacak şekilde üçten geriye sayım yapılmıştır.
2. Geri sayım bittikten sonra herhangi bir bilgi vermeksizin rastgele içerikli bir video izletilmiştir. Bu video korku kategorisi için 13 sn ve diğer kategoriler için 10 sn olarak belirlenmiştir. Böylelikle deneklerin izledikleri videolara olabildiğince doğal olarak tepki vermeleri sağlanmıştır.
3. Video bitene kadar kayıt alınmaya devam edilmiş ve kayıt bittiğinde yine sesli uyarı verilerek bilgilendirme yapılmıştır.
4. Son olarak ekran karartılıp kayıt alımına ara verilmiş ve deneklerden izledikleri videoyu dahil olduğu kategoride (1-9) aralığında oylamaları istenerek sonraki denemeye geçilmiştir.



Şekil 2.35. Duygu tanıma veri seti hazırlanırken kullanılan paradigma

Kayıtlar sağlıklı 12 erkek ve 3 kadın olmak üzere toplam 15 denekten (bkz. Tablo 2.1) her bir denek için 2 farklı günde kaydedilmiştir. İlk gün alınanlar eğitim, ikinci gün alınanlar ise test seti olarak kullanılmıştır. Tüm kayıtlarda kısa zaman boşlukları içeren aralar verilerek deneklerin dinlenmesini sağlanmıştır. Oylama işlemi veri setinin kullanılacağı diğer çalışmalarda duygunun derecesinin belirli olması ve her duygunun kendi içerisinde de sınıflandırılmasını sağlamak amacıyla yapılmıştır. Oylamalar sonucunda duygunun bireylerin iç dünyasında uyandırdığı izlenimler olduğu net bir şekilde görülmüştür.

Tablo 2.2. Erkek deneklere ait kayıt sayıları

Duygu Türü	Oturum 1 EEG/Video	Oturum 2 EEG/Video	Toplam EEG/Video
Sınıf 1 (korku)	40	40	80
Sınıf 2 (tiksinç)	40	40	80
Sınıf 3 (komik)	40	40	80
Sınıf 4 (rahat)	40	40	80
Toplam	160	160	320

Oturumlara ait kayıt sayıları ve bu kayıtların hangi duygu sınıfına dahil oldukları erkek ve kadın denekler için sırasıyla Tablo 2.2 ve Tablo 2.3'te verilmiştir. Kadın deneklerin kayıt sayıları erkeklere göre daha azdır. Bunun nedeni kadın deneklerin saç yoğunluğunun oldukça fazla olması ve kafa yapılarının erkeklere göre daha küçük olmasındandır.

Tablo 2.3. Kadın deneklere ait kayıt sayıları

Duygu Türü	Oturum 1 EEG/Video	Oturum 2 EEG/Video	Toplam EEG/Video
Sınıf 1 (korku)	35	35	70
Sınıf 2 (tiksinç)	35	35	70
Sınıf 3 (komik)	35	35	70
Sınıf 4 (rahat)	35	35	70
Toplam	140	140	280

2.5.4. Kayıt Alımında Dikkat Edilen Hususlar

Deneklere duygu durumlarını içeren videolar izletilirken hem EEG sinyalleri hem de yüz görüntülerine ait video kayıtları alınmıştır. Çalışmada kayıtları alınan ilk biyolojik bilgi olan EEG sinyallerinin kaydı cerrahi bir operasyon gerektirmeyen düşük maliyetli bir işlemdir. Ayrıca diğer birçok görüntüleme sisteminin aksine geniş laboratuvar ekipmanlarına ihtiyaç duymaması nedeniyle sıkça tercih edilmektedir. Kayıtları alınan ikinci biyolojik bilgi olan yüz görüntüleri ise duygu tanıma çalışmalarında en çok kullanılan giriş verisidir. Çalışmada deneklerin yüz görüntülerini içeren video bilgileri basit ve ulaşılabilirliği kolay olan standart bir kamerası ile kaydedilmiştir. Bu iki giriş verisinin ayrı ayrı kaydedilmesi oldukça kolay bir işlem olsa da ikisinin senkronize bir şekilde kaydedilmesi bir o kadar zordur. Bu nedenle kayıtların alımlarında önemli olan birçok detaya dikkat edilmiştir. Bunlardan bazıları aşağıdaki gibidir.

1. Güvenilir kayıtlar için en önemli faktörlerden biri deneklerin gönüllü olmaları ve kayıt alımında gerçekleştirmeleri istenen görevleri anlayarak doğru bir şekilde yerine getirmeleridir. Bu nedenle, benzer sistemlerde tecrübesi olup kayıt alımı süresince istenecek görevleri doğru bir şekilde yerine getirebilecek en az lisans düzeyinde eğitim almakta olan denekler tercih edilmiştir.
2. Deneklerin hem video görüntülerini hem de beyin sinyallerini doğru bir şekilde kaydetmek ve yürütecekleri görevlere tam odaklanmaları için dinlenmiş ve tok olarak deneylere katılmaları istenmiştir.
3. EEG sinyalleri ve yüz görüntülerinin en az hatayla alınması için kayıt süresince deneklerin konforlu bir koltukta olabildiğince sabit bir şekilde oturmaları istenmiştir. Aksi durumlarda kayıtlar durdurulup yeniden alınmıştır.
4. Deney ortamı EEG sinyalleri ve yüz görüntülerini doğru bir şekilde kaydedebilecek şekilde oluşturulmuştur. Örneğin, ekran parlaklığı, ortam aydınlanma düzeyi ve ortam havalandırması gibi faktörlere dikkat edilmiştir. Ayrıca, dikkat dağıtıcı unsurlar mümkün oldukça ortamdan kaldırılmıştır. Kayıtlar sırasında deney ortamında çekilmiş örnek bir kadın deneğe ait görüntü Şekil 2.36'da ki gibidir.
5. Sensörlerin tümünün saç kılları arasından deriye doğrudan temas etmelerine özen gösterilmiştir. Deneklerin saçlarının temiz ve kuru olmasına da dikkat edilmiştir.

6. Radyo dalgalarının gürültüye neden olup EEG sinyallerini etkileyebileceği göz önüne alınarak radyo, cep telefonu gibi cihazlar mümkün oldukça ortamdan uzaklaştırılmıştır.
7. Kayıtlar genel olarak sabah saat 09:30-12:30 arasında bir laboratuvar ortamında alınmıştır. Deneklerin gözünün yorulması ve konsantrasyonun dağılması gibi özel durumlarda kısa aralar verilerek deneyler uzamıştır. Buna bağlı olarak öğleden sonra da kayıt alımına devam edilmiştir.



Şekil 2.36. Deney ortamında çekilmiş bir kadın denek görüntüsü

2.5.5. Kayıtlar Sırasında Karşılaşılan Zorluklar

Duygu tanıma sistemleri için çok modlu veri setleri hazırlanırken birçok zorlukla karşılaşılabilir. İki farklı biyolojik bilginin iki farklı materyal yardımıyla senkronize bir şekilde kaydedilmesi oldukça zordur ve literatürde sınırlı sayıda çok modlu veri seti yer almaktadır. Bu veri setlerindeki sinyal ve görüntü sayıları da sınırlıdır. Bu sebeple tez çalışmasında olabildiğinde fazla sayıda örnek içeren bir veri seti oluşturulmaya çalışılmıştır. Veri seti oluşturulurken karşılaşılan bazı zorluklar şu şekildedir.

- Her denekten bir günde 200 kayıt olmak üzere iki ayrı gün için toplamda 400 kayıt alınması planlanmıştır. Fakat deneklerin bu sayıyı çok fazla bulmaları, göz yorulmaları ve kayıt için belirlenen sürenin oldukça aşılması gibi nedenlerle hedeflenen sayıda kayıt alınamamıştır. Erkek denekler için bir günde 160 olmak

üzere iki günde toplam 320, kadın denekler için ise saç faktörü nedeniyle bir günde 140 olmak üzere iki günde toplamda 280 kayıt alınmıştır.

- Gözlük kullanan deneklere ait kayıtlar öncelikle gözlükleriyle birlikte alınmaya çalışılmıştır. Fakat gözlük camlarının parlaması sebebiyle yüz görüntülerinin düzgün kaydedilemediği belirlenmiş ve gözlüklerini çıkarmaları istenmiştir. Bu denekler bilgisayar ekranına uzun süre bakamadıkları için daha fazla dinlenme arası verilerek yeterli sayıda kayıt alınmıştır.
- Deneklerden bazıları uzun süre video izlemede zorlanmıştır. Böyle durumlarda dinlenme araları verilmiş, tekrarlamalar yapılarak hatalı kayıtlar yeniden alınmıştır.
- Test kayıtları için yüz görüntüleri alınırken kamera çözünürlüğünün yeterince iyi olmadığı görülmüştür. Bu problemi çözmek için çözünürlüğü yeterli yeni bir kamera temin edilerek yüz görüntülerinin iyi bir şekilde kaydedilmesi sağlanmıştır.
- EPOC Flex EEG kayıt kitinin 58 cm'lik EasyCap başlığı özellikle bazı kadın deneklerin kafasına büyük gelmiştir. Bu sorunları çözüp iletişim kalitesini en üst düzeyde tutmak için başlığın ayarlanması ve yerleştirilmesine önem verilmiştir.
- Toplam 15 denekten alınan kayıtların yanı sıra 2 kadın denekten de kayıt alınmaya çalışılmıştır. Ancak, bazı zorluklar nedeniyle kayıt alımı iptal edilmiştir. Örneğin, bir deneğe yerleştirilen EEG başlığı oldukça büyük geldiğinden iletişim kalitesi istenen seviyeye çıkarılamamıştır. Diğer bir denek ise tiksiniç kategorisindeki videoları izlemekte zorlanmış ve devam etmek istemediğini belirtmiştir.
- Başlık her kayıt işlemi sonrasında yıkanarak temizlenmiştir. Sensör elektrotların kirlenmesi ve kafa derisiyle temas kalitesini korumak için her oturum sonrasında sensör içleri saf suyla temizlenmiştir. Temizleme sonrasında ise kuru ışıksız bir ortamda bekletilmiştir. Bu işlemler dışında Emotiv firması tarafından tavsiye edilen kullanım talimatı dikkate alınarak kayıtlar alınmıştır.

2.5.6. EPOC Flex Salin Sensör Kayıt Cihazı ile EEG Kayıtlarının Alınması

EEG kayıtlarını içeren bir veri seti oluşturmanın en dikkat edilmesi gereken noktalarından biri sinyallerin doğru elektrot konumlarından alınması ve bilgisayar ortamına eksiksiz bir şekilde aktarılmasıdır. KMED veri setinde yer alan EEG sinyalleri salin

sensörler kullanan ve 119E397 numaralı TÜBİTAK projesi ile edinilen EPOC Flex EEG kayıt cihazıyla [70] kaydedilmiştir. Kayıt sırasında kullanılacak elektrotların belirlenmesi ve yerleştirilmesi gibi işlemlerin tümünde DEAP veri seti örnek alınmıştır. Kayıt almaya başlamadan kullanım kitapçığı detaylı incelenmiş ve çalışma boyunca tümüne uyularak kayıt işlemi tamamlanmıştır. Salin sensörler kullanan EPOC Flex EEG kayıt cihazı kiti başlık tabanlı bir EEG sisteminin esnekliğini hızlı kurulum işlevselliği ile birleştiren bir kayıt setidir. Kurulumu ortalama 15-20 dakika sürmekte ve hızlı kullanıma imkân vermektedir. Kiti temel yapısı Şekil 2.37’de ki gibidir.

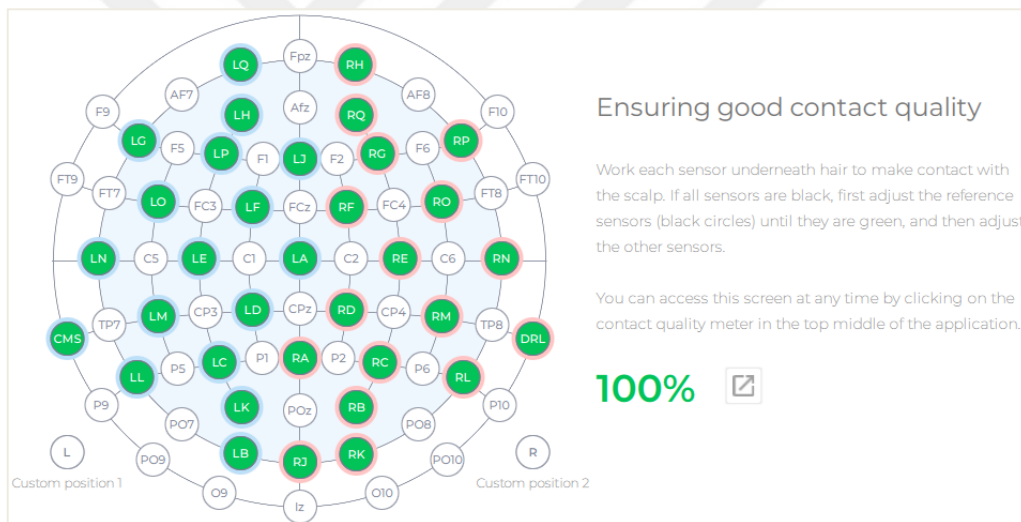


Şekil 2.37. EPOC Flex salin sensör kullanan EEG kayıt cihazı kiti

Cihaz kullanım bakımından araştırmacılara birçok avantaj sunmaktadır. Bunlardan bazıları şu şekildedir. Önceden yapılandırılmış olan esnek kep elektrotların yerleştirileceği boşluklarda konumlandırılmış olarak araştırmacılara ulaştırılır. Bu sayede elektrotların farklı kombinasyonlarda kafa yüzeyine yerleştirilmesine imkân sağlar. EPOC Flex, 32 kanallı esnek bir kayıt sistemi olmakla birlikte yüksek sensör yoğunluğuna ve esnek sensör yerleşimine sahip olmak isteyen araştırmacılar için tasarlanmıştır. 32 elektroda ek olarak iki ayrı referans elektrotu da mevcuttur. Bunlar kafa üzerinde herhangi bir yere ya da kulak memesine yerleştirilebilir. Referans elektrotların kulak memesine yerleştirilme durumu jel kullanılan EPOC Flex için geçerlidir. Tez çalışmasında salin sensör kullanıldığından referans elektrotlar kulak ardına yerleştirilmiştir. Sensörlerin iletişimini sağlayan keçe

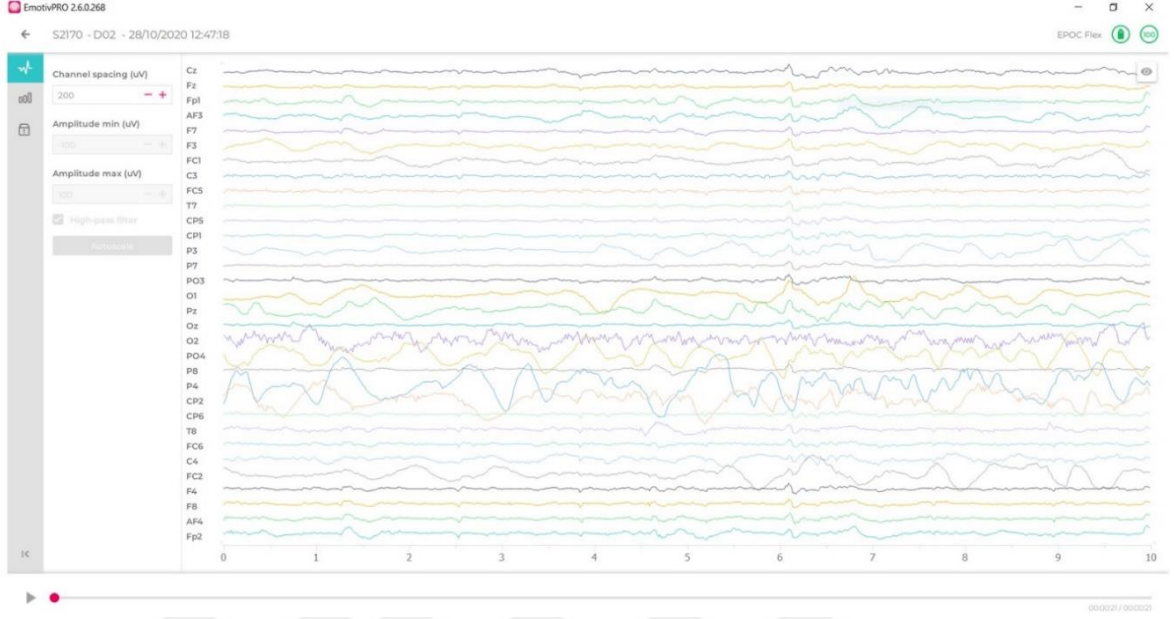
pedlerinin ısılatılması için kepin çıkarılmasına gerek yoktur, keçe pedleri kep takılıyken salin solüsyonla doygunluğa eriştirilebilir.

Cihazın temas kalitesi ve sensörlerin doğru konumlara yerleştirilip yerleştirilmediğinin kontrolleri kayıt sırasında EmotivPro yazılımı ile gözlenip kontrolü de kolaylıkla sağlanmaktadır. Sensörler istenilen konum kombinasyonlarına yerleştirildikten sonra iletim kalitesinin %100 olması beklenir. Şekil 2.38’de görüldüğü gibi iletim kalitesi cihaz arayüzünden takip edilebilir ve hepsi yeşil olduktan sonra kayıt alımı sorunsuz gerçekleştirilebilir. Diğer durumlar iletim kalitesinin iyi olmadığı anlamına gelir. Kayıtlar sırasında iletim kalitesi bozulursa kayıt işlemi durdurulur ve iletim kalitesi arttırıldıktan sonra yeniden başlatılır.



Şekil 2.38. Örnek 32 elektrotun başlık setine yerleşimi

Kayıt sırasında sinyallerde meydana gelen bozulmaların tespiti de yine bu arayüzden kontrol edilmektedir. Herhangi bir durumda 32 kanaldan kaydedilen sinyallerin kayıt sırasında arayüzdeki görüntüsü Şekil 2.39’da ki gibidir. Kaydedilen sinyallerin bu arayüzden izlenebiliyor olması daha kaliteli ve düzgün bir veri setinin oluşturulmasına katkı sağlamaktadır. Mevcut başlık seti Emotiv firmasına ait EmotivPro yazılımı ve arayüzüyle başarılı bir şekilde çalışmaktadır.



Şekil 2.39. Kaydedilen EEG sinyallerinin kayıt arayüzünde görüntülenmesi

Tez çalışması kapsamında hazırlanan KMED veri seti literatürde sıklıkla kullanılan DEAP veri seti örnek alınarak hazırlanmıştır. Bu veri setinde müzik videoları izlenirken sinyaller 32 kanaldan kaydedilmiştir. Tez çalışmasında ise ilk 10 denek için 32 kanaldan kayıt alınırken, son 5 denek için ise 25 kanaldan alınmıştır. Bunun nedeni, son beş deneğin saç yoğunluğunun fazla olması nedeniyle 32 kanaldan kayıt alındığı durumlarda iletim kalitesinin %100 oranında sağlanamamış olmasıdır.

2.5.6.1. Cihazın Teknik Özellikleri

Salin sensörler kullanan EPOC Flex kit paketinde bir adet denetleyici, bir adet USB alıcı, bir adet kep, elektrot sensörleri, USB şarj kablosu, 80 adet salin keçe peti ve 34 adet silikon kenarlık yer alır [112]. Cihaz 32 kanaldan kayıt alabilecek şekilde üretilmiş olup, CMS ve DRL olarak adlandırılan referans elektrotlara sahiptir. Elektrotların kafa derisiyle temasını sağlayan kepte uluslararası 10-20 standardına uygun olarak yapılandırılabilen 72 boşluk yer alır (Şekil 2.38). Cihaz denetleyicisi kablolu olarak kayıtları iletmektedir. Cihaz pili ise 595 mAh kapasiteye sahiptir ve ortalama altı ile dokuz saat arasında kayıt yapabilmektedir.

2.5.6.2. Cihaz İçin Alınan Güvenlik Önlemleri

EPOC Flex tıbbi cihaz olarak veya tehlikeli ortamlarda kullanılmak üzere tasarlanmış bir ürün değildir [113]. Cihaz 50 derecenin altındaki ortamlarda kullanıcı tarafından değiştirilemeyen lityum polimer pil ile çalışır. Ani sıcaklık değişimleri amplifikatörlerin performansını etkileyerek gürültü tabanının artmasına ve cihazın doğru çalışmamasına sebep olabilir. EPOC Flex salin solüsyon kullanması sebebiyle sensörlere su girmesini önleyecek ve içindeki elektronik aksamı koruyacak şekilde tasarlanmıştır.

2.5.6.3. Denetleyici, Şarj ve LED Göstergeleri

EPOC Flex denetleyicisi sol tarafında 16 ve sağ tarafında 16 olmak üzere toplam 32 kanal içerir [114]. Bu kanallar CMS ve DRL olarak adlandırılan referans elektrotların üzerinde yer alan A-H ile J-Q harfleriyle gösterilen konumlara yerleştirilir. Cihazın güç anahtarı (Şekil 2.37’de verilmiş olan) ünitenin alt kenarındaki USB bağlayıcının yanındadır. Güç anahtarı sağa çekildiğinde cihaz açılır ve sola çekildiğinde ise kapanır. Benzer şekilde kayıt sırasında gücü ve şarjı gösteren basit bir LED göstergeye sahiptir. Şarj durumu; cihazda güç varsa mavi, şarj oluyorsa turuncu ve şarj tamamlandıysa yeşil olarak renklendirilir [115]. Kayıtlara başlanmadan cihaz tamamen şarj edilmedir.

2.5.6.4. Sensörlerin Özellikleri ve Renklendirilmesi

Cihazın üzerinde yer alan sensörler tüm kafanın iyi bir şekilde kaplanmasını sağlayacak şekilde tasarlanmıştır [116]. EPOC Flex kiti 34 sensör içerir. Bunlardan on altısı kırmızı, on altısı mavi ve ikisi ise siyah kabloya bağlıdır. Bu renklendirme sayesinde sol taraf mavi renkle, sağ taraf kırmızı renkle ve referanslar ise siyah olarak kodlanarak sensör yerleşiminde sorun oluşması önlemeye çalışılmıştır. Ek olarak, her sensör bireysel olarak EPOC Flex’te bağlı olduğu kanal adıyla da etiketlenmiştir.

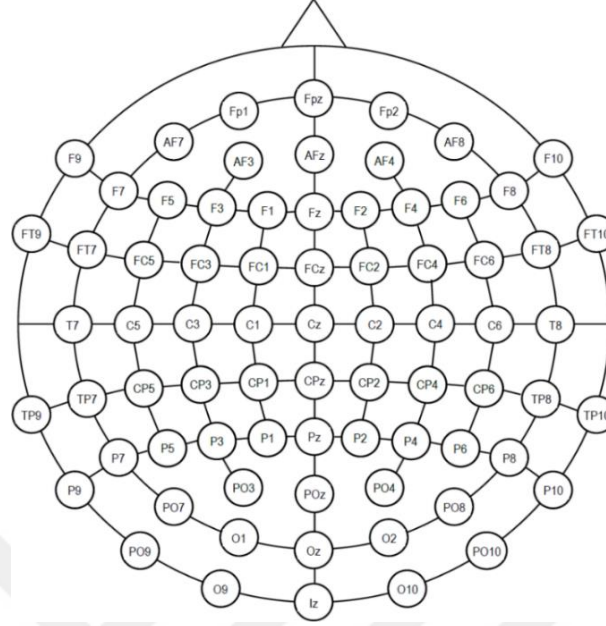
EPOC Flex hem jel hem de salin olmak üzere iki ayrı sensör çeşidine sahiptir [117, 118]. Tez çalışmasında salin sensörler kullanılmıştır. Salin sensörler 19 mm genişliğinde ve 7.9 mm boyundadır. Fazlalıkları en aza indirmek, kep üzerindeki herhangi bir konuma

erişebilmek ve herhangi bir yerleşim konfigürasyona izin vermek için sensör kabloları iki ayrı uzunlukta tasarlanmıştır. Ayrıca, sensörlerin bağlı olduğu kablolar sinyal kalitesini daha da iyileştirmek için altın kaplamalarla kıvrılmıştır. Salin sensörler keçe pedlerini yanlardan kavramak ve kaliteli iletim sağlamak için gümüş veya gümüş klorür kaplı elektrotlar içerir. Keçe pedleri kayıt öncesinde salin çözeltiyle ıslatılarak kafa derisi üzerinden EEG sinyallerinin kaydı alınır. Fakat kafaya yerleştirildikten yaklaşık bir-iki saat sonra pedler kurumaya başlar ve sensörlerin deriye temas kalitesinde bozulmalar görülebilir. Bu durumlarda, sensörler üzerindeki doldurma deliklerine salin solüsyon uygulanarak kep tamamen çıkarmadan yeniden ıslatma yapılabilir. EPOC Flex'in salin solüsyonlar kullanan bu teknolojisi araştırmacılara sunduğu en önemli avantajlardan biridir.

2.5.6.5. EPOC Flex Kep

Standart EPOC Flex kepi Şekil 2.40'ta görüldüğü gibi 10-20 sistemine uygun olarak 72 boşluklu bir yapıya sahiptir [119]. Kepin üzerinde denetleyiciyi yerleştirebilmek için iki ayrı cep mevcuttur. Bu ceplerden birisi Cz diğeri ise Iz konumunun altında yer alır. Kepin standart ölçüleri 54, 56 ve 58 cm olarak tasarlanmıştır. Kepin boyutunun doğru seçilmesi kayıtların düzgün bir şekilde alınması için oldukça önemlidir. Tez çalışmasında 58 cm boyutundaki kep tercih edilmiştir.

Sensörler kepin alt tarafından tutulup ilgili boşluğun çevresinden gerdirilmesiyle kolayca yerleştirilmektedir. Cihaz için üretilen salin sensörler jel sensörlere göre daha büyük olduğundan yerleştirme işlemi çok daha kolaydır. Sensörler istenilen konfigürasyona göre kepe yerleştirildikten sonra keçe pedleri kep içinde kafa derisiyle temas edecek şekilde yerleştirilmelidir. Diğer yandan kayıt alınmasını sağlayan kontrol kutusu arka kafa ya da üst kafa konumuna yerleştirilerek çalıştırılabilir. Üst konuma yerleştirilmesi genellikle koltuk başlığı olan veya yatış pozisyonundayken kayıt alımı yapılan araştırmalarda kullanılır. Kontrol kutusunun yerleştirilmesi tamamlandıktan sonra sensör kablolarının kontrol kutusuna bağlanır. Kırmızı kabloların bağlı olduğu beyaz konektör kontrol kutusunun sağ tarafına ve mavi kabloların bağlı olduğu beyaz konektör ise denetleyicinin sol tarafına takılır.



Şekil 2.40. Epoc Flex kepinin 72 boşluklu sensör haritası

2.5.6.6. Yüksek Sinyal Kalitesiyle Kayıt Alma

EPOC Flex ile kayıt yaparken yüksek sinyal kalitesi elde etmek önemlidir ve bunun için sensörler ile kafa derisi arasındaki empedansın en aza indirilmesi gerekir [120]. Bu amaçla deneklerin kayıt işlemine geldiklerinde saçları temiz olmalıdır ve saç kremi gibi ürünler empedansın azalmasına engel olduğundan kullanılmamalıdır. Deriyle tam temasın sağlanıp düşük empedans elde etmenin en etkili yolu her sensör altındaki cildi iyice temizleyip aşındırmak ve ardından salin solüsyon çözeltisi uygulamaktır.

2.5.6.7. Cihazın Temizlenmesi

Kit içerisinde yer alan kep ve sensörler her kullanımdan sonra dikkatlice temizlenmelidir [121]. Bu temizlik sırasında sensör ve konektörlerin ıslanmaması cihazın sonraki kullanımlarında sorun yaşamamak için oldukça önemlidir. Kepin temizliği elektrotların tümü çıkarıldıktan sonra çamaşır makinesinde 30 derecede hafif bir deterjan yardımıyla yapılabilir. Alternatif olarak, bebek şampuanı gibi yumuşak deterjan ve diş fırçası yardımıyla temizlenmesi de önerilir. %20'den fazla alkol içeren dezenfektanlar, güçlü

oksitleyiciler veya ağartma maddeleri kepin deformasyonuna neden olacağından önerilmemektedir. Temizlik işlemi sonrasında kep temiz hava ile iyice kurutulmalıdır. Ütü veya kurutucular kepin ömrünü kısaltacağından kullanılmamalıdır. Daha sonra suyla durulanması temizlenmesi için yeterli olacaktır.

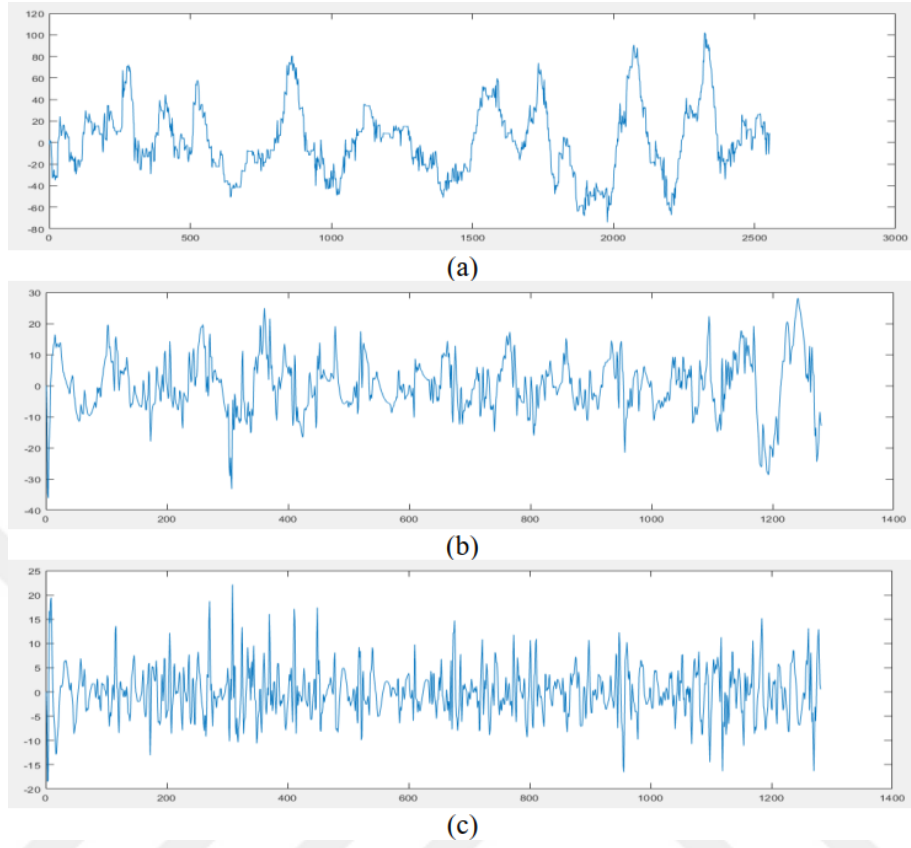
Salin elektrotlar da her kullanımdan sonra temizlenmelidir. Elektrotlar yalnızca kayıt sırasında tuzlu suya maruz kalmalı ve ömrünü uzatmak için her kullanımdan sonra saf su ile temizlenmelidir. Elektrotlar metal parçalar tarafından kolayca çizilebilen gümüş/gümüş klorür gibi maddelerle kaplıdır. Bu nedenle, elektrotlara ister istemez bulaşan tuzlu suyun her kullanımdan sonra saf su ile temizlenmesi ve havalandırılması gerekir.

2.5.7. EEG Sinyallerinin Ön İşlenmesi

EEG sinyallerinin kaydedilmesi ve veri setinin oluşturulmasında, literatürdeki benzer veri setlerinin hazırlanışı, sinyallerin işlenişi aşamaları göz önüne alınmıştır. Söz konusu veri setlerinden bazıları ve veri seti hazırlık süreçlerine ait bazı önemli detaylar şu şekildedir. [74] çalışmasında 15 farklı denekten kaydedilen EEG sinyalleri kullanılmıştır. Kayıtlar iki farklı günde ve aralıklı alınmıştır. Sinyaller 200 Hz ile örneklenip artefakt ve gürültüler 0.3-50 Hz aralığındaki bant geçiren süzgeçler yardımıyla filtrelenmiştir. [75] çalışmasında DEAP veri seti kullanılmış, 512 Hz ile örneklenen sinyallerin örnekleme hızı 128 Hz'e düşürülmüştür. [76] çalışmasında DEAP veri setinin 32 EEG kanalından sadece F3, F4, Fp1, Fp2, P3, P4, T7, T8, O1 ve O2 isimli 10 tanesi tercih edilmiştir. Çalışmada bu kanalların diğerlerine nazaran daha başarılı sonuçlar verdiği ifade edilmiştir. [77] çalışmasında 20 denekle hazırlanmış özgün bir veri seti kullanılmıştır. Sinyaller 24 farklı kanaldan 256 Hz örnekleme frekansı ile kaydedilmiştir. Çalışmada beyin aktivitelerini ölçmek için kaydedilen EEG sinyallerine ait frekans aralığının 0.5-60 Hz olduğu belirtilmiştir. Bununla birlikte sinyallerin frekans aralığının yapaylıklar ve örnekleme frekansı gibi nedenlerle farklılık gösterebileceği ifade edilmiştir. Çalışmada frontal ve temporal bölgelerin dürtü uyarıcılara bağlı olarak beyindeki reaksiyonu gerçekleştirmede önemli olduğu ifade edilmiştir. İfade ettikleri bölgede yer alan elektrotlar FP1, FP2, F3, F4, F7, F8, T3, T4, T5 ve T6 şeklindedir. [78] çalışmasında DEAP ve LUMED-2 veri setleri kullanılmıştır. LUMED-2 veri setinde yer alan EEG sinyalleri ENOBIO isimli 8 kanallı ve kablosuz EEG kayıt cihazıyla 500 Hz.

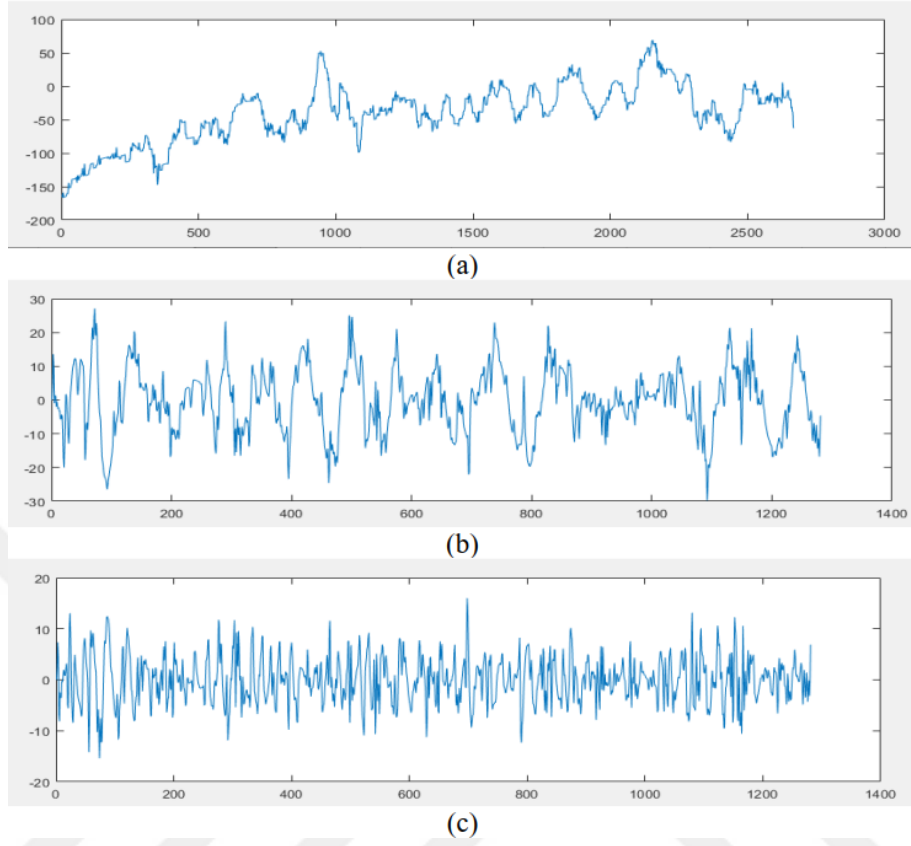
zamansal çözünürlükte kaydedilmiştir. Daha sonra 0-75 Hz aralığında filtreleme yapılmıştır. [79] çalışmasında MAHNOB-HCI ve DEAP veri setleri kullanılmıştır. MAHNOB-HCI veri setindeki EEG sinyalleri 256 Hz örnekleme frekansı ile 32 kanaldan kaydedilmiştir. [80] çalışmasında kayıtlar 11 sağlıklı denekten (8 erkek ve 3 kadın) alınmıştır. Elektrotlar 10-20 standardına uygun olarak yerleştirilip 1 kHz örnekleme frekansı ile 32 kanaldan kaydedilmiştir. Öznitelik çıkarma aşamasından önce EEG sinyalleri 0.5-70 Hz aralığında bant geçiren süzgeç yardımıyla filtrelenmiştir. [81] çalışmasında 15 deneğe ait EEG sinyallerinin farklı zamanlarda kaydedilmesiyle oluşturulan SEED veri seti kullanılmıştır. Sinyaller 62 kanaldan 1000 Hz örnekleme frekansı ile kaydedilmiştir. [82] çalışmasında DEAP ve MAHNOB-HCI veri setlerinin yanı sıra 13 denek (20-38 yaş aralığında) içeren özgün bir veri seti de kullanılmıştır. Çalışmada denekler video klipleri izlerken EEG sinyalleri kaydedilmiştir. Kayıtlar Emotiv başlık setiyle AF3, AF4, T7, T8 ve Pz konumlarından alınmıştır. [83] çalışmasında EEG kayıtları Emotiv EPOC ile 14 ayrı kanaldan (AF3, F7, F3, FC5, T7, P7, O1, O2, P8, T8, FC6, F4, F8, AF4) alınmıştır. Sinyaller 128 Hz örnekleme frekansı ile kaydedilmiş ve daha sonra 0.5-70 Hz aralığında filtrelenmiştir. [84] çalışmasında duygu tanıma için yararlı sinyal bilgilerinin 4-45 Hz frekans aralığında olduğuna dikkat çekilip verimli bir ön işleme için sinyallerin 128 Hz'e indirgenmesi gerektiği vurgulanmıştır. [85] çalışmasında elektrot konumları uluslararası 10-20 standardına göre hazırlanmış 24 kanallı bir cihaz kullanılmıştır. EEG sinyalleri 20 denekten 256 Hz örnekleme frekansı ile kaydedilmiştir. Aynı çalışmada duygu tanımada kullanılacak faydalı bilgilerin 40 Hz altında bulunduğunu belirtilmiştir.

Literatürde incelemesi sonucunda edinilen bu bilgi birikimi yapılan çalışmalarda kullanılmıştır. EEG sinyalleri Epoc Flex kayıt cihazının imkanları neticesinde 128 Hz'le örneklenmiş, daha sonra hem 1-50 hem de 4-45 Hz aralığında filtrelenmiştir. Filtrelenen sinyallere dönüşüm yöntemleri ayrı ayrı uygulanarak çok modlu duygu tanıma sistemi geliştirilmeye çalışılmıştır. Yani Bölüm 2.2 ve Bölüm 2.3'te anlatılan tüm AGD yaklaşımları ile sensör ve öznitelik seviyesindeki füzyon yöntemleri hem 1-50 Hz hem de 4-45 Hz aralığında filtrelenen EEG sinyallerine uygulanmıştır. Şekil 2.41'de komik kategorisine ait örnek bir video izlenirken kaydedilmiş ham EEG sinyali (a) ile bu sinyalin 1-50 Hz (b) ve 4-45 Hz (c) aralıklarında filtrelenmesi sonucu elde edilen sinyaller verilmektedir.



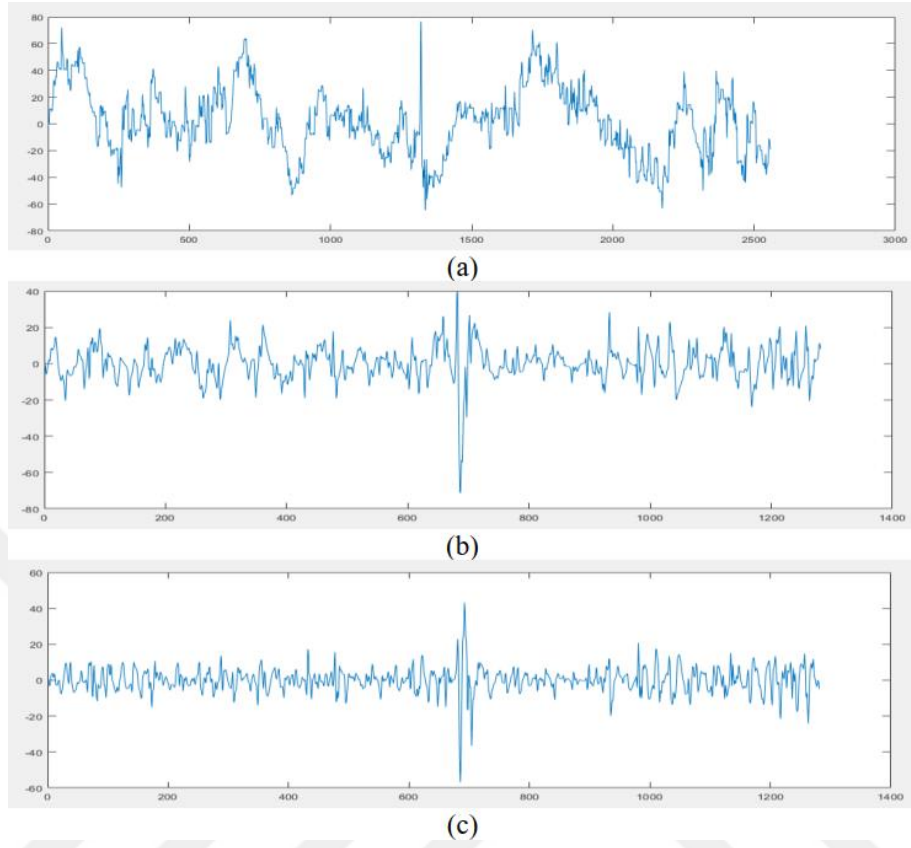
Şekil 2.41. Komik kategorisinde (a) örnek bir ham sinyal, (b) 1-50 Hz ve (c) 4-45 Hz aralıklarında filtrelenmiş sinyaller

Şekil 2.42’de korku kategorisinde yer alan örnek bir video izlenirken kaydedilmiş ham EEG sinyali (a) ile 1-50 Hz (b) ve 4-45 Hz (c) aralıklarında filtrelenmesi sonucu elde edilen sinyaller verilmektedir.



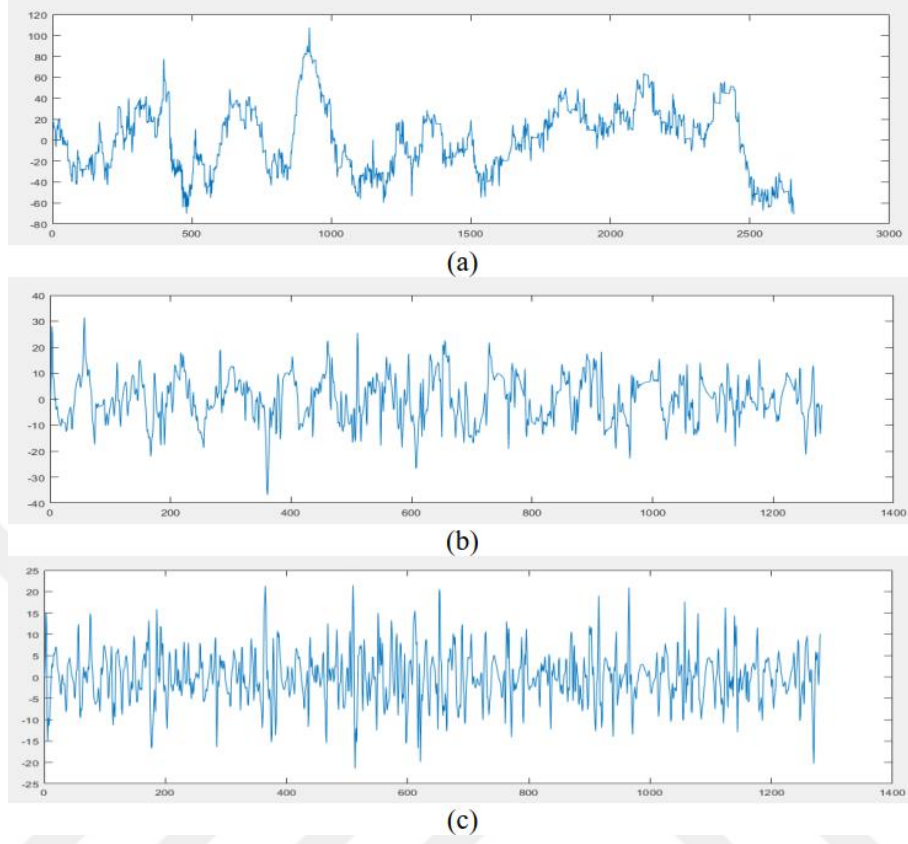
Şekil 2.42. Korku kategorisinde (a) ham sinyal, (b) 1-50 Hz ve (c) 4-45 Hz aralıklarında filtrelenmiş sinyaller

Şekil 2.43'te tiksiniç kategorisinde yer alan örnek bir video izlenirken kaydedilmiş ham EEG sinyali (a) ile 1-50 Hz (b) ve 4-45 Hz (c) aralıklarında filtrelenmesi sonucu elde edilen sinyaller verilmektedir.



Şekil 2.43. Tiksinç kategorisinde (a) ham sinyal, (b) 1-50 Hz ve (c) 4-45 Hz aralıklarında filtrelenmiş sinyaller

Şekil 2.44'te ise rahat kategorisinde yer alan örnek bir video izlenirken kaydedilmiş ham EEG sinyali (a) ile 1-50 Hz (b) ve 4-45 Hz (c) aralıklarında filtrelenmesi sonucu elde edilen sinyaller verilmektedir.



Şekil 2.44. Rahatlama kategorisinde (a) ham sinyal, (b) 1-50 Hz ve (c) 4-45 Hz aralıklarında filtrelendiği sinyaller

2.5.8. Videolardan Çıkarılan Yüz Görüntülerinin Hazırlanması

Tez çalışmasında deneklerin video kayıtlarını izledikleri sırada standart bir web kamerası yardımıyla video görüntüleri kaydedilmiştir. Web kamerasının video çözünürlüğü 1920×1080'dir ve 30 fps video çerçeve hızıyla kayıt almaktadır. Kaydedilen video görüntülerinden duygu bilgilerini taşıyan yüz görüntülerinin çıkarılması şu şekilde gerçekleştirilmiştir. İlk aşamada, yüz görüntülerini içeren video kayıtları tek tek çerçevelerine ayrılmıştır. İkinci aşamada, her çerçevedeki yüz görüntüleri Matlab'ın Kaskad Nesne Algılayıcı fonksiyonuyla tespit edilmiştir. Bu kaskad nesne algılayıcı Viola-Jones algoritmasını kullanarak yüz, göz, burun ve ağızları algılayabilmektedir. Bu işlemler sonunda herhangi bir denneğin video kaydı izlerken ortalama 600 yüz görüntüsü elde edilmiştir. Elde edilen bu yüz görüntülerinden duyguyu en belirgin ifade eden görüntüler bir algoritmayla seçilmiştir. Görüntüler arasından peak çerçeve olarak adlandırılan en benzersiz

görüntülerin otomatik olarak tespiti için literatürde çeşitli yaklaşımlar önerilmiştir. Örneğin [14] çalışmasında çok modlu duygu tanıma çalışmaları için video çerçeveleri arasından en benzersiz olanın seçimine dayanan üç farklı yaklaşım önerilmiştir. Bu yaklaşımlar maksimum benzersizlik tabanlı yöntem (MAX-DIST), kümeleme tabanlı yöntem (DEND-CLUSTER) ve duygu yoğunluğu tabanlı yöntem (EIFS) şeklindedir. Yöntemler eINTERFACE ve BAUM 1a veri setlerinde sınanmıştır. Tez çalışmasında ise [14]'te önerilen üç yöntem arasından maksimum benzersizlik tabanlı en benzersiz çerçeve seçme algoritması uygulanmıştır. [14] çalışmasında en benzersiz video çerçevesi belirlenirken yerel faz kuantalama (YFK) algoritması uygulanmış ve video çerçevelerinden elde edilen YFK öznitelikleri arasında ki-karesel uzaklığı hesaplanmıştır. Tez çalışması kapsamında kodlanan algoritma da ise en benzersiz video çerçevesi belirlenirken yerel ikili örüntü (YİÖ) algoritması uygulanmış ve video çerçevelerinden elde edilen YİÖ öznitelikleri arasında ki-karesel uzaklığı hesaplanmıştır. Bu aşamayla birlikte farklı bir yaklaşım ortaya koyulmuştur.

2.5.9. Maksimum Benzersizlik Tabanlı En Benzersiz Görüntü Bulma

Videolardaki tüm yüz görüntülerinden en benzersizinin belirlenmesi otomatik olarak gerçekleştirilmiştir. Kayıt alınmaya başlandığında denekler sabit bir yüz ifadesine sahip olur. Video içerikleri izlendikçe yüz ifadeleri içeriğe göre değişir. Örneğin, komik kategorisine ait bir video izlenirken zamanla gülme eylemine bağlı olarak gözler kısılır veya ağzın açılmasıyla dişler görünür. Tiksiniye kategorisindeki bir video kaydı izlenirken ise deneğin yüzünde bir ekşime ifadesi oluşur. Şekil 2.45'te komik ve tiksiniye içerikli duygu durumları için kadın ve erkek deneklerden kaydedilen örnek video çerçeve dizileri verilmektedir. (a)'da komik içerikli video izleyen bir kadın denek, (b)'de komik içerikli video izleyen bir erkek denek, (c)'de tiksiniye içerikli video izleyen bir kadın denek ve (d)'de tiksiniye içerikli video izleyen bir erkek deneğe ait video çerçeve dizileri verilmiştir.



Şekil 2.45. Deneklerden (a-b) komik ve (c-d) tikslenme duygu durumlarında kaydedilen örnek video çerçeve dizileri

Video çerçeve dizilerinde ortalama 600 adet yüz görüntüsü yer almaktadır. Bu görüntü dizileri içinden en benzersiz görüntülerin doğru tespiti çok önemlidir. Çünkü yanlış tespit edilecek her benzersiz görüntü deneğin duygu durumunun yanlış belirlenmesine neden olacak ve dolayısıyla duygu tanıma sisteminin başarısını olumsuz etkileyecektir. Diğer taraftan, söz konusu görüntünün elle seçilmesi durumunda ise çalışmaların objektifliği azalacaktır. Bu nedenlerle video çerçeve dizilerinden en benzersiz olanın seçiminde [14] çalışmasında önerilen maksimum benzersizlik tabanlı yöntem kullanılmıştır. Algoritmanın adımlarını şu şekildedir.

- Herhangi bir V video dizisi $V = \{V_1, V_2, \dots, V_N\}$ şeklinde N adet çerçeveden oluşsun.

- $N \times N$ boyutlu bir (M) benzersizlik matrisi oluşturulur ki $M(i, j)$ ve $i, j \in \{1, 2, \dots, N\}$.
- Bu benzersizlik matrisi i ve j 'nci YİÖ öznelikleri arasındaki Ki-karesel (Chi-Squared) uzaklığıdır. Daha açıklayıcı bir şekilde ifade edecek olursak, öncelikle her görüntüden YİÖ öznelikleri çıkarılır, daha sonra bu öznelikler arasında ki-karesel uzaklığı hesaplanarak bir matris oluşturulur.
- j . çerçeve için ortalama benzersizlik skoru (d_j) kalan $N - 1$ çerçeve ile M matrisinin j . satırındaki elemanların ortalamalarıyla hesaplanır.
- 3. adımda hesaplanan ortalamalar azalan sırada sıralanır ve en yüksek ortalama değere sahip K adet çerçeve en benzersiz çerçeveler olarak etiketlenir.

Seçilen bu çerçeveler video içeriklerinde yer alan en benzersiz (farklı) çerçeveler olarak adlandırılır. Tez çalışmasında tüm görüntüler arasından en benzersiz birinci görüntü kullanılmıştır. Şekil 2.46 (a)'da KMED veri setinde yer alan D01 deneği komik bir video izlerken kaydedilmiş video görüntüsünden çıkarılan çerçeve dizisi ve Şekil 2.46 (b)'de bu diziden seçilen en benzersiz ilk üç yüz görüntüsü verilmiştir. Şekil 2.47 (a)'da DEAP veri setinde yer alan bir kadın deneğe ait video görüntüsünden çıkarılan çerçeve dizisi ve Şekil 2.47 (b)'de bu diziden seçilen en benzersiz ilk üç yüz görüntüsü verilmiştir. Her iki veri seti için de elde edilen benzersiz yüz görüntüleri incelendiğinde algoritmanın bazı özel durumlar dışında sorunsuz çalıştığı görülmektedir. Deneklerin komik içerikli videoları izlerken gülmeleri ve buna bağlı olarak gözlerini kapamaları veya rahatlama içerikli videoları izlerken tebessüm etmeleri bu özel durumlardan bazılarıdır. Bu durumlarda da algoritma hangi görüntüyü en benzersiz olarak belirlediye o görüntü kullanılmıştır.

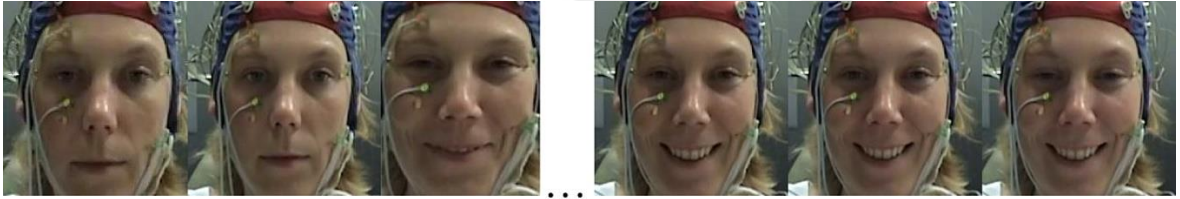


(a)



(b)

Şekil 2.46. KMED veri seti için (a) yüz görüntülerini içeren örnek bir çerçeve dizisi ve (b) ilk üç en benzersiz yüz görüntüsü



(a)



(b)

Şekil 2.47. DEAP veri seti için (a) yüz görüntülerini içeren örnek bir çerçeve dizisi ve (b) ilk üç en benzersiz yüz görüntüsü

3. BULGULAR VE İRDELEME

3.1. DEAP Veri Seti İçin Bulgular ve İrdeleme

Literatürdeki hem tek modlu hem çok modlu duygu tanıma çalışmaları incelendiğinde DEAP veri setinin en çok tercih edilen kıyaslama veri setlerinden olduğu görülmektedir. Bu nedenle tez çalışması kapsamında yapılan ilk deneyler DEAP veri seti ile yürütülmüştür. Tez çalışmasının bu kısmında DEAP veri setine uygulanan tüm yöntemlerden elde edilen sınıflandırma doğrulukları ayrı ayrı verilmektedir. Ek olarak DEAP veri setine uygulanan tüm yöntemler ve bu yöntemlerden elde edilen sınıflandırma doğruluklarının yer aldığı tüm tabloların özeti ise Tablo 3.1’de verilmektedir.

Tablo 3.1. DEAP veri setine uygulanan tüm yöntemler sonucunda elde edilen sınıflandırma doğruluklarının yer aldığı tablo isimleri

AGD-I’ in uygulanmasıyla elde edilen tüm sonuçlar (Bölüm 2.1)	Sadece EEG sinyallerinin sınıflandırılmasıyla elde edilen sonuçlar VAL için Tablo 3.3’de ARO için Tablo 3.4’te
	Sadece EOG sinyallerinin sınıflandırılmasıyla elde edilen sonuçlar VAL için Tablo 3.5’te ARO için Tablo 3.6’te
	ÖSB-1 uygulanmasıyla elde edilen sonuçlar VAL için Tablo 3.7’de ARO için Tablo 3.8’de
	ÖSB-2 uygulanmasıyla elde edilen sonuçlar VAL için Tablo 3.9’da ARO için Tablo 3.10’da
AGD-II’ nin uygulanmasıyla elde edilen tüm sonuçlar (Bölüm 2.2)	Birinci AGD yaklaşımının uygulanmasıyla elde edilen sonuçlar K-EYK için Tablo 3.12’de DVM için Tablo 3.13’te
	İkinci AGD yaklaşımının uygulanmasıyla elde edilen sonuçlar K-EYK için Tablo 3.14’te DVM için Tablo 3.15’te

Tablo 3.1'in ilk sütununda uygulanan AGD yaklaşımları (AGD-I ve AGD-II) verilmiştir. Diğer sütunda ise AGD-I için füzyon yöntemlerden önce (sadece EEG ve EOG) ve sonra (ÖSB-1 ve ÖSB-2 için) elde edilen sınıflandırma doğruluklarının yer aldığı tablo isimleri verilmiştir. AGD-II için önerilen iki ayrı AGD yaklaşımından (Birinci AGD ve İkinci AGD) sonra füzyon yöntemlerin (SSB ve ÖSB-3) uygulanması ve ardından füzyon vektörlerin sınıflandırılmasından (K-EYK ve DVM) elde edilen doğruluklarının yer aldığı tablo isimleri verilmiştir.

3.1.1. DEAP Veri Seti

DEAP veri seti (A database for emotion analysis using physiological signals) Londra'daki Queen Mary Üniversitesinde yer alan bir grup araştırmacı tarafından insan duygu analizi için hazırlanmış çok kanallı bir veri setidir [6]. Veri seti EEG sinyalleri, çevresel sinyaller ve ilk 22 deneğe ait yüz görüntü videolarını içermektedir. Kayıtlar 19 ve 37 yaşları arasında 32 sağlıklı denekten 40 adet bir dakika uzunluğundaki müzik videolarının izlenmesi sırasında alınmıştır. Video izleme tamamlandıktan sonra deneklerden videoları oylamaları istenmiştir. Bu oylama 1-9 aralığındaki değerlerle dört farklı kategoride (arousal, valence, liking ve dominance) gerçekleştirilmiştir.

Duygu durumu genel olarak Valence (VAL) ve Arousal (ARO) olarak adlandırılan iki boyutlu parametre uzaylarında temsil edilir [54]. Bu iki ölçek duyguları tanımlamak için olumsuzdan olumluya (negatiften pozitif) değişir [15]. Ölçeklere ait tanımlar ise sırasıyla şu şekildedir. Valence hoş olan duygu durumundan (mutluluk vb.) hoş olmayan duygu durumuna (mutsuzluk vb.) kadar olumlu ve olumsuz duygu durumlarını ifade eder. Arousal ise uyarılma durumunu temsil eder. Yani yüksek seviyeden (heyecanlı vb.) düşük seviyeye (sıkılmış vb.) kadar olan aralıktaki aktiviteyi veya hareketsizliği belirtir [55]. Tez çalışmasının bu kısmında duygu durumlarının tespiti için DEAP veri setinde yürütülen deneyler VAL ve ARO boyutlarında gerçekleştirilmiştir. Gerçek etiket değerlerini elde etmek için eşik değer olarak 5 seçildikten sonra [1, 5) aralığı (sınıf 0) olarak etiketlenirken [5-9] aralığı (sınıf 1) olarak etiketlenmiştir. Diğer bir deyişle eğer ortalama değer 5'ten küçükse veri "0" olarak, eğer 5'e eşit veya büyükse "1" olarak etiketlenmiştir. Bu sınıf

ayrımı [56, 57, 58] literatür çalışmalarından faydalanılarak yapılmıştır. Veri setine ait bazı tanımlamalar Tablo 3.2’de sunulmuştur.

Tablo 3.2. DEAP veri seti için detaylı bilgi

Veri	Veri Boyutu	Veri İçeriği
Kayıt Verisi	40×40×8064	(Video/deneme) Veri kanalları
Etiket Verisi	40×4	(Video/deneme) Etiket (valence, arousal, dominance, liking)

3.1.2. AGD-I İçin Deneysel Sonuçlar ve Analizler

Tez çalışmasında yöntemlerin performansları doğru bir şekilde değerlendirilmek istenmiştir. Bu nedenle 11-kat çapraz geçişleme prosedürü 10 kez yürütülerek ve ortalamaları alınarak gerçekleştirilmiştir. Doğrulama sürecinde, tüm veri seti her bir çapraz geçişleme prosedürü için rastgele 11 farklı alt veri kümesine ayrılmıştır. Bu alt veri kümelerinden her seferinde birisi test için kullanılırken diğerleri eğitim için kullanılmıştır. Bu işlem 10 kez tekrarlanarak ortalama sonuçlar hesaplanmıştır. Bu çapraz geçişleme prosedüründe rastgele 3 veya 4 örnek test için ayrılırken geri kalan 36 veya 37 örnek eğitim için ayrılmıştır. Çünkü DEAP veri setindeki tüm denekler için toplam deneme sayısı 40’tır ve bu sayı kat sayısına bölündüğünde 3 veya 4 arasında bir değer elde edilmektedir. Bu işlemler önerilen 2B modellerin üreteceği sonuçların daha gerçekçi ve güvenilir olması için gereklidir. Çalışmada performans metriği olarak kılavuzlu öğrenme yaklaşımlarının sınıflandırma performanslarını ifade etmede sıklıkla tercih edilen doğruluk kriteri $Doğruluk = (TP + TN)/(TP + TN + FP + FN)$ kullanılmıştır. Bu sebeple, DP (Doğru Pozitif), gerçekte pozitif kümeye dahil olup test sonucuna göre pozitif çıkan durum; YP (Yanlış Pozitif), gerçekte negatif kümeye dahil olup test sonucunun hatalı olarak pozitif çıktığı durum; YN (Yanlış Negatif), gerçekte pozitif kümeye dahil olup test sonucunun hatalı olarak negatif çıktığı durum ve DN (Doğru Negatif), gerçekte negatif kümeye dahil olup test sonucuna göre negatif çıkan durum değerleri hesaplanmıştır. Ek olarak AGD-I ile ilgili öznetelik çıkarma ve sınıflandırma aşamalarında kullanılan tüm algoritmalar için parametreler ızgara tabanlı arama yardımıyla sadece eğitim verisi kullanılarak seçilmiştir.

Bu aşamada ilk denek olan S01'e ait veriler rastgele 11 alt parçaya bölünmüş bunlardan biri validasyon ve diğerleri eğitim için kullanılmıştır. Dikkat edilmesi gereken diğer bir hususta parametrelere ilk deneye ait veriler üzerinden karar verilmiş, diğerleri için de bu parametreler kullanılmıştır. Öznitelik çıkarma kısmında kullanılan ÖBÖD için yarıçap değeri r ile Harris algoritması için t ve σ parametreleri oldukça önemlidir. Bu parametreler için belirlenen optimum değerler ÖBÖD için $r = 6$ ile Harris için $t = 3000$ ve $\sigma = 4$ 'tür. Sınıflandırmada kullanılan DVM algoritması için de C ve γ parametreleri oldukça önemlidir. Çalışmada C parametre değerleri $2^{-15} \leq C \leq 2^{+15}$ ve γ parametre değerleri $1 < \gamma < 300$ aralıklarında sınanmıştır. Bu parametrelerin alt limitlerin daha fazla azaltıldığı veya üst limitlerinin daha fazla artırıldığı durumlarda sınıflandırma doğruluklarının olumsuz etkilendiği gözlemlendiğinden alt ve üst limitler bu şekilde sınırlandırılmıştır.

Tez çalışmasında önerilen öznitelik seviyesinde füzyon yöntemlerinden önce EEG ve EOG sinyallerine sinyal görüntü dönüşümü uygulanmıştır. Bunun nedeni hem EEG hem de EOG sinyallerinden elde edilen sinyal görüntülerini ayrı ayrı sınıflandırılarak füzyon yöntemin katkısı ve geçerliliğini açıkça ortaya koymaktır.

3.1.2.1. EEG Sinyallerine SGD Uygulanmasıyla Elde Edilen AGG'ler İçin DeneySEL Sonuçlar ve Analizler

Sadece EEG sinyalleri ile elde edilmiş sinyal görüntülerine ait sınıflandırma sonuçları VAL boyutu için Tablo 3.3 ve ARO boyutu için Tablo 3.4'te verilmiştir. Bölüm 3.1.2'de yer alan tüm tabloların ilk sütunu S01-S16 şeklinde denek isimlerini, diğer sütunlar yedi ayrı yaklaşıma ait doğruluk değerlerini göstermektedir. Önerilen yaklaşımların en yüksek doğruluk değerleri her denek için ayrıca kalın fontta gösterilmiştir. Tablolarda yer alan tüm sonuçlar yüzde olarak verilmiş olup DEAP veri setindeki ilk 16 deneye ait sonuçları içermektedir.

DEAP veri setinde yer alan EEG sinyalleri 32 kanaldan kaydedilmiştir. Tez çalışmasında sinyaller her kanal için ayrı ayrı görüntülere dönüştürülüp hepsi için ayrı sonuçlar alınmıştır. Tablolardaki doğruluk değerleri sinyal görüntüleri için en başarılı sonuçları ifade etmektedir. Bu değerlerin yanında sonucun alındığı elektrot konumuna denk gelen değerler parantez içinde verilmiştir. Aynı doğruluk değerlerinin birçok elektrottan elde edildiği durumlarda tüm elektrot konumlarına denk gelen değerler parantez içinde

verilmiştir. Elektrotların karşılık geldiği değerler şu şekildedir: (1) Fp1, (2) AF3, (3) F7, (4) F3, (5) FC1, (6) FC5, (7) T7, (8) C3, (9) CP1, (10) CP5, (11) P7, (12) P3, (13) Pz, (14) PO3, (15) O1, (16) Oz, (17) O2, (18) PO4, (19) P4, (20) P8, (21) CP6, (22) CP2, (23) C4, (24) T8, (25) FC6, (26) FC2, (27) F4, (28) F8, (29) AF4, (30) Fp2, (31) Fz, (32) Cz.

Tablo 3.3. Sadece EEG sinyallerinden elde edilen sinyal görüntülerinin VAL boyutundaki sınıflandırılma sonuçları

Denek	Yaklaşım-1	Yaklaşım-2	Yaklaşım-3	Yaklaşım-4	Yaklaşım-5	Yaklaşım-6	Yaklaşım-7
S01	90.91 (12)	87.88 (7)	85.61 (24)	86.36 (4)	85.61 (12,28)	82.58 (12)	84.85 (17,28)
S02	85.76 (22)	84.5 (10,29)	86.97 (13)	91.52 (18)	85.3 (27)	87.58 (28)	91.06 (28)
S03	84.85 (14)	83.33 (10)	84.85 (13,2)	83.33 (24)	82.58 (19)	88.64 (27)	78.03 (12,13,19)
S04	90.91 (12)	95.91 (6)	90.15 (6,18)	88.64 (5,31)	89.85 (18)	87.12 (10)	90.91 (9)
S05	85.61 (1)	87.58 (24)	83.94 (1)	85.3 (6)	87.88 (18)	81.97 (6)	86.06 (26)
S06	95.45 (8)	90.15 (3,18)	89.39 (10)	87.88 (26)	87.88 (1,28)	92.42 (8)	93.18 (32)
S07	89.09 (2)	87.12 (24)	92.42 (11)	90.15 (12)	90.15 (13)	85.61 (2,16)	90.91 (16)
S08	90.91 (7)	85.61 (11)	86.36 (18)	81.06 (3)	86.36 (32)	84.09 (32)	83.33 (25)
S09	88.64 (5,7)	85.61 (1)	85.61 (24)	87.12 (1)	82.58 (7)	90.91 (13)	81.82 (22)
S10	87.88 (9)	82.58 (32)	88.64 (10)	83.33 (8,18)	86.36 (22)	89.39 (10)	90.91 (19)
S11	89.88 (10)	87.28 (32)	85 (14)	85.3 (24)	83.79 (10)	86.52 (26)	87.12 (2)
S12	87.12 (28)	87.88 (6)	90.15 (32)	88.64 (23)	90.15 (12)	84.85 (11)	88.64 (29)
S13	93.18 (1)	85.61 (8,29)	93.64 (13,19)	90.91 (11,14,31)	88.64 (19)	93.18 (29)	86.36 (17)
S14	84.09 (13)	88.64 (12)	84.85 (22)	88.64 (29)	87.88 (26,2)	84.09 (11)	89.39 (3)
S15	87.88 (16)	88.64 (11)	93.18 (11)	87.88 (22)	87.12 (5)	86.36 (5)	84.09 (30)
S16	88.64 (5)	87.12 (3,17)	90.91 (20)	94.69 (11)	91.82 (27)	90.61 (22)	87.58 (2,27)
ORT±SS	88.57±3.20	87.17±3.17	88.40±3.28	87.63±3.55	87.22±2.78	87.56±3.27	87.29±4.13

Tablo 3.3'te sadece EEG sinyallerinden elde edilen sinyal görüntülerinin VAL boyutundaki sınıflandırma doğrulukları verilmektedir. Tüm denekler için farklı yaklaşımlarla elde edilen en başarılı sınıflandırma doğrulukları sırasıyla şu şekildedir: S01 için Yaklaşım-1 ile %90.91, S02 için Yaklaşım-4 ile %91.52, S03 için Yaklaşım-6 ile %88.64, S04 için Yaklaşım-2 ile %95.91, S05 için Yaklaşım-5 ile %87.88, S06 için Yaklaşım-1 ile %95.45, S07 için Yaklaşım-3 ile %92.42, S08 için Yaklaşım-1 ile %90.91; S09 için Yaklaşım-6 ile %90.91, S10 için Yaklaşım-7 ile %90.91, S11 için Yaklaşım-1 ile

%89.88, S12 için Yaklaşım-3 ve Yaklaşım-5 ile %90.15, S13 için Yaklaşım-3 ile %90.64, S14 için Yaklaşım-7 ile %89.39, S15 için Yaklaşım-3 ile %93.18 ve S16 için Yaklaşım-4 ile %94.69. Uygulanan yedi açı-genlik dönüşümü için VAL boyutunda 16 denek boyunca DVM ile elde edilen ortalama doğruluk ve standart sapmalar Yaklaşım-1 için 88.57 ± 3.20 , Yaklaşım-2 için 87.17 ± 3.17 , Yaklaşım-3 için 88.40 ± 3.28 , Yaklaşım-4 için 87.63 ± 3.55 , Yaklaşım-5 için 87.22 ± 2.78 , Yaklaşım-6 için 87.56 ± 3.27 ve Yaklaşım-7 için 87.29 ± 4.13 olarak hesaplanmıştır. Tüm denekler boyunca yedi yaklaşım arasında hesaplanan ortalama sınıflandırma doğrulukları Yaklaşım-1’de en yüksek değerleri Yaklaşım-2’de ise en düşük değerleri göstermiştir.

Tablo 3.4. Sadece EEG sinyallerinden elde edilen sinyal görüntülerinin ARO boyutundaki sınıflandırılma sonuçları

Denek	Yaklaşım-1	Yaklaşım-2	Yaklaşım-3	Yaklaşım-4	Yaklaşım-5	Yaklaşım-6	Yaklaşım-7
S01	85.61 (19)	89.09 (17)	86.36 (8)	90.61 (1)	84.85 (17)	87.12 (22)	87.27 (1)
S02	90.15 (25)	83.33 (30)	95.15 (14)	92.42 (28)	90.61 (14)	81.97 (2)	83.79 (28)
S03	95.45 (20)	93.18 (18)	90.91 (18,19,29,32)	95.45 (24)	90.15 (6)	90.91 (6,18,24,30)	90.91 (11)
S04	90.91 (16)	89.09 (6)	89.39 (6,31)	89.39 (24,30)	88.79 (16)	97.73 (4)	93.18 (6,31)
S05	84.09 (3)	87.88 (5)	93.18 (17)	87.88 (7)	90.15 (3)	92.42 (1)	84.85 (8)
S06	83.33 (27)	87.88 (16)	82.73 (19)	80.76 (20)	84.85 (21)	81.82 (19)	79.55 (27)
S07	84.09 (30)	84.09 (27)	87.27 (3)	87.88 (2)	85.76 (10)	87.58 (11)	85.3 (5)
S08	85.3 (10)	82.73 (27)	89.85 (3)	87.88 (21)	90.61 (3)	83.33 (28)	83.03 (8)
S09	88.03 (17)	90.15 (31)	85.61 (29)	90.91 (20)	85.61 (28)	85.3 (28)	87.12 (6)
S10	84.85 (13)	84.85 (20)	88.64 (31)	82.58 (8)	84.09 (8)	90.15 (14)	83.33 (25)
S11	88.79 (5)	85.3 (16)	83.18 (9)	84.82 (17)	86.85 (20)	90.61 (24)	87.88 (2)
S12	93.17 (4,8,9,12,18)	95.45 (5)	97.73 (2)	95.45 (17,22)	95.45 (23)	93.18 (6,17)	93.18 (15,18)
S13	93.18 (4,32)	93.18 (27)	90.18 (19)	93.18 (30)	93.64 (2)	93.18 (32)	93.64 (23,32)
S14	89.39 (4,32)	94.69 (14)	83.79 (12)	88.33 (6)	90.15 (3)	84.24 (22)	90.3 (23)
S15	88.64 (5)	84.09 (21)	84.85 (20)	84.85 (17)	87.88 (31)	89.39 (12)	82.58 (6,26,30)
S16	95.45 (5)	86.36 (3,19)	85.61 (20)	92.42 (2)	87.12 (20)	85.61 (9)	87.88 (4,17)
ORT $\pm$ SS	88.89 $\pm$ 4.10	88.15 $\pm$ 4.31	88.54 $\pm$ 4.46	88.95$\pm$4.44	88.78 $\pm$ 3.21	88.49 $\pm$ 4.70	87.10 $\pm$ 4.39

Tablo 3.4’te sadece EEG sinyallerinden elde edilen sinyal görüntülerinin ARO boyutundaki sınıflandırılma doğrulukları verilmektedir. Tüm deneklere yaklaşımların ayrı ayrı uygulanması sonucu elde edilen en başarılı doğruluk değerleri şu şekildedir: S01 için

Yaklaşım-4 ile %90.61, S02 için Yaklaşım-3 ile %95.15, S03 için Yaklaşım-1 ve Yaklaşım-4 ile %95.45, S04 için Yaklaşım-6 ile %97.73, S05 için Yaklaşım-3 ile %93.18, S06 için Yaklaşım-2 ile %87.88, S07 için Yaklaşım-4 ile %87.88, S08 için Yaklaşım-5 ile %90.61; S09 için Yaklaşım-4 ile %90.91, S10 için Yaklaşım-6 ile %90.15, S11 için Yaklaşım-6 ile %90.61, S12 için Yaklaşım-3 ile %97.73, S13 için Yaklaşım-5 ve Yaklaşım-7 ile %93.64, S14 için Yaklaşım-2 ile %94.64, S15 için Yaklaşım-6 ile %89.39 ve S16 için Yaklaşım-1 ile %95.45. Uygulanan 7 açı-genlik dönüşümü için ARO boyutunda 16 denek boyunca DVM ile hesaplanan ortalama doğruluk ve standart sapmalar Yaklaşım-1 için 88.89 ± 4.10 , Yaklaşım-2 için 88.15 ± 4.31 , Yaklaşım-3 için 88.54 ± 4.46 , Yaklaşım-4 için 88.95 ± 4.44 , Yaklaşım-5 için 88.78 ± 3.21 , Yaklaşım-6 için 88.49 ± 4.70 ve Yaklaşım-7 için 87.10 ± 4.39 olarak hesaplanmıştır. Tüm denekler boyunca yedi yaklaşım arasında hesaplanan ortalama sınıflandırma doğrulukları Yaklaşım-4 ile en yüksek değerde olurken Yaklaşım-7’de en düşük değerde olmaktadır.

Sonuçlar incelendiğinde önerilen yaklaşımlar sayesinde tek kanaldan edinilen sinyallerin de duygu tanıma işleminde kullanılabileceği görülmektedir. Buna ek olarak uygulanan dönüşüm yaklaşımları sayesinde sinyal tabanlı duygu tanıma çalışmalarında tercih edilmeyen öznitelik çıkarma yöntemlerinin de kullanılabilirliği sağlanmıştır.

3.1.2.2. EOG Sinyallerine SGD Uygulanmasıyla Elde Edilen AGG’ler İçin DeneySEL Sonuçlar ve Analizler

Tez çalışmasının bu kısmında EEG sinyallerine olduğu gibi EOG sinyallerine de sinyal görüntü dönüşümü uygulanmış ve dönüşüm sonrasında elde edilen sinyal görüntüleri sınıflandırılmıştır. Bu işlemin amacı çok modlu yaklaşımın duygu tanıma çalışmalarına olan katkısını tam anlamıyla ortaya koymaktır. EOG sinyallerine sinyal görüntü dönüşümü uygulanması sonucu ortaya çıkan sinyal görüntülerinin VAL ve ARO boyutlarında sınıflandırılmasından elde edilen doğruluklar sırasıyla Tablo 3.5 ve Tablo 3.6’da ki gibidir. Tablolarda hesaplanan doğruluk değerlerinin yanında parantez içinde veriler değerler EOG sensör elektrot konumlarına karşılık gelen değerleri belirtmektedir. Sırasıyla 33 değeri EXG1 (sol gözün sol tarafı), 34 EXG2 (sağ gözün sağ tarafı), 35 EXG3 (sağ gözün üstü) ve 36 ise EXG4 (sağ gözün altı) sensör elektrot konumuna denk gelmektedir.

Her bir denek için EOG sinyallerinden elde edilen sinyal görüntülerine yaklaşımların uygulanmasıyla VAL için elde edilen en başarılı doğruluklar şu şekildedir: S01 için Yaklaşım-4 ile %83.83, S02 için Yaklaşım-7 ile %91.36, S03 için Yaklaşım-1 ve Yaklaşım 7 ile %85.61, S04 için Yaklaşım-4 ile %87.58, S05 için Yaklaşım-3 ile %85.61, S06 için Yaklaşım-4 ile %90.91, S07 için Yaklaşım-5 ile %90.15, S08 için Yaklaşım-7 ile %91.67; S09 için Yaklaşım-1 ile %87.88, S10 için Yaklaşım-5 ile %80.3, S11 için Yaklaşım-7 ile %86.52, S12 için Yaklaşım-1 ile %85, S13 için Yaklaşım-2 ile %84.85, S14 için Yaklaşım-1 ile %83.33, S15 için Yaklaşım-2 ile %93.94 ve S16 için Yaklaşım-4 ile %82.73. Uygulanan tüm açı-genlik dönüşümleri için VAL boyutunda 16 denek boyunca DVM ile hesaplanan ortalama doğruluk ve standart sapma değerleri Yaklaşım-1 için 81.93 ± 3.98 , Yaklaşım-2 için 82.07 ± 5.06 , Yaklaşım-3 için 80.17 ± 5.45 , Yaklaşım-4 için 82.27 ± 4.28 , Yaklaşım-5 için 81.45 ± 3.72 , Yaklaşım-6 için 79.77 ± 3.36 ve Yaklaşım-7 için 83.24 ± 4.73 şeklindedir. Denekler boyunca yedi yaklaşım arasında ortalama doğruluk Yaklaşım-7 ile en yüksek değeri elde ederken Yaklaşım-6 ile en düşüğü elde etmiştir.

Tablo 3.5. Sadece EOG sinyallerinden elde edilen sinyal görüntülerinin VAL boyutundaki sınıflandırma sonuçları

Denek	Yaklaşım-1	Yaklaşım-2	Yaklaşım-3	Yaklaşım-4	Yaklaşım-5	Yaklaşım-6	Yaklaşım-7
S01	80 (33)	74.24 (33)	70.45 (34)	83.83 (33)	80.3 (34)	75 (36)	77.27 (34)
S02	83.18 (35)	84.55 (36)	83.33 (35)	85.76 (36)	76.21 (34)	78.64 (35)	91.36 (34)
S03	85.61 (35)	84.85 (35)	80.3 (34)	81.06 (35)	80.03 (36)	77.27 (35)	85.61 (36)
S04	83.03 (34)	86.52 (34)	86.52 (34)	87.58 (34)	84.09 (33)	81.52 (34)	83.33 (34)
S05	80.3 (36)	79.24 (34)	85.61 (34)	81.52 (35)	81.21 (34)	84.85 (36)	80.45 (34)
S06	90.15 (36)	85.61 (35)	87.88 (34)	90.91 (35)	87.88 (34)	87.12 (34)	89.39 (33)
S07	80 (33)	84.85 (36)	78.03 (33)	81.52 (36)	90.15 (36)	77.42 (33)	84.85 (36)
S08	83.33 (35)	82.58 (36)	75 (35)	81.82 (33)	78.79 (33)	82.58 (35)	91.67 (33)
S09	87.88 (34)	80.3 (34,35)	79.55 (33)	85.61 (33)	85.61 (35)	82.58 (35)	81.82 (35)
S10	80 (33)	78.79 (36)	78.79 (34)	79.55 (33)	80.3 (36)	76.52 (36)	79.55 (36)
S11	76.97 (34)	81.21 (33)	78.94 (34)	83.03 (36)	82.58 (35)	78.18 (36)	86.52 (36)
S12	85 (33)	81.06 (35)	79.55 (33)	74.24 (35)	79.55 (35)	81.82 (36)	78.03 (33)
S13	78.79 (34)	84.85 (36)	84.09 (34)	77.27 (33)	79.55 (36)	78.79 (33,34)	80.3 (35)
S14	83.33 (36)	74.24 (36)	71.21 (34,35)	75.76 (33)	79.55 (33,36)	79.55 (34)	76.52 (34)
S15	77.27 (35)	93.94 (34)	87.88 (34)	84.09 (33)	78.79 (33,34)	75.76 (34,35)	83.33 (36)
S16	76 (33)	76.21 (36)	75.61 (34)	82.73 (35)	78.64 (35)	78.79 (35)	81.82 (34)
ORT $\pm$ SS	81.93 ± 3.98	82.07 ± 5.06	80.17 ± 5.45	82.27 ± 4.28	81.45 ± 3.72	79.77 ± 3.36	83.24 ± 4.73

Tablo 3.6. Sadece EOG sinyallerinden elde edilen sinyal görüntülerinin ARO boyutundaki sınıflandırma sonuçları

Denek	Yaklaşım-1	Yaklaşım-2	Yaklaşım-3	Yaklaşım-4	Yaklaşım-5	Yaklaşım-6	Yaklaşım-7
S01	76 (33)	80 (36)	89.85 (36)	79.55 (33)	81.82 (36)	85.3 (34)	79.69 (36)
S02	82.58 (35)	75.45 (34,35)	73.64 (36)	74.09 (33)	76.97 (34)	72.73 (36)	77.73 (33)
S03	86 (33)	90.91 (36)	86.36 (36)	88.64 (33,34,35)	88.64 (33)	88.64 (33)	93.18 (34)
S04	86 (33)	86.36 (34)	82.27 (33)	83.79 (34)	82.73 (34)	82.27 (35)	85.76 (34)
S05	85.61 (36)	74.24 (33,34)	72.73 (36)	86.36 (34)	72.73 (34)	81.06 (33)	68.94 (35)
S06	80 (33)	81.52 (34)	79.55 (35)	79.24 (33)	78.03 (35)	73.64 (35)	81.82 (34)
S07	78.94 (36)	81.52 (34)	81.82 (35)	81.52 (34)	84.09 (35)	83.18 (33)	82.73 (33)
S08	72.73 (36)	82.58 (35)	75.76 (36)	78.03 (33)	74.69 (33)	74.24 (33)	79.69 (35)
S09	75.0 (33)	75.15 (33)	67.58 (35)	74.39 (35)	81.21 (34)	77.73 (35)	82.27 (34)
S10	72.73 (36)	81.06 (35)	75 (34)	83.33 (35)	75.76 (35)	80.3 (35)	78.03 (34,35)
S11	76 (33)	83.48 (34)	77.42 (35)	85 (34)	77.73 (36)	79.55 (34)	78.64 (36)
S12	90.91 (36)	88.64 (35)	86.36 (33,35,36)	86.36 (33,34,35)	90.91 (35)	88.64 (33)	88.64 (33,35,36)
S13	93.64 (34)	95.91 (34)	90.91 (35)	93.18 (35)	89.09 (33,35)	95.45 (35)	90.91 (35)
S14	81.21 (35)	80 (34)	85.3 (35)	80.76 (35)	77.78 (34)	84.24 (33)	75.3 (33)
S15	78.79 (33)	75.76 (34)	72.73 (33)	86.36 (33)	74.24 (36)	87.12 (36)	83.33 (36)
S16	89.39 (36)	86.36 (36)	84.09 (33)	82.58 (36)	88.64 (35)	85.61 (36)	88.64 (36)
ORT±SS	81.59±6.48	82.43±6.07	80.09±6.83	82.69±5.06	80.94±5.89	82.48±6.14	82.21±6.22

Deneklerin EOG sinyallerine ait sinyal görüntülerine yaklaşımların ayrı ayrı uygulanması sonucu ARO için elde edilen en başarılı doğruluk değerleri şu şekildedir: S01 için Yaklaşım-3 ile %89.85, S02 için Yaklaşım-1 ile %82.58, S03 için Yaklaşım-7 ile %93.18, S04 için Yaklaşım-2 ile %86.36, S05 için Yaklaşım-4 ile %86.36, S06 için Yaklaşım-7 ile %81.82, S07 için Yaklaşım-5 ile %84.09, S08 için Yaklaşım-2 ile %82.58; S09 için Yaklaşım-7 ile %82.27, S10 için Yaklaşım-4 ile %83.33, S11 için Yaklaşım-4 ile %85, S12 için Yaklaşım-1 ve Yaklaşım-5 ile %90.91, S13 için Yaklaşım-2 ile %95.91, S14 için Yaklaşım-3 ile %85.3, S15 için Yaklaşım-6 ile %87.12 ve S16 için Yaklaşım-1 ile %89.39. Uygulanan açı-genlik dönüşümü yaklaşımlarının ARO boyutunda 16 denek boyunca DVM ile hesaplanan ortalama doğruluk ve standart sapmaları Yaklaşım-1 için

$\%81.59 \pm 6.48$, Yaklaşım-2 için $\%82.43 \pm 6.07$, Yaklaşım-3 için $\%80.09 \pm 6.83$, Yaklaşım-4 için $\%82.69 \pm 5.06$, Yaklaşım-5 için $\%80.94 \pm 5.89$, Yaklaşım-6 için $\%82.48 \pm 6.14$ ve Yaklaşım-7 için $\%82.21 \pm 6.22$ şeklindedir. Tüm denekler boyunca yedi yaklaşım arasında hesaplanan ortalama sınıflandırma doğrulukları Yaklaşım-4 ile en yüksek şekilde gözlenirken Yaklaşım-3 ile en düşük seviyede gözlenmiştir.

3.1.2.3. EEG ve EOG Sinyallerinden Elde Edilen AGG'lere ÖSB-1 ve ÖSB-2 Uygulanmasıyla Elde Edilen Deneysel Sonuçlar ve Analizler

Tez çalışmasının esas amacı çok modlu yaklaşımların duygu tanımaya katkısını incelemektir. Bu amaçla Bölüm 2.1.5.1'de önerilen ÖSB-1'in uygulanmasıyla elde edilen sınıflandırma doğrulukları VAL boyutu için Tablo 3.7'de verilirken ARO boyutu için ise Tablo 3.8'de verilmiştir. Benzer şekilde Bölüm 2.1.5.2'de önerilen ÖSB-2'nin uygulanması sonucu elde edilen sınıflandırma doğrulukları VAL boyutu için Tablo 3.9'da verilirken ARO boyutu için Tablo 3.10'da verilmiştir. Sonuçlar DEAP veri setinin ilk 16 denegine aittir ve yüzde olarak sunulmuştur. Doğrulukların yanında sonucun alındığı kanal numaraları parantez içinde verilmiştir. Değerlerden ilki EEG sinyal görüntüsünün elde edildiği kanal numarasını ikincisi ise EOG sinyal görüntüsünün elde edildiği kanal numarasını göstermektedir. Aynı doğruluk değerlerinin farklı kanal birleşimlerinden elde edildiği durumlarda kanal bilgileri farklı parantezler içinde verilmiştir. Örneğin Tablo 3.7'de görüldüğü gibi S05 için elde edilen $\%90.91$ 'lik doğruluk değeri Yaklaşım-3'ün uygulanması sonucu oluşan sinyal görüntülerinin öznitelik seviyesinde birleştirilmesiyle hesaplanmıştır. Parantez için verilen (18-36) değerlerinin anlamı şu şekildedir: $\%90.91$ doğruluk değeri 18. kanaldan elde edilen EEG sinyal görüntüsü ile 36. kanaldan elde edilen EOG sinyal görüntüsünün öznitelik seviyesinde birleştirilmesinden elde edilmiştir. Benzer şekilde Tablo 3.8'de S16 için kaydedilen $\%93.18$ doğruluk değeri Yaklaşım-2'nin uygulanmasıyla oluşan sinyal görüntülerinin öznitelik seviyesinde birleştirilmesiyle elde edilmiştir. Parantez içinde gösterilen (27-34) ve (32-34) numara çiftlerinin anlamı şu şekildedir: $\%93.18$ doğruluk değeri 24. kanaldan elde edilen EEG sinyal görüntüsü ile 34. kanaldan elde edilen EOG sinyal görüntüsünün öznitelik seviyesinde birleştirilmesinden elde edildiğini göstermekle birlikte, $\%93.18$ 'lik doğruluğun aynı zamanda 32. kanaldan elde edilen EEG sinyal görüntüsü ile 34. kanaldan elde edilen EOG sinyal görüntüsünün öznitelik seviyesinde

birleştirilmesinden de elde edildiğini göstermektedir. Yine benzer şekilde Tablo 3.17’de S02 için kaydedilen %88.33 doğruluk değeri Yaklaşım-1’nin uygulanmasıyla oluşan sinyal görüntülerinin öznetelik seviyesinde birleştirilmesiyle elde edilmiştir. Parantez içinde gösterilen (16,19-33) numara çiftlerinin anlamı şu şekildedir: %88.33 doğruluk değeri hem 16. kanaldan elde edilen EEG sinyal görüntüsü ile 33. kanaldan elde edilen EOG sinyal görüntüsünün öznetelik seviyesinde birleştirilmesinden hem de 19. kanaldan elde edilen EEG sinyal görüntüsü ile 33. kanaldan elde edilen EOG sinyal görüntüsünün öznetelik seviyesinde birleştirilmesinden aynı sonucun elde edildiğini göstermektedir.

ÖSB-1 yaklaşımı ile VAL boyutunda elde edilen sınıflandırma doğrulukları Tablo 3.7’de verilmektedir. Yaklaşımların her bir deneğe ayrı ayrı uygulanması sonucu elde edilen en başarılı sınıflandırma doğrulukları şu şekildedir: S01 için Yaklaşım-1 ve Yaklaşım-3 ile %90.15, S02 için Yaklaşım-2 ve Yaklaşım-7 ile %90.91, S03 için Yaklaşım-2 ile %90.91, S04 için Yaklaşım-4 ile %95.15, S05 için Yaklaşım-3 ile %90.91, S06 için Yaklaşım-1 ile %97.73, S07 için Yaklaşım-5 ile %93.18, S08 için Yaklaşım-2 ile %91.67; S09 için Yaklaşım-1 ile %90.91, S10 için Yaklaşım-7 ile %95.45, S11 için Yaklaşım-4 ile %91.06, S12 için Yaklaşım-6 ile %94.69, S13 için Yaklaşım-2 ile %92.42, S14 için Yaklaşım-1 ile %90.91, S15 için Yaklaşım-2 ile %91.67 ve S16 için Yaklaşım-2 ile %93.64. Farklı açığın dönüşümü yaklaşımlarının 16 denek boyunca VAL boyutunda DVM ile elde ettiği ortalama doğruluk ve standart sapmalar Yaklaşım-1 için 90.31 ± 2.43 , Yaklaşım-2 için 90.12 ± 1.91 , Yaklaşım-3 için 89.69 ± 2.33 , Yaklaşım-4 için 89.35 ± 3.07 , Yaklaşım-5 için 90.03 ± 2.35 , Yaklaşım-6 için 89.36 ± 2.63 ve Yaklaşım-7 için 89.69 ± 2.94 şeklindedir. Tüm denekler boyunca yedi yaklaşım arasında hesaplanan ortalama sınıflandırma doğrulukları Yaklaşım-1 ile en yüksek değerde elde edilirken Yaklaşım-4 ile en düşük seviyede gözlenmiştir.

VAL boyutunda ÖSB-1 yaklaşımı ile denekler boyunca gözlenen ortalama doğruluk kazançları Yaklaşım-1 için %1.74 artışla %90.31, Yaklaşım-2 için %2.95 artışla %90.12, Yaklaşım-3 için %1.28 artışla %89.69, Yaklaşım-4 için %1.72 artışla %89.35, Yaklaşım-5 için %2.81 artışla %90.03, Yaklaşım-6 için %1.79 artışla %89.36 ve Yaklaşım-7 için %2.40 artışla %89.69 şeklindedir.

Tablo 3.7. ÖSB-1 yaklaşımının uygulanması sonucunda elde edilen VAL boyutundaki sınıflandırma sonuçları

Denek	Yaklaşım-1	Yaklaşım-2	Yaklaşım-3	Yaklaşım-4	Yaklaşım-5	Yaklaşım-6	Yaklaşım-7
S01	90,15 (12-34)	88,64 (12-36)	90,15 (17-36)	84,09 (12-33)	87,88 (23-34)	89,39 (21-33)	88,64 (15-35)
S02	88,33 (16,19-36)	90,91 (31-36)	89,39 (6-35)	90,15 (4-34)	86,52 (29-36)	90,3 (8-35)	90,91 (30-35)
S03	87,88 (31-36)	90,91 (31-36)	87,88 (25-36)	87,88 (31-34) (6,10-33)	87,88 (15-36) (3-33)	87,12 (18-34)	89,39 (6-36)
S04	92,42 (19,20-33)	90,61 (4,15-34)	93,18 (16-34)	95,15 (28-34)	90,15 (19-36)	92,88 (9-35)	90,15 (7-35)
S05	88,79 (13-36)	89,39 (1,9-35)	90,91 (18-36)	85 (12-34)	87,58 (12-33)	87,88 (9-35)	90,15 (32-34)
S06	97,73 (17-36)	90,91 (2,26,31-35)	93,18 (6-33)	92,42 (18-36)	94,69 (28-33)	92,42 (8-34)	90,91 (23-33) (16-34) (19,24-36)
S07	90,15 (24-35)	89,85 (12-35)	92,12 (8-36)	91,82 (27-35)	93,18 (18-35)	87,58 (13-36)	92,42 (19-35)
S08	90,15 (17-34)	91,67 (16-33)	90,91 (29-35)	88,64 (16-34)	87,12 (7-35)	88,64 (5-35)	84,85 (26-33)
S09	90,91 (6-35)	87,12 (18-34) (18-36)	86,36 (19-35)	87,88 (9-36)	90,15 (28-33)	87,88 (19-33)	89,39 (18-36)
S10	86,36 (17-34)	90,91 (22-34)	86,36 (3-34)	91,67 (21-34)	90,91 (5-33)	87,12 (7-36)	95,45 (23-33)
S11	90,91 (10-35)	87,58 (10-35)	90,61 (14-36)	91,06 (4-33)	89,85 (25-33)	83,79 (21-35)	88,33 (1,5-36)
S12	90,15 (25-33)	88,64 (6-34)	87,88 (18-35)	90,15 (8,16-33)	90,91 (5-35)	94,69 (1-36)	92,42 (2-34)
S13	90,15 (28-34)	92,42 (1-34)	87,88 (8-33)	88,64 (22-36)	90,91 (17-36)	89,39 (5-33)	83,33 (4-34)
S14	90,91 (8-33)	87,12 (10-33)	87,12 (3-35)	84,85 (11-33)	88,64 (14-33)	89,39 (5-33)	88,64 (1-36)
S15	90,15 (2-34)	91,67 (32-34)	88,64 (5-36)	87,88 (14,32-34)	90,91 (5-36)	90,15 (30-35)	87,88 (8-35)
S16	89,85 (3-36)	93,64 (12-36)	92,42 (2-33)	92,27 (9-35)	93,18 (31-35)	91,06 (29-36)	92,27 (17-35)
ORT±SS	90.31±2.43	90.12±1.91	89.69±2.33	89.35±3.07	90.03±2.35	89.36±2.63	89.69±2.94

Tablo 3.8’de ÖSB-1 yaklaşımının ARO boyutunda uygulanması sonucu elde edilen doğruluk değerleri verilmektedir. Her bir deneğe yaklaşımların ayrı ayrı uygulanması sonucu elde edilen en başarılı sınıflandırma doğrulukları şu şekildedir: S01 için Yaklaşım-7 ile %92.42, S02 için Yaklaşım-1 ile %89.58, S03 için Yaklaşım-3 ile %97.73, S04 için Yaklaşım-4 ile %98.18, S05 için Yaklaşım-7 ile %92.42, S06 için Yaklaşım-5 ile %94.69, S07 için Yaklaşım-3 ile %95.15, S08 için Yaklaşım-5 ile %91.3; S09 için Yaklaşım-6 ile

%93.18, S10 için Yaklaşım-4 ile %90.91, S11 için Yaklaşım-3 ile %91.67, S12 için Yaklaşım-5 ile %97.73, S13 için Yaklaşım-1 ve Yaklaşım-6 ile %97.73, S14 için Yaklaşım-2 ile %92.42, S15 için Yaklaşım-7 ile %90.15 ve S16 için Yaklaşım-7 ile %93.94. Her bir açı-genlik dönüşümü yaklaşımının 16 denek boyunca ARO boyutunda DVM ile hesaplanan ortalama doğruluk ve standart sapmaları Yaklaşım-1 için 90.46 ± 3.69 , Yaklaşım-2 için 91.05 ± 3.07 , Yaklaşım-3 için 90.45 ± 4.58 , Yaklaşım-4 için 90.15 ± 4.04 , Yaklaşım-5 için 90.19 ± 4.06 , Yaklaşım-6 için 90.96 ± 3.43 ve Yaklaşım-7 için 91.53 ± 2.14 şeklindedir. Tüm denekler boyunca yedi yaklaşım arasında hesaplanan ortalama sınıflandırma doğrulukları Yaklaşım-7 ile en üst seviyede gözlenirken Yaklaşım-4 ile en düşük seviyede gözlenmiştir.

ARO boyutunda ÖSB-1 yaklaşımı ile denekler boyunca gözlenen ortalama doğruluk kazançları Yaklaşım-1 için %1.47 artışla %90.46, Yaklaşım-2 için %2.89 artışla %91.05, Yaklaşım-3 için %1.91 artışla %90.45, Yaklaşım-4 için %1.20 artışla %90.15, Yaklaşım-5 için %1.41 artışla %90.19, Yaklaşım-6 için %2.46 artışla %90.96 ve Yaklaşım-7 için %4.42 artışla %91.53 olarak elde edilmiştir.

Tablo 3.9'da ÖSB-2 yaklaşımının VAL boyutunda uygulanması sonucu elde edilen sınıflandırma doğrulukları verilmektedir. Her bir deneye yaklaşımların ayrı ayrı uygulanması sonucu elde edilen en başarılı sınıflandırma doğrulukları şu şekildedir: S01 için Yaklaşım-6 ile %88.64, S02 için Yaklaşım-2 ile %90.15, S03 için Yaklaşım-4 ile %90.15, S04 için Yaklaşım-6 ile %92.27, S05 için Yaklaşım-2 ile %90.61, S06 için Yaklaşım-1 ile %92.42, S07 için Yaklaşım-7 ile %90.61, S08 için Yaklaşım-2, Yaklaşım-4, Yaklaşım-6 ve Yaklaşım-7 ile %86.36; S09 için Yaklaşım-1 ile %89.39, S10 için Yaklaşım-1 ve Yaklaşım-4 ile %90.15, S11 için Yaklaşım-7 ile %89.85, S12 için Yaklaşım-4 ile %92.42, S13 için Yaklaşım-5 ile %90.15, S14 için Yaklaşım-1 ile %92.42, S15 için Yaklaşım-4 ile %92.42 ve S16 için Yaklaşım-3 ile %91.36. Her bir açı-genlik dönüşümü yaklaşımının 16 denek boyunca VAL boyutunda 16 DVM ile hesaplanan ortalama doğruluk ve standart sapma değerleri Yaklaşım-1 için 87.76 ± 3.24 , Yaklaşım-2 için 87.57 ± 2.34 , Yaklaşım-3 için 85.88 ± 3.32 , Yaklaşım-4 için 88.59 ± 2.87 , Yaklaşım-5 için 86.81 ± 3.08 , Yaklaşım-6 için 86.77 ± 2.34 ve Yaklaşım-7 için 87.28 ± 2.53 olarak gözlenmiştir. Tüm denekler boyunca yedi yaklaşım arasında hesaplanan ortalama sınıflandırma doğrulukları Yaklaşım-4 ile en yüksek değerde gözlenirken Yaklaşım-3 ile en düşük olarak gözlenmiştir.

Tablo 3.8. ÖSB-1 yaklaşımının uygulanması sonucunda elde edilen ARO boyutundaki sınıflandırılma sonuçları

Denek	Yaklaşım-1	Yaklaşım-2	Yaklaşım-3	Yaklaşım-4	Yaklaşım-5	Yaklaşım-6	Yaklaşım-7
S01	87,58(4-36)	90,91 (25-36)	88,33 (8-36)	83,94 (8-33)	89,09 (3-33)	89,55 (22-34)	92,42 (4-33)
S02	89,58 (18-35)	87,12 (12-36)	85,61 (24-35)	83,03 (28-36)	87,12 (23-35)	85,3 (21-34)	88,33 (18-33)
S03	93,18 (2-33) (27-37)	94,69 (22-36)	97,73 (7-36)	93,18 (27-33) (24-34) (21-36)	93,18 (27-33)	95,45 (18-33)	93,18 (19-33) (11,19-34)
S04	96,36 (16-33)	94,69 (7,11-33)	95,61 (10-33)	98,18 (9,12-34)	94,69 (18-36)	94,69 (5-34)	93,64 (10,19-33)
S05	87,12 (30-36)	89,39 (1-33)	90,91 (2-36)	88,64 (25-34)	88,64 (32-35)	90,91 (5-33)	92,42 (5-35)
S06	88,64 (19-36)	91,36 (29-34)	87,88 (9-35)	90,15 (12-35)	94,69 (1-35)	90,61 (29-36)	90,61 (8-34)
S07	90,61 (8-35)	88,79 (14-34)	95,15 (26-36)	92,88 (23-35)	90,15 (22-34)	90,61 (11-33)	89,85 (13,15-33)
S08	86,36 (31-33)	87,88 (32-33) (12-36)	90,91 (5-36)	87,54 (14-34)	91,3 (19-35)	88,64 (28-33)	91,06 (8-33)
S09	90,61 (8-34)	91,06 (28-33)	83,94 (11-35)	89,39 (21-34)	88,03 (25-34) (25-36)	93,18 (28-33)	88,64 (9-35)
S10	85,61 (8-35) (29-36)	88,64 (5-35)	85,61 (20-34)	90,91 (3-35)	85,61 (19-36)	87,12 (25,32-35)	90,15 (10,35)
S11	88,03 (4-33)	90,15 (14-34)	91,67 (14-34)	85,76 (8-34)	87,88 (20-33)	89,24 (24-34)	89,09 (16-34)
S12	95,45 (10-33)	95,45 (2-33) (9-35) (23-36)	95,45 (2,4-35) (2,36)	93,18 (18,22-33) (11,12,16, 19-34) (5-35)	97,73 (30-35)	95,45 (7-34) (3-35)	95,91 (29,30-33)
S13	97,73 (12-35)	95,45 (2,23-34)	95,45 (12-34)	95,45 (11,14,17-34) (4,5,14,15,30-35)	93,64 (1-36)	97,73 (18-35)	93,18 (24-34) (13-35) (13,24-36)
S14	87,88 (1-36)	92,42 (14-35)	86,36 (23-33)	91,36 (6-33)	90,15 (9-36)	88,03 (12-36)	91,82 (22-35)
S15	89,39 (5-34)	85,61 (12-33) (32-34)	84,09 (7-34)	87,88 (29-35)	81,06 (7-36)	88,64 (12-36)	90,15 (10-33) (13,24-36)
S16	93,18 (7-33)	93,18 (27-34) (32-34)	92,42 (8-33)	90,91 (27-36)	90,15 (22-34) (20,36)	90,15 (22,29-36)	93,94 (20-36)
ORT±SS	90.46±3.69	91.05±3.07	90.45±4.58	90.15±4.04	90.19±4.06	90.96±3.43	91.53±2.14

VAL boyutunda ÖSB-2 yaklaşımı ile denekler boyunca gözlenen ortalama doğruluk değişimleri Yaklaşım-1 için %0.82 düşüşle %87.76, Yaklaşım-2 için %0.39 artışla %87.57,

Yaklaşım-3 için %2.52 düşüşle %85.88, Yaklaşım-4 için %0.97 artışla %88.59, Yaklaşım-5 için %0.41 düşüşle %86.81, Yaklaşım-6 için %0.78 düşüşle %86.77, Yaklaşım-7 için %0.01 düşüşle %87.28 olarak gözlenmiştir.

Tablo 3.9. ÖSB-2 yaklaşımının uygulanması sonucunda elde edilen VAL boyutundaki sınıflandırılma sonuçları

Denek	Yaklaşım-1	Yaklaşım-2	Yaklaşım-3	Yaklaşım-4	Yaklaşım-5	Yaklaşım-6	Yaklaşım-7
S01	85.61 (28-35)	86.36 (12-35)	85.61 (9-35)	87.88 (12-34)	87.12 (12-36)	88.64 (14-36)	85.61 (17-33)
S02	81.82 (16,29-36)	90.15 (7-36)	82.73 (32-34)	88.79 (29-34) (8-35)	84.85 (27-33)	86.52 (2-36)	88.64 (9-35)
S03	87.88 (22-34)	88.64 (26-35)	87.88 (19-35)	90.15 (9-33)	87.12 (27-36)	84.85 (27-34)	84.85 (30-33)
S04	90.61 (27-34)	89.39 (2-34)	89.55 (32-34)	91.06 (14-36)	90.15 (18-34)	92.27 (10-33)	88.33 (6-33)
S05	87.88 (1,24-36)	90.61 (24-35)	83.94 (5-34)	81.52 (9-36)	89.39 (12-35)	83.79 (4-36)	87.88 (4-35)
S06	92.42 (17-35)	87.88 (12-33)	90.91 (20-33)	90.15 (22-34)	90.91 (5,11-33)	87.88 (5-33)	90.15 (22-33,34,35)
S07	88.64 (24-36)	88.64 (16-35)	88.33 (18-33)	88.79 (12-35)	89.85 (18-35)	88.79 (15-36)	90.61 (16-36)
S08	83.33 (11,29-35)	86.36 (27-34)	83.33 (13-35)	86.36 (16-35)	80.3 (13-33) (7,8,21-36)	86.36 (27-34)	86.36 (2-33)
S09	89.39 (6,7-33)	84.09 (7-36)	85.61 (19,27-33)	86.36 (26-34)	83.33 (16-33)	86.36 (8-33)	87.12 (3-36)
S10	90.15 (9-36)	85.61 (22-36)	81.06 (30-33)	90.15 (8,18-35)	87.88 (20-33)	83.33 (26-36)	88.64 (9-35) (12-36)
S11	86.06 (10-34) (10-35)	89.09 (6-33)	85.61 (14-33)	87.88 (14-33)	87.88 (2-35)	83.79 (10-35)	89.85 (27-36)
S12	83.33 (29-33)	86.36 (14-35)	80.3 (32-33)	92.42 (23-34)	84.85 (7-34) (7-35)	84.85 (2-34)	84.85 (29-34)
S13	85.61 (1-35)	84.09 (28-35)	85.61 (25-33) (8,28-34)	87.88 (22-34)	90.15 (22-33)	87.88 (29-33)	84.85 (32-33)
S14	92.42 (28-36)	84.09 (4,29-34)	86.36 (1-35)	84.85 (20-33)	83.33 (7-33)	87.88 (7-34)	81.06 (7-35)
S15	90.91 (24-34)	88.64 (10-34)	87.88 (5-36)	92.42 (32-34)	85.61 (5-36)	88.64 (32-33)	88.64 (17-35)
S16	88.03 (7-34)	91.06 (19-35)	91.36 (2-33)	90.91 (10-35) (13-36)	86.52 (3-36)	86.52 (9-33)	89.09 (27-34)
ORT±SS	87.76±3.24	87.57±2.34	85.88±3.32	88.59±2.87	86.81±3.08	86.77±2.34	87.28±2.53

Tablo 3.10. ÖSB-2 yaklaşımının uygulanması sonucunda elde edilen ARO boyutundaki sınıflandırılma sonuçları

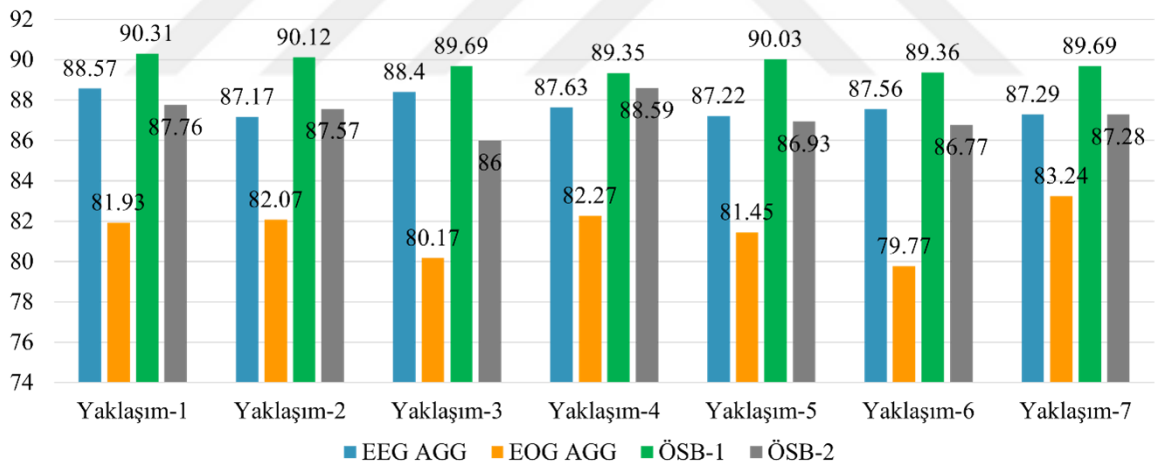
Denek	Yaklaşım-1	Yaklaşım-2	Yaklaşım-3	Yaklaşım-4	Yaklaşım-5	Yaklaşım-6	Yaklaşım-7
S01	86.21 (9-33)	87.88 (18-36)	90.15 (8,28-36)	86.06 (1-33)	86.52 (12-33)	85.3 (18-33)	90.61 (1-33)
S02	92.42 (8-35)	83.94 (30-34)	90.15 (14-35)	83.03 (15-33)	88.33 (14-35)	87.88 (14-34)	83.79 (1-33)
S03	93,18 (20-33)	97.73 (18-36)	88.64 (3,13,32-33)	90.91 (3-35)	90.91 (6-34)	90.91 (8-33) (17,18,24-34) (18-36)	90.15 (24-36)
S04	92.42 (11,31-33)	95.15 (5-36)	94.69 (31-33)	92.42 (29-34)	93.18 (25-33)	95.15 (19-35)	93.33 (5-35)
S05	84.09 (2-35)	82.58 (24-33)	84.85 (25-36)	90.91 (5-34)	90.15 (32-34)	92.42 (1-35)	81.06 (5-35)
S06	86.52 (28-33)	84.09 (20-36)	85.3 (17-35)	86.36 (32-34)	83.33 (32-35)	88.33 (7-34)	86.06 (8-34)
S07	87.88 (30-36)	87.12 (27-34)	88.03 (26-34)	87.27 (1-36)	84.09 (1-33)	87.88 (13-33)	92.88 (5-33)
S08	82.58 (3-35)	87.88 (22-35)	88.64 (5-36)	86.36 (14-34)	88.33 (19-35)	84.85 (15-34)	83.79 (25-34)
S09	88.33 (18-33)	89.24 (28-35)	83.94 (7-35)	88.64 (13-34)	84.55 (5-34)	89.39 (28-33)	85.3 (26-33)
S10	82.58 (14,21-33)	83.33 (22-35)	83.33 (10,15-34)	87.88 (30-35)	84.85 (14-35)	87.88 (7-35)	84.09 (31-34)
S11	85.3 (32-34)	85.3 (2-34)	82.73 (32-34)	87.12 (17-34)	86.82 (26-36)	87.88 (2-34)	85 (15-34)
S12	93.18 (2,8,17,18-33) (8,18-35) (2,18-36)	90.91 (2,5,7,29-33) (5,25,229-35) (5,7,28-36)	93.18 (2-35)	93.18 (19-34) (5,18-35) (17-36)	93.18 (4,23,30,31-35)	93.18 (2-33) (2,5-35)	93.18 (5-34) (12-35)
S13	95.45 (16-35)	95.45 (12,2,26,29-34)	91.36 (2,24-34)	95.45 (13-35)	95.91 (12-35)	95.91 (24-35)	93.18 (13-35)
S14	89.39 (21-36)	90.91 (16-35)	86.82 (13-35)	83.33 (18-34)	87.58 (3-33)	86.52 (15-35)	86.52 (9-35)
S15	84.09 (9-35)	83.33 (21-33)	84.09 (11-34)	87.88 (6,17-33)	87.12 (18-34)	89.39 (12-33)	87.88 (6-36)
S16	93,18 (21-35)	93.94 (31-33)	91.67 (20-33)	87.88 (17-33)	90.91 (8-36)	92.42 (1-36)	88.64 (17-36)
ORT±SS	88.55±4.28	88.67±4.90	87.97±3.71	88.42±3.40	88.49±3.63	89.71±3.32	87.84±3.99

Tablo 3.10’da ÖSB-2 yaklaşımının ARO boyutunda uygulanması sonucunda elde edilen sınıflandırma doğrulukları verilmektedir. Her bir deneğe yaklaşımların ayrı ayrı uygulanması sonucu elde edilen en başarılı sınıflandırma doğrulukları şu şekildedir: S01 için Yaklaşım-7 ile %90.61, S02 için Yaklaşım-1 ile %92.42, S03 için Yaklaşım-2 ile %97.73, S04 için Yaklaşım-2 ve Yaklaşım-6 ile %95.15, S05 için Yaklaşım-6 ile %92.42, S06 için Yaklaşım-6 ile %88.33, S07 için Yaklaşım-7 ile %92.88, S08 için Yaklaşım-3 ile %88.64; S09 için Yaklaşım-6 ile %89.39, S10 için Yaklaşım-4 ve Yaklaşım-6 ile %87.88, S11 için Yaklaşım-6 ile %87.88, S12 için Yaklaşım-1, Yaklaşım-(3-7) ile %93.18, S13 için Yaklaşım-5 ve Yaklaşım-6 ile %95.91, S14 için Yaklaşım-2 ile %90.91, S15 için Yaklaşım-6 ile %89.39 ve S16 için Yaklaşım-2 ile %93.94. Her bir açı-genlik dönüşümü yaklaşımının

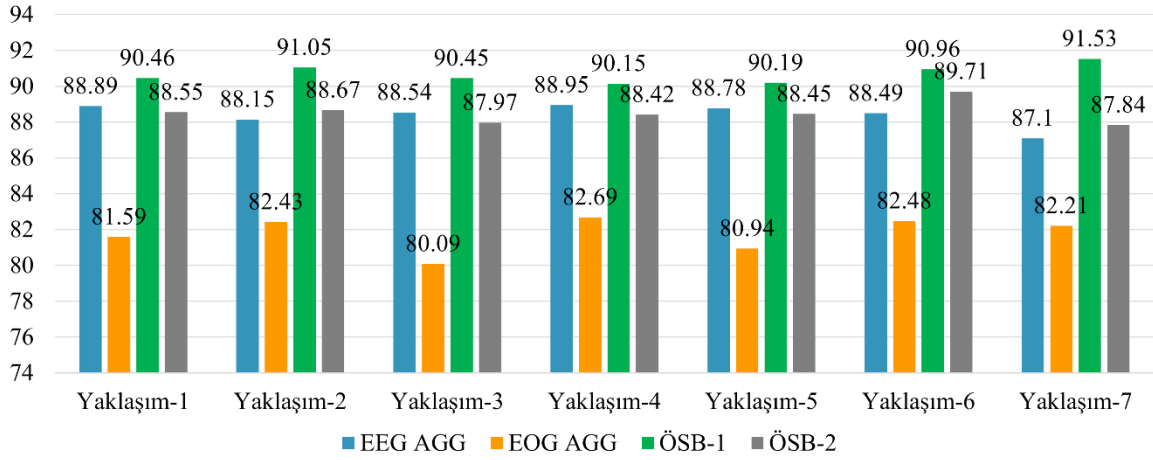
16 denek boyunca ARO boyutunda DVM ile hesaplanan ortalama doğruluk ve standart sapmaları Yaklaşım-1 için 88.55 ± 4.28 , Yaklaşım-2 için 88.67 ± 4.90 , Yaklaşım-3 için 87.97 ± 3.71 , Yaklaşım-4 için 88.42 ± 3.40 , Yaklaşım-5 için 88.49 ± 3.63 , Yaklaşım-6 için 89.71 ± 3.32 ve Yaklaşım-7 için 87.84 ± 3.99 şeklinde gözlenmiştir. Tüm denekler boyunca yedi yaklaşım arasında hesaplanan ortalama sınıflandırma doğrulukları Yaklaşım-6 ile en üst seviyede Yaklaşım-7 ile en düşük seviyededir.

ARO boyutunda ÖSB-2 yaklaşımı ile denekler boyunca gözlenen ortalama doğruluk değişimleri Yaklaşım-1 için 0.44 düşüşle 88.55 , Yaklaşım-2 için 0.52 artışla 88.67 , Yaklaşım-3 için 0.56 düşüşle 87.97 , Yaklaşım-4 için 0.53 düşüşle 88.42 , Yaklaşım-5 için 0.29 düşüşle 89.49 , Yaklaşım-6 için 1.21 artışla 89.71 , Yaklaşım-7 için 0.74 artışla 87.84 şeklindedir.

Yukarıda listelenen tüm sonuçlara ilişkin olarak hazırlanan karşılaştırmalı grafikler VAL sınıfı için Şekil 3.1’de ve ARO sınıfı için Şekil 3.2’de verilmektedir.



Şekil 3.1. DEAP-VAL için elde edilen tüm sonuçların karşılaştırmalı grafiği



Şekil 3.2. DEAP-ARO için elde edilen tüm sonuçların karşılaştırmalı grafiği

Tüm yaklaşımlara ait sonuçlar irdelendiğinde ÖSB-1 uygulandıktan sonra elde edilen başarı oranlarının ÖSB-2'ye göre çok daha iyi olduğu görülmektedir. ÖSB-1 ile sınıflandırma doğruluklarında gözle görülür artışlar olurken ÖSB-2'in uygulanması sonucunda genel olarak doğrulukta düşüşler gözlenmiştir. ÖSB-1 ve ÖSB-2'nin literatür çalışmalarıyla karşılaştırmaları Tablo 3.11'de detaylı bir biçimde sunulmuştur. Tablo sütunlarında sırasıyla çalışma, veri seti, giriş verisi, sınıflandırıcı ve füzyon yöntemi, sınıf bilgisi ve çalışmalarda elde edilen doğruluk değeri verilmektedir. Literatür incelendiğinde, sınıflandırmanın ARO ve VAL sınıfları için yapıldığı hem ÖSB hem de KSB füzyon yönteminin kullanıldığı ve sıklıkla DVM yönteminin görevlendirildiği görülmektedir. Yin ve arkadaşları [46] çalışmasında bu tez çalışması ile aynı veri setini ve füzyon yaklaşımını kullanmışlardır. Bu çalışma literatürde VAL ve ARO boyutlarında en yüksek doğruluk değerlerine sahip çalışmadır. Çalışma VAL ve ARO boyutlarında sırasıyla %76.17 ve %77.19 doğruluklarını elde etmiştir. Yaklaşım-1 ve ÖSB-1 teknikleri beraber kullanıldığında DVM sınıflandırıcısı aynı problemde %90.31 doğruluk göstermiş ve literatürden yaklaşık %14.14 oranında daha iyi doğruluk elde etmiştir. Benzer şekilde Yaklaşım-7 ve ÖSB-1 teknikleri birlikte kullanıldığında DVM ARO boyutunda %91.53 doğruluk elde edip literatürden yaklaşık %14.34 daha iyi sonuç göstermiştir. Tablo 3.11 incelendiğinde tez çalışması kapsamında önerilen yaklaşımların literatüre kıyasla daha başarılı sonuçlar ürettiği görülmektedir.

Tablo 3.11. AGD-I için literatür karşılaştırması

Yazar	Veri Seti	Giriş Verisi	Sınıflandırıcı	Füzyon	Sınıf	Doğruluk
Thammason ve ark. [39]	Kendi Hazırladıkları Veri Seti	Beyin Dalgaları ve Psikolojik Sinyaller	Gauss Radyal Tabanlı DVM	KSB	ARO	60.90
					VAL	58.47
Zhalehpour ve ark. [40]	eNTERFACE BAUM-1a	Yüz Görüntüleri ve Ses Sinyalleri	Ses için Radyal Tabanlı DVM ve Video için Doğrusal DVM	KSB	-	79.57
Soleymani ve ark. [44]	Kendi Hazırladıkları Veri Seti	EEG Sinyalleri ve Göz Bakış Bilgileri	DVM	ÖSB	VAL	58.4
					ARO	66.4
				KSB	VAL	68.5
					ARO	76.4
Yin ve ark. [46]	DEAP	EEG ve Fizyolojik Sinyaller (EOG, EMG, Vücut sıcaklığı, Kan hacmi basıncı, Galvanik cilt tepkisi)	Yığılmış Otomatik Kodlayıcının Çoklu Füzyon Katmanı Tabanlı Topluluk Sınıflandırıcısı	ÖSB	VAL	76.17
					ARO	77.19
Tez Çalışması	DEAP	EEG ve EOG Sinyalleri	DVM	ÖSB-1 ile	VAL (Yaklaşım-1 ile)	90.31
					ARO (Yaklaşım-7 ile)	91.53
Tez Çalışması	DEAP	EEG ve EOG Sinyalleri	DVM	ÖSB-2 ile	VAL (Yaklaşım-4 ile)	88.89
					ARO (Yaklaşım-6 ile)	89.71

3.1.3. AGD-II İçin Deneysel Sonuçlar ve Analizler

Tez çalışmasında önerilen füzyon yöntemleri literatürde iyi bilinen ve sıklıkla tercih edilen DEAP veri setinde de sınanmıştır. Böylece önerilen yöntemlerin sadece bu tez çalışmasında oluşturulan KMED veri setinde değil aynı zamanda literatürde sıklıkla tercih edilen bir veri setindeki performansı da gözlenmek istenmiştir. DEAP veri setinde sadece ilk 22 deneğe ait kaydedilmiş yüz görüntü videoları bulunduğundan çalışmalarda ilk olarak bu deneklerden başlanmıştır. Yüz görüntü videolarından yüz görüntülerini çıkarma (bknz.

Bölüm 2.5.8) ve en benzersiz yüz görüntüsünü bulmada (bkz. Bölüm 2.5.9) bazı sorunlarla karşılaşmıştır. S01, S05, S11 ve S14 isimli deneklerin 40 adet yüz görüntü videosu olmadığı ve S20 deneklerinin de yüz görüntülerinin problemli olduğu belirlenmiştir. Bu nedenle bu denekler çalışmadan çıkarılmış ve çalışmanın tamamı geri kalan 17 deneye ait verilerle yürütülmüştür.

AGD-II için yapılan çalışmalarda (hem KMED hem de DEAP veri setinde) performans ölçütü olarak yine doğruluk değeri kullanılmış ve bu değer veri setinde yer alan her bir denek için 10-kat çapraz doğrulama ile hesaplanmıştır. DEAP veri setinde eğitim ve test kümeleri ayrı olmadığından tablolarda verilen tüm sonuçlar 10-kat çapraz doğrulama sonuçlarının 10 kez koşulup ortalamaları alınarak hesaplanmıştır. Öznitelik çıkarma ve sınıflandırma aşamalarında çeşitli parametre kombinasyonları denenmiştir. Optimum parametreler eğitim kümesinin alt eğitim ve doğrulama kümeleriyle tespit edilmiş ve test kümesi bu işleme dahil edilmemiştir. Çok sayıdaki parametre çifti adayları arasından doğru parametreyi bulmak örüntü tanıma problemlerinin performansında önemli bir role sahiptir. Tez çalışmasının öznitelik çıkarma ve sınıflandırma aşamalarında kullanılan tüm parametreler eğitim kümesinin kullanılmasıyla belirlenmiş ve test kümesi parametre belirleme işlemine dahil edilmemiştir. Tez çalışması kapsamında oluşturulan KMED veri setinde birinci oturumda alınan kayıtlar eğitim kümesi ikinci oturumda alınan kayıtlar ise test kümesi olarak kullanılmıştır. DEAP veri setinde eğitim ve test kümeleri ayrı olmadığından çalışmaların başında tüm veriler %50-%50 oranında rastgele eğitim ve test kümelerine ayrılıp ve deneyler bu ayrık kümelerle gerçekleştirilmiştir.

Öznitelik çıkarmada yöntemleri için taranan parametre aralıkları şu şekildedir. YİÖ algoritması için yarıçap değeri $1 \leq r \leq 3$ aralığında 1 artışla, ÖBÖD için yarıçap değeri $4 \leq r \leq 6$ aralığında 1 artışla sınanmıştır. Harris köşe bulma algoritması için t eşik değeri $1000 \leq t \leq 3000$ aralığında 500 artışla, σ değeri $3 \leq \sigma \leq 6$ aralığında 1 artışla ve yine yarıçap değeri $4 \leq r \leq 6$ aralığında 1 artışla denenmiştir. Sınıflandırma yöntemleri için taranan parametre aralıkları şu şekildedir. K-EYK için k parametresi önemlidir. Bu nedenle k için $1 < k < (\text{eğitim örneği}/2)$ aralığında 2 artışla sınanmıştır. Benzer şekilde DVM için C ve γ parametreleri oldukça önemlidir. Bu nedenle C parametre değerleri $2^{-15} \leq C \leq 2^{+15}$ aralığında 2^5 kat artışla ve γ parametre değerleri ise $1 < \gamma < 300$ aralığında 5 artışla sınanmıştır. Listelenen

tüm bu parametre aralıklarının alt limitlerin daha fazla azaldığı ve üst limitlerinin daha fazla arttığı durumlarda sınıflandırma doğruluğunun olumsuz etkilendiği gözlenmiştir.

3.1.3.1. Birinci AGD Yaklaşımının DEAP Veri Setindeki EEG Sinyallerine Uygulanmasıyla Elde Edilen Sonuçlar ve Analizler

3.1.3.1.1. Yüz Görüntülerinin, AGG'lerinin, SSB ve ÖSB Öncesi/Sonrası K-EYK ile Sınıflandırılmasından Elde Edilen Sonuçlar ve Analizler

DEAP veri setinde yer alan sinyallere Bölüm 2.2.1'de verilen Birinci AGD yaklaşımı uygulanması sonucu sinyal görüntüleri oluşturulmuş ve bu görüntülere çok modlu yaklaşımlar uygulanmıştır. Elde edilen verilerin K-EYK ile sınıflandırılmasıyla gözlenen sonuçlar Tablo 3.12'de ki gibidir. Tablolarda sonuçlar yüzde olarak verilmiştir. Tabloların ilk sütununda denek isimleri verilmektedir. Geri kalan sütunlarının ilk dördünde ARO son dördünde ise VAL boyutu için sırasıyla Yüz, AGG, SSB ve ÖSB sonrası gözlenen sınıflandırma doğrulukları verilmektedir.

Her bir denek için yüz görüntülerinin K-EYK ile sınıflandırılmasından elde edilen doğruluklar sırasıyla şu şekildedir: S01 için ARO boyutunda %57.5 ve VAL boyutunda %52.63; S02 için ARO boyutunda %78.5 ve VAL boyutunda %66.84; S04 için ARO boyutunda %60 ve VAL boyutunda %61; S06 için ARO boyutunda %61.58 ve VAL boyutunda %72.5; S07 için ARO boyutunda %62.11 ve VAL boyutunda %63.5; S08 için ARO boyutunda %62 ve VAL boyutunda %48; S09 için ARO boyutunda %57.37 ve VAL boyutunda %50.53; S10 için ARO boyutunda %49 ve VAL boyutunda %61.5; S12 için ARO boyutunda %84.21 ve VAL boyutunda %55.26; S13 deneği için ARO boyutunda %85 ve VAL boyutunda %49.47; S15 için ARO boyutunda %61.58 ve VAL boyutunda %53; S16 için ARO boyutunda %53.5 ve VAL boyutunda %63.16; S17 için ARO boyutunda %64.21 ve VAL boyutunda %62.5; S18 için ARO boyutunda %62.11 ve VAL boyutunda %60.5; S19 için ARO boyutunda %74.74 ve VAL %58.95; S21 için ARO boyutunda %79 ve VAL %65.26; S22 için ARO boyutunda %69.47 ve VAL %48. ARO boyutunda denekler boyunca elde edilen ortalama doğruluk ve standart sapma değerleri 65.99 ± 10.67 , VAL boyutu için ise 58.39 ± 7.22 'dir. ARO boyutu için yüz görüntülerinin VAL boyutundan daha iyi sınıflandırıldığı görülmektedir.

ARO boyutu için sırasıyla AGG ve füzyon yöntemlerin uygulanması sonrası elde edilen kazanımlar ve sınıflandırma doğrulukları şu şekildedir. S01 deneği için AGG'nin sınıflandırılmasında %70 doğruluk elde edilmiştir. SSB uygulandığında %5 artımla %75 ve ÖSB uygulandığında %15 artımla %85 doğruluk gözlenmiştir. S02 için AGG'nin sınıflandırılmasında %80, SSB ve ÖSB uygulandığında ise %5 artımla %85 doğruluk gözlenmiştir. S04 için AGG'nin sınıflandırılmasında %90, SSB'de %5 düşüşle %85 ve ÖSB'de %2.5 düşüşle %87.5 doğruluk görülmüştür. S06 için AGG'nin sınıflandırılmasında %73.68 doğruluk elde edilirken SSB'de değişim olmamıştır. ÖSB'de ise %9.82'lik bir artışla %83.5 doğruluk gözlenmiştir. S07 için AGG'nin sınıflandırılmasında %84.21, SSB'de %5.26'lık bir düşüşle %78.95 ve ÖSB'de %1.71'lik bir düşüşle %82.5 doğruluk elde edilmiştir. S08 için AGG'nin sınıflandırılmasında %75 doğruluk elde edilirken SSB'de değişim olmamıştır. ÖSB'de ise %9.5'lik artışla %84.5 doğruluk gözlenmiştir. S09 için AGG'nin sınıflandırılmasında doğruluk %78.95 doğruluk elde edilirken SSB'de değişim olmamıştır. ÖSB'de ise %9.05'lik bir artışla %88 doğruluk gözlenmiştir. S10 için AGG'nin sınıflandırılmasında %75, SSB'de %10'luk bir artışla %85 ve ÖSB'de %8.5 artışla %83.5 değerleri elde edilmiştir. S12 için AGG'nin sınıflandırılmasında %94.74, SSB'de %5.27'lik düşüşle %89.47 ve ÖSB'de %0.26'lık bir artışla %95 doğruluk elde edilmiştir. S13 için AGG'nin sınıflandırılmasında doğruluk %90 doğruluk elde edilirken SSB'de değişim olmamıştır. ÖSB'de ise %5 artışla doğruluk %95 olarak gözlenmiştir. S15 için AGG'nin sınıflandırılmasında %78.95 doğruluk elde edilirken SSB'de değişim olmamıştır. ÖSB'de %3.55 artışla doğruluk %82.5 olarak gözlenmiştir. S16 için AGG'nin sınıflandırılmasında %75, SSB'de %10 artışla %85 ve ÖSB'de %11 artışla %86 doğruluk elde edilmiştir. S17 için AGG'nin sınıflandırılmasında %78.95 doğruluk elde edilirken SSB'de değişim olmamıştır. ÖSB'de ise %3.05 artışla %82 doğruluk değeri elde edilmiştir. S18 için AGG'nin sınıflandırılmasında %78.95, SSB'de % 5.26'lık bir artımla %84.21 ve ÖSB'de %11.05 artımla %90 doğruluğu elde edilmiştir. S19 için AGG'nin sınıflandırılmasında %78.95, SSB'de %5.26 artışla %84.21 ve ÖSB'de %12.55 artışla %91.5 doğruluk elde edilmiştir. S21 için AGG'nin sınıflandırılmasında %90 doğruluk elde edilirken SSB'de değişim olmamıştır. ÖSB'de ise %5 artışla %95 doğruluk gözlenmiştir. S22 için AGG'nin sınıflandırılmasında %78.95 doğruluk elde edilirken SSB'de değişim olmamıştır. ÖSB'de ise %8.05 artımla %87 doğruluk elde edilmiştir.

VAL boyutu için sonuçlar ise şu şekildedir. S01 için AGG'nin sınıflandırılmasında %73.68 doğruluk elde edilmiştir. SSB uygulandığında %10.53 artışla %84.21 ve ÖSB uygulandığında %4.82 artışla %78.5 doğruluk elde edilmiştir. S02 için AGG'nin sınıflandırılmasında %78.95 doğruluk elde edilirken SSB'de değişim olmamıştır. ÖSB'de ise %4.05 artımla %83 doğruluğu gözlenmiştir. S04 için AGG'nin sınıflandırılmasında %90, SSB'de %5 düşüşle %85 ve ÖSB'de ise %1 düşüşle %89 doğruluk elde edilmiştir. S06 için AGG'nin sınıflandırılmasında %85 doğruluk elde edilirken SSB'de değişim olmamıştır. ÖSB'de %6.5 artışla %91.5 doğruluğu görülmüştür. S07 için AGG'nin sınıflandırılmasında %75, SSB'de %5 artışla %80 ve ÖSB'de ise %12 artışla %87 doğruluk elde edilmiştir. S08 için AGG'nin sınıflandırılmasında %75 doğruluk elde edilirken SSB'de değişim olmamıştır. ÖSB'de ise %5'lik bir artışla %80 doğruluk gözlenmiştir. S09 için AGG'nin sınıflandırılmasında %73.68, SSB'de %5.27 artışla %78.95 ve ÖSB'de %12.32 artışla %86 doğruluk elde edilmiştir. S10 için AGG'nin sınıflandırılmasında %70, SSB'de %10 artışla %80 ve ÖSB'de %11.5'lik bir artımla %81.5 doğruluk elde edilmiştir. S12 için AGG'nin sınıflandırılmasında %73.68, SSB'de %10.53 artışla %84.21 ve ÖSB'de %21.32 artışla %95 doğruluk elde edilmiştir. S13 için AGG'nin sınıflandırılmasında %73.68, SSB'de %10.53 artımla %84.21 ve ÖSB'de %9.32 artımla %83 doğruluk elde edilmiştir. S15 için AGG'nin sınıflandırılmasında doğruluk %70, SSB'de %15 artışla %85 ve ÖSB'de %11.5 artışla %81.5 doğruluk gözlenmiştir. S16 için AGG'nin sınıflandırılmasında %78.95 doğruluk elde edilirken SSB'de değişim olmamıştır. ÖSB'de ise %7.55 artımla %86.5 doğruluk elde edilmiştir. S17 için AGG'nin sınıflandırılmasında %80 doğruluk gözlenirken SSB'de değişim olmamıştır. ÖSB'de ise %2 artışla %82 doğruluk elde edilmiştir. S18 için AGG'nin sınıflandırılmasında %80, SSB'de %5 artışla %85 ve ÖSB'de ise %4 artışla %84 doğruluk elde edilmiştir. S19 için AGG'nin sınıflandırılmasında %84.21, SSB'de %5.26 düşüşle %78.95 ve ÖSB'de %1.79 artışla %86 doğruluk gözlenmiştir. S21 için AGG'nin sınıflandırılmasında %73.68, SSB'de %5.26'lık bir düşüşle %68.42 ve ÖSB'de %11.82 artışla %85.5 doğruluk elde edilmiştir. S22 için AGG'nin sınıflandırılmasında %80 doğruluk gözlenirken SSB'de değişim olmamıştır. ÖSB'de ise %9 artışla %89 elde edilmiştir.

K-EYK ile denekler boyunca hesaplanan ortalama doğruluk ve standart sapma değerleri şu şekildedir. ARO boyutu için AGG görüntülerinde 80.67 ± 6.84 , AGG'lerine SSB uygulandıktan sonra 82.14 ± 5.26 ve AGG'lerine ÖSB uygulandıktan sonra 87.26 ± 4.52 değerleri elde edilmiştir. VAL boyutu için ise AGG

görüntülerinde 77.38 ± 5.47 , AGG'lerine SSB uygulandıktan sonra 3.31 artışla 80.69 ± 4.39 ve AGG'lerine ÖSB uygulandıktan sonra 7.86 artışla 85.24 ± 4.27 değerleri elde edilmiştir. Tüm denekler boyunca hesaplanan ortalama değerle göz atıldığında ARO boyutunun VAL boyutuna göre sınıflandırma daha başarılı olduğu görülmektedir.

Tablo 3.12. Birinci AGD Yaklaşımı için yüz, AGG, sensör ve öznelitek seviyesinde birleştirme sonrasında elde edilen K-EYK sınıflandırma sonuçları

Denek	ARO				VAL			
	Yüz	AGG	SSB	ÖSB	Yüz	AGG	SSB	ÖSB
S01	57.5	70 (1)	75 (9,10,17)	85 (5)	52.63	73.68 (16,21,26)	84.21 (11)	78.5 (13)
S02	78.5	80 (19)	85 (22)	85 (15,20,26)	66.84	78.95 (2,22,31)	78.95 (28,30)	83 (11)
S04	60	90 (23)	85 (6)	87.5 (22)	61	90 (26)	85 (17,31)	89 (10)
S06	61.58	73.68 (19,27)	73.68 (5,24,26)	83.5 (22)	72.5	85 (21)	85 (26)	91.5 (29)
S07	62.11	84.21 (13)	78.95 (14)	82.5 (10)	63.5	75 (6,14,24)	80 (14)	87 (28)
S08	62	75 (30)	75 (4,11,17)	84.5 (2)	48	75 (21)	75 (5)	80 (7)
S09	57.37	78.95 (21)	78.95 (19,30)	88 (20)	50.53	73.68 (14,32)	78.95 (20)	86 (20)
S10	49	75 (26,27)	85 (31)	83.5 (4)	61.5	70 (24)	80 (7)	81.5 (13)
S12	84.21	94.74 (15)	89.47 (25,28,32)	95 (4,24,27,29 hariç tüm kanallar)	55.26	73.68 (30)	84.21 (11,31)	95 (4,24,27,29 hariç tüm kanallar)
S13	85	90 (12)	90 (18,22)	95 (tüm kanallar)	49.47	73.68 (1,10, 18,24)	84.21 (6)	83 (6)
S15	61.58	78.95 (32)	78.95 (5)	82.5 (2)	53	70 (12)	85 (13)	81.5 (1)
S16	53.5	75 (2)	85 (7)	86 (21)	63.16	78.95 (12)	78.95 (16)	86.5 (1)
S17	64.21	78.95 (15)	78.95 (9,23,30)	82 (32)	62.5	80 (21)	80 (13)	82 (27)
S18	62.11	78.95 (7)	84.21 (11)	90 (15)	60.5	80 (2)	85 (30)	84 (9)
S19	74.74	78.95 (2, 15,25,29)	84.21 (6)	91.5 (11)	58.95	84.21 (27)	78.95 (21)	86 (26)
S21	79	90 (23)	90 (24)	95 (10,12,21,25)	65.26	73.68 (21)	68.42 (11,26)	85.5 (8)
S22	69.47	78.95 (27)	78.95 (19,29)	87 (3)	48	80 (29)	80 (27,30)	89 (21)
ORT $\pm$ SS	65.99 $\pm$ 10.67	80.67 $\pm$ 6.8 4	82.14 $\pm$ 5.26	87.26 $\pm$ 4.52	58.39 $\pm$ 7.2 2	77.38 $\pm$ 5.47	80.69 $\pm$ 4.39	85.24 $\pm$ 4.27

3.1.3.1.2. Yüz, AGG, SSB ve ÖSB Yöntemlerinin DVM ile Sınıflandırılmasıyla Elde Edilen Sonuçlar ve Analizler

DEAP veri setinde yer alan sinyallere Birinci AGD yaklaşımı uygulanması sonucu elde edilen sinyal görüntülerinin, yüz görüntülerinin ve çok modlu yaklaşımların uygulanması sonucunda elde edilen verilerin DVM ile sınıflandırılmasından elde edilen sonuçlar Tablo 3.13'te ki gibidir.

ARO ve VAL boyutları için yüz görüntülerinden DVM ile elde edilen sınıflandırılma doğrulukları şu şekildedir: S01 için ARO boyutunda %62 ve VAL boyutunda %61.58; S02 için ARO boyutunda %65 ve VAL boyutunda %63.16; S04 için ARO boyutunda %66.5 ve VAL boyutunda %68; S06 için ARO boyutunda %58.95 ve VAL boyutunda %76.5; S07 için ARO boyutunda %63.68 ve VAL boyutunda %70; S08 için ARO boyutunda %58.5 ve VAL boyutunda %51.5; S09 için ARO boyutunda %61.05 ve VAL boyutunda %52.63; S10 için ARO boyutunda %62.5 ve VAL boyutunda %49; S12 için ARO boyutunda %84.21 ve VAL boyutunda %48.95; S13 için ARO boyutunda %85 ve VAL boyutunda %62.11; S15 için ARO boyutunda %58.95 ve VAL boyutunda %66; S16 için ARO boyutunda %81.5 ve VAL boyutunda %68.42; S17 için ARO boyutunda %54.74 ve VAL boyutunda %60; S18 için ARO boyutunda %68.42 ve VAL boyutunda %64.5; S19 için ARO boyutunda %73.68 ve VAL boyutunda %61.05; S21 için ARO boyutunda %80 ve VAL boyutunda 60; S22 deneği için ARO ve VAL boyutlarında %60. ARO boyutunda denekler boyunca ortalama doğruluk ve standart sapma değerleri 67.33 ± 9.81 iken, VAL boyutunda 61.38 ± 7.58 şeklindedir. Sonuçlar incelendiğinde, yüz görüntüleri için yine ARO boyutunda daha iyi sınıflandırma performansı elde edildiği görülmektedir.

ARO boyutu için sinyal görüntüleri ile sinyal görüntülerine SSB ve ÖSB yaklaşımları uygulandıktan sonra gözlenen sınıflandırma doğrulukları şu şekildedir: S01 deneği için AGG'nin sınıflandırılmasında %65 doğruluk elde edilmiştir. SSB uygulandığında %10 artışla %75 ve ÖSB uygulandığında %29.5 artışla %94.5 doğruluk gözlenmiştir. S02 için AGG'nin sınıflandırılmasında %80 doğruluk elde edilirken SSB'de doğrulukta değişiklik olmamıştır. ÖSB'de ise %9.5 artışla %89.5 doğruluk elde edilmiştir. S04 için AGG'nin sınıflandırılmasında %85, SSB'de %5 düşüşle %80 ve ÖSB'de %9 artışla %94 doğruluk elde edilmiştir. S06 için AGG'nin sınıflandırılmasında %78.95 doğruluk elde edilirken SSB'de doğrulukta değişiklik olmamıştır. ÖSB'de %8.55 artışla %87.5 doğruluk elde

edilmiştir. S07 için AGG'nin sınıflandırılmasında %73.68, SSB'de %5.27 artışla %78.95 ve ÖSB'de ise %19.32 artışla %93 doğruluk görülmüştür. S08 için AGG'nin sınıflandırılmasında %75 doğruluk elde edilirken SSB'de doğrulukta değişiklik olmamıştır. ÖSB'de ise %8.5 artışla %83.5 doğruluk elde edilmiştir. S09 için AGG'nin sınıflandırılmasında %78.95 doğruluk elde edilirken SSB'de doğrulukta değişiklik olmamıştır. ÖSB'de ise %7.55 artışla doğruluk %86.5 olarak elde edilmiştir. S10 için AGG'nin sınıflandırılmasında %75, SSB'de %5 düşüşle %70 ÖSB'de ise %5.5 artışla %80.5 doğruluk elde edilmiştir. S12 için AGG'nin sınıflandırılmasında %84.21 doğruluk gözlenirken SSB ve ÖSB'de doğrulukta değişim olmamıştır. S13 için AGG'nin sınıflandırılmasında %85 doğruluk elde edilirken SSB'de doğrulukta değişiklik olmamıştır. ÖSB'de ise %10 artımla doğruluk %95 olarak elde edilmiştir. S15 için AGG'nin sınıflandırılmasında %78.95, SSB'de %10.52 artımla %89.47 ve ÖSB'de %11.05 artımla %90 doğruluk elde edilmiştir. S16 için AGG'nin sınıflandırılmasından %80 doğruluk elde edilmiştir. SSB ve ÖSB uygulandığında %15 artışla %95 oranında doğruluk elde edilmiştir. S17 deneği için AGG'nin sınıflandırılmasında %78.95 doğruluk elde edilirken SSB'de doğrulukta değişiklik olmamıştır. ÖSB'de ise %4.95 düşüşle %74 gözlenmiştir. S18 için AGG'nin sınıflandırılmasında %78.95, SSB'de %10.52 artışla %89.47 ve ÖSB'de %4.95 düşüşle %74 doğruluk elde edilmiştir. S19 için AGG'nin sınıflandırılmasında %78.95, SSB'de %10.26 artışla %84.21 ve ÖSB'de %3.45 düşüşle %75.5 doğruluk elde edilmiştir. S21 için AGG'nin sınıflandırılmasında %80, SSB ile %5 artışla %85 ve ÖSB ile %18.89 artışla %88.89 doğruluk gözlenmiştir. S22 için ise AGG'nin sınıflandırılmasında %84.21, SSB'de %10.26 düşüşle %78.95 ve ÖSB'de ise %7.21 düşüşle %77 doğruluk değeri elde edilmiştir.

VAL boyutundaki sınıflandırma sonuçları ise şu şekildedir. S01 deneği için AGG'nin sınıflandırılmasında %84.21, SSB'de %10.53 düşüşle %73.68 ve ÖSB'de %9.29 artımla %93.5 doğruluk elde edilmiştir. S02 için AGG'nin sınıflandırılmasında %78.95, SSB'de %5.26 artımla %84.21 ve ÖSB'de %16.05 artımla %95 doğruluk gözlenmiştir. S04 için AGG'nin sınıflandırılmasında %85 doğruluk elde edilirken SSB'de değişim olmamış ve ÖSB'de %4.5 artışla %89.5 doğruluk elde edilmiştir. S06 için AGG'nin sınıflandırılmasında %80 doğruluk elde edilirken SSB'de değişim olmamıştır. ÖSB'de ise %14 artışla %94 doğruluk elde edilmiştir. S07 için AGG'nin sınıflandırılmasında %80, SSB'de %5 düşüşle %75 ve ÖSB'de ise %8 artışla %88 doğruluk değeri görülmüştür. S08 için AGG'nin

sınıflandırılmasında %75, SSB'de %5 artımla %80 ve ÖSB'de %8.5 artımla %83.5 doğruluk elde edilmiştir. S09 için AGG'nin sınıflandırılmasında %73.68, SSB'de %5.27 artışla %78.95 ve ÖSB'de ise %10.32 artışla %84 gözlenmiştir. S10 için AGG'nin sınıflandırılmasında %80 doğruluk elde edilirken SSB'de değişim olmamıştır. ÖSB'de ise %14.5 artımla doğruluk %94.5 olarak gözlenmiştir. S12 için AGG'nin sınıflandırılmasında %78.95 doğruluk elde edilirken SSB'de değişim olmamıştır. ÖSB'de ise %14.55 artışla %93.5 doğruluk elde edilmiştir. S13 için AGG'nin sınıflandırılmasında %78.95, SSB'de %5.27 düşüşle %73.68 ve ÖSB'de %11.05 artımla %90 doğruluk elde edilmiştir. S15 için AGG'nin sınıflandırılmasında %75, SSB'de %10 artımla %85 ve ÖSB'de %20 artımla %95 doğruluk gözlenmiştir. S16 için AGG'nin sınıflandırılmasında %78.95, SSB'de %5.27 düşüşle %73.68 ve ÖSB'de %1.05 artımla %80 doğruluk görülmüştür. S17 için AGG'nin sınıflandırılmasında %75 doğruluk gözlenirken SSB'de değişim olmamıştır. ÖSB'de ise %5 artışla %80 doğruluk elde edilmiştir. S18 için AGG'nin sınıflandırılmasında %75 doğruluk elde edilirken SSB'de değişim olmamıştır. ÖSB'de ise %0.5 düşüşle %74.5 doğruluk gözlenmiştir. S19 için AGG'nin sınıflandırılmasında %73.68, SSB'de %10.53 artışla %84.21 ve ÖSB'de %4.82 artımla %78.5 doğruluk elde edilmiştir. S21 için AGG'nin sınıflandırılmasında %78.95, SSB'de %10.53 düşüşle %68.42 ve ÖSB'de %4.5 artımla %83 doğruluk elde edilmiştir. S22 için AGG'nin sınıflandırılmasında %85, SSB'de %5 artımla %90 ve ÖSB'de %8 artımla %93 doğruluk elde edilmiştir.

DVM yöntemi ile denekler boyunca elde edilen ortalama doğruluk ve standart sapma değerleri şu şekildedir. ARO boyutunda AGG görüntülerinden 78.87 ± 4.91 oranında doğruluk elde edilirken AGG'lerine SSB uygulandıktan sonra 2.72 artışla 81.59 ± 6.13 doğruluk ve AGG'lerine ÖSB uygulandıktan sonra 7.17 artışla 86.04 ± 7.52 doğruluk değerleri gözlenmiştir. VAL boyutunda ise AGG görüntülerinde 78.61 ± 3.71 oranında doğruluk, AGG'lerine SSB uygulandıktan sonra 0.26 artışla 78.87 ± 5.56 doğruluk ve AGG'lerine ÖSB uygulandıktan sonra 9.01 artışla 87.62 ± 6.74 değerlerinde doğruluk elde edilmiştir.

Tablo 3.13. Birinci AGD yaklaşımı için yüz, AGG, sensör ve öznitelik seviyesinde birleştirme sonrasında elde edilen DVM sınıflandırma sonuçları

Denek	ARO				VAL			
	Yüz	AGG	SSB	ÖSB	Yüz	AGG	SSB	ÖSB
S01	62	65 (1)	75 (14)	94.5 (12)	61.58	84.21 (14)	73.68 (3,6,15)	93.5(5)
S02	65	80 (5,32)	80 (22,29)	89.5 (5)	63.16	78.95 (2)	84.21 (26)	95(16)
S04	66.5	85 (7,17)	80 (3,15)	94(18)	68	85 (20)	85 (2,4,5,18)	89.5(12)
S06	58.95	78.95 (1,4)	78.95 (22)	87.5(14)	76.5	80 (3,6,13,16,18)	80 (7,21,31)	94(31)
S07	63.68	73.68 (4,14,23)	78.95 (32)	93(5)	70	80 (16,28)	75 (6,16,29,32)	88(12)
S08	58.5	75 (8,20,30)	75 (7)	83.5(2,7)	51.5	75 (25)	80 (32)	83.5(7)
S09	61.05	78.95 (11,31)	78.95 (8)	86.5(9)	52.63	73.68 (2,10)	78.95 (18)	84(3)
S10	62.5	75 (6)	70 (1,7,10)	80.5(8)	49	80 (2)	80 (6)	94.5(8)
S12	84.21	84.21 (tüm kanallar)	84.21 (tüm kanallar)	84.21 (tüm kanallar)	48.95	78.95 (26)	78.95 (12,15)	93.5(12)
S13	85	85 (tüm kanallar)	85 (tüm kanallar)	95(4,5,6,8)	62.11	78.95 (17)	73.68 (7,22,31)	90 (22)
S15	58.95	78.95 (9)	89.47 (12)	90 (22)	66	75 (5,23)	85 (28)	95(29,30)
S16	81.5	80 (21,22,30)	95 (17)	95 (5,6,7,12,16,18,21,22,26)	68.42	78.95 (9,18,22,27,30)	73.68 (5,17,31)	80(2)
S17	54.74	78.95 (18,22,31)	78.95 (23)	74 (27)	60	75 (19)	75 (12)	80(26)
S18	68.42	78.95 (16,29)	89.47 (28)	74 (6)	64.5	75 (14,22,29)	75 (20,29,32)	74.5(16)
S19	73.68	78.95 (4,29,31)	84.21 (20,25,26)	75.5 (31)	61.05	73.68 (14,16)	84.21 (18)	78.5(2)
S21	80	80 (tüm kanallar)	85 (3,9,10,27)	88.89 (4)	60	78.95 (31)	68.42 (6,27)	83(7)
S22	60	84.21 (30)	78.95 (1,12)	77 (7)	60	85 (4)	90 (12)	93(6)
ORT±SS	67.33±9.81	78.87±4.91	81.59±6.13	86.04±7.52	61.38±7.58	78.61±3.71	78.87±5.56	87.62±6.74

3.1.3.2. İkinci AGD Yaklaşımının EEG Sinyallerine Uygulanmasıyla Elde Edilen Sonuçlar ve Analizler

DEAP veri setinde yer alan sinyallere ikinci AGD yaklaşımı uygulanması sonucunda elde edilen sinyal görüntüleri ve çok modlu yaklaşımların uygulanması sonucu elde edilen verilerin K-EYK ile sınıflandırılmasından elde edilen sonuçlar Tablo 3.14'te ki gibidir. Yüz

görüntüleri için herhangi bir dönüşüm yöntemi uygulanmadığından sonuçlara ait detaylar Bölüm 3.1.3.1.1'de ki gibidir. ARO boyutunda elde edilen sınıflandırma sonuçları şu şekildedir. S01 için AGG'nin sınıflandırılmasında %75 doğruluk elde edilmiştir. SSB uygulandığında %5 artışla %80 ve ÖSB uygulandığında %10 artışla %85 doğruluk elde edilmiştir. S02 için AGG'nin sınıflandırılmasında %75 doğruluk elde edilirken SSB'de değişim olmamıştır. ÖSB'de ise %12 artışla %87 doğruluk gözlenmiştir. S04 için AGG'nin sınıflandırılmasında %75, SSB'de %20 düşüşle %55 ve ÖSB'de %13.5 artışla %88.5 doğruluk elde edilmiştir. S06 için AGG'nin sınıflandırılmasında %73.68, SSB'de %5.27 artışla %78.95 ve ÖSB'de ise %11.32 artışla %85 doğruluk görülmüştür. S07 için AGG'nin sınıflandırılmasında %78.95, SSB'de %5.26 artışla %84.21 ve ÖSB'de %3.55 artışla %82.5 doğruluk elde edilmiştir. S08 için AGG'nin sınıflandırılmasında %80, SSB'de %5 düşüşle %75 ve ÖSB'de %5.5 artışla %85.5 doğruluk elde edilmiştir. S09 için AGG'nin sınıflandırılmasında %84.21, SSB'de %5.26 düşüşle %78.95 ve ÖSB'de %3.21 düşüşle %81 doğruluk gözlenmiştir. S10 için AGG'nin sınıflandırılmasında %80, SSB'de %5 artışla %85 ve ÖSB'de %4 artışla %84 doğruluk elde edilmiştir. S12 için AGG'nin sınıflandırılmasında %89.47 doğruluk elde edilirken SSB'de değişim olmamıştır. ÖSB'de ise %5.53 artışla %95 doğruluk elde edilmiştir. S13 için AGG'nin sınıflandırılmasında %90 doğruluk elde edilirken SSB'de değişim olmamıştır. ÖSB'de ise %5 artışla %95 doğruluk gözlenmiştir. S15 için AGG'nin sınıflandırılmasında %78.95, SSB'de %5.26 artımla %84.21 ve ÖSB'de %5.55 artımla %84.5 doğruluk elde edilmiştir. S16 için AGG'nin sınıflandırılmasında %85, SSB'de %5 düşüşle %80 doğruluk elde edilirken ve ÖSB'de doğrulukta bir değişim olmamıştır. S17 için AGG'nin sınıflandırılmasında %73.68, SSB'de %5.27 artışla %78.95 ve ÖSB'de %9.32 artışla %83 doğruluk gözlenmiştir. S18 için AGG'nin sınıflandırılmasında %84.21, SSB'de %5.26 düşüşle %78.95 ve ÖSB'de ise %5.29 artışla %89.5 doğruluk elde edilmiştir. S19 için AGG'nin sınıflandırılmasında %84.21 doğruluk elde edilirken SSB'de değişim olmamıştır. ÖSB'de ise %6.79 artışla %91 doğruluk gözlenmiştir. S21 için AGG'nin sınıflandırılmasında %85 doğruluk elde edilirken SSB'de değişim olmamıştır. ÖSB'de ise %10 artışla %95 doğruluk elde edilmiştir. S22 için AGG'nin sınıflandırılmasında %84.21, SSB'de %5.26 düşüşle %78.95 ve ÖSB'de ise %5.79 artışla %90 doğruluk elde edilmiştir.

VAL boyutu için sonuçlar şu şekildedir. S01 için AGG'nin sınıflandırılmasında %73.68 doğruluk elde edilirken SSB'de değişim olmamıştır. ÖSB'de ise %11.82 artımla doğruluk %85.5 olarak elde edilmiştir. S02 için AGG'nin sınıflandırılmasında %89.47

doğruluk elde edilirken SSB'de değişim olmamıştır. ÖSB'de ise %2.97 artımla %86.5 doğruluk gözlenmiştir. S04 için AGG'nin sınıflandırılmasında %80, SSB'de %5 artımla %85 ve ÖSB'de %6 artımla %91 doğruluk elde edilmiştir. S06 için AGG'nin sınıflandırılmasında %90, SSB'de %5 düşüşle %85 ve ÖSB'de %2 artışla %92 doğruluk elde edilmiştir. S07 için AGG'nin sınıflandırılmasında %85, SSB'de %5 düşüşle %80 ve ÖSB'de %3 artışla %88 doğruluk değeri gözlenmiştir. S08 için AGG'nin sınıflandırılmasında %75 doğruluk elde edilirken SSB'de değişim olmamıştır. ÖSB'de ise %4.5 artışla %79.5 doğruluk elde edilmiştir. S09 için AGG'nin sınıflandırılmasında %73.68, SSB'de %5.27 artışla %78.95 ve ÖSB'de %9.82 artışla %83.5 doğruluk elde edilmiştir. S10 için AGG'nin sınıflandırılmasında %75 doğruluk elde edilirken SSB'de %5 artımla %80 ve ÖSB'de %6.5 artımla %81.5 doğruluk gözlenmiştir. S12 için AGG'nin sınıflandırılmasında %78.94, SSB'de %5.26 düşüşle %73.68 ve ÖSB'de %3.56 artımla %82.5 doğruluk değeri elde edilmiştir. S13 için AGG'nin sınıflandırılmasında %84.21, SSB'de %5.27 düşüşle %78.95 ve ÖSB'de ise %1.21 düşüşle %83 doğruluk elde edilmiştir. S15 için AGG'nin sınıflandırılmasında %75, SSB'de %5 artımla %80 ve ÖSB'de ise %5.5 artımla %80.5 doğruluk gözlenmiştir. S16 için AGG'nin sınıflandırılmasında %73.68 doğruluk elde edilirken SSB'de %10.53 artımla %84.21 ve ÖSB'de %14.82 artımla %88.5 doğruluk elde edilmiştir. S17 için AGG'nin sınıflandırılmasında %80, SSB'de %5 düşüşle %75 ve ÖSB'de %2.5 artımla %82.5 doğruluk elde edilmiştir. S18 için AGG'nin sınıflandırılmasında %85 doğruluk elde edilirken SSB'de %10 düşüşle %75 ve ÖSB'de ise %1.5 artımla %83.5 doğruluk elde edilmiştir. S19 için AGG'nin sınıflandırılmasında %84.21, SSB'de %5.26 düşüşle %78.95 ve ÖSB'de ise %2.79 artımla %87 doğruluk gözlenmiştir. S21 için AGG'nin sınıflandırılmasında %84.21, SSB'de %5.26 düşüşle %78.95 ve ÖSB'de %2.71 düşüşle %81.5 doğruluk elde edilmiştir. S22 için AGG'nin sınıflandırılmasında %85 doğruluk elde edilirken SSB'de %5 düşüşle %80 ve ÖSB'de %0.5 artımla %85.5 doğruluk elde edilmiştir.

DVM ile denekler boyunca hesaplanan ortalama doğruluk ve standart sapma değerleri şu şekildedir. ARO boyutunda AGG görüntülerinden 80.97 ± 5.31 , AGG'lerine SSB uygulandıktan sonra 80.11 ± 7.79 ve AGG'lerine ÖSB uygulandıktan sonra 87.44 ± 4.49 değerleri elde edilmiştir. VAL boyutunda AGG görüntülerinde 80.71 ± 5.62 , AGG'lerine SSB uygulandıktan sonra 84.82 ± 3.61 ve AGG'lerine ÖSB uygulandıktan sonra 84.82 ± 3.61

değerleri gözlenmiştir. Bu sonuçlar incelendiğinde ARO boyutunda elde edilen sınıflandırma doğruluklarının VAL boyutuna göre daha başarılı olduğu görülmektedir.

Tablo 3.14. İkinci AGD yaklaşımı için yüz, AGG, sensör ve öznitelik seviyesinde birleştirme sonrasında elde edilen K-EYK sınıflandırma sonuçları

Denek	ARO				VAL			
	Yüz	AGG	SSB	ÖSB	Yüz	AGG	SSB	ÖSB
S01	57.5	75 (8,28,29)	80 (4)	85 (21)	52.63	73.68 (3,11,26)	73.68 (22)	85.5 (13)
S02	78.5	75 (15)	75 (2,5,12,32)	87 (27)	66.84	89.47 (27)	89.47 (11)	86.5 (27)
S04	60	75 (21,18,14,11,9,5)	55 (4,12,15,18,31)	88.5 (4)	61	80 (4,12)	85 (2,11,15,24)	91 (4)
S06	61.58	73.68 (11,27)	78.95 (27,28)	85 (1)	72.5	90 (24)	85 (8,29)	92 (19,25)
S07	62.11	78.95 (29,32)	84.21 (16,22)	82.5 (1)	63.5	85 (6,9)	80 (24)	88 (8)
S08	62	80 (26,31)	75 (20,25,31)	85.5 (13)	48	75 (26)	75 (9,23)	79.5 (3)
S09	57.37	84.21 (31)	78.95 (4)	81 (8,17)	50.53	73.68 (3,6,22)	78.95 (7)	83.5 (1)
S10	49	80 (17)	85 (28)	84 (7)	61.5	75 (6)	80 (12)	81.5 (16)
S12	84.21	89.47 (4,8,14)	89.47 (11)	95 (2,3,4,5,6,7,10,11,13,14,15,20,22,23)	55.26	78.94 (15)	73.68 (9,32)	82.5(16)
S13	85	90 (8,25)	90 (9,25)	95 (tüm kanallar)	49.47	84.21 (1,26)	78.95 (3)	83 (17)
S15	61.58	78.95 (2,25)	84.21 (15)	84.5 (12)	53	75 (13,28)	80 (28)	80.5 (13)
S16	53.5	85 (2)	80 (17)	85 (13,22)	63.16	73.68 (17)	84.21 (22)	88.5 (9)
S17	64.21	73.68 (12,22,26)	78.95 (28)	83 (17)	62.5	80 (25)	75 (28)	82.5 (20)
S18	62.11	84.21 (10)	78.95 (5,9,16,24)	89.5 (1)	60.5	85 (5)	75 (3,12)	83.5 (26)
S19	74.74	84.21 (32)	84.21 (30)	91 (24)	58.95	84.21 (2)	78.95 (1)	87 (25)
S21	79	85 (3,5,10,28,30,32)	85 (2,9,12,25,31)	95 (2,13,25)	65.26	84.21 (17)	78.95 (30)	81.5 (1)
S22	69.47	84.21 (14,19)	78.95 (2,3,8,9,14,20)	90 (19)	48	85 (23)	80 (2,4,15,22,27)	85.5 (22)
ORT±S S	65.99±10.6 7	80.97±5.31	80.11±7.79	87.44±4.49	58.39±7.22	80.71±5.62	79.52±4.42	84.82±3.61

DEAP veri setinde yer alan sinyallere ikinci AGD yaklaşımı uygulanması sonucunda elde edilen sinyal görüntüleri ve çok modlu yaklaşımların uygulanması sonucunda elde edilen verilerin DVM ile sınıflandırılmasından elde edilen sonuçlar Tablo 3.15'te ki gibidir.

Yine bu kısımda da yüz görüntüleri için herhangi bir dönüşüm yöntemi uygulanmadığından sonuçlara ait detaylar Bölüm 3.1.3.1.2’de ki gibidir. ARO boyutu için sınıflandırma sonuçları şu şekildedir. S01 deneği için AGG’nin sınıflandırılmasında %75 doğruluk elde edilmiştir. SSB uygulandığında doğrulukta bir değişim olmazken ÖSB’de %20 artışla %95 doğruluk elde edilmiştir. S02 için AGG’nin sınıflandırılmasında %70, SSB’de %5 artışla %75 ve ÖSB’de %16 artışla %86 doğruluk gözlenmiştir. S04 için AGG’nin sınıflandırılmasında %85 doğruluk gözlenirken SSB’de değişim olmamıştır. ÖSB’de ise %7 artışla %92 doğruluk elde edilmiştir. S06 için AGG’nin sınıflandırılmasında %84.21, SSB’de %5.26 düşüşle %78.95 ve ÖSB’de %8.29 artışla %92.5 doğruluk elde edilmiştir. S07 için AGG’nin sınıflandırılmasında %78.95 doğruluk elde edilirken SSB’de %5.27 düşüşle %73.68 ve ÖSB’de ise %16.05 artışla %95 doğruluk gözlenmiştir. S08 için AGG’nin sınıflandırılmasında %75, SSB’de %5 artışla %80 ve ÖSB’de %17.5 artışla %92.5 doğruluk elde edilmiştir. S09 için AGG’nin sınıflandırılmasında %78.95 doğruluk gözlenirken SSB’de değişim olmamıştır. ÖSB’de ise %18.5 artışla %93.5 doğruluk elde edilmiştir. S10 için AGG’nin sınıflandırılmasında %70, SSB’de %5 artışla %75 ve ÖSB’de %20 artışla %90 doğruluk elde edilmiştir. S12 için AGG’nin sınıflandırılmasında %84.21 doğruluk elde edilirken SSB’de %5.26 artışla %89.47 ve ÖSB’de %10.79 artışla %95 doğruluk gözlenmiştir. S13 için AGG’nin sınıflandırılmasında %85, SSB’de %4.47 artışla %89.47 doğruluk ve ÖSB’de ise %10 artışla %95 doğruluk elde edilmiştir. S15 için AGG’nin sınıflandırılmasında %84.21 doğruluk gözlenirken SSB’de değişim olmamıştır. ÖSB’de ise %3.79 artışla %88 doğruluk elde edilmiştir. S16 için AGG’nin sınıflandırılmasında %75, SSB’de %5 artışla %80 ve ÖSB’de %20 artışla %95 doğruluk elde edilmiştir. S17 için AGG’nin sınıflandırılmasında %78.95 doğruluk elde edilirken SSB’de %5.26 artışla %84.21 ve ÖSB’de %15.55 artışla %94.5 doğruluk elde edilmiştir. S18 için AGG’nin sınıflandırılmasında %78.95, SSB’de % 5.26 artışla %84.21 ve ÖSB’de ise %14.05 artışla %93 doğruluk gözlenmiştir. S19 için AGG’nin sınıflandırılmasında %84.21, SSB’de %5.26 düşüşle %78.95 ve ÖSB’de ise %5.79 artışla %90 doğruluk elde edilmiştir. S21 için AGG’nin sınıflandırılmasında %85, SSB’de %5 artışla %90 ve ÖSB’de ise %10 artışla %95 doğruluk gözlenmiştir. S22 için AGG’nin sınıflandırılmasında %89.47 doğruluk elde edilirken SSB’de %5.26 düşüşle %84.21 ve ÖSB’de ise %0.03 artışla %89.5 doğruluk elde edilmiştir.

VAL boyutu için sonuçlar ise şu şekildedir. S01 için AGG'nin sınıflandırılmasında %78.95 doğruluk gözlenirken SSB'de değişim olmamıştır. ÖSB'de ise %11.05 artışla doğruluk %90 olarak elde edilmiştir. S02 için AGG'nin sınıflandırılmasında %73.68, SSB'de %5.27 artışla %78.95 ve ÖSB'de %18.32 artışla %92 doğruluk elde edilmiştir. S04 için AGG'nin sınıflandırılmasında %85 doğruluk gözlenirken SSB'de değişim olmamıştır. ÖSB'de %8.5 artışla %93.5 doğruluk elde edilmiştir. S06 için AGG'nin sınıflandırılmasında %85, SSB'de %5 düşüşle %80 ve ÖSB'de %1.5 düşüşle %83.5 doğruluk gözlenmiştir. S07 için AGG'nin sınıflandırılmasında %80, SSB'de %5 düşüşle %75 ve ÖSB'de %10.5 artışla %90.5 doğruluk elde edilmiştir. S08 için AGG'nin sınıflandırılmasında %80, SSB'de %5 düşüşle %75 ve ÖSB'de ise %7 artışla %87 doğruluk gözlenmiştir. S09 için AGG'nin sınıflandırılmasında %84.21 doğruluk gözlenirken SSB'de değişim olmamıştır. ÖSB'de ise %6.29 artışla %90.5 doğruluk gözlenmiştir. S10 için AGG'nin sınıflandırılmasında %75, SSB'de %5 artışla %80 ve ÖSB'de ise %14.5 artışla %89.5 doğruluk elde edilmiştir. S12 için AGG'nin sınıflandırılmasında %78.95 doğruluk gözlenirken SSB'de değişim olmamıştır. ÖSB'de ise %16.05 artışla %95 doğruluk gözlenmiştir. S13 için AGG'nin sınıflandırılmasında %78.95 doğruluk gözlenirken SSB'de değişim olmamıştır. ÖSB'de ise %7.05 artışla doğruluk %86 olarak gözlenmiştir. S15 için AGG'nin sınıflandırılmasında %75, SSB'de %5 düşüşle %70 ve ÖSB'de %20 artışla %95 doğruluk elde edilmiştir. S16 için AGG'nin sınıflandırılmasında %78.95 doğruluk gözlenirken SSB'de değişim olmamıştır. ÖSB'de ise %13.05 artışla doğruluk %92 olarak gözlenmiştir. S17 için AGG'nin sınıflandırılmasında %80, SSB'de %5 düşüşle %75 ve ÖSB'de %11 artışla %91 doğruluk elde edilmiştir. S18 için AGG'nin sınıflandırılmasında %80, SSB'de %5 düşüşle %75 ve ÖSB'de ise %11 artışla %91 doğruluk görülmüştür. S19 için AGG'nin sınıflandırılmasında %84.21 doğruluk elde edilirken SSB'de %5.26 düşüşle %78.95 ve ÖSB'de %8.79 artışla %93 doğruluk elde edilmiştir. S21 için AGG'nin sınıflandırılmasında %78.95, SSB'de %10.53 düşüşle %68.42 ve ÖSB'de %13.05 artışla %92 doğruluk elde edilmiştir. S22 için AGG'nin sınıflandırılmasında %85 doğruluk elde edilirken SSB'de %5 düşüşle %80 ve ÖSB'de ise %9.5 artışla doğruluk %94.5 olarak elde edilmiştir.

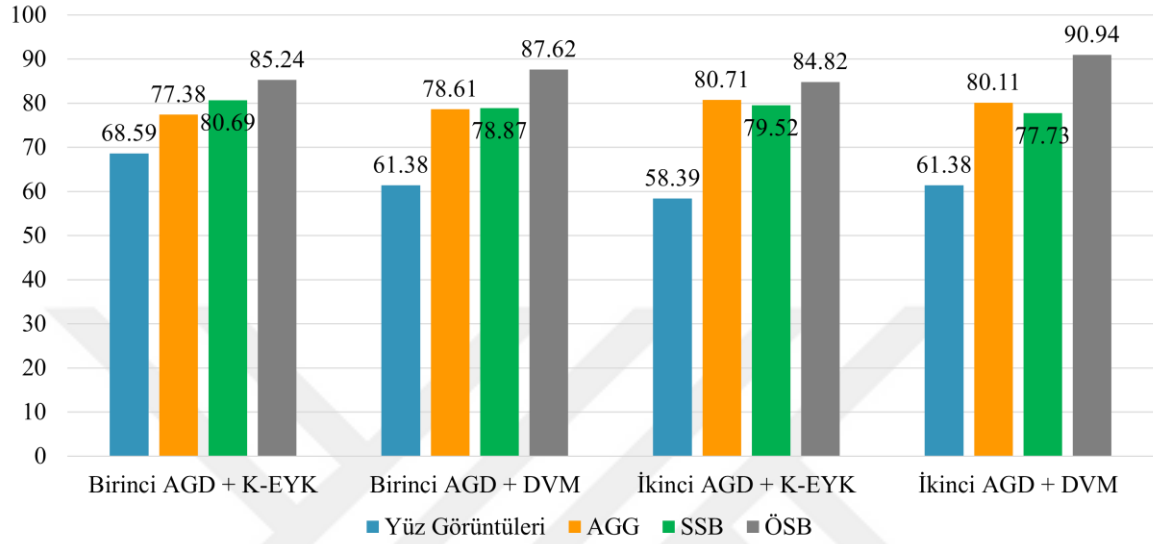
DVM ile denekler boyunca hesaplanan ortalama doğruluk ve standart sapma değerleri şu şekildedir. ARO boyutunda AGG görüntülerinde 80.12 ± 5.67 , AGG'lerine SSB uygulanması sonrası 81.55 ± 5.32 ve AGG'lerine ÖSB uygulanması sonrasında 92.44 ± 2.73 değerleri elde edilmiştir. VAL için ise AGG

görüntülerinde $\%80.11 \pm 3.59$, AGG'lerine SSB uygulanması sonrasında $\%2.38$ 'lik bir düşüşle $\%77.73 \pm 4.29$ ve AGG'lerine ÖSB uygulanması sonrasında $\%10.93$ 'lik bir artışla $\%90.94 \pm 3.15$ değerleri gözlenmiştir. Bu sonuçlar incelendiğinde ARO boyutunda elde edilen sınıflandırma doğruluklarının VAL boyutuna göre daha başarılı olduğu görülmektedir.

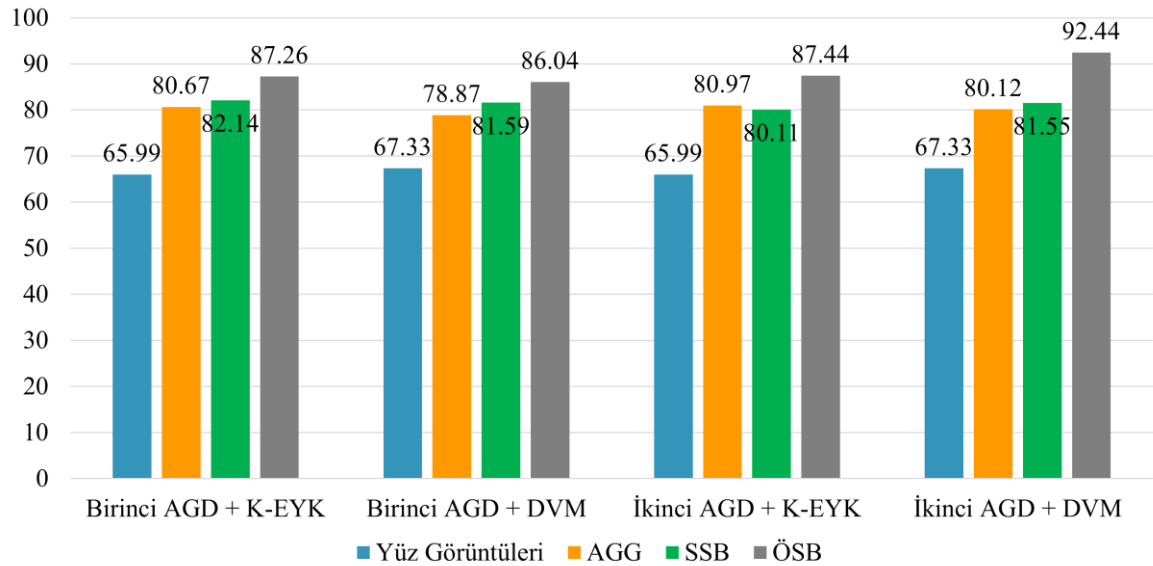
Tablo 3.15. İkinci AGD yaklaşımı için yüz, AGG, sensör ve öznetelik seviyesinde birleştirme sonrasında elde edilen DVM sınıflandırma sonuçları

Denek	ARO				VAL			
	Yüz	AGG	SSB	ÖSB	Yüz	AGG	SSB	ÖSB
S01	62	75 (16,20,28)	75 (8,13)	95(1-15)	61.58	78.95 (28)	78.95 (27)	90 (11)
S02	65	70 (7,9,28,30)	75 (9,22)	86(8)	63.16	73.68 (2,6,20,25)	78.95 (5)	92 (5)
S04	66.5	85 (5)	85 (22)	92(8)	68	85 (16)	85 (18)	93.5(4)
S06	58.95	84.21 (11)	78.95 (9)	92.5(10)	76.5	85 (tüm kanallar)	80 (9,32)	83.5(2)
S07	63.68	78.95 (25)	73.68 (7,11,12,16,22)	95(5)	70	80 (11,17)	75 (5,10,12,13,14,18,24,25,27)	90.5(1,2)
S08	58.5	75 (12)	80 (22)	92.5(7,15)	51.5	80 (15)	75 (18)	87(2)
S09	61.05	78.95 (14,15)	78.95 (10,14,15,21)	93.5 (14)	52.63	84.21 (25)	84.21 (18,21)	90.5 (2)
S10	62.5	70 (4,12,17,22,23,26)	75 (22)	90 (1)	49	75 (32)	80 (6,13)	89.5 (2)
S12	84.21	84.21 (tüm kanallar)	89.47 (25,30)	95(1)	48.95	78.95 (15,21,30)	78.95 (5,10,21)	95 (4,5,6,7,8)
S13	85	85 (tüm kanallar)	89.47 (tüm kanallar)	95(5)	62.11	78.95 (5,14,22)	78.95 (20)	86 (8)
S15	58.95	84.21 (11)	84.21 (26,32)	88(12)	66	75 (7,27)	70 (5,9,12,22,28)	95 (9)
S16	81.5	75 (7)	80 (32)	95(1-7)	68.42	78.95 (7,14,22,23,24,25)	78.95 (14)	92 (15)
S17	54.74	78.95 (31)	84.21 (23)	94.5(8)	60	80 (6)	75 (4)	91 (9)
S18	68.42	78.95 (2,31)	84.21 (5)	93(5)	64.5	80 (12)	75 (22,26,32)	91 (8,9)
S19	73.68	84.21 (25)	78.95 (1,8,13,19,20)	90(4)	61.05	84.21 (3,31)	78.95 (20)	93 (9)
S21	80	85 (10,12,22,28)	90 (10,12)	95(4, 5, 8)	60	78.95 (7,11,19)	68.42 (4,18,21,27)	92(5)
S22	60	89.47 (10)	84.21 (26,27)	89.5(5)	60	85 (24)	80 (4,27)	94.5(15)
ORT $\pm$ SS	67.33 $\pm$ 9.81	80.12 $\pm$ 5.67	81.55 $\pm$ 5.32	92.44 $\pm$ 2.73	61.38 $\pm$ 7.58	80.11 $\pm$ 3.59	77.73 $\pm$ 4.29	90.94 $\pm$ 3.15

Bölüm 3.1.3'te listelenen tüm sonuçlara ilişkin olarak hazırlanan karşılaştırmalı grafikler VAL sınıfı için Şekil 3.3'te ve ARO sınıfı için Şekil 3.4'te verilmektedir.



Şekil 3.3. DEAP-VAL için elde edilen tüm sonuçların karşılaştırmalı grafiği



Şekil 3.4. DEAP-ARO için elde edilen tüm sonuçların karşılaştırmalı grafiği

3.2. KMED Veri Seti İçin Bulgular ve İrdeleme

3.2.1. AGD-II İçin Deneysel Sonuçlar ve Analizler

Çalışmada performans ölçütü olarak kullanılan doğruluk değeri, veri setinde yer alan her bir denek için 10-kat çapraz doğrulama yapılarak elde edilen sonuçların ortalamaları alınarak hesaplanmıştır. Veri setinin eğitim ve test kümeleri farklı günlerde alınan verilerle oluşturulmuştur. Her farklı gün oturumlarında farklı video içerikleri izletilmiştir. Yani bir video içeriği tüm deneyde sadece bir defa izletilmiştir. Öznitelik çıkarma ve sınıflandırma aşamalarında kullanılmak için optimum parametre değerleri eğitim kümesinin alt eğitim ve doğrulama kümeleriyle belirlenip test kümesi bu işleme dahil edilmemiştir.

Veri seti hazırlarken ilk 10 denek için kayıtlar 32 kanaldan alınırken son 5 denek için 25 kanaldan alınmıştır. Görüleceği üzere son 5 denekte daha az elektrot kullanılmıştır. Bunun nedenleri saç yoğunluğu kaynaklı kayıt problemleri, Emotiv Flex kayıt cihazının temizlenmesi sırasında elektrotlara bağlanan bazı kablolarda kesiklerin oluşması, kesiklikler nedeniyle veri iletim probleminin oluşmasıdır. İlk 10 denek için kayıtların alındığı sensör elektrotlar şu şekildedir: (1) Cz, (2) Fz, (3) Fp1, (4) AF3, (5) F7, (6) F3, (7) FC1, (8) C3, (9) FC5, (10) T7, (11) CP5, (12) CP1, (13) P3, (14) P7, (15) PO3, (16) O1, (17) Pz, (18) Oz, (19) O2, (20) PO4, (21) P8, (22) P4, (23) CP2, (24) CP6, (25) C4, (26) FC6, (27) T8, (28) FC2, (29) F4, (30) F8, (31) AF4, (32) Fp2. Benzer şekilde son 5 denek için kullanılan elektrotlar şu şekildedir: (1) Cz, (2) Fp1, (3) AF3, (4) F7, (5) F3, (6) FC1, (7) C3, (8) FC5, (9) T7, (10) CP5, (11) CP1, (12) P3, (13) P7, (14) Pz, (15) P8, (16) P4, (17) CP2, (18) CP6, (19) C4, (20) FC6, (21) T8, (22) FC2, (23) F4, (24) AF4, (25) Fp2. Bu bölümünde (Bölüm 3.2) yer alan tüm tablolarda sınıflandırma doğruluklarının yanında parantez içinde numara değerleri verilmiştir. Bu değerler sinyallerin kaydedildiği sensör elektrotlara ait numaraları belirtmektedir.

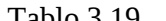
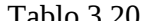
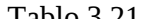
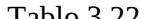
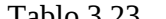
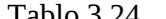
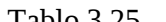
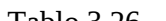
Kayıt işleminin tamamlanmasıyla oluşturulan KMED veri seti şu şekilde dört farklı sınıf verileri içermektedir: (1) komik, (2) korkunç, (3) tiksiniç ve (4) rahatlama. Bu nedenle, bu bölümdeki tüm tablolarda sütun başlıklarındaki sınıf çiftleri sınıf etiketlerini ifade etmektedir. Sınıf etiketi ve sınıf çiftlerine ait eşleşmeler şu şekilde işaretlenmiştir:

- Komik ve korku sınıflarına ait veriler sınıflandırılırken 1 ve 2 sınıf çifti

- Komik ve tiksiniç sınıflarına ait veriler sınıflandırılırken 1 ve 3 sınıf çifti
- Komik ve rahatlama sınıflarına ait veriler sınıflandırılırken 1 ve 4 sınıf çifti
- Korku ve tiksiniç sınıflarına ait veriler sınıflandırılırken 2 ve 3 sınıf çifti
- Korku ve rahatlama sınıflarına ait veriler sınıflandırılırken 2 ve 4 sınıf çifti
- Tiksiniç ve rahatlama sınıflarına ait veriler sınıflandırılırken 3 ve 4 sınıf çifti

KMED veri setine uygulanan tüm yöntemler ve bu yöntemlere ait sınıflandırma doğruluklarının yer aldığı tüm tabloların özet olarak gösterimi Tablo 3.16’da verilmektedir. Tablonun ilk satırında sadece yüz görüntülerinin K-EYK ve DVM ile sınıflandırılmasından elde edilen doğruluklarının yer aldığı tablo numaraları verilmiştir. İkinci satırında Birinci AGD’nin K-EYK ve DVM ile füzyondan önce (AGG için) ve füzyondan sonra (SSB ve ÖSB-3 için) sınıflandırılmasından elde edilen sınıflandırma doğruluklarının yer aldığı tablo numaraları verilmektedir. Üçüncü satırında ise İkinci AGD’nin K-EYK ve DVM ile füzyondan önce (AGG için) ve füzyondan sonra (SSB ve ÖSB-3 için) sınıflandırılmasından elde edilen sınıflandırma doğruluklarının yer aldığı tablo numaraları verilmektedir.

Tablo 3.16. KMED veri setine uygulanan tüm yöntemler sonucunda elde edilen sınıflandırma doğruluklarının yer aldığı tablo isimleri

Yüz Görüntüleri için	K-EYK  Tablo 3.17	
	DVM  Tablo 3.18	
Birinci AGD Yaklaşımı için (Bölüm 2.2.1)	K-EYK	AGG  Tablo 3.19
		SSB (Bölüm 2.3.1)  Tablo 3.20
		ÖSB-3 (Bölüm 2.3.2)  Tablo 3.21
	DVM	AGG  Tablo 3.22
		SSB  Tablo 3.23
		ÖSB-3  Tablo 3.24
İkinci AGD Yaklaşımı için (Bölüm 2.2.2)	K-EYK	AGG  Tablo 3.25
		SSB  Tablo 3.26
		ÖSB-3  Tablo 3.27
	DVM	AGG  Tablo 3.28
		SSB  Tablo 3.29
		ÖSB-3  Tablo 3.30

3.2.2. KMED Veri Seti Yüz Görüntüleri Sınıflandırma Sonuçları

3.2.2.1. Yüz Görüntüleri İçin K-EYK Sınıflandırma Sonuçları ve Analizler

KMED veri setindeki deneklerin yüz görüntüleri çok modlu çalışmanın katkılarının doğru irdelenmesi için ayrıca sınıflandırılmıştır. İkili sınıf çiftleri için K-EYK sınıflandırıcısından elde edilen sınıflandırma doğrulukları Tablo 3.17’de verilmektedir. D01-D15 denekleri için farklı sınıf çiftlerinde en başarılı sonuçlar şu şekildedir: D01 için 1 ve 2 çiftinde %67.09; D02 için 1 ve 4 çiftinde %65.06; D03 için 1 ve 2 çiftinde %67.07; D04 için 1 ve 2 çiftinde %60.49; D05 için 1 ve 3 çiftinde %59.76; D06 için 1 ve 4 çiftinde %60.98; D07 için 2 ve 3 çiftinde %62.03; D08 için 2 ve 3 çiftinde %62.82; D09 için 3 ve 4 çiftinde %61.73; D10 için 1 ve 3 çiftinde %63.41; D11 için 3 ve 4 çiftinde %65.28; D12 için 1 ve 2 çiftinde %67.11; D13 için 1 ve 2 çiftinde %64.71; D14 için 3 ve 4 çiftinde %64.79 ve D15 için 1 ve 4 çiftinde %63.75 oranındadır.

Tablo 3.17. Yüz görüntülerinde K-EYK ile elde edilen ikili sınıflandırma sonuçları

Denek	1 ve 2	1 ve 3	1 ve 4	2 ve 3	2 ve 4	3 ve 4
D01	67.09	67.07	65.85	63.29	59.49	59.76
D02	57.5	55.56	65.06	59.74	60.76	62.5
D03	67.07	63.41	58.54	62.5	55	58.75
D04	60.49	59.3	60	59.26	57.5	60
D05	58.75	59.76	54.88	56.25	55	58.54
D06	59.76	54.88	60.98	60	55	60
D07	58.75	56.79	58.75	62.03	60.26	58.23
D08	60.26	54.88	58.02	62.82	59.74	55.56
D09	60	60.98	58.02	60	60.76	61.73
D10	59.49	63.41	57.32	58.23	62.03	57.32
D11	57.53	58.11	61.11	61.64	59.15	65.28
D12	67.11	60	58.75	60.26	62.82	59.76
D13	64.71	60.29	55.07	58.82	58.82	57.97
D14	60.56	56.52	57.14	58.33	58.9	64.79
D15	59.49	60.49	63.75	62.5	56.96	61.73
ORT±SS	61.24±3.45	59.43±3.47	59.55±3.29	60.38±2.04	58.81±2.48	60.13±2.68

Tüm sınıf çiftleri için 15 denek boyunca K-EYK ile gözlenen ortalama doğruluk ve standart sapma değerleri şu şekildedir: 1 ve 2 sınıfları için $\%61.24 \pm 3.45$; 1 ve 3 sınıfları için $\%59.43 \pm 3.47$; 1 ve 4 sınıfları için $\%59.55 \pm 3.29$; 2 ve 3 sınıfları için $\%60.38 \pm 2.04$; 2 ve 4 sınıfları için $\%58.81 \pm 2.48$; 3 ve 4 sınıfları için $\%60.13 \pm 2.68$. Tüm denekler boyunca altı farklı sınıf çifti arasındaki sınıflandırma sonuçları incelendiğinde komik (1) ve korku (2) çiftinin sınıflandırılmasında en başarılı sonuçlar elde edilmiştir. Diğer yandan en başarısız sonuçlar korku (2) ve rahatlama (4) çiftine ait yüz görüntülerinin sınıflandırılmasında elde edilmiştir.

3.2.2.2. Yüz Görüntüleri İçin DVM Sınıflandırma Sonuçları ve Analizler

Tüm ikili sınıf çiftleri içinde yüz görüntülerinin DVM ile sınıflandırılması sonucu elde edilen sınıflandırma doğrulukları Tablo 3.18’de verilmiştir. Farklı sınıf çiftlerinde D01-D15 denekleri için en başarılı sonuçlar şu şekildedir: D01 için 1 ve 3 çiftinde $\%70.73$; D02 için 2 ve 3 çiftinde $\%63.64$; D03 için 2 ve 4 çiftinde $\%58.75$; D04 için 1 ve 4 çiftinde $\%61.18$; D05 için 3 ve 4 çiftinde $\%60.98$; D06 için 2 ve 3 çiftinde $\%63.75$; D07 için 2 ve 3 çiftinde $\%62.03$; D08 için 1 ve 4 çiftinde $\%65.43$; D09 için 1 ve 3 çiftinde $\%59.76$; D10 için 2 ve 3 çiftinde $\%63.29$; D11 için 1 ve 2 çiftinde $\%64.38$; D12 için 1 ve 4 çiftinde $\%65$; D13 için 2 ve 4 çiftinde $\%63.77$; D14 için 2 ve 4 çiftinde $\%64.38$ ve D15 için 2 ve 3 çiftinde $\%66.25$. Tüm sınıf çiftleri için 15 denek boyunca DVM ile elde edilen ortalama doğruluk ve standart sapma değerleri şu şekildedir: 1 ve 2 sınıfları için $\%59.00 \pm 3.79$; 1 ve 3 sınıfları için $\%58.38 \pm 4.08$; 1 ve 4 sınıfları için $\%59.59 \pm 4.17$; 2 ve 3 sınıfları için $\%59.64 \pm 4.53$; 2 ve 4 sınıfları için $\%58.44 \pm 3.55$; 3 ve 4 sınıfları için $\%57.58 \pm 3.22$.

Tüm denekler boyunca altı farklı sınıf çifti arasındaki sınıflandırma sonuçları incelendiğinde komik (1) ve korku (2) çiftinin sınıflandırılmasında en yüksek başarı elde edilmiştir. Diğer yandan tiksiniç (3) ve rahatlama (4) çiftine ait yüz görüntülerinin sınıflandırılmasında en düşük sonuçlar elde edilmiştir.

Tablo 3.18. Yüz görüntülerinde DVM ile elde edilen ikili sınıflandırma sonuçları

Denek	1 ve 2	1 ve 3	1 ve 4	2 ve 3	2 ve 4	3 ve 4
D01	63.29	70.73	67.07	62.03	56.96	58.54
D02	56.25	60.49	59.04	63.64	62.03	52.5
D03	57.32	54.88	53.66	56.25	58.75	57.5
D04	55.56	55.81	61.18	53.09	55	54.12
D05	60	53.66	59.76	55	56.25	60.98
D06	54.88	53.66	57.32	63.75	57.5	56.25
D07	53.75	60.49	57.5	62.03	60.26	53.16
D08	58.97	57.32	65.43	60.26	58.44	54.32
D09	56.25	59.76	53.09	57.5	59.49	58.02
D10	55.7	58.54	56.1	63.29	53.16	59.76
D11	64.38	59.46	62.5	63.01	53.52	62.5
D12	59.21	58.75	65	50	55.13	57.32
D13	60.29	57.35	56.52	58.82	63.77	59.42
D14	63.38	57.97	58.57	59.72	64.38	56.34
D15	65.82	56.79	61.25	66.25	62.03	62.96
ORT±SS	59.00±3.79	58.38±4.08	59.59±4.17	59.64±4.53	58.44±3.55	57.58±3.22

3.2.3. Birinci AGD ile Elde Edilen Sinyal Görüntüleri ve Yüz Görüntülerinin Füzyon Öncesi ve Sonrası K-EYK ile Sınıflandırılmasıyla Elde Edilen Sonuçlar ve Analizler

Birinci AGD yaklaşımına sonucu oluşan sinyal görüntülerinin K-EYK ile sınıflandırılması sonucu gözlenen sonuçlar Tablo 3.19’da ki gibidir. D01-D15 denekleri için farklı sınıf çiftleri arasında en başarılı sonuçlar şu şekildedir: D01 için 3 ve 4 çiftinde %80.49; D02 için 2 ve 3 çiftinde %68.24; D03 için 1 ve 3 çiftinde %69.51; D04 için 3 ve 4 çiftinde %70.93; D05 için 3 ve 4 çiftinde %73.17; D06 için 2 ve 4 çiftinde %75.31; D07 için 2 ve 3 çiftinde %69.51; D08 için 1 ve 4 çiftinde %70.37; D09 için 1 ve 2 çiftinde %67.47; D10 için 3 ve 4 çiftinde %69.51; D11 için 2 ve 3 çiftinde %75.34; D12 için 2 ve 4 çiftinde %73.49; D13 için 3 ve 4 çiftinde %67.12; D14 için 2 ve 4 çiftinde %68.49 ve D15 için 1 ve 2 çiftinde %70.73. Benzer şekilde AGG’nin her bir sınıf çifti için tüm denekler boyunca elde ettiği ortalama doğruluk ve standart sapma değerleri sırasıyla 1 ve 2 için %67.41±3.10; 1 ve 3 için %67.37±2.18; 1 ve 4 için %67.63±2.95; 2 ve 3 için %68.03±2.86; 2 ve 4 için %67.51±3.49; 3 ve 4 için %68.77±4.45 şeklindedir. Tüm sınıf çiftleri için elde edilen tüm sonuçlar göz önüne alındığında sinyal görüntüleri tıksınç (3) ve rahatlama (4) çiftinin

sınıflandırılmasında en iyi performansı göstermiştir. Diğer yandan komik (1) ve tiksiniç (3) problemine ait sinyal görüntülerinin sınıflandırılmasında ise en düşük değerler gözlenmiştir.

Tablo 3.19. Birinci AGD yaklaşımı sonucunda elde edilen AGG'nin K-EYK ile sınıflandırılmasından elde edilen sınıflandırma doğrulukları

Denek	1 ve 2	1 ve 3	1 ve 4	2 ve 3	2 ve 4	3 ve 4
D01	67.47 (5)	67.07 (14,26)	75.61 (3)	72.29 (32)	69.88 (5)	80.49 (3,32)
D02	65.12 (30)	65.88 (18)	65.88 (7)	68.24 (12)	64.71 (11,20,23)	63.10 (3,12)
D03	69.05 (10)	69.51 (20)	68.67 (3)	67.07 (5)	67.47 (30)	65.43 (5)
D04	67.06 (12)	67.05 (16)	67.05 (29)	66.27 (2,27)	66.27 (28)	70.93 (32)
D05	68.67 (27)	67.07 (31)	70.73 (31)	68.67 (10,28)	63.86 (13)	73.17 (6)
D06	74.70 (3)	69.05 (12)	65.85 (14)	65.06 (8,20,29)	75.31 (3)	65.85 (3,9)
D07	63.86 (16,22,23)	65.43 (4,16)	65.06 (32)	69.51 (5,10)	65.48 (4)	68.29 (30)
D08	63.10 (3,5,17)	63.41 (14,16)	70.37 (30)	65.48 (26)	69.88 (5)	65.43 (9,21,22)
D09	67.47 (29)	66.27 (25)	65.43 (22)	66.67 (3,27)	64.63 (18,23)	65.85 (29)
D10	66.27 (2)	67.07 (30)	68.29 (24)	66.27 (27,29)	68.67 (11)	69.51 (28)
D11	69.86 (3)	71.62 (8)	65.28 (20)	75.34 (8)	66.20 (11)	73.61 (4)
D12	69.14 (14,18)	68.75 (1,20)	68.75 (1)	69.88 (25)	73.49 (24)	67.07 (21)
D13	63.89 (2,7,16)	64.79 (1)	65.71 (7)	65.33 (21,23)	64.86 (13)	67.12 (13)
D14	64.79 (16)	67.14 (17)	64.29 (7,16,20)	65.75 (16)	68.49 (21)	65.28 (6,23)
D15	70.73 (19)	70.37 (11)	67.50 (2,18,20,25)	68.67 (24)	63.41 (10)	70.37 (20,24)
ORT±SS	67.41±3.10	67.37±2.18	67.63±2.95	68.03±2.86	67.51±3.49	68.77±4.45

Birinci AGD yaklaşımı uygulanması sonucu oluşan sinyal görüntülerinin sensör seviyesinde yüz görüntüleri ile birleştirilmesi sonucu elde edilen birleştirilmiş görüntülerin sınıflandırma sonuçları Tablo 3.20'de ki gibidir. D01-D15 denekleri için farklı sınıf çiftlerinde elde edilen en başarılı sonuçlar şu şekildedir: D01 için 1 ve 4 çiftinde %80.49; D02 için 3 ve 4 çiftinde %69.05; D03 için 1 ve 2 çiftinde %70.24; D04 için 1 ve 4 çiftinde %69.77; D05 için 1 ve 2 çiftinde %67.47; D06 için 1 ve 2 çiftinde %71.08; D07 için 1 ve 3 çiftinde %67.90; D08 için 1 ve 4 çiftinde %66.67; D09 için 1 ve 3 çiftinde %72.29; D10 için 1 ve 4 çiftinde %70.73; D11 için 3 ve 4 çiftinde %77.78; D12 için 1 ve 2 çiftinde %71.60; D13 için 1 ve 2 çiftinde %69.44; D14 için 1 ve 2 çiftinde %69.01 ve D15 için 1 ve 4 çiftinde

%73.75. Her bir sınıf çifti için tüm denekler boyunca elde edilen ortalama doğruluk ve standart sapma değerleri sırasıyla 1 ve 2 için 68.55 ± 4.02 ; 1 ve 3 için 67.61 ± 2.53 ; 1 ve 4 için 68.24 ± 4.55 ; 2 ve 3 için 66.72 ± 2.07 ; 2 ve 4 için 65.41 ± 1.94 ; 3 ve 4 için 68.15 ± 4.70 şeklindedir. Tüm sınıf çiftleri için elde edilen tüm sonuçlar göz önüne alındığında komik (1) ve korku (2) çiftinin sınıflandırılmasında en başarılı sonuçlar gözlenirken, korku (2) ve rahatlama (4) çiftinin sınıflandırılmasında en düşük sonuçlar elde edilmiştir.

Sensör seviyesinde füzyon sonucunda elde edilen görüntülerin sınıflandırılmasıyla gözlenen doğruluk değerleri şu şekildedir: D01 için 1 ve 2 sınıf çiftinde %12.05 oranında artışla %79.52, 1 ve 3 çiftinde %2.44 artışla %69.51, 1 ve 4 çiftinde ise %4.87 artışla %80.49 doğruluk gözlenmiştir. D02 için 1 ve 3 çiftinde %2.36 artışla %68.24, 3 ve 4 çiftinde %5.95 artışla %69.05 doğruluk elde edilmiştir. D03 için 1 ve 2 çiftinde %1.19 artımla %70.24 değeri elde edilmiştir. D04 için 1 ve 2 çiftinde %1.23 artışla %68.29, 1 ve 4 çiftinde %2.72 artışla %69.77, 2 ve 3 çiftinde ise %1.82 artışla %67.09 doğruluk gözlenmiştir. D05 için 2 ve 4 çiftinde %1.2'lik bir artışla %65.06 doğruluk elde edilmiştir. D06 için 1 ve 4 çiftinde %3.66 artışla %69.51, 2 ve 3 çiftinde %4.82 artışla %69.88, 3 ve 4 çiftinde ise %3.66 artışla %69.51 değeri gözlenmiştir. D07 için 1 ve 2 çiftinde %1.2'lik bir artımla %65.06, 1 ve 3 çiftinde ise %2.47'lik bir artışla %67.90 doğruluk elde edilmiştir. D08 için 1 ve 2 çiftinde %2.38 artışla %65.48 doğruluk elde edilirken 1 ve 3 çiftinde %1.22 artışla %64.63 doğruluk elde edilmiştir. D09 için 1 ve 3 çiftinde %6.02 artımla %72.29, 1 ve 4 çiftinde %4.94 artımla %70.37, 2 ve 4 çiftinde %2.44 artımla %67.07, 3 ve 4 çiftinde ise %1.22 artımla %67.07 değeri elde edilmiştir. D10 için 1 ve 2 çiftinde %1.2 artışla %67.47, 1 ve 3 çiftinde %2.44 artışla %69.51, 1 ve 4 çiftinde ise %2.44 artışla %70.73 doğruluk değerleri gözlenmiştir. D11 için 2 ve 4 çiftinde %2.81 artışla %69.86 doğruluğu gözlenirken 3 ve 4 çiftinde %4.17 artışla %77.78 elde edilmiştir. D12 için 1 ve 2 çiftinde %2.46'lik bir artışla %71.60 doğruluğu elde edilmiştir. D13 için 1 ve 2 çiftinde %5.55 artışla %69.44 doğruluğu gözlenirken 2 ve 4 çiftinde %4.12 artışla %66.21 değeri elde edilmiştir. D14 için 1 ve 2 çiftinde %12.05 artışla %69.01, 1 ve 4 çiftinde %1.42 artışla %65.71, 2 ve 3 çiftinde %1.37 artışla %67.12, 3 ve 4 çiftinde ise %2.78 artışla %68.06 doğruluk elde edilmiştir. D15 için ise 1 ve 4 çiftinde %6.25 artışla %73.75 doğruluğu elde edilirken 3 ve 4 çiftinde %2.47 artışla %72.84 doğruluk elde edilmiştir. Denekler için sonuçları verilmeyen diğer sınıf çiftlerinde ya başarı oranı değişmemiştir ya da sınıflandırma doğruluğunda azalma olmuştur.

Tablo 3.20. Birinci AGD yaklaşımı sonucu elde edilen AGG'nin SS'de yüz görüntüleri ile birleştirilmesinden elde edilen görüntülerin K-EYK ile sınıflandırılmasından elde edilen sınıflandırma doğrulukları

Denek	1 ve 2	1 ve 3	1 ve 4	2 ve 3	2 ve 4	3 ve 4
D01	79.52 (10)	69.51 (17,25,29)	80.49 (5)	66.27 (5)	66.27 (5)	78.05 (3)
D02	61.63 (26)	68.24 (29)	62.35 (10,19,32)	64.71 (20)	64.71 (10,31)	69.05 (30)
D03	70.24 (25)	68.29 (14)	65.06 (19,29)	67.07 (19)	67.47 (22)	65.43 (30)
D04	68.29 (26)	64.71 (29)	69.77 (22)	67.09 (8)	66.25 (30)	66.27 (29)
D05	67.47 (5)	67.07 (17)	65.85 (8,28)	66.27 (9)	65.06 (5,13)	64.63 (1)
D06	71.08 (3)	65.48 (25)	69.51 (1)	69.88 (14)	67.90 (3)	69.51 (14)
D07	65.06 (1)	67.90 (19)	65.06 (19)	65.85 (19)	64.29 (27)	63.41 (15)
D08	65.48 (15,28)	64.63 (16)	66.67 (30)	65.48 (30)	62.65 (5)	65.43 (2,8)
D09	66.27 (29)	72.29 (30)	70.37 (3,10)	64.29 (4)	67.07 (27)	67.07 (22)
D10	67.47 (2,29)	69.51 (9,24)	70.73 (21)	66.27 (13)	63.86 (1,5)	67.07 (17)
D11	69.86 (4)	71.62 (4)	65.28 (2,6,23)	72.60 (8)	69.01 (8,9)	77.78 (4)
D12	71.60 (22)	68.75 (22)	68.75 (13)	66.26 (16,25)	62.65 (21)	64.63 (25)
D13	69.44 (6)	64.79 (1)	64.29 (22)	65.33 (15)	66.21 (3)	63.01 (20,24,25)
D14	69.01 (12)	67.14 (12)	65.71 (17)	67.12 (17,19,25)	64.38 (21)	68.06 (24)
D15	65.85 (3,20)	64.20 (7,11,19)	73.75 (4,20,24)	66.27 (2,20)	63.41 (1,23)	72.84 (2)
ORT±SS	68.55±4.02	67.61±2.53	68.24±4.55	66.72±2.07	65.41±1.94	68.15±4.70

Birinci AGD yaklaşımı uygulanmasıyla oluşan sinyal görüntüleri ile deneklere ait yüz görüntülerinin öznitelik seviyesinde birleştirilmesi sonucu elde edilen vektörlerin sınıflandırma sonuçları Tablo 3.21'de ki gibidir. Her bir denek için farklı sınıf çiftlerindeki en başarılı sonuçlar şu şekildedir: D01 için 2 ve 4 çiftinde %95.18; D02 için 2 ve 4 çiftinde %92.94; D03 için 2 ve 3 çiftinde %89.74; D04 için 2 ve 3 çiftinde %92.41; D05 için 2 ve 4 çiftinde %93.98; D06 için 2 ve 4 çiftinde %96.30; D07 için 2 ve 4 çiftinde %95.24; D08 için 1 ve 3 çiftinde %96.34; D09 için 3 ve 4 çiftinde %93.90; D10 için 1 ve 4 çiftinde %97.56; D11 için 1 ve 3 çiftinde %93.24; D12 için 1 ve 4 çiftinde %97.50; D13 için 1 ve 3 çiftinde %92.86; D14 için 2 ve 3 çiftinde %93.15 ve D15 için 3 ve 4 çiftinde %93.83. Her bir sınıf çiftinin tüm denekler boyunca elde ettiği ortalama doğruluk ve standart sapma değerleri sırasıyla 1 ve 2 için %90.70±2.93, 1 ve 3 için %90.41±3.79, 1 ve 4 için %89.09±4.95, 2 ve 3 için %89.76±3.72, 2 ve 4 için %90.44±4.05, 3 ve 4 için %89.86±4.06 şeklindedir. Tüm bu sonuçlar göz önüne alındığında komik (1) ve korku (2) sınıflandırma probleminde en başarılı

doğruluk sonuçları alınırken, komik (1) ve rahatlama (4) çiftinde ise en düşük sonuçlar elde edilmiştir.

Öznitelik seviyesinde uygulanan birleştirilme sonucu elde edilen görüntülerin sınıflandırmasına ait doğruluk değerleri her denek için sırasıyla şu şekildedir: D01 için 1 ve 2 çiftinde %22.89 artışla %90.36, 1 ve 3 çiftinde %25.60 artışla %92.68, 1 ve 4 çiftinde %17.07 artışla %92.68, 2 ve 3 çiftinde %20.48 artışla %92.77, 2 ve 4 çiftinde %25.30 artışla %95.18, 3 ve 4 çiftinde ise %14.63 artışla %95.12 doğruluk değerleri elde edilmiştir. D02 denegi için 1ve 2 çiftinde %22.09 artışla %87.21, 1 ve 3 çiftinde %21.17 artışla %87.06, 1 ve 4 çiftinde %21.17 artışla %87.06, 2 ve 3 çiftinde %16.47 artışla %84.71, 2 ve 4 çiftinde %28.23 artışla %92.94, 3 ve 4 çiftinde ise %26.19 artışla %89.29 doğruluğu gözlenmiştir. D03 için 1ve 2 çiftinde %16.49 artımla %85.54, 1 ve 3 çiftinde %16.73 artımla %86.25, 1 ve 4 çiftinde %15.47 artımla %84.15, 2 ve 3 çiftinde %22.67 artımla %89.74, 2 ve 4 çiftinde %20.03 artımla %87.50, 3 ve 4 ise çiftinde %17.90 artımla %83.33 doğruluğu elde edilmiştir. D04 için 1ve 2 çiftinde %23.18 artışla %90.24, 1 ve 3 çiftinde %16.48 artışla %83.53, 1 ve 4 çiftinde %20.16 artışla %87.21, 2 ve 3 çiftinde %26.14 artışla %92.41, 2 ve 4 çiftinde %19.98 artışla %86.25, 3 ve 4 çiftinde ise %19.43 artışla %90.37 doğruluk gözlenmiştir. D05 için 1ve 2 çiftinde %25.22 artışla %93.90, 1 ve 3 çiftinde %25.42 artışla %92.50, 1 ve 4 çiftinde %18.15 artışla %88.89, 2 ve 3 çiftinde %24.00 artışla %92.68, 2 ve 4 çiftinde %30.12 artışla %93.98, 3 ve 4 çiftinde ise %20.65 artışla %93.83 doğruluğu elde edilmiştir. D06 için 1ve 2 çiftinde %18.07 artımla %92.77, 1 ve 3 çiftinde %22.61 artımla %91.67, 1 ve 4 çiftinde %26.82 artımla %92.68, 2 ve 3 çiftinde %26.50 artımla %91.57, 2 ve 4 çiftinde %20.98 artımla %96.30, 3 ve 4 çiftinde ise %26.82 artımla %92.68 doğruluğu gözlenmiştir. D07 için 1ve 2 çiftinde %21.68 artışla %85.54, 1 ve 3 çiftinde %25.92 artışla %91.36, 1 ve 4 çiftinde %14.45 artışla %79.52, 2 ve 3 çiftinde %23.17 artışla %92.68, 2 ve 4 çiftinde %29.76 artışla %95.24, 3 ve 4 çiftinde ise %15.85 artışla %84.15 doğruluk elde edilmiştir. D08 için 1ve 2 çiftinde %26.06 artışla %89.16, 1 ve 3 çiftinde %32.92 artışla %96.34, 1 ve 4 çiftinde %21.09 artışla %91.46, 2 ve 3 çiftinde %24.88 artışla %90.36, 2 ve 4 çiftinde %22.89 artışla %92.77, 3 ve 4 çiftinde %28.47 artışla %93.90 doğruluk gözlenmiştir. D09 için 1ve 2 çiftinde %22.89 artımla %90.36, 1 ve 3 çiftinde %21.68 artımla %87.95, 1 ve 4 çiftinde %23.45 artımla %88.89, 2 ve 3 çiftinde %20.23 artımla %86.91, 2 ve 4 çiftinde %28.04 artımla %92.68, 3 ve 4 çiftinde ise %28.04 artımla %93.90 doğruluğu elde edilmiştir. D10 denegi için 1ve 2 çiftinde %27.71 artışla %93.98, 1 ve 3 çiftinde %19.34

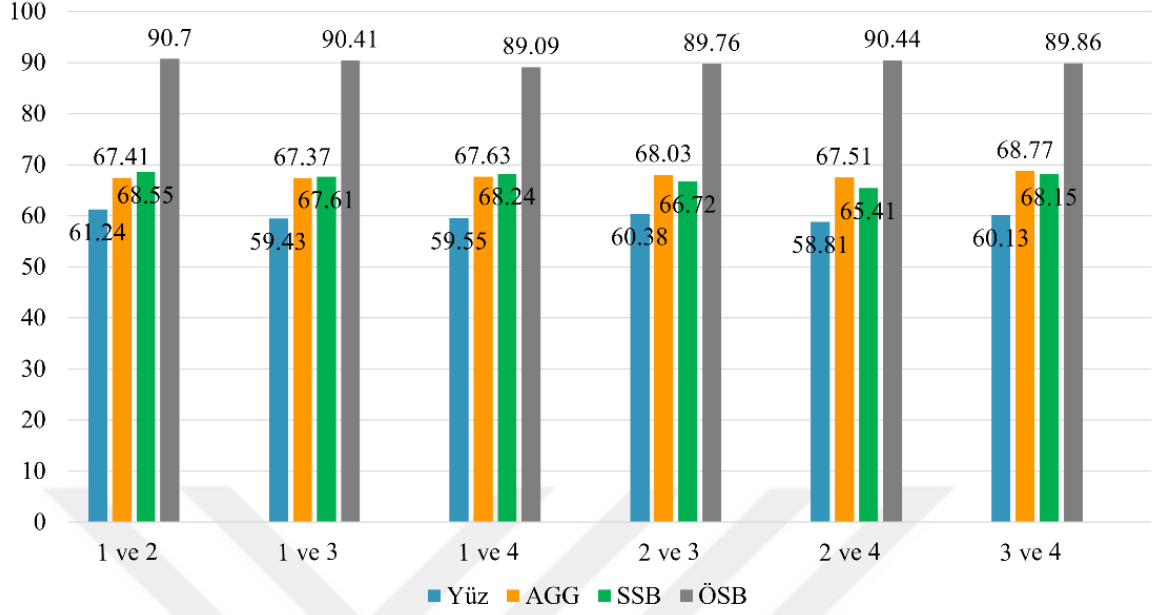
artışla %86.42, 1 ve 4 çiftinde %29.26 artışla %97.56, 2 ve 3 çiftinde %26.41 artışla %92.68, 2 ve 4 çiftinde %16.86 artışla %85.54, 3 ve 4 çiftinde ise %16.90 artışla %86.42 doğruluk elde edilmiştir. D11 için 1ve 2 çiftinde %23.28 artışla %93.15, 1 ve 3 çiftinde %21.62 artışla %93.24, 1 ve 4 çiftinde %22.22 artışla %87.50, 2 ve 3 çiftinde %17.80 artışla %93.15, 2 ve 4 çiftinde %18.30 artışla %84.51, 3 ve 4 çiftinde ise %16.66 artışla %90.28 doğruluk değeri gözlenmiştir. D12 deneği için 1ve 2 çiftinde %25.92 artımla %95.06, 1 ve 3 çiftinde %26.25 artımla %95.00, 1 ve 4 çiftinde %28.75 artımla %97.50, 2 ve 3 çiftinde %14.45 artımla %84.34, 2 ve 4 çiftinde %12.04 artımla %85.54, 3 ve 4 çiftinde %23.17 artımla %90.24 doğruluğu elde edilmiştir. D13 için 1ve 2 çiftinde %26.38 artışla %90.28, 1 ve 3 çiftinde %28.06 artışla %92.86, 1 ve 4 çiftinde %16.89 artışla %82.61, 2 ve 3 çiftinde %17.09 artışla %82.43, 2 ve 4 çiftinde %22.80 artışla %87.67, 3 ve 4 çiftinde ise %17.38 artışla %84.51 doğruluk elde edilmiştir. D14 deneği için 1ve 2 çiftinde %26.76 artışla %91.55, 1 ve 3 çiftinde %25.71 artışla %92.86, 1 ve 4 çiftinde %25.71 artışla %90.00, 2 ve 3 çiftinde %27.39 artışla %93.15, 2 ve 4 çiftinde %20.54 artışla %89.04, 3 ve 4 çiftinde %20.83 artışla %86.11 doğruluğu gözlenmiştir. D15 için 1ve 2 çiftinde %20.73 artışla %91.46, 1 ve 3 çiftinde %16.04 artışla %86.42, 1 ve 4 çiftinde %21.25 artışla %88.75, 2 ve 3 çiftinde %18.07 artışla %86.75, 2 ve 4 çiftinde %28.04 artışla %91.46, 3 ve 4 çiftinde ise %23.45 artışla %93.83 doğruluk elde edilmiştir.

Her bir sınıflandırma çifti için tüm denekler boyunca hesaplanan ortalama doğruluk ve standart sapma değerleri 1 ve 2 için 90.70 ± 2.93 , 1 ve 3 için 90.41 ± 3.79 , 1 ve 4 için 89.09 ± 4.95 , 2 ve 3 için 89.76 ± 3.72 , 2 ve 4 için 90.44 ± 4.05 ve 3 ve 4 için 89.86 ± 4.06 şeklindedir. Sonuçlar incelendiğinde, sinyal ve yüz görüntülerine ÖSB uygulandıktan sonra tüm sınıf çiftleri arasından komik (1) ve korku (2) çiftinde en yüksek sınıflandırma doğruluğu elde edilmiştir. Diğer yandan sinyal ve yüz görüntülerine ÖSB uygulandıktan sonra tüm sınıf çiftleri arasında komik (1) ve rahatlama (4) çiftinde en düşük sınıflandırma doğruluğu gözlenmiştir.

Tablo 3.21. Birinci AGD yaklaşımıyla elde edilen AGG'nin ÖS'de yüz görüntüleri ile birleştirilmesinden elde edilen vektörlerin K-EYK ile sınıflandırılmasından elde edilen sınıflandırma doğrulukları

Denek	1 ve 2	1 ve 3	1 ve 4	2 ve 3	2 ve 4	3 ve 4
D01	90.36 (27)	92.68 (21)	92.68 (31)	92.77 (2)	95.18 (30)	95.12 (17,25)
D02	87.21 (3,9,21,26)	87.06 (23,24,26)	87.06 (1,2,19,2432)	84.71 (3,21,23)	92.94 (17)	89.29 (6)
D03	85.54 (24)	86.25 (24)	84.15 (6)	89.74 (3,24)	87.50 (13)	83.33 (8)
D04	90.24 (2)	83.53 (22,28)	87.21 (6)	92.41 (22)	86.25 (19)	90.37 (4)
D05	93.90 (20,30)	92.50 (4,22)	88.89 (4,16)	92.68 (22)	93.98 (2)	93.83 (4)
D06	92.77 (31)	91.67 (31)	92.68 (6,9)	91.57 (11)	96.30 (9)	92.68 (9)
D07	85.54 (1,24,26,31)	91.36 (22)	79.52 (13,27)	92.68 (28)	95.24 (20)	84.15 (27)
D08	89.16 (15)	96.34 (21)	91.46 (4,27,31)	90.36 (10)	92.77 (30)	93.90 (29)
D09	90.36 (21)	87.95 (23)	88.89 (23)	86.91 (11,23,28,31)	92.68 (31)	93.90 (18)
D10	93.98 (15)	86.42 (16,26)	97.56 (25)	92.68 (30)	85.54 (6,7,8)	86.42 (1)
D11	93.15 (3)	93.24 (20)	87.50 (12,19,21)	93.15 (8,16)	84.51 (19)	90.28 (19)
D12	95.06 (19)	95.00 (8)	97.50 (8)	84.34 (25)	85.54 (1)	90.24 (12)
D13	90.28 (2)	92.86 (3)	82.61(8)	82.43(7)	87.67(16)	84.51(6)
D14	91.55 (16)	92.86 (1)	90.00 (14)	93.15 (14)	89.04 (18)	86.11 (16)
D15	91.46 (16)	86.42 (22)	88.75 (2)	86.75 (3,8,9,25)	91.46 (19,22)	93.83 (21)
ORT±SS	90.70±2.93	90.41±3.79	89.09±4.95	89.76±3.72	90.44±4.05	89.86±4.06

Yüz görüntüleri için Tablo 3.17'de ve sinyal görüntüleri ile füzyon yaklaşımlar için Bölüm 3.2.3'te listelenen tüm sonuçlara ilişkin olarak hazırlanan karşılaştırmalı grafikler K-EYK sınıflandırıcısı için Şekil 3.5'te verilmektedir.



Şekil 3.5. Birinci AGD ile elde edilen sinyal görüntüleri ve yüz görüntülerinin füzyon öncesi ve sonrası K-EYK ile sınıflandırılmasından elde edilen sonuçlar ve analizler

3.2.4. Birinci AGD ile Elde Edilen Sinyal Görüntüleri ve Yüz Görüntülerinin Füzyon Öncesi ve Sonrası DVM ile Sınıflandırılmasıyla Elde Edilen Sonuçlar ve Analizler

Birinci AGD yaklaşımı sonucunda elde edilen sinyal görüntülerinin DVM ile sınıflandırılmasıyla elde edilen sonuçlar Tablo 3.22’de ki gibidir. Her bir denek için farklı sınıf çiftleri arasında en başarılı sonuçlar şu şekildedir: D01 deneği için 3 ve 4 çiftinde %81.70; D02 için 3 ve 4 çiftinde %67.86; D03 için 3 ve 4 çiftinde %71.60; D04 için 3 ve 4 çiftinde %68.60; D05 için 3 ve 4 çiftinde %73.17; D06 için 2 ve 4 çiftinde %72.84; D07 için 2 ve 4 çiftinde %69.05; D08 için 1 ve 3 çiftinde %67.07; D09 için 1 ve 3 çiftinde %66.27; D10 için 1 ve 4, 2 ve 4 ve 3 ve 4 çiftlerinde %67.07; D11 için 1 ve 3 çiftinde %79.73; D12 için 1 ve 2 çiftinde %67.90; D13 için 3 ve 4 çiftinde %71.23; D14 için 2 ve 4 çiftinde %68.49; D15 için 1 ve 4 çiftinde %71.25. Her bir sınıf çifti için tüm deneklerden elde edilen ortalama doğruluk değerleri sırasıyla 1 ve 2 için 65.75 ± 3.89 , 1 ve 3 için 66.09 ± 4.35 , 1 ve 4 için 66.08 ± 3.61 , 2 ve 3 için 66.79 ± 3.86 , 2 ve 4 için 66.63 ± 3.34 , 3 ve 4 için ise 69.48 ± 5.12 şeklindedir. Elde edilen sonuçlar incelendiğinde tüm sınıf çiftleri arasında tıksınç (3) ve

rahatlama (4) çiftinin sınıflandırılmasında en başarılı sonuçlar elde edilirken, komik (1) ve korku (2) sınıflandırma probleminde en düşük sonuçlar elde edilmiştir.

Tablo 3.22. Birinci AGD yaklaşımı sonucunda elde edilen AGG'nin DVM ile sınıflandırılmasından elde edilen sınıflandırma doğrulukları

Denek	1 ve 2	1 ve 3	1 ve 4	2 ve 3	2 ve 4	3 ve 4
D01	69.88 (10)	64.63 (25)	75.61 (5)	68.67 (32)	71.08 (3)	81.70 (32)
D02	63.95 (4)	63.53 (8,18)	63.53 (15,21)	67.06 (3,9)	62.35 (3)	67.86 (30)
D03	61.90 (4)	67.07 (22)	67.47 (5)	64.63 (17)	67.47 (30)	71.60 (26)
D04	60 (6)	63.64 (6,32)	63.64 (16)	63.86 (24)	65.06 (28)	68.60 (16)
D05	61.45 (5,8)	60.98 (2)	67.07 (5)	67.47 (5)	71.08 (16)	73.17 (4)
D06	72.29 (3)	70.24 (12)	62.20 (3,23,25)	66.27 (11)	72.84 (17)	67.07 (28)
D07	67.47 (26)	64.20 (4)	66.27 (29)	64.63 (6)	69.05 (30)	67.07 (3)
D08	61.90 (15,28)	67.07 (2)	65.43 (17)	61.90 (26)	66.27 (9)	66.67 (2,13)
D09	63.86 (14)	66.27 (28)	65.43 (31)	65.48 (8)	64.63 (29,31)	65.85 (32)
D10	66.27 (29)	64.63 (25)	67.07 (12)	66.27 (29)	67.07 (29)	67.07 (29)
D11	67.12 (24)	79.73 (4)	63.89 (18)	79.45 (4,8)	61.97 (6,8)	77.78 (4)
D12	67.90 (20,21)	66.25 (14)	63.75 (1)	67.47 (24)	63.86 (1,12)	62.20 (25)
D13	70.83 (13)	64.79 (3,5,20)	61.43 (5,7,8,13,17,20)	65.33 (13,23)	64.86 (13)	71.23 (5)
D14	61.97 (5,7)	62.86 (9,13)	67.14 (3)	67.12 (2)	68.49 (2,5)	63.89 (3)
D15	69.51 (4,24)	65.43 (11)	71.25 (24)	66.27 (7,17,20)	63.41 (19)	70.37 (25)
ORT±SS	65.75±3.89	66.09±4.35	66.08±3.61	66.79±3.86	66.63±3.34	69.48±5.12

Birinci AGD yaklaşımı uygulanmasıyla elde edilen sinyal görüntülerinin sensör seviyesinde yüz görüntüleriyle birleştirilmesi sonucu oluşan birleştirilmiş görüntülerine ait sınıflandırma sonuçları Tablo 3.23'te verilmiştir. D01-D15 denekleri için farklı sınıf çiftleri arasındaki en başarılı sonuçlar şu şekildedir: D01 için 1 ve 4 çifti ile 3 ve 4 çiftinde %78.05; D02 için 3 ve 4 çiftinde %67.86; D03 için 2 ve 4 çiftinde %65.06; D04 için 1 ve 4 çiftinde %68.60; D05 için 2 ve 4 çiftinde %66.27; D06 için 1 ve 2 çiftinde %74.70; D07 için 1 ve 2 çiftinde %67.47; D08 için 1 ve 4 çifti ile 3 ve 4 çiftinde %64.20; D09 için 1 ve 3 çiftinde %75.90; D10 için 1 ve 3 çiftinde %71.95; D11 için 2 ve 3 çiftinde %82.19; D12 için 1 ve 2 çiftinde %69.14; D13 için 2 ve 3 çiftinde %65.33; D14 için 1 ve 2 çiftinde %71.83; D15 için ise 1 ve 4 çiftinde %73.75. Her bir sınıf çifti için tüm deneklerden elde edilen ortalama doğruluk değerleri sırasıyla 1 ve 2 için 67.55±4.73, 1 ve 3 için 67.33±5.40, 1 ve 4 için 67.64±5.01, 2 ve 3 için 65.81±5.09, 2 ve 4 için 65.01±2.52 ve 3 ve 4 için 66.51±5.91

şeklindedir. Elde edilen sonuçlar incelendiğinde, komik (1) ve rahatlama (4) sınıf çiftinde en başarılı sonuçlar gözlenirken, korku (2) ve rahatlama (4) sınıf çiftinde en düşük sonuçlar elde edilmiştir.

Sensör seviyesinde gerçekleştirilen birleştirme sonucu oluşan görüntülerin sınıflandırmasından elde edilen kazanım ve doğruluk değerleri denekler için şu şekildedir: D01 için 1ve 2 çiftinde %6.02 artışla %75.90, 1 ve 3 çiftinde %9.75 artışla %74.39, 1 ve 4 çiftinde ise %2.43 artışla %78.05 doğruluk elde edilmiştir. D02 için 1 ve 2 çiftinde %3.48 artışla %67.44, 1 ve 4 çiftinde %2.35 artışla %65.88, 2 ve 4 çiftinde ise %2.70 artışla %67.06 doğruluk gözlenmiştir. D03 için 1 ve 2 çiftinde %2.38'lik bir artışla %64.29 doğruluğu elde edilmiştir. D04 için 1ve 2 çiftinde %0.97 artışla %60.98, 1 ve 4 çiftinde %4.96 artışla %68.60, 2 ve 3 çiftinde ise %0.70 artışla %64.55 doğruluğu gözlenmiştir. D05 için 1 ve 2 çiftinde %2.40 artışla %63.86 doğruluğu elde edilirken 1 ve 3 çiftinde %3.65 artışla %64.63 elde edilmiştir. D06 için 1ve 2 çiftinde %2.40 artışla %74.70, 1 ve 4 çiftinde %4.87 artışla %67.07, 2 ve 3 çiftinde ise %3.61 artışla %69.88 doğruluk değeri gözlenmiştir. D07 için 1ve 3 çiftinde %1.23'lük bir artışla %65.43 değeri elde edilmiştir. D09 için 1ve 2 çiftinde %9.63 artışla %73.50, 1 ve 3 çiftinde %9.63 artışla %75.90, 1 ve 4 çiftinde ise %8.64 artışla %74.07 doğruluk elde edilmiştir. D10 için 1ve 3 çiftinde %7.31 artışla %71.95, 1 ve 4 çiftinde %3.65 artışla %70.73, 2 ve 3 çiftinde ise %1.20 artışla %67.47 doğruluğu görülmüştür. D11 için 1 ve 2 çiftinde %1.36 artışla %68.49, 1 ve 4 çiftinde %4.16 artışla %68.06, 2 ve 3 çiftinde %2.73 artışla %82.19, 2 ve 4 çiftinde %8.45 artışla %70.42, 3 ve 4 çiftinde ise %1.38 artışla %79.17 doğruluğu elde edilmiştir. D12 için 1 ve 2 çiftinde %1.23 artışla %69.14, 1 ve 3 çiftinde %1.25 artışla %67.50, 1 ve 4 çiftinde ise %5 artışla %68.75 doğruluk gözlenmiştir. D14 için 1ve 2 çiftinde %9.85 artışla %71.83, 1 ve 3 çiftinde %5.71 artışla %68.57, 3 ve 4 çiftinde ise %1.38 artışla %65.28 doğruluk elde edilmiştir. D15 için 1ve 4 çiftinde %2.5 artışla %73.75, 3 ve 4 çiftinde ise %2.46 artışla %72.84 doğruluk gözlenmiştir. Denekler için sonuçları verilmeyen diğer sınıf çiftlerinde ya başarı oranı değişmemiştir ya da sınıflandırma doğruluğunda azalma olmuştur.

Tablo 3.23. Birinci AGD yaklaşımıyla elde edilen AGG'nin SS'de yüz görüntüleri ile birleştirilmesinden elde edilen görüntülerin DVM ile sınıflandırılmasından elde edilen sınıflandırma doğrulukları

Denek	1 ve 2	1 ve 3	1 ve 4	2 ve 3	2 ve 4	3 ve 4
D01	75.90 (10)	74.39 (2,5,22)	78.05 (32)	63.86 (32)	67.47 (18)	78.05 (32)
D02	67.44 (3)	63.53 (26)	65.88 (27)	63.53 (9)	67.06 (3)	67.86 (12)
D03	64.29 (21,23)	62.20(31)	63.86 (27)	64.63 (10)	65.06 (11)	61.73 (26)
D04	60.98 (11)	61.18 (11)	68.60 (10)	64.56 (16)	63.75 (5,15)	66.27 (17)
D05	63.86 (5)	64.63 (14)	62.20 (17,23)	65.06 (5)	66.27 (13)	65.85 (1,3)
D06	74.70 (3)	65.48 (12)	67.07 (13)	69.88 (30)	66.67 (3)	67.07 (2,3)
D07	67.47 (12)	65.43 (4)	65.06 (1)	64.63 (14)	65.48 (6,30)	60.98 (3,31)
D08	61.90 (9,11)	63.41 (20)	64.20 (9)	61.90 (30)	62.65 (20)	64.20 (17)
D09	73.50 (28)	75.90 (31)	74.07 (30)	60.71 (31)	63.41 (23)	60.98 (9,23)
D10	66.27 (14)	71.95 (9)	70.73 (9,13)	67.47 (32)	62.65 (24)	64.63 (13)
D11	68.49 (15)	78.38 (4)	68.06 (6)	82.19 (4)	70.42 (13)	79.17 (4)
D12	69.14 (4,14)	67.50 (1,6)	68.75 (10)	61.45 (23)	63.86 (9)	59.76 (10,20,25)
D13	65.28 (5,18)	61.97 (1)	58.57 (23)	65.33 (15)	64.86 (5)	63.01 (2,25)
D14	71.83 (17)	68.57 (7,9)	65.71 (17)	65.75 (17)	65.75 (16)	65.28 (14,24)
D15	62.20 (9,19)	65.43 (3)	73.75 (2)	66.27 (20)	59.76 (20)	72.84 (2,24)
ORT±SS	67.55±4.73	67.33±5.40	67.64±5.01	65.81±5.09	65.01±2.52	66.51±5.91

Birinci AGD yaklaşımı uygulanmasıyla elde edilen sinyal görüntüleri ile deneklere ait yüz görüntülerinin öznitelik seviyesinde birleştirilmesi sonucunda elde edilen vektörlerin DVM ile sınıflandırılmasına ait sonuçlar Tablo 3.24'te verilmiştir. D01-D15 denekleri için farklı sınıf çiftleri arasındaki en başarılı sonuçlar şu şekildedir: D01 için 2 ve 4 çiftinde %96.39; D02 için 2 ve 4 çiftinde %92.94; D03 için 2 ve 3 çiftinde %85; D04 için 2 ve 3 çiftinde %91.14; D05 için 1 ve 2 çiftinde %95.18; D06 için 2 ve 4 çiftinde %97.53; D07 için 2 ve 4 çiftinde %90.48; D08 için 2 ve 3 çiftinde %96.43; D09 için 1 ve 2 ve 1 ve 3 çiftlerinde %92.77; D10 için 1 ve 2 çiftinde %95.18; D11 için 3 ve 4 çiftinde %94.37; D12 için 1 ve 4 çiftinde %97.47; D13 için 1 ve 2 çiftinde %87.50; D14 için 1 ve 2 çiftinde %94.29 ve D15 için 2 ve 4 çiftinde %86.59. Her bir sınıf çiftinde tüm denekler boyunca gözlenen ortalama doğruluk ve standart sapma değerleri sırasıyla 1 ve 2 için %89.24±4.57, 1 ve 3 için %88.54±4.25, 1 ve 4 için %87.13±5.05, 2 ve 3 için %88.09±4.79, 2 ve 4 için %89.36±4.38, 3 ve 4 için ise %88.74±4.11 olarak hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlar incelendiğinde, tüm sınıf çiftleri arasında sinyal ve yüz görüntülerine öznitelik seviyesinde birleştirme uygulanması sonrasında korku (2) ve rahatlama (4) çiftinin sınıflandırılmasında en başarılı

sonuçlar gözlenirken, komik (1) ve rahatlama (4) problem çiftinin sınıflandırılmasında en düşük sonuçlar elde edilmiştir.

Tablo 3.24. Birinci AGD yaklaşımıyla elde edilen AGG'nin ÖS'de yüz görüntüleri ile birleştirilmesinden elde edilen vektörlerin DVM ile sınıflandırılmasından elde edilen sınıflandırma doğrulukları

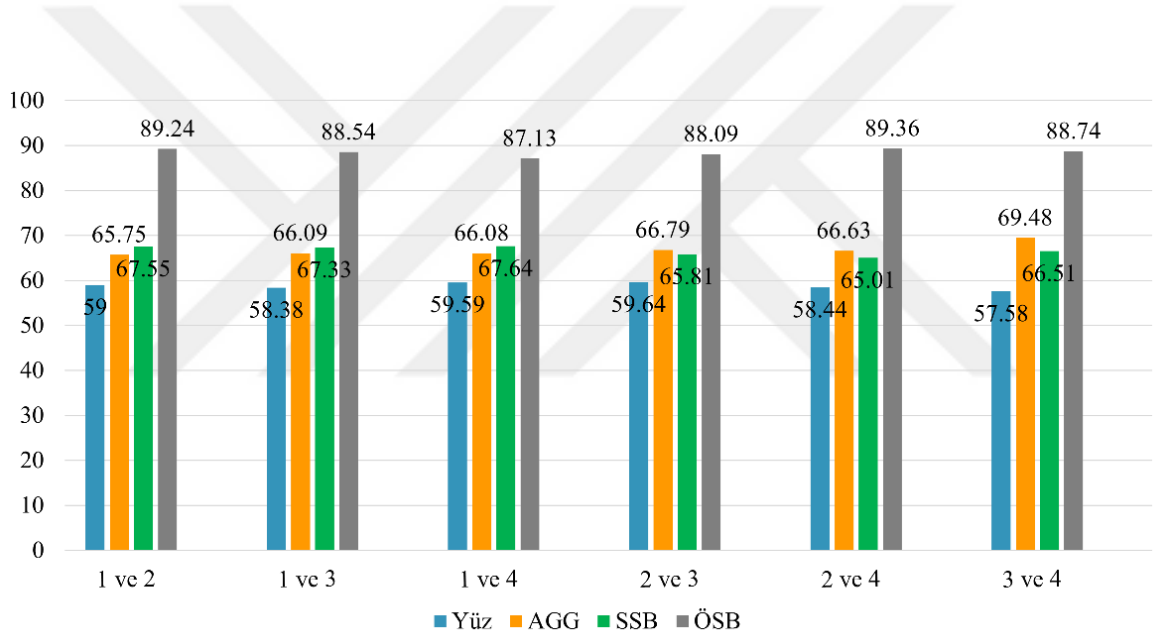
Denek	1 ve 2	1 ve 3	1 ve 4	2 ve 3	2 ve 4	3 ve 4
D01	86.75 (17)	90.24 (31)	91.46 (30)	95.18 (2)	96.39 (5)	89.02 (5)
D02	87.21 (3,9,21,26)	87.06 (23,24,26)	87.06 (1,2,19,24,32)	84.71 (3,21,23)	92.94 (17)	89.29 (6)
D03	80.49(1,10,23, 26)	81.25(12)	82.93(12)	84.62(13,15)	85(29)	80.77(31)
D04	90 (2)	87.06 (22)	86.05 (32)	91.14 (16)	87.5 (32)	86.75 (32)
D05	95.18 (20)	87.81 (9)	86.59 (4,28)	87.95 (30)	89.16 (29)	91.46 (6)
D06	93.98 (31)	86.91 (8)	86.59 (22,30)	93.98 (14)	97.53 (9)	92.68 (4)
D07	85.54 (31)	86.42 (22,26)	80.72 (4,26)	85.37 (7,19,21)	90.48 (17)	86.59 (20)
D08	88.10 (11,21)	93.90 (27)	90.12 (30)	96.43 (23)	87.95 (8)	93.83 (19)
D09	92.77 (2)	92.77 (24)	90.12 (27,31)	91.67 (11,16)	87.81 (27)	87.81 (24)
D10	95.18 (7,15)	93.83 (8,13)	93.90 (21,23,25)	87.81 (17)	92.77 (21,26,31,32)	93.83 (15)
D11	84.93 (3)	89.19 (8)	81.69 (19)	87.67 (8)	82.86 (23)	94.37 (25)
D12	92.59 (19)	96.25 (9)	97.47 (4)	85.54 (25)	85.37 (6,20)	87.65 (13,24)
D13	87.50 (2)	83.10 (3)	81.16 (15)	79.73 (16)	84.93 (16,24)	81.69(6)
D14	94.29 (20)	88.41 (20)	89.86 (5)	87.67 (10)	93.15 (14)	88.89 (13)
D15	84.15 (13)	83.95 (7)	81.25 (7,23)	81.93 (9)	86.59 (6)	86.42 (7,14)
ORT±SS	89.24±4.57	88.54±4.25	87.13±5.05	88.09±4.79	89.36±4.38	88.74±4.11

Öznitelik seviyesinde yapılan birleştirilmeyle elde edilen görüntülerin sınıflandırılmasına ait doğruluk değerleri her bir denek için sırasıyla şu şekildedir: D01 deneği için 1ve 2 çiftinde %16.86 artışla %86.75, 1 ve 3 çiftinde %25.60 artışla %90.24, 1 ve 4 çiftinde %15.85 artışla %91.46, 2 ve 3 çiftinde %26.50 artışla %95.18, 2 ve 4 çiftinde %25.30 artışla %96.39, 3 ve 4 çiftinde ise %7.31 artışla %89.02 doğruluk elde edilmiştir. D02 için 1ve 2 çiftinde %23.25 artışla %87.21, 1 ve 3 çiftinde %23.52 artışla %87.06, 1 ve 4 çiftinde %23.52 artışla %87.06, 2 ve 3 çiftinde %17.64 artışla %84.71, 2 ve 4 çiftinde %30.58 artışla %92.94, 3 ve 4 çiftinde ise %21.42 artışla %89.29 doğruluğu gözlenmiştir. D03 için 1ve 2 çiftinde %18.59 artımla %80.49, 1 ve 3 çiftinde %14.14 artımla %81.25, 1 ve 4 çiftinde %15.46 artımla %82.93, 2 ve 3 çiftinde %19.99 artımla %84.62, 2 ve 4 çiftinde

%17.53 artımla %85, 3 ve 4 çiftinde ise %9.17 artımla %80.77 doğruluğu elde edilmiştir. D04 için 1ve 2 çiftinde %30 artışla %90, 1 ve 3 çiftinde %23.42 artışla %87.06, 1 ve 4 çiftinde %22.41 artışla %86.05, 2 ve 3 çiftinde %27.28 artışla %91.14, 2 ve 4 çiftinde %21.99 artışla %87.5, 3 ve 4 çiftinde ise %18.15 artışla %86.75 doğruluk gözlenmiştir. D05 için 1ve 2 çiftinde %33.73 artışla %95.18, 1 ve 3 çiftinde %16.82 artışla %87.81, 1 ve 4 çiftinde %19.51 artışla %86.59, 2 ve 3 çiftinde %20.48 artışla %87.95, 2 ve 4 çiftinde %18.07 artışla %89.16, 3 ve 4 çiftinde ise %19.29 artışla %91.46 doğruluk elde edilmiştir. D06 için 1ve 2 çiftinde %21.68 artımla %93.98, 1 ve 3 çiftinde %16.66 artımla %86.91, 1 ve 4 çiftinde %24.39 artımla %86.59, 2 ve 3 çiftinde %27.71 artımla %93.98, 2 ve 4 çiftinde %24.69 artımla %97.53, 3 ve 4 çiftinde ise %25.60 artımla %92.68 doğruluk gözlenmiştir. D07 için 1ve 2 çiftinde %18.07 artışla %85.54, 1 ve 3 çiftinde %22.22 artışla %86.42, 1 ve 4 çiftinde %14.45 artışla %80.72, 2 ve 3 çiftinde %20.73 artışla %85.37, 2 ve 4 çiftinde %21.42 artışla %90.48, 3 ve 4 çiftinde ise %19.51 artışla %86.59 doğruluk elde edilmiştir. D08 için 1ve 2 çiftinde %26.19 artımla %88.10, 1 ve 3 çiftinde %26.82 artımla %93.90, 1 ve 4 çiftinde %24.69 artımla %90.12, 2 ve 3 çiftinde %34.52 artımla %96.43, 2 ve 4 çiftinde %21.68 artımla %87.95, 3 ve 4 çiftinde ise %27.16 artımla %93.83 doğruluğu gözlenmiştir. D09 için 1ve 2 çiftinde %28.91 artışla %92.77, 1 ve 3 çiftinde %26.50 artışla %92.77, 1 ve 4 çiftinde %24.69 artışla %90.12, 2 ve 3 çiftinde %26.19 artışla %91.67, 2 ve 4 çiftinde %23.17 artışla %87.81, 3 ve 4 çiftinde ise %21.95 artışla %87.81 doğruluk elde edilmiştir. D10 için 1ve 2 çiftinde %28.91 artımla %95.18, 1 ve 3 çiftinde %29.19 artımla %93.83, 1 ve 4 çiftinde %26.82 artımla %93.90, 2 ve 3 çiftinde %21.53 artımla %87.81, 2 ve 4 çiftinde %25.69 artımla %92.77, 3 ve 4 çiftinde ise %26.75 artımla %93.83 doğruluğu elde edilmiştir. D11 için 1ve 2 çiftinde %17.80 artışla %84.93, 1 ve 3 çiftinde %9.45 artışla %89.19, 1 ve 4 çiftinde %17.80 artışla %81.69, 2 ve 3 çiftinde %8.21 artışla %87.67, 2 ve 4 çiftinde %20.88 artışla %82.86, 3 ve 4 çiftinde ise %16.58 artışla %94.37 doğruluk gözlenmiştir. D12 için 1ve 2 çiftinde %24.69 artımla %92.59, 1 ve 3 çiftinde %30 artımla %96.25, 1 ve 4 çiftinde %33.71 artımla %97.47, 2 ve 3 çiftinde %18.07 artımla %85.54, 2 ve 4 çiftinde %21.51 artımla %85.37, 3 ve 4 çiftinde ise %25.45 artımla %87.65 doğruluk elde edilmiştir. D13 için 1ve 2 çiftinde %16.66 artışla %87.50, 1 ve 3 çiftinde %18.30 artışla %83.10, 1 ve 4 çiftinde %19.73 artışla %81.16, 2 ve 3 çiftinde %14.39 artışla %79.73, 2 ve 4 çiftinde %20.06 artışla %84.93, 3 ve 4 çiftinde ise %10.46 artışla %81.69 doğruluğu gözlenmiştir. D14 için 1ve 2 çiftinde %32.31 artışla %94.29, 1 ve 3 çiftinde %25.54 artışla

%88.41, 1 ve 4 çiftinde %22.71 artışla %89.86, 2 ve 3 çiftinde %20.54 artışla %87.67, 2 ve 4 çiftinde %24.65 artışla %93.15, 3 ve 4 çiftinde ise %25 artışla %88.89 doğruluk elde edilmiştir. D15 için ise 1 ve 2 çiftinde %14.64 artışla %84.15, 1 ve 3 çiftinde %18.52 artışla %83.95, 1 ve 4 çiftinde %10 artışla %81.25, 2 ve 3 çiftinde %15.66 artışla %81.93, 2 ve 4 çiftinde %23.18 artışla %86.59, 3 ve 4 çiftinde %16.05 artışla %86.42 doğruluk gözlenmiştir.

Yüz görüntüleri için Tablo 3.18’de ve sinyal görüntüleri ile füzyon yaklaşımlar için Bölüm 3.2.4’te listelenen tüm sonuçlara ilişkin olarak hazırlanan karşılaştırmalı grafik DVM sınıflandırıcısı için Şekil 3.6’da verilmektedir.



Şekil 3.6. Birinci AGD ile elde edilen sinyal görüntüleri ve yüz görüntülerinin füzyon öncesi ve sonrası DVM ile sınıflandırılmasından elde edilen sonuçlar ve analizler

3.2.5. İkinci AGD ile Elde Edilen Sinyal Görüntüleri ve Yüz Görüntülerinin Füzyon Öncesi ve Sonrası K-EYK ile Sınıflandırılmasıyla Elde Edilen Sonuçlar ve Analizler

İkinci AGD yaklaşımı uygulanmasıyla oluşan sinyal görüntülerinin K-EYK ile sınıflandırılmasına ait sonuçlar Tablo 3.25’te verilmiştir. D01-D15 denekleri için farklı sınıf çiftleri arasında gözlenen en başarılı sonuçlar şu şekildedir: D01 için 1 ve 4 çiftinde %78.05; D02 için 1 ve 4 çiftinde %67.06; D03 için 2 ve 4 çiftinde %67.46; D04 için 1 ve 4 çiftinde

%68.18; D05 için 2 ve 4 çiftinde %68.67; D06 için 2 ve 4 çiftinde %72.84; D07 için 1 ve 4 çiftinde %68.67; D08 için 1 ve 4 çiftinde %67.9; D09 için 3 ve 4 çiftinde %69.51; D10 için 2 ve 3 çiftinde %69.88; D11 için 1 ve 3 çiftinde %78.38; D12 için 1 ve 3 çiftinde %72.50; D13 için 3 ve 4 çiftinde %71.23; D14 için 2 ve 3 çiftinde %69.86 ve D15 için 3 ve 4 çiftinde %74.07. Her bir sınıf çiftinde tüm denekler boyunca gözlenen ortalama doğruluk ve standart sapma değerleri sırasıyla 1 ve 2 için %67.12±3.18, 1 ve 3 için %68.22±4.18, 1 ve 4 için %67.64±3.56, 2 ve 3 için %67.61±3.20, 2 ve 4 için %66.94±2.29, 3 ve 4 için ise %68.51±3.82 şeklindedir. Elde edilen sonuçlar incelendiğinde, tüm sınıf çiftleri arasında tiksiniç (3) ve rahatlama (4) çiftinin sınıflandırılmasında en başarılı sonuçlar alınırken korku (2) ve rahatlama (4) çiftinin sınıflandırılmasında en düşük sonuçlar gözlenmiştir.

Tablo 3.25. İkinci AGD yaklaşımı sonucunda elde edilen AGG'nin K-EYK ile sınıflandırılmasından elde edilen sınıflandırma doğrulukları

Denek	1 ve 2	1 ve 3	1 ve 4	2 ve 3	2 ve 4	3 ve 4
D01	77.11 (10)	73.17 (6)	78.05 (5)	65.06(3,10)	67.47(9,15)	76.83 (32)
D02	66.28 (11)	64.71 (13, 16)	67.06 (23)	64.71 (29)	65.88 (11)	64.29 (14,26)
D03	63.85 (21, 24, 29)	65.85 (24)	62.65 (20,32)	67.07 (4)	67.46 (32)	64.19 (19)
D04	64.71 (25)	64.77(16,32)	68.18 (16)	65.06 (32)	63.86 (21)	67.44 (21)
D05	65.06 (5,24)	64.63 (13)	64.63 (17,32)	67.47(1,32)	68.67(22)	67.07(32)
D06	69.88(3)	71.43 (29)	68.29(6)	67.47(30)	72.84(14)	67.07(5)
D07	67.47 (29)	66.67(7)	68.67(31)	63.41(3,15)	66.67(30)	64.63(17,32)
D08	67.86(18)	64.63(2,17)	67.9(7)	66.67(18)	66.27(12)	66.67(13)
D09	66.27(6)	68.67(25)	65.43(12)	67.86(3)	68.29(19)	69.51(4)
D10	67.47(28)	67.07(1,5)	67.07(28)	69.88 (4)	65.06 (24)	67.07(24)
D11	65.75 (19)	78.38 (4)	65.28 (1)	76.71 (4)	64.79 (19)	73.61 (8)
D12	67.90 (2,21)	72.50 (10)	70.00 (22,23)	67.47 (25)	66.27 (21)	65.85 (6)
D13	65.28 (9)	63.38 (11)	64.29 (17)	68.00 (19)	64.86 (23)	71.23 (24)
D14	64.79 (12,16)	67.14 (12)	67.14 (1,10)	64.38 (21,23)	69.86 (23)	68.06 (7)
D15	67.07 (2,15)	70.37 (22)	70.00 (23)	69.88 (2)	65.85 (7)	74.07 (24)
ORT±SS	67.12±3.18	68.22±4.18	67.64±3.56	67.61±3.20	66.94±2.29	68.51±3.82

İkinci AGD yaklaşımına uygulanmasıyla elde edilen sinyal görüntülerinin sensör seviyesinde yüz görüntüleri ile birleştirilmesi sonucu oluşan birleştirilmiş görüntülere ait sonuçlar Tablo 3.26'da ki gibidir. Farklı sınıf çiftleri arasında en başarılı sonuçlar D01-D15 denekleri için şu şekilde elde edilmiştir: D01 için 1 ve 4 çiftinde %78.05; D02 için 1 ve 3

çiftinde %68.24; D03 için 1 ve 2 çiftinde %67.86; D04 için 3 ve 4 çiftinde %68.67; D05 için 1 ve 2 çiftinde %74.70; D06 için 1 ve 3 çiftinde %70.24; D07 için 1 ve 2 çiftinde %67.47; D08 için 2 ve 4 çiftinde %68.67; D09 için 1 ve 4 çiftinde %72.84; D10 için 1 ve 2 çiftinde %71.08; D11 için 3 ve 4 çiftinde %77.78; D12 için 1 ve 2 çiftinde %71.60; D13 için 1 ve 2 çiftinde %69.44; D14 için 1 ve 2 çiftinde %69.01 ve D15 için ise 1 ve 4 çiftinde %73.75. Her bir sınıf çifti için tüm denekler boyunca gözlenen ortalama doğruluk ve standart sapma değerleri sırasıyla 1 ve 2 için 69.03 ± 3.64 , 1 ve 3 için 67.52 ± 3.23 , 1 ve 4 için 67.44 ± 4.27 , 2 ve 3 için 66.16 ± 2.92 , 2 ve 4 için 65.48 ± 1.98 , 3 ve 4 için ise 67.75 ± 4.62 olarak hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlar incelendiğinde, tüm sınıf çiftleri arasında komik (1) ve korku (2) çiftinin sınıflandırılmasında en yüksek sonuçlar gözlenirken korku (2) ve rahatlama (4) çiftinde en düşük değerler gözlenmiştir.

Sensör seviyesinde gerçekleştirilen birleştirilmeyle elde edilen görüntülerin sınıflandırmasından elde edilen kazanımlar ve doğruluk değerleri tüm denekler için şu şekildedir: D01 deneği için 1 ve 2 çiftinde %3.61 artışla %77.10, 1 ve 3 çiftinde %7.31 artışla %73.17, 1 ve 4 çiftinde ise %2.43 artışla %78.04 doğruluk gözlenmiştir. D02 için 1 ve 3 çiftinde %3.52'lik bir artışla %68.24 doğruluğu elde edilmiştir. D03 için 1 ve 2 çiftinde %4.76 artışla %67.86 doğruluğu gözlenirken 1 ve 4 çiftinde %3.61 artışla %66.27 elde edilmiştir. D04 için 1 ve 2 çiftinde %2.36 artışla %67.07, 2 ve 3 çiftinde %2.02 artışla %67.09, 3 ve 4 çiftinde ise %1.23 artışla %68.67 doğruluk elde edilmiştir. D05 için 1 ve 2 çiftinde %9.63 artışla %74.70'lik bir doğruluk elde edilirken 1 ve 3 çiftinde %3.65 artışla %68.29 gözlenmiştir. D06 için 2 ve 3 çiftinde %2.40 artımla %69.88, 3 ve 4 çiftinde ise %1.21 artımla %68.29 doğruluk görülmüştür. D07 deneği için 2 ve 3 çiftinde %1.21'lik bir artışla %64.63 doğruluk gözlenirken, D08 için 2 ve 4 çiftinde %2.40 artışla %68.67 elde edilmiştir. D09 için 1 ve 2 çiftinde %3.61 artışla %69.88, 1 ve 3 çiftinde %3.61 artışla %72.29, 1 ve 4 çiftinde ise %7.40 artışla %72.84 doğruluğu gözlenmiştir. D10 deneği için 1 ve 2 çiftinde %3.61'lik bir artışla %71.08 elde edilmiştir. D11 için 1 ve 2 çiftinde %4.10 artışla %69.86, 2 ve 4 çiftinde %4.22 artışla %69.01, 3 ve 4 çiftinde ise %4.16 artışla %77.78 doğruluğu gözlenmiştir. D12 için 1 ve 2 çiftinde %3.70'lik bir artımla %71.60 doğruluğu elde edilmiştir. D13 için 1 ve 2 çiftinde %4.16 artışla %69.44, 1 ve 3 çiftinde %1.40 artışla %67.79 doğruluğu elde edilirken 2 ve 4 çiftinde ise %1.35 artışla %66.22 elde edilmiştir. D14 için 1 ve 2 çiftinde %4.22 artışla %69.01 doğruluğu gözlenirken, 2 ve 3 çiftinde %2.73 artışla %67.12 gözlenmiştir. D15 için ise 1 ve 4 çiftinde %3.75 artışla %73.75 doğruluk elde

edilmiştir. Denekler için sonuçları verilmeyen diğer sınıf çiftlerinde ya başarı oranı değişmemiştir ya da sınıflandırma doğruluğunda azalma olmuştur.

Tablo 3.26. İkinci AGD yaklaşımıyla elde edilen AGG'nin SS'de yüz görüntüleri ile birleştirilmesinden elde edilen görüntülerin K-EYK ile sınıflandırılmasına ait sınıflandırma doğrulukları

Denek	1 ve 2	1 ve 3	1 ve 4	2 ve 3	2 ve 4	3 ve 4
D01	77.11 (10)	73.17 (6)	78.05 (5)	65.06 (3,10)	67.47 (9,15)	76.83 (32)
D02	65.12 (17)	68.24 (7)	63.53 (9)	62.35 (10,22,30)	64.71 (19)	64.29 (18)
D03	67.86 (9,20,22)	63.41 (12,20,28,29)	66.27 (29)	64.63 (9,18)	65.06 (20,21)	64.20 (8,12,19)
D04	67.07 (13)	64.71 (9)	67.44 (18)	67.09 (30)	63.75 (6,7,13)	68.67 (30)
D05	74.70 (25)	68.29 (25)	64.63 (14,30)	66.27 (21)	65.06 (17)	65.85 (17)
D06	66.27 (10)	70.24 (12)	65.85 (26)	69.88 (14)	67.90 (10)	68.29 (24)
D07	67.47 (17)	65.43 (28)	62.65 (25)	64.63 (2,24)	65.48 (11)	63.41 (17)
D08	63.10 (5,14)	63.41 (1,29)	65.43 (9,14,27)	61.90 (32)	68.67 (32)	65.43 (15)
D09	69.88 (2)	72.29 (13)	72.84 (7)	63.10 (15)	63.41 (7,8,30)	65.85 (5)
D10	71.08 (28)	67.07 (5)	67.07 (11,19,28)	69.88 (4)	65.06 (24)	67.07 (4,24)
D11	69.86 (4)	71.62 (4)	65.28 (2,6,23)	72.60 (8)	69.01 (8,9)	77.78 (4)
D12	71.60 (22)	68.75 (22)	68.75 (13)	66.27 (16,25)	62.65 (21)	64.63 (25)
D13	69.44 (6)	64.79 (1)	64.29 (22)	65.33 (15)	66.22 (3)	63.01 (20)
D14	69.01 (12)	67.14 (12)	65.71 (17)	67.12 (17,19,25)	64.38 (21)	68.06 (24)
D15	65.86 (3,20)	64.20 (7,11,19)	73.75 (4,20,24)	66.27 (2,20)	63.41 (1,23)	72.84 (2)
ORT±SS	69.03±3.64	67.52±3.23	67.44±4.27	66.16±2.92	65.48±1.98	67.75±4.62

İkinci AGD yaklaşımı uygulanmasıyla elde edilen sinyal görüntüleri ile deneklere ait yüz görüntülerinin öznelitek seviyesinde birleştirilmesi sonucu elde edilen vektörlerin DVM ile sınıflandırılmasına ait sonuçlar Tablo 3.27'de verilmiştir. D01-D15 denekleri için farklı sınıf çiftleri arasında gözlenen en başarılı sonuçlar şu şekildedir: D01 deneği için hem 1 ve 4 hem de 3 ve 4 çiftinde %92.68; D02 için 3 ve 4 çiftinde %92.86; D03 için hem 1 ve 4 hem de 2 ve 3 çiftinde %92.77; D04 için 1 ve 3 çiftinde %95.29; D05 için 1 ve 2 hem 2 ve 4 hem de çiftinde %91.57; D06 için 2 ve 4 çiftinde %95.06; D07 için 2 ve 3 çiftinde %93.90; D08 için 2 ve 4 çiftinde %95.18; D09 için 3 ve 4 çiftinde %92.68; D10 için 2 ve 4 çiftinde %92.77; D11 için 2 ve 3 çiftinde %93.15; D12 için 1 ve 4 çiftinde %93.75; D13 için hem 1 ve 2 hem

de 3 ve 4 çiftinde %94.20; D14 için 1 ve 3 çiftinde %94.29; D15 için ise 2 ve 4 çiftinde %92.68. Her bir sınıf çifti için tüm deneklerde elde edilen ortalama doğruluk ve standart sapma değerleri 1 ve 2 için %88.03±3.04, 1 ve 3 için %89.49±3.24, 1 ve 4 için %89.85±3.37, 2 ve 3 için %89.66±3.37, 2 ve 4 için %89.21±4.06, 3 ve 4 için ise %89.95±3.87 şeklindedir. Sonuçlar incelendiğinde tüm sınıf çiftleri arasında tiksiniç (3) ve rahatlama (4) çiftinin sınıflandırılmasında en başarılı sonuçlar gözlenirken, komik (1) ve korku (2) çiftinde en başarısız sonuçlar gözlenmiştir.

Tablo 3.27. İkinci AGD yaklaşımıyla elde edilen AGG'nin ÖS'de yüz görüntüleri ile birleştirilmesinden elde edilen vektörlerin K-EYK ile sınıflandırılmasına ait sınıflandırma doğrulukları

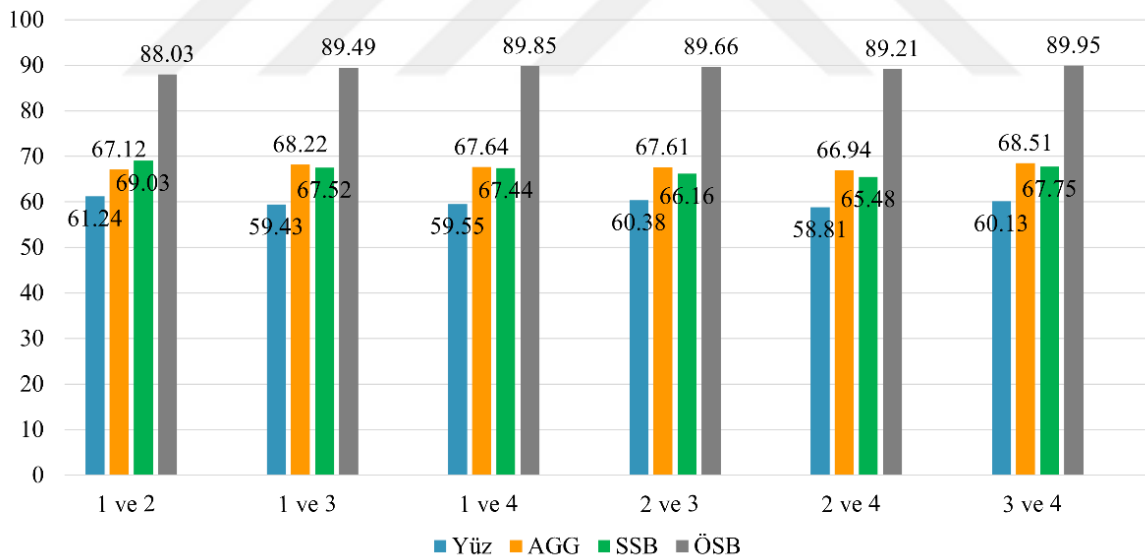
Denek	1 ve 2	1 ve 3	1 ve 4	2 ve 3	2 ve 4	3 ve 4
D01	90.36 (27)	90.24 (25)	92.68 (3)	85.54 (7,12)	86.75 (18)	92.68 (17)
D02	87.21 (19,26,31)	87.06 (3)	88.24 (6)	90.59 (23)	90.59 (32)	92.86 (32)
D03	83.33 (4)	86.59 (4)	92.77 (6)	92.77 (6)	91.46 (21,29)	82.71 (18,20)
D04	85.37 (2,22)	95.29 (20)	89.53 (20)	92.41 (2)	86.25 (14,17)	87.95 (2)
D05	91.57 (6,12)	90.24 (30)	87.80 (8)	89.16 (6)	91.57 (12,15)	86.59 (4)
D06	89.16 (7,13)	94.05 (14,18)	92.68 (15)	91.57 (10,14)	95.06 (9)	93.90 (9)
D07	86.75 (15)	91.36 (32)	84.34 (20,32)	93.90 (20)	89.29 (20)	84.15 (1)
D08	84.52 (21)	86.59 (27,28)	92.59 (1)	88.10 (27)	95.18 (8)	91.36 (25)
D09	86.75 (11)	86.75 (11)	83.95 (7,11)	84.52 (1,11)	86.59 (28)	92.68 (27)
D10	86.75 (9,20)	88.89 (5,28)	91.46 (5)	92.68 (2)	92.77 (14)	83.95 (32)
D11	91.78 (8)	91.89 (20)	93.06 (23)	93.15 (2)	81.69 (19)	91.67 (20)
D12	90.12 (20)	86.25 (1,12,17,18)	93.75 (9)	83.13 (1)	83.13 (2)	90.24 (12)
D13	94.20 (8)	86.57 (3)	85.07 (3,11)	90.28 (3)	88.89 (25)	94.20 (8)
D14	85.92 (19)	94.29 (13)	88.57 (18)	90.41 (11)	86.30 (17)	91.67 (17)
D15	86.59 (9,16,22-24)	86.42(7,13)	91.25 (20)	86.75 (11,13)	92.68 (6)	92.60 (1,20)
ORT±SS	88.03±3.04	89.49±3.24	89.85±3.37	89.66±3.37	89.21±4.06	89.95±3.87

Öznitelik seviyesinde birleştirilmeyle oluşan görüntülerin sınıflandırılmasından elde edilen kazanımlar ve doğruluk değerleri şu şekildedir: D01 deneği için 1 ve 2 çiftinde %16.86 artışla %90.36, 1 ve 3 çiftinde %24.39 artışla %90.24, 1 ve 4 çiftinde %17.07 artışla %92.68, 2 ve 3 çiftinde %16.86 artışla %85.54, 2 ve 4 çiftinde %18.07 artışla %86.75, 3 ve 4 çiftinde ise %15.85 artışla %92.68 doğruluk gözlenmiştir. D02 için 1 ve 2 çiftinde %20.93 artışla

%87.21, 1 ve 3 çiftinde %22.35 artışla %87.06, 1 ve 4 çiftinde %21.17 artışla %88.24, 2 ve 3 çiftinde %25.88 artışla %90.59, 2 ve 4 çiftinde %24.70 artışla %90.59, 3 ve 4 çiftinde ise %28.57 artışla %92.86 doğruluğu elde edilmiştir. D03 için 1ve 2 çiftinde %20.23 artışla %83.33, 1 ve 3 çiftinde %20.73 artışla %86.59, 1 ve 4 çiftinde %30.12 artışla %92.77, 2 ve 3 çiftinde %25.69 artışla %92.77, 2 ve 4 çiftinde %23.99 artışla %91.46, 3 ve 4 çiftinde ise %18.51 artışla % 82.71 doğruluk elde edilmiştir. D04 deneği için 1ve 2 çiftinde %20.65 artışla %85.37, 1 ve 3 çiftinde %30.52 artışla %95.29, 1 ve 4 çiftinde %21.35 artışla %89.53, 2 ve 3 çiftinde %27.34 artışla %92.41, 2 ve 4 çiftinde %22.39 artışla %86.25, 3 ve 4 çiftinde ise %20.50 artışla %87.95 doğruluğu gözlenmiştir. D05 için 1ve 2 çiftinde %26.50 artışla %91.57, 1 ve 3 çiftinde %25.60 artışla %90.24, 1 ve 4 çiftinde %23.17 artışla %87.80, 2 ve 3 çiftinde %21.68 artışla %89.16, 2 ve 4 çiftinde %22.89 artışla %91.57, 3 ve 4 çiftinde ise %19.51'lik bir artışla %86.59 doğruluğu elde edilmiştir. D06 için 1ve 2 çiftinde %19.27 artışla %89.16, 1 ve 3 çiftinde %22.61 artışla %94.05, 1 ve 4 çiftinde %24.39 artışla %92.68, 2 ve 3 çiftinde %24.09 artışla %91.57, 2 ve 4 çiftinde %22.22 artışla %95.06, 3 ve 4 çiftinde ise %26.82 artışla %93.90 doğruluk gözlenmiştir. D07 deneği için 1ve 2 çiftinde %19.27 artışla %86.75, 1 ve 3 çiftinde %24.69 artışla %91.36, 1 ve 4 çiftinde %15.66 artışla %84.34, 2 ve 3 çiftinde %30.48 artışla %93.90, 2 ve 4 çiftinde %22.61 artışla %89.29, 3 ve 4 çiftinde ise %19.51'lik bir artışla %84.15 değeri elde edilmiştir. D08 için 1ve 2 çiftinde %16.66 artışla %84.52, 1 ve 3 çiftinde %21.95 artışla %86.59, 1 ve 4 çiftinde %24.69 artışla %92.59, 2 ve 3 çiftinde %21.42 artışla %88.10, 2 ve 4 çiftinde %28.91 artışla %95.18, 3 ve 4 çiftinde ise %24.69 artışla %91.36 doğruluğu gözlenmiştir. D09 için 1ve 2 çiftinde %20.48 artışla %86.75, 1 ve 3 çiftinde %18.07 artışla %86.75, 1 ve 4 çiftinde %18.51 artışla %83.95, 2 ve 3 çiftinde %16.66 artışla %84.52, 2 ve 4 çiftinde %18.29 artışla %86.59, 3 ve 4 çiftinde ise %23.17 artışla %92.68 doğruluk elde edilmiştir. D10 için 1ve 2 çiftinde %19.27 artışla %86.75, 1 ve 3 çiftinde %21.81 artışla %88.89, 1 ve 4 çiftinde %24.39 artışla %91.46, 2 ve 3 çiftinde %22.80 artışla %92.68, 2 ve 4 çiftinde %27.71 artışla %92.77, 3 ve 4 çiftinde ise %16.87 artışla %83.95 doğruluk gözlenmiştir. D11 için 1ve 2 çiftinde %26.02 artışla %91.78, 1 ve 3 çiftinde %13.51 artışla %91.89, 1 ve 4 çiftinde %27.77 artışla %93.06, 2 ve 3 çiftinde %16.43 artışla %93.15, 2 ve 4 çiftinde %16.90 artışla %81.69, 3 ve 4 çiftinde ise %18.50 artışla %91.67 doğruluk elde edilmiştir. D12 için 1ve 2 çiftinde %22.22 artışla %90.12, 1 ve 3 çiftinde %13.75 artışla %86.25, 1 ve 4 çiftinde %23.75 artışla %93.75, 2 ve 3 çiftinde %15.66 artışla %83.13, 2 ve 4 çiftinde %16.86 artışla %83.13, 3 ve 4 çiftinde ise

%24.39 artışla %90.24 doğruluğu gözlenmiştir. D13 için 1 ve 2 çiftinde %28.92 artışla %94.20, 1 ve 3 çiftinde %23.18 artışla %86.57, 1 ve 4 çiftinde %20.18 artışla %85.07, 2 ve 3 çiftinde %22.27 artışla %90.28, 2 ve 4 çiftinde %24.02 artışla %88.89, 3 ve 4 çiftinde ise %22.97 artışla %94.20 doğruluk elde edilmiştir. D14 için 1 ve 2 çiftinde %21.12 artışla %85.92, 1 ve 3 çiftinde %27.14 artışla %94.29, 1 ve 4 çiftinde %21.42 artışla %88.57, 2 ve 3 çiftinde %26.02 artışla %90.41, 2 ve 4 çiftinde %16.43 artışla %86.30, 3 ve 4 çiftinde ise %23.61 artışla %91.67 doğruluk gözlenmiştir. D15 için 1 ve 2 çiftinde %19.51 artışla %86.59, 1 ve 3 çiftinde %16.04 artışla %86.42, 1 ve 4 çiftinde %21.25 artışla %91.25, 2 ve 3 çiftinde %16.86 artışla %86.75, 2 ve 4 çiftinde %26.82 artışla %92.68, 3 ve 4 çiftinde ise %18.51 artışla %92.60 doğruluk gözlenmiştir.

Yüz görüntüleri için Tablo 3.17’de ve sinyal görüntüleri ile füzyon yaklaşımlar için Bölüm 3.2.5’te listelenen tüm sonuçlara ilişkin olarak hazırlanan karşılaştırmalı grafikler K-EYK sınıflandırıcısı için Şekil 3.7’de verilmektedir.



Şekil 3.7. İkinci AGD ile elde edilen sinyal görüntüleri ve yüz görüntülerinin füzyon öncesi ve sonrası K-EYK ile sınıflandırılmasından elde edilen sonuçlar ve analizler

3.2.6. İkinci AGD ile Elde Edilen Sinyal Görüntülerinin Füzyon Öncesi ve Sonrası DVM ile Sınıflandırılmasıyla Elde Edilen Sonuçlar ve Analizler

İkinci AGD yaklaşımıyla oluşturulan sinyal görüntülerinin DVM ile sınıflandırılma sonuçları Tablo 3.28’de verilmiştir. D01-D15 için farklı sınıf çiftleri arasındaki en başarılı sonuçlar şu şekildedir: D01 için 3 ve 4 çiftinde %82.93; D02 için 3 ve 4 çiftinde %70.24; D03 için hem 1 ve 4 ile hem de 2 ve 4 çiftinde %65.06; D04 için 3 ve 4 çiftinde %74.42; D05 için 1 ve 2 çiftinde %69.88; D06 için 2 ve 4 çiftinde %70.37; D07 için 2 ve 4 çiftinde %67.86; D08 için 1 ve 4 çiftinde %71.60; D09 için 3 ve 4 çiftinde %74.39; D10 için 1 ve 2 çiftinde %71.08; D11 için 2 ve 3 çiftinde %80.82; D12 için 1 ve 2 çiftinde %71.60; D13 için 3 ve 4 çiftinde %68.49; D14 için 1 ve 2 çiftinde %69.01; D15 için ise 3 ve 4 çiftinde %71.60.

Tablo 3.28. İkinci AGD yaklaşımıyla elde edilen AGG’nin DVM ile sınıflandırılmasına ait sınıflandırma doğrulukları

Denek	1 ve 2	1 ve 3	1 ve 4	2 ve 3	2 ve 4	3 ve 4
D01	74.70 (10)	67.07 (12)	74.39 (3,5)	68.67 (3,32)	68.67 (3)	82.93 (32)
D02	65.12 (21)	67.06 (18)	62.35 (16,29)	68.24 (27)	62.35 (26)	70.24 (26)
D03	61.90 (4,23,28)	62.20 (3,13)	65.06 (4)	64.63 (7,10)	65.06 (27)	62.96 (19,23)
D04	65.88 (21)	63.64 (15,32)	67.05 (3)	66.27 (30)	67.47 (3)	74.42 (3)
D05	69.88 (6)	63.41 (21)	65.85 (2)	66.27 (25)	67.47 (18)	65.85 (11)
D06	66.27 (3)	67.86 (22)	67.07 (10)	69.88 (3,14)	70.37 (14)	69.51 (3)
D07	62.65 (11,24,26)	65.43 (23,29,31)	63.86 (16)	65.85 (2)	67.86 (2)	64.63 (29)
D08	65.48 (30)	60.98 (6,7,21,25)	71.60 (23)	61.90 (3,5,7,8,31)	65.06 (7,12)	65.43 (12)
D09	62.65 (3,5,6)	63.86 (12)	64.20 (22,32)	65.48 (19)	63.41 (3,27)	74.39 (23)
D10	71.08 (14)	62.20 (4,5,14,17,18,30)	67.07 (6,30)	63.86 (17)	63.86 (6)	68.29 (3)
D11	65.75 (1)	79.73 (4)	68.06 (25)	80.82 (4)	76.06 (13)	77.78 (4)
D12	71.60 (7)	65 (22)	65 (12)	68.67 (25)	65.06 (2)	64.63 (15)
D13	66.67 (1)	64.79 (14)	65.71 (13)	65.33 (1,3,17)	67.57 (6)	68.49(25)
D14	69.01 (11)	67.14 (5)	65.71 (3)	65.76 (7)	67.12 (21)	63.89 (20,23)
D15	67.07 (27)	70.37 (22)	70 (3)	71.08 (20)	65.86 (9)	71.60 (2)
ORT±SS	67.05±3.61	66.05±4.54	66.87±3.13	67.51±4.39	66.88±3.32	69.67±5.70

Her bir sınıf çifti için tüm denekler boyunca gözlenen ortalama doğruluk ve standart sapma değerleri 1 ve 2 için %67.05±3.61, 1 ve 3 için %66.05±4.54, 1 ve 4 için %66.87±3.13,

2 ve 3 için $\%67.51 \pm 4.39$, 2 ve 4 için $\%66.88 \pm 3.32$ iken 3 ve 4 için $\%69.67 \pm 5.70$ şeklindedir. Elde edilen sonuçlar incelendiğinde, tüm sınıf çiftleri arasında tiksiniç (3) ve rahatlama (4) çiftinin sınıflandırılmasında en başarılı sonuçlar gözlenirken komik (1) ve tiksiniç (3) çiftinde için başarısız doğruluk elde edilmiştir.

İkinci AGD yaklaşımı uygulanmasıyla oluşturulan sinyal görüntülerinin sensör seviyesinde yüz görüntüleri ile birleştirilmesiyle elde edilen görüntülerin DVM ile sınıflandırılmasına ait sonuçlar Tablo 3.29'da verilmiştir. D01-D15 denekleri için farklı sınıf çiftleri arasındaki en başarılı sonuçlar şu şekildedir: D01 için hem 1 ve 4 hem de 3 ve 4 çiftinde $\%78.05$; D02 için 3 ve 4 çiftinde $\%67.86$; D03 için 1 ve 2 çiftinde $\%66.67$; D04 için 3 ve 4 çiftinde $\%71.08$; D05 için 1 ve 3 çiftinde $\%65.85$; D06 için 2 ve 4 çiftinde $\%70.37$; D07 için 2 ve 4 çiftinde $\%67.86$; D08 için 2 ve 4 çiftinde $\%66.27$; D09 için 1 ve 3 çiftinde $\%73.49$; D10 için 1 ve 2 çiftinde $\%71.08$; D11 için 3 ve 4 çiftinde $\%79.17$; D12 için 1 ve 2 çiftinde $\%69.14$; D13 için 2 ve 3 çiftinde $\%65.33$; D14 için 1 ve 2 çiftinde $\%71.83$; D15 için ise 1 ve 4 çiftinde $\%73.75$. Her bir sınıf çifti için tüm denekler boyunca hesaplanan ortalama doğruluk ve standart sapma değerleri 1 ve 2 için $\%66.52 \pm 4.93$, 1 ve 3 için $\%66.75 \pm 5.49$, 1 ve 4 için $\%66.92 \pm 4.86$, 2 ve 3 için $\%64.86 \pm 5.38$, 2 ve 4 için $\%65.82 \pm 3.06$ iken 3 ve 4 için $\%67.07 \pm 6.01$ şeklindedir. Elde edilen tüm sonuçlar incelendiğinde, tüm sınıf çiftleri arasında tiksiniç (3) ve rahatlama (4) çiftinin sınıflandırılmasında en yüksek başarı gözlenirken, korku (2) ve tiksiniç (3) çiftinin sınıflandırılmasında en düşük başarı elde edilmiştir.

Sensör seviyesinde yapılan birleştirilmeyle elde edilen görüntülerin sınıflandırılmasından elde edilen kazanımlar ve doğruluk değerleri tüm denekler için şu şekildedir: D01 deneği için 1 ve 2 çiftinde $\%2.40$ artışla $\%77.11$, 1 ve 3 çiftinde $\%9.75$ artışla $\%76.83$, 1 ve 4 çiftinde $\%3.65$ artışla $\%78.05$, 2 ve 4 çiftinde ise $\%2.40$ artışla $\%71.08$ doğruluk gözlenmiştir. D02 için 1 ve 4 çiftinde $\%3.52$ artışla $\%65.88$ doğruluk elde edilirken 2 ve 4 çiftinde $\%2.35$ artışla $\%64.71$ elde edilmiştir. D03 için 1 ve 2 çiftinde $\%4.76$ artışla $\%66.67$, 1 ve 3 çiftinde $\%1.21$ artışla $\%63.41$, 2 ve 4 çiftinde ise $\%1.20$ artışla $\%66.27$ elde edilmiştir. D05 için 1 ve 3 çiftinde $\%2.43$ artışla $\%65.85$, D07 için 1 ve 2 çiftinde $\%1.20$ artışla $\%63.86$, D08 için ise 2 ve 4 çiftinde $\%1.20$ artışla $\%66.27$ doğruluk elde edilmiştir. D09 deneği için 1 ve 2 çiftinde $\%9.63$ artışla $\%72.29$, 1 ve 3 çiftinde $\%9.63$ artışla $\%73.49$ ve 1 ve 4 çiftinde $\%8.64$ artışla $\%72.84$ doğruluk elde edilmiştir. D10 için 2 ve 3 çiftinde $\%2.40$ artışla $\%66.27$ doğruluk gözlenmiştir. D11 için 1 ve 2 çiftinde $\%2.73$ artışla $\%68.49$,

2 ve 3 çiftinde %1.36 artışla %82.19 elde edilirken 3 ve 4 çiftinde %1.38 artışla %79.17 elde edilmiştir. D12 için 1 ve 3 çiftinde %2.5 artışla %67.50 doğruluk gözlenirken 1 ve 4 çiftinde %3.75 artışla %68.75 gözlenmiştir. D14 için 1ve 2 çiftinde %2.81 artışla %71.83, 1 ve 3 çiftinde %1.42 artışla %68.57, 3 ve 4 çiftinde ise %1.38 artışla %65.28 doğruluk elde edilmiştir. D15 için ise 1ve 4 çiftinde %3.75 artışla %73.75 doğruluk elde edilirken 3 ve 4 çiftinde %1.23 artışla %72.84 elde edilmiştir. Denekler için sonuçları verilmeyen diğer sınıf çiftlerinde ya başarı oranı değişmemiştir ya da sınıflandırma doğruluğunda azalma olmuştur.

Tablo 3.29. İkinci AGD yaklaşımıyla elde edilen AGG'nin SS'de yüz görüntüleri ile birleştirilmesiyle elde edilen görüntülerin DVM ile sınıflandırılmasından elde edilen sınıflandırma doğrulukları

Denek	1 ve 2	1 ve 3	1 ve 4	2 ve 3	2 ve 4	3 ve 4
D01	77.11 (30)	76.83 (7)	78.05 (5,30)	66.27 (3)	71.08 (6)	78.05 (32)
D02	62.79 (9)	67.06 (16)	65.88 (16,25)	60.00 (10)	64.71 (15)	67.86 (26)
D03	66.67 (30)	63.41 (12,15)	63.86 (8,11)	60.98 (6,17,28)	66.27 (17)	59.26 (4,13-15)
D04	62.20 (25)	63.53 (9)	65.12 (3)	64.56 (23)	63.75 (30)	71.08 (3)
D05	60.24 (28)	65.85 (19)	63.41 (29)	65.06 (6)	65.06 (10,18)	64.63 (25)
D06	62.65 (1,18,32)	63.10 (14)	63.41 (1,5,10,14,19,23,28)	65.06 (25,27)	70.37 (14)	65.85 (14)
D07	63.86 (30)	64.20 (24,32)	63.86 (16)	63.41 (2)	67.86 (18)	60.98 (15,16)
D08	61.90 (14)	59.76 (7,31)	65.43 (2)	60.71 (5,8,14)	66.27 (7)	65.43 (16)
D09	72.29 (2)	73.49 (5)	72.84 (6)	59.52 (13)	63.41 (9,13)	64.63 (23)
D10	71.08 (14)	62.20 (14,18)	67.07 (6,30)	66.27 (30)	63.86 (6)	68.29 (3)
D11	68.49 (15)	78.38 (4)	68.06 (6)	82.19 (4)	70.42 (13)	79.17 (4)
D12	69.14 (4,14)	67.50 (1,6)	68.75 (10)	61.45 (23)	63.86 (9)	59.76 (10,20)
D13	65.28 (5,18)	61.97 (1)	58.57 (23)	65.33 (15)	64.86 (5)	63.01 (2,25)
D14	71.83 (17)	68.57 (7,9)	65.71 (17)	65.75 (17)	65.75 (16)	65.28 (14,24)
D15	62.20 (9,19)	65.43 (3)	73.75 (2)	66.27 (20)	59.76 (20)	72.84 (2,24)
ORT±SS	66.52±4.93	66.75±5.49	66.92±4.86	64.86±5.38	65.82±3.06	67.07±6.01

İkinci AGD yaklaşımı uygulanmasıyla oluşturulan sinyal görüntüleri ile deneklere ait yüz görüntülerinin öznelitek seviyesinde birleştirilmesi sonucu elde edilen vektörlerin DVM ile sınıflandırılmasına ait sonuçlar Tablo 3.30'da verilmiştir. Tüm denekler için farklı sınıf çiftleri arasındaki en başarılı sonuçlar şu şekildedir: D01 için 1 ve 3 çiftinde %92.68; D02 için 2 ve 4 çiftinde %94.12; D03 için 2 ve 3 çiftinde %95.12; D04 için 1 ve 4 çiftinde %91.86;

D05 için 3 ve 4 çiftinde %93.90; D06 için 2 ve 4 çiftinde %97.53; D07 için 2 ve 4 çiftinde %94.05; D08 için 2 ve 4 çiftinde %96.39; D09 için 3 ve 4 çiftinde %89.02; D10 için 1 ve 3 çiftinde %95.06; D11 için 1 ve 2 çiftinde %93.15; D12 için 1 ve 3 ve 1 ve 4 çiftinde %95.00; D13 için 1 ve 4 çiftinde %88.06; D14 için 2 ve 4 çiftinde %93.06 ve D15 için 3 ve 4 çiftinde %94.29. Sınıf çiftleri için tüm denek boyunca gözlenen ortalama doğruluk ve standart sapma değerleri 1 ve 2 için 86.92 ± 4.61 , 1 ve 3 için 89.45 ± 4.26 , 1 ve 4 için 87.03 ± 5.26 , 2 ve 3 için 89.76 ± 4.09 , 2 ve 4 için 89.16 ± 6.91 iken 3 ve 4 için 87.41 ± 4.08 'dir. Sonuçlar incelendiğinde, tüm sınıf çiftleri arasında korku (2) ve tiksiniç (3) çiftinin sınıflandırılmasında en başarılı sonuçlar elde edilirken, komik (1) ve korku (2) çiftinde en düşük sonuçlar elde edilmiştir.

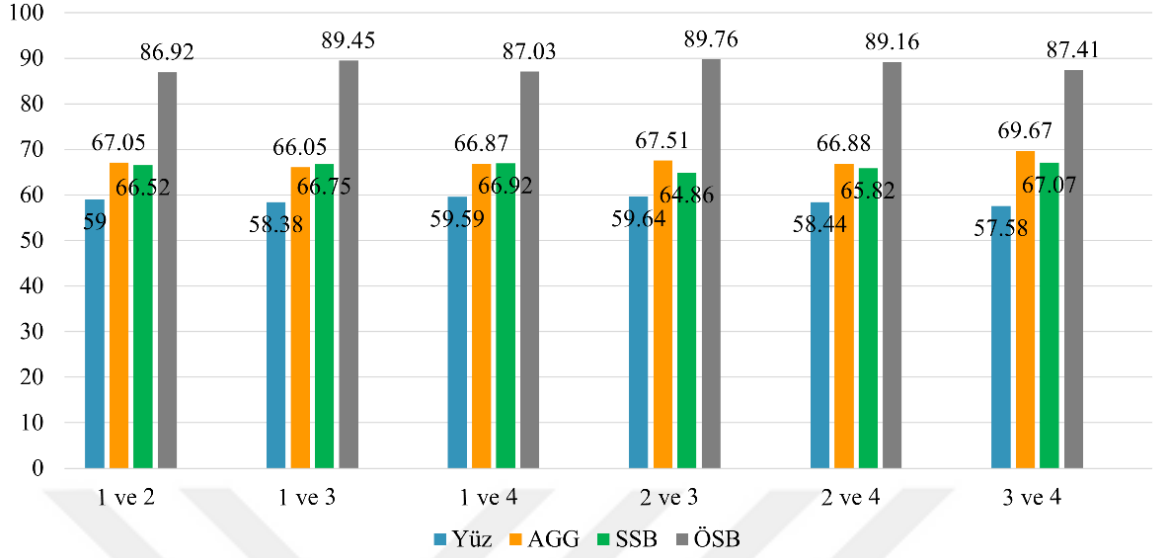
Öznitelik seviyesinde yapılan birleştirilmeyle oluşturulan görüntülerin sınıflandırmasına ait doğruluk değerleri tüm denekler için şu şekildedir: D01 için 1 ve 2 çiftinde %10.84 artışla %85.54, 1 ve 3 çiftinde %25.60 artışla %92.68, 1 ve 4 çiftinde %13.41 artışla %87.81, 2 ve 3 çiftinde %19.27 artışla %87.95, 2 ve 4 çiftinde %22.89 artışla %91.57, 3 ve 4 çiftinde ise %3.65 artışla %86.59 doğruluk gözlenmiştir. D02 için 1 ve 2 çiftinde %13.95 artışla %79.07, 1 ve 3 çiftinde %18.82 artışla %85.88, 1 ve 4 çiftinde %23.52 artışla %85.88, 2 ve 3 çiftinde %23.52 artışla %91.77, 2 ve 4 çiftinde %31.76 artışla %94.12, 3 ve 4 çiftinde ise %16.66 artışla %86.91 doğruluk elde edilmiştir. D03 deneği için 1 ve 2 çiftinde %21.42 artışla %83.33, 1 ve 3 çiftinde %24.39 artışla %86.59, 1 ve 4 çiftinde %16.86 artışla %81.93, 2 ve 3 çiftinde %30.48 artışla %95.12, 2 ve 4 çiftinde %21.68 artışla %86.75 doğruluk elde edilirken 3 ve 4 çiftinde %19.75 artışla %82.72 elde edilmiştir. D04 için 1 ve 2 çiftinde %20.70 artışla %86.58, 1 ve 3 çiftinde %26.95 artışla %90.59, 1 ve 4 çiftinde %24.81 artışla %91.86, 2 ve 3 çiftinde %22.34 artışla %88.61, 2 ve 4 çiftinde %20.03 artışla %87.50, 3 ve 4 çiftinde ise %17.14 artışla %91.57 doğruluk gözlenmiştir. D05 deneği için 1 ve 2 çiftinde %19.27 artışla %89.16, 1 ve 3 çiftinde %23.17 artışla %86.59, 1 ve 4 çiftinde %25.60 artışla %91.46, 2 ve 3 çiftinde %19.27 artışla %85.54, 2 ve 4 çiftinde %19.27 artışla %86.75 doğruluk gözlenirken 3 ve 4 çiftinde %28.04 artışla %93.90 gözlenmiştir. D06 için 1 ve 2 çiftinde %28.91 artışla %95.18, 1 ve 3 çiftinde %28.57 artışla %96.43, 1 ve 4 çiftinde %23.17 artışla %90.24, 2 ve 3 çiftinde %20.48 artışla %90.36, 2 ve 4 çiftinde %27.53 artışla %97.53, 3 ve 4 çiftinde ise %20.73 artışla %90.24 doğruluk elde edilmiştir. D07 için 1 ve 2 çiftinde %21.68 artışla %84.34, 1 ve 3 çiftinde %25.92 artışla %91.36, 1 ve 4 çiftinde %20.48 artışla %84.33, 2 ve 3 çiftinde %28.04 artışla %93.90, 2 ve

4 çiftinde %26.19 artışla %94.05 doğruluk elde edilirken 3 ve 4 çiftinde %19.51 artışla %84.15 elde edilmiştir. D08 için 1ve 2 çiftinde %20.23 artışla %85.71, 1 ve 3 çiftinde %25.60 artışla %86.59, 1 ve 4 çiftinde %14.81 artışla %86.42, 2 ve 3 çiftinde %33.33 artışla %95.24, 2 ve 4 çiftinde %31.32 artışla %96.39 doğruluk değeri gözlenirken 3 ve 4 çiftinde %19.75 artışla %85.19 gözlenmiştir. D09 için 1ve 2 çiftinde %20.48 artışla %83.13, 1 ve 3 çiftinde %22.89 artışla %86.75, 1 ve 4 çiftinde %22.22 artışla %86.42, 2 ve 3 çiftinde %21.42 artışla %86.91, 2 ve 4 çiftinde %23.17 artışla %86.59, 3 ve 4 çiftinde ise %14.63 artışla %89.02 doğruluk elde edilmiştir. D10 için 1ve 2 çiftinde %19.27 artışla %90.36, 1 ve 3 çiftinde %32.86 artışla %95.06, 1 ve 4 çiftinde %23.17 artışla %90.24, 2 ve 3 çiftinde %30.04 artışla %93.90, 2 ve 4 çiftinde %30.12 artışla %93.98 elde edilirken 3 ve 4 çiftinde %11.95 artışla %80.25 elde edilmiştir. D11 için 1ve 2 çiftinde %27.39 artışla %93.15, 1 ve 3 çiftinde %12.16 artışla %91.89, 1 ve 4 çiftinde %4.16 artışla %72.22, 2 ve 3 çiftinde %9.58 artışla %90.41, 2 ve 4 çiftinde %7.05 düşüşle %69.01 doğruluk gözlenirken 3 ve 4 çiftinde %6.94 artışla %84.72 gözlenmiştir. D12 için 1ve 2 çiftinde %17.28 artışla %88.89, 1 ve 3 çiftinde %30 artışla %95.00, 1 ve 4 çiftinde %30 artışla %95.00, 2 ve 3 çiftinde %16.86 artışla %85.54, 2 ve 4 çiftinde %21.68 artışla %86.75, 3 ve 4 ise çiftinde %19.51 artışla %84.15 doğruluk elde edilmiştir. D13 için 1ve 2 çiftinde %14.49 artışla %81.15, 1 ve 3 çiftinde %17.56 artışla %82.35, 1 ve 4 çiftinde %22.34 artışla %88.06, 2 ve 3 çiftinde %15.22 artışla %80.56, 2 ve 4 çiftinde %17.15 artışla %84.72 doğruluk değeri elde edilirken 3 ve 4 çiftinde %18.64 artışla %87.14 elde edilmiştir. D14 için 1ve 2 çiftinde %16.28 artışla %85.29, 1 ve 3 çiftinde %22.56 artışla %89.71, 1 ve 4 çiftinde %22.52 artışla %88.24, 2 ve 3 çiftinde %25.91 artışla %91.67, 2 ve 4 çiftinde %25.93 artışla %93.06 doğruluğu gözlenirken 3 ve 4 çiftinde %26.38 artışla %90.28 gözlenmiştir. D15 için ise 1ve 2 çiftinde %25.78 artışla %92.86, 1 ve 3 çiftinde %13.91 artışla %84.29, 1 ve 4 çiftinde %15.29 artışla %85.29, 2 ve 3 çiftinde %17.80 artışla %88.89, 2 ve 4 çiftinde %22.71 artışla %88.57, 3 ve 4 çiftinde %22.68 artışla %94.29 doğruluk elde edilmiştir.

Tablo 3.30. İkinci AGD yaklaşımı sonucu elde edilen AGG'nin ÖS'de yüz görüntüleri ile birleştirilmesiyle elde edilen vektörlerin DVM ile sınıflandırılmasından elde edilen sınıflandırma doğrulukları

Denek	1 ve 2	1 ve 3	1 ve 4	2 ve 3	2 ve 4	3 ve 4
D01	85.54 (16)	92.68 (25)	87.81 (3)	87.95 (9)	91.57 (32)	86.59 (15)
D02	79.07 (16,19,25)	85.88 (19)	85.88 (6,17)	91.77 (21)	94.12 (32)	86.91 (2,6,17)
D03	83.33 (24)	86.59 (6)	81.93 (23)	95.12 (13)	86.75 (6)	82.72 (23)
D04	86.58 (2)	90.59 (22)	91.86 (2)	88.61 (26)	87.50 (5,9)	91.57 (2)
D05	89.16 (3)	86.59 (6,13,19)	91.46 (5)	85.54 (6,8,15)	86.75 (4,9,10,17)	93.90 (4)
D06	95.18 (17)	96.43 (10,30)	90.24 (18)	90.36 (12,14)	97.53 (4,6)	90.24 (19,24)
D07	84.34 (4)	91.36 (32)	84.34 (27)	93.90 (29)	94.05 (10)	84.15 (14)
D08	85.71 (30)	86.59 (3,6,10)	86.42 (14,27)	95.24 (9)	96.39 (8)	85.19 (1,12)
D09	83.13 (3)	86.75 (3,4,8)	86.42 (5,25,26)	86.91 (1,5,11)	86.59 (8,9)	89.02 (2)
D10	90.36 (15)	95.06 (10)	90.24 (26)	93.90 (5,9,32)	93.98 (14)	80.25 (8)
D11	93.15 (19)	91.89 (8)	72.22 (15,18,23)	90.41 (24)	69.01 (7)	84.72 (4)
D12	88.89 (19)	95.00 (9)	95.00 (9)	85.54 (22)	86.75 (17)	84.15 (9,22)
D13	81.16 (8)	82.35 (2)	88.06 (11)	80.56 (9)	84.72 (4)	87.14 (7)
D14	85.29 (13,20,23)	89.71 (1)	88.24 (22)	91.67 (5)	93.06 (17)	90.28 (2)
D15	92.86 (8)	84.29 (5,25)	85.29 (6,14)	88.89 (7)	88.57 (7,12)	94.29 (16,22,23)
ORT±SS	86.92±4.61	89.45±4.26	87.03±5.26	89.76±4.09	89.16±6.91	87.41±4.08

Yüz görüntüleri için Tablo 3.18'de ve sinyal görüntüleri ile füzyon yaklaşımlar için Bölüm 3.2.6'da listelenen tüm sonuçlara ilişkin olarak hazırlanan karşılaştırmalı grafik DVM sınıflandırıcısı için Şekil 3.8'de verilmektedir.



Şekil 3.8. İkinci AGD ile elde edilen sinyal görüntüleri ve yüz görüntülerinin füzyon öncesi ve sonrası DVM ile sınıflandırılmasıyla elde edilen sonuçlar ve analizler

EEG sinyalleri ile yüz görüntülerini giriş verisi olarak kullanan çok modlu yaklaşımlara ait literatür özeti Tablo 3.31’de verilmiştir. Tablo sütunlarında sırasıyla çalışmalar, veri setleri, füzyon yöntemler, sınıflandırıcılar, hangi boyutta sınıflandırma yapıldığı ve çalışmalardan elde edilen doğruluk değerleri verilmektedir. Tez çalışmasında DEAP veri setinde ARO ve VAL boyutları için, KMED veri setinde ise komik, korku, tiksiniç ve rahatlama sınıflarının ikili kombinasyonları için sınıflandırmalar yapılmıştır. Literatür incelendiğinde, DEAP veri seti için VAL boyutunda en iyi sonuçlar Zhao ve Chen [72] tarafından yapılan çalışmada ÖSB ile %86.2 oranında elde edilmiştir. Tez çalışmasında önerilen İkinci AGD yaklaşımı ise ÖSB tekniği ve DVM sınıflandırıcısıyla aynı problemde 90.94 ± 3.15 değerlerini elde ederek literatürdeki en başarılı sonuçları yaklaşık %4.74 oranında ileri taşımıştır. Önerilen yöntemin standart sapması da oldukça düşüktür. Benzer şekilde DEAP veri setinde, ARO boyutunda en iyi sonuçlar da Zhao ve Chen [72] tarafından uygulanan ÖSB ile %86.8 oranında elde edilmiştir. Tez çalışmasında önerilen İkinci AGD yaklaşımı ise ÖSB tekniği ve DVM sınıflandırıcısı ile aynı problemde 92.44 ± 2.73 oranında başarı elde etmiştir. Bu doğruluk değerleri literatürdeki en başarılı sonuçlardan yaklaşık %5.64 daha iyidir. Önerilen yöntemin standart sapması da oldukça kabul edilebilir seviyededir.

Tablo 3.31'in devamı

Birinci AGD Yaklaşımı	KMED Veri Seti	SSB	K-EYK	(1 ve 2)	68.55±4.02
			DVM	(1 ve 2)	67.55±4.73
		ÖSB	K-EYK	(1 ve 2)	90.70±2.93
			DVM	(2 ve 4)	89.36±4.38
İkinci AGD Yaklaşımı		SSB	K-EYK	(1 ve 2)	69.03±3.64
			DVM	(3 ve 4)	67.07±6.01
		ÖSB	K-EYK	(3 ve 4)	89.95±3.87
			DVM	(2 ve 3)	89.76±4.09

Ek olarak diğer veri setleri üzerinde yapılan çalışmalar arasında en iyi sonuç Nötr, Üzgün, Korku ve Mutluluk sınıfları için Tan ve Ark. [73] tarafından yapılan çalışmada Fer2013 ve Seed-IV veri setleriyle %83.33 olarak gözlenmiştir. Tez çalışmasında oluşturulan KMED veri setinde ise şu sonuçlar elde edilmiştir. SSB'de ikinci AGD yaklaşımı K-EYK sınıflandırıcısıyla (1 ve 2) sınıf çiftinde %69.03±3.64 doğruluk değerlerini gözlenmiştir. ÖSB'de ise birinci AGD yaklaşımı K-EYK sınıflandırıcısıyla (1 ve 2) çiftinin sınıflandırılmasında %90.70±2.93 oranında doğruluk elde etmiştir.

4. SONUÇLAR

Çok modlu duygu tanıma sistemlerinin geliştirilmesi için farklı türdeki biyolojik bilgilerin (EEG, EOG, yüz görüntüsü, vb.) en uygun biçimde birleştirilmesi ve sınıflandırılması gerekmektedir. Çok modlu duygu tanıma sistemleri biyolojik bilgileri en uygun şekilde birleştirmek için kullanılan füzyon yöntemler sayesinde gerçekleştirilmektedir. Bu füzyon yöntemler sensör seviyesinde birleştirme (SSB), öznitelik seviyesinde birleştirme (ÖSB) ve karar seviyesinde birleştirme (KSB) şeklinde üç ana başlıkta toplanmaktadır. Bu yöntemler çok modlu sistemlerin performansını oldukça etkiler ve sınıflandırma başarısında önemli bir role sahiptir. Birleştirme yöntemlerinin yanı sıra, uygulama aşamasında kullanılan öznitelik çıkarma ve sınıflandırma yöntemleri de sınıflandırma performansı üzerinde oldukça etkilidir. Bu nedenle, kullanılacak birleştirme yöntemi, öznitelik çıkarıcı ve sınıflandırıcının birbirleriyle uyumlu olması çok modlu sistemlerin başarısı için oldukça önemlidir.

Tez çalışmasında çok modlu duygu tanıma çalışmaları için kabul edilebilir seviyede sınıflandırma başarısı hedefleyen özgün yöntemlerin geliştirilmesi amaçlanmıştır. Uygulanan yöntem ve yaklaşımlar bakımından tez çalışması iki ayrı bölümden oluşmaktadır. Çalışmanın ilk kısmında duygu tanıma çalışmaları için EEG ve EOG sinyallerini öznitelik seviyesinde birleştirmek için iki özgün ÖSB yöntemi (ÖSB-1 ve ÖSB-2) önerilmiştir. Bu iki yöntem uygulanmadan önce EEG ve EOG sinyallerine yine çalışma kapsamında önerilen özgün AGD-I yaklaşımları uygulanmıştır. Bu yaklaşımların uygulanmasıyla elde edilen sinyal görüntülerinden çıkarılan özniteliklere ÖSB-1 ile ÖSB-2 uygulanmış ve bu işlemler sonucunda hesaplanan öznitelikler çok modlu yaklaşımlarda sıklıkla tercih edilen DVM ile sınıflandırılmıştır. Önerilen yöntemlerin geçerliliği, literatürde çokça tercih edilen DEAP veri seti ile sınanmış ve olumlu sonuçlar gözlenmiştir. Bu sonuçlara göre; (i) sınıflandırma performansı önceki çalışmalara kıyasla oldukça iyi seviyede arttırılmıştır ve (ii) füzyon yöntemler uygulanmadan da EEG ve EOG sinyallerinden elde edilen AGG'leri ayrıca sınıflandırılarak çok modlu yaklaşımların sınıflandırmaya katkısı da ortaya konmuştur.

DEAP veri seti için çok modlu duygu tanıma sisteminin başarısını açıkça ortaya koyabilmek amacıyla füzyon uygulanmamış EEG ve EOG sinyal görüntüleri ayrıca sınıflandırılmıştır. DEAP veri setinde VAL sınıfında denekler boyunca gözlenen ortalama doğruluk ve standart sapma değerleri şu şekildedir: (i) Yaklaşım-1 uygulanması sonrası EEG

sinyallerinden üretilen AGG'ler için $\%88.57 \pm 3.20$, EOG sinyallerinden üretilen AGG'ler için $\%81.93 \pm 3.98$, ÖSB-1 için $\%90.31 \pm 2.43$ ve ÖSB-2 için $\%87.76 \pm 3.24$, (ii) Yaklaşım-2 uygulanması sonrası EEG sinyalleriyle oluşturulan AGG'ler için $\%87.17 \pm 3.17$, EOG sinyalleriyle oluşturulan AGG'ler için $\%82.07 \pm 5.06$, ÖSB-1 için $\%90.12 \pm 1.91$ ve ÖSB-2 için $\%87.57 \pm 2.34$, (iii) Yaklaşım-3 uygulanması sonrası EEG sinyallerinden üretilen AGG'ler için $\%88.40 \pm 3.28$, EOG sinyallerinden üretilen AGG'ler için $\%80.17 \pm 5.45$, ÖSB-1 için $\%89.69 \pm 2.33$ ve ÖSB-2 için $\%85.88 \pm 3.32$, (iv) Yaklaşım-4 uygulanması sonrası EEG sinyalleriyle oluşturulan AGG'ler için $\%87.63 \pm 3.55$, EOG sinyalleriyle oluşturulan AGG'ler için $\%82.27 \pm 4.28$, ÖSB-1 için $\%89.35 \pm 3.07$ ve ÖSB-2 için $\%88.59 \pm 2.87$, (v) Yaklaşım-5 uygulanması sonrası EEG sinyalleriyle oluşturulan AGG'ler için $\%87.22 \pm 2.78$, EOG sinyalleriyle oluşturulan AGG'ler için $\%81.45 \pm 3.72$, ÖSB-1 için $\%90.03 \pm 2.35$ ve ÖSB-2 için $\%86.81 \pm 3.08$, (vi) Yaklaşım-6 uygulanması sonrası EEG sinyallerinden üretilen AGG'ler için $\%87.56 \pm 3.27$, EOG sinyallerinden üretilen AGG'ler için $\%79.77 \pm 3.36$, ÖSB-1 için $\%89.36 \pm 2.63$ ve ÖSB-2 için $\%86.77 \pm 2.34$, (vii) Yaklaşım-7 uygulanması sonrası EEG sinyalleriyle oluşturulan AGG'ler için $\%87.29 \pm 4.13$, EOG sinyalleriyle oluşturulan AGG'ler için $\%83.24 \pm 4.73$, ÖSB-1 için $\%89.69 \pm 2.94$ ve ÖSB-2 için $\%87.28 \pm 2.53$. ARO sınıfı için denekler boyunca gözlenen ortalama doğruluk ve standart sapma değerleri ise şu şekildedir: (i) Yaklaşım-1 uygulanması sonrası EEG sinyalleriyle oluşturulan AGG'ler için $\%88.89 \pm 4.10$, EOG sinyalleriyle oluşturulan AGG'ler için $\%81.59 \pm 6.48$, ÖSB-1 için $\%90.46 \pm 3.69$ ve ÖSB-2 için $\%88.55 \pm 4.28$, (ii) Yaklaşım-2 uygulanması sonrası EEG sinyallerinden üretilen AGG'ler için $\%88.15 \pm 4.31$, EOG sinyallerinden üretilen AGG'ler için $\%82.43 \pm 6.07$, ÖSB-1 için $\%91.05 \pm 3.07$ ve ÖSB-2 için $\%88.67 \pm 4.90$, (iii) Yaklaşım-3 uygulanması sonrası EEG sinyalleriyle oluşturulan AGG'ler için $\%88.54 \pm 4.46$, EOG sinyalleriyle oluşturulan AGG'ler için $\%80.09 \pm 6.83$, ÖSB-1 için $\%90.45 \pm 4.58$ ve ÖSB-2 için $\%87.97 \pm 3.71$, (iv) Yaklaşım-4 uygulanması sonrası EEG sinyallerinden üretilen AGG'ler için $\%88.95 \pm 4.44$, EOG sinyallerinden üretilen AGG'ler için $\%82.69 \pm 5.06$, ÖSB-1 için $\%90.15 \pm 4.04$ ve ÖSB-2 için $\%88.42 \pm 3.40$, (v) Yaklaşım-5 uygulanması sonrası EEG sinyalleriyle oluşturulan AGG'ler için $\%88.78 \pm 3.21$, EOG sinyalleriyle oluşturulan AGG'ler için $\%80.94 \pm 5.89$, ÖSB-1 için $\%90.19 \pm 4.06$ ve ÖSB-2 için $\%88.49 \pm 3.63$, (vi) Yaklaşım-6 uygulanması sonrası EEG sinyallerinden üretilen AGG'ler için $\%88.49 \pm 4.70$, EOG sinyallerinden üretilen AGG'ler için $\%82.48 \pm 6.14$, ÖSB-1 için $\%90.96 \pm 3.43$ ve ÖSB-2 için $\%89.71 \pm 3.32$, (vii) Yaklaşım-7 uygulanması sonrası EEG sinyalleriyle oluşturulan

AGG'ler için 87.10 ± 4.39 , EOG sinyalleriyle oluşturulan AGG'ler için 82.21 ± 6.22 , ÖSB-1 için 91.52 ± 2.14 ve ÖSB-2 için 87.84 ± 3.99 'dur. DEAP veri setinde hesaplanan bu ortalama değerler incelendiğinde, ARO boyutunda doğrulukta gözlenen başarının VAL'e göre daha iyi olduğu görülmektedir. AGD yaklaşımlarının yalnızca EEG sinyallerine uygulanmasıyla elde edilen sınıflandırma doğrulukları AGD yaklaşımlarının sadece EOG sinyallerine uygulanmasıyla elde edilen doğruluklara göre daha yüksektir. Ayrıca, denekler boyunca ortalama doğruluklar ÖSB-1 ve ÖSB-2 yaklaşımları sonrası artmıştır. ÖSB-2 yaklaşımı ile elde edilen sınıflandırma doğrulukları ÖSB-1'e göre daha iyidir. Bu problem havuzundaki tüm sonuçların standart sapma değerleri incelendiğinde %1.91 ile %6.83 aralığında kabul edilebilir seviyede olduğu görülmüştür. Çalışmanın bu kısmının ana katkıları şu şekildedir:

1. Yeni sinyal görüntü dönüşümü yöntemleri önerilmiştir.
2. Dönüşüm yöntemleri hem EEG hem de EOG sinyallerine uygulanarak yöntemin benzer sinyallere uygulanabilir olduğu ortaya koyulmuştur.
3. Basit ve uygulanabilirliği kolay olan iki özgün ÖSB yöntemi (ÖSB-1 ve ÖSB-2) önerilip bu yöntemler sayesinde sınıflandırma performansı yüksek çok modlu çalışmalar yapılabileceği ortaya konmuştur.

Çalışmanın ikinci kısmında duygu tanıma çalışmaları için kaydedilmiş EEG sinyalleri ve yüz görüntülerini çok modlu yaklaşımlarda kullanabilmek amacıyla özgün bir sensör seviyesinde birleştirme (SSB) yöntemi ve özgün bir öznitelik seviyesinde birleştirme yöntemi (ÖSB-3) önerilmiştir. SSB yönteminde birleştirme işlemi henüz verilere hiçbir işlem uygulanmadan önce yapılmıştır. Yöntemde öncelikle EEG kayıtları AGD-II yaklaşımlarıyla 2 boyutlu görüntülere dönüştürülmüştür. Daha sonra yüz ifadelerine ait video kayıtlarından en benzersiz yüz görüntüleri otomatik olarak tespit edilmiştir. Son olarak, elde edilen bu iki görüntü birleştirilip tek bir görüntü oluşturulmuştur. Geri kalan tüm öznitelik çıkarma ve sınıflandırma işlemleri bu görüntüler kullanılarak gerçekleştirilmiştir. ÖSB-3 yaklaşımında ise ilk olarak EEG sinyallerine AGD-II yaklaşımları uygulanarak AGG'ler oluşturulmuştur. Daha sonra yüz görüntülerinden çıkarılan en benzersiz yüz görüntüleriyle AGG'ler ÖSB-3 yardımıyla öznitelik seviyesinde birleştirilmiştir. Bu yaklaşım sonucunda elde edilen öznitelikler ilk olarak çok modlu yaklaşımlarda sıklıkla tercih edilen DVM ile sınıflandırılmıştır. Sınıflandırıcıların özgün yöntemlere katkısını daha iyi irdelemek için K-EYK ile de sınıflandırma yapılmıştır. Yöntemlerin geçerliliği hem

tarafımızca oluşturulan KMED veri seti hem de DEAP veri setinde sınanarak ortaya konmaya çalışılmıştır. KMED veri seti 12 erkek ve 3 kadından oluşan toplam 15 kişilik bir denek grubuyla hazırlanmıştır. Oluşturulan veri setindeki erkek denekler için bir günde 160 kayıt alınırken kadın denekler için maksimum 140 kayıt alınmıştır. Bunun nedeni kadın deneklerden saç faktörü nedeniyle veri kaydı almanın daha zor olmasıdır. Veri setinde kaydedilen EEG sinyalleri literatürdeki duygu tanıma çalışmaları baz alınarak 1-50 ve 4-45 Hz aralıklarında filtrelenmiştir. Daha sonra, video izlemeye hazırlık ve video izleme bitişi sonrası kısımlar kırılarak fazlalık kısımlar atılmıştır. Böylelikle, sadece video kaydının izlendiği sırada kaydedilen sinyaller kullanılmıştır. Çalışmanın ilerleyen kısımlarında uygulanan tüm AGD yaklaşımları ve füzyon yöntemleri sonrasında 4-45 Hz aralığında filtrelenen sinyallerin her zaman 1-50 Hz aralığından filtrelenenlere göre daha düşük performans gösterdiği gözlenmiştir. Bu nedenle, Bulgular ve İrdeleme kısmında sadece 1-50 Hz ile filtrelenmiş sinyallere ait sonuçlar verilmiş, 4-45 Hz için sonuç verilmemiştir. Çalışmada sinyaller ile paralel olarak kaydedilen yüz görüntü videoları da yine video izlemeye hazırlık ve video izleme bitişi sonrası kısımlar kırılarak kullanılmıştır. Veri setinin hazırlanması için video paradigması, deney ortamının oluşturulması, sensör elektrot konumlarının belirlenmesi gibi işlemlerde DEAP veri seti örnek alınmıştır.

Çok modlu duygu tanıma sisteminin başarısını açıkça ortaya koyabilmek için yüz görüntüleri ve füzyon uygulanmamış sinyal görüntüleri ayrıca sınıflandırılmıştır. DEAP veri setinde denekler boyunca elde edilen ortalama doğruluk ve standart sapma değerleri aşağıdaki gibi gözlenmiştir. Birinci AGD yaklaşımı uygulanmış sinyal görüntüleri için füzyon sonuçları şu şekildedir: (i) ARO sınıfında K-EYK ile elde edilen sonuçlar yüz görüntüleri için 65.99 ± 10.67 , AGG için 80.67 ± 6.84 , SSB için 82.14 ± 5.26 ve ÖSB için 87.26 ± 4.52 , (ii) VAL sınıfında K-EYK ile elde edilen sonuçlar yüz görüntüleri için 58.39 ± 7.22 , AGG için 77.38 ± 5.47 , SSB için 80.69 ± 4.39 ve ÖSB için 85.24 ± 4.27 , (iii) ARO sınıfında DVM ile elde edilen sonuçlar yüz görüntüleri için 67.33 ± 9.81 , AGG için 78.87 ± 4.91 , SSB için 81.59 ± 6.13 ve ÖSB için 86.04 ± 7.52 ve (iv) VAL sınıfında DVM ile elde edilen sonuçlar yüz görüntüleri için 61.38 ± 7.58 , AGG için 78.61 ± 3.71 , SSB için 78.87 ± 5.56 ve ÖSB için 87.62 ± 6.74 . İkinci AGD yaklaşımı uygulanmış sinyal görüntüleri için füzyon sonuçları ise şu şekildedir: (i) ARO sınıfında K-EYK ile gözlenen sonuçlar yüz görüntüleri için 65.99 ± 10.67 , AGG için 80.97 ± 5.31 , SSB için 80.11 ± 7.79 ve ÖSB için 87.44 ± 4.49 , (ii) VAL sınıfında K-EYK ile gözlenen sonuçlar

yüz görüntüleri için $\%58.39 \pm 7.22$, AGG için $\%80.71 \pm 5.62$, SSB için $\%79.52 \pm 4.42$ ve ÖSB için $\%84.82 \pm 3.61$, (iii) ARO sınıfında DVM ile gözlenen sonuçlar yüz görüntüleri için $\%67.33 \pm 9.81$, AGG için $\%80.12 \pm 5.67$, SSB için $\%81.55 \pm 5.32$ ve ÖSB için $\%92.44 \pm 2.73$ ve (iv) VAL sınıfında DVM ile gözlenen sonuçlar yüz görüntüleri için $\%61.38 \pm 7.58$, AGG için $\%80.11 \pm 3.59$, SSB için $\%77.73 \pm 4.49$ ve ÖSB için $\%90.94 \pm 3.15$.

DEAP veri setinde gözlenen tüm bu ortalama sonuçlar incelendiğinde yüz görüntülerinin sınıflandırılmasında DVM ile daha fazla başarı elde edildiği gözlenmiştir. Birinci AGD yaklaşımına K-EYK uygulanmasıyla elde edilen sonuçlardan şu çıkarımlar yapılmıştır. Sinyal görüntülerinin sınıflandırılmasına ait ortalama doğruluk değerleri yüz görüntülerinden daha yüksektir. Hem ARO hem de VAL boyutunda, sinyal görüntüleri ile yüz görüntülerine SSB ve ÖSB uygulanması sonucu gözlenen ortalama değerler, yüz ve sinyal görüntülerine ayrı ayrı K-EYK uygulanmasından daha yüksektir. Benzer şekilde Birinci AGD yaklaşımına DVM uygulanmasıyla elde edilen sonuçlardan şu çıkarımlar yapılmıştır. Sinyal görüntülerine ait ortalama doğruluk değerleri yüz görüntülerinden daha yüksektir. Hem ARO hem de VAL boyutunda, sinyal görüntüleri ile yüz görüntülerine SSB ve ÖSB uygulanmasıyla elde edilen ortalama değerler, yüz ve sinyal görüntülerine ayrı ayrı DVM uygulanmasından daha yüksektir. İkinci AGD yaklaşımına K-EYK uygulanmasıyla elde edilen sonuçlardan şu çıkarımlar yapılmıştır. Sinyal görüntülerine ait ortalama doğruluk değerleri yüz görüntülerinden daha yüksektir. Hem VAL hem ARO boyutunda, sinyal görüntüleri ile yüz görüntülerine SSB uygulanması sonucu gözlenen değerler sadece sinyal görüntülerine K-EYK uygulanmasından daha düşüktür. Hem VAL hem ARO boyutunda, ÖSB uygulanmasından elde edilen doğruluk değerleri ise sadece sinyal görüntülerine K-EYK uygulanmasına ait sonuçlardan daha yüksektir. AGD yaklaşımına DVM uygulanmasıyla elde edilen sonuçlardan şu çıkarımlar yapılmıştır. Sinyal görüntülerinin sınıflandırılmasından elde edilen ortalama doğruluk değerleri yüz görüntülerinden daha yüksektir. Sinyal görüntüleri ile yüz görüntülerine SSB uygulanması sonucu gözlenen doğruluk değerleri ARO boyutu için sinyal görüntülerinin DVM ile sınıflandırılmasından daha yüksek iken VAL boyutunda daha düşüktür. Hem VAL hem ARO boyutunda, ÖSB ile elde edilen doğruluklar ise sadece sinyal görüntülerinin DVM ile sınıflandırılmasından yüksektir.

Tüm ortalama sonuçlar incelendiğinde DEAP veri setinde ARO boyutunda gözlenen değerlerin VAL'e göre daha iyi olduğu görülmektedir. Birinci AGD yaklaşımına K-EYK

uygulanmasıyla elde edilen doğruluklar genellikle DVM'ye göre daha yüksektir. ÖSB yaklaşımları uygulandıktan sonra her iki sınıflandırıcı da denekler boyunca ortalama olarak daha iyi sonuçlar elde etmiştir. İkinci AGD yaklaşımı için K-EYK ve DVM yöntemlerinden elde edilen sınıflandırma doğrulukları ise genel olarak birbirlerine yakındır. SSB sonrasında sadece DVM uygulanmasıyla genellikle doğrulukta artış gözlenmiştir. ÖSB uygulanması sonrası ise her iki sınıflandırıcı ile doğrulukta artış gözlenmiştir. Tüm problemlerde ÖSB uygulanmasıyla oldukça başarılı sonuçlar elde edilmiştir. Problem havuzundaki tüm sonuçlar için de elde edilen standart sapma değerleri incelendiğinde %2.73-%10.67 aralığında değerler gözlenmiştir.

KMED veri seti için denekler boyunca gözlenen ortalama doğruluk ve standart sapma değerleri aşağıdaki gibi gözlenmiştir. Birinci AGD yaklaşımı uygulanmış sinyal görüntüleri için K-EYK ile elde edilen füzyon öncesi ve sonrası sonuçlar şu şekildedir: (i) (1 ve 2) çiftinin sınıflandırılmasına ait sonuçlar yüz görüntüleri için %61.24±3.45, AGG için %67.41±3.10, SSB için %68.55±4.02 ve ÖSB için %90.70±2.93, (ii) (1 ve 3) çiftinin sınıflandırılmasına ait sonuçlar yüz görüntüleri için %59.43±3.47, AGG için %67.37±2.18, SSB için %67.61±2.53 ve ÖSB için %90.41±3.79, (iii) (1 ve 4) çiftinin sınıflandırılmasına ait sonuçlar yüz görüntüleri için %59.55±3.29, AGG için %67.63±2.95, SSB için %68.24±4.55 ve ÖSB için %89.09±4.95, (iv) (2 ve 3) çiftinin sınıflandırılmasına ait sonuçlar yüz görüntüleri için %60.38±2.04, AGG için %68.03±2.86, SSB için %66.72±2.07 ve ÖSB için %89.76±3.72, (v) (2 ve 4) çiftinin sınıflandırılmasına ait sonuçlar yüz görüntüleri için %58.81±2.48, AGG için %67.51±3.49, SSB için %65.41±1.94 ve ÖSB için %90.44±4.05 ve (vi) (3 ve 4) çiftinin sınıflandırılmasına ait sonuçlar yüz görüntüleri için %60.13±2.68, AGG için %68.77±4.45, SSB için %68.15±4.70 ve ÖSB için %89.86±4.06. Birinci AGD yaklaşımı uygulanmış sinyal görüntüleri için DVM ile elde edilen füzyon öncesi ve sonrası sonuçlar da şu şekildedir: (i) (1 ve 2) çiftinin sınıflandırılmasına ait sonuçlar yüz görüntüleri için %59.00±3.79, AGG için %65.75±3.89, SSB için %67.55±4.73 ve ÖSB için %89.24±4.57, (ii) (1 ve 3) çiftinin sınıflandırılmasına ait sonuçlar yüz görüntüleri için %58.38±4.08, AGG için %66.09±4.35, SSB için %67.33±5.40 ve ÖSB için %88.54±4.25, (iii) (1 ve 4) çiftinin sınıflandırılmasına ait sonuçlar yüz görüntüleri için %59.59±4.17, AGG için %66.08±3.61, SSB için %67.64±5.01 ve ÖSB için %87.13±5.05, (iv) (2 ve 3) çiftinin sınıflandırılmasına ait sonuçlar yüz görüntüleri için %59.64±4.53, AGG için %66.79±3.86, SSB için %65.81±5.09 ve ÖSB için %88.09±4.79, (v) (2 ve 4) çiftinin sınıflandırılmasına

ait sonuçlar yüz görüntüleri için $\%58.44 \pm 3.55$, AGG için $\%66.63 \pm 3.34$, SSB için $\%65.01 \pm 2.52$ ve ÖSB için $\%89.36 \pm 4.38$ ve (vi) (3 ve 4) çiftinin sınıflandırılmasına ait sonuçlar yüz görüntüleri için $\%57.58 \pm 3.22$, AGG için $\%69.48 \pm 5.12$, SSB için $\%66.51 \pm 5.91$ ve ÖSB için $\%88.74 \pm 4.11$.

İkinci AGD yaklaşımı için K-EYK ile elde edilen füzyon öncesi ve sonrası sonuçlar şu şekildedir: (i) (1 ve 2) çiftinin sınıflandırılmasına ait sonuçlar yüz görüntüleri için $\%61.24 \pm 3.45$, AGG için $\%67.12 \pm 3.18$, SSB için $\%69.03 \pm 3.64$ ve ÖSB için $\%88.03 \pm 3.04$, (ii) (1 ve 3) çiftinin sınıflandırılmasına ait sonuçlar yüz görüntüleri için $\%59.43 \pm 3.47$, AGG için $\%68.22 \pm 4.18$, SSB için $\%67.52 \pm 3.23$ ve ÖSB için $\%89.49 \pm 3.24$, (iii) (1 ve 4) çiftinin sınıflandırılmasına ait sonuçlar yüz görüntüleri için $\%59.55 \pm 3.29$, AGG için $\%67.64 \pm 3.56$, SSB için $\%67.44 \pm 4.24$ ve ÖSB için $\%89.85 \pm 3.37$, (iv) (2 ve 3) çiftinin sınıflandırılmasına ait sonuçlar yüz görüntüleri için $\%60.38 \pm 2.04$, AGG için $\%67.61 \pm 3.20$, SSB için $\%66.16 \pm 2.92$ ve ÖSB için $\%89.66 \pm 3.37$, (v) (2 ve 4) çiftinin sınıflandırılmasına ait sonuçlar yüz görüntüleri için $\%58.81 \pm 2.48$, AGG için $\%66.94 \pm 2.29$, SSB için $\%65.48 \pm 1.98$ ve ÖSB için $\%89.21 \pm 4.06$, (vi) (3 ve 4) çiftinin sınıflandırılmasına ait sonuçlar yüz görüntüleri için $\%60.13 \pm 2.68$, AGG için $\%68.51 \pm 3.81$, SSB için $\%67.75 \pm 4.62$ ve ÖSB için $\%89.95 \pm 3.87$. Benzer şekilde Birinci AGD yaklaşımı uygulanmış sinyal görüntüleri için DVM ile elde edilen füzyon öncesi ve sonrası sonuçlar ise şu şekildedir: (i) (1 ve 2) çiftinin sınıflandırılmasına ait sonuçlar yüz görüntüleri için $\%59.00 \pm 3.79$, AGG için $\%67.05 \pm 3.61$, SSB için $\%66.52 \pm 4.93$ ve ÖSB için $\%86.92 \pm 4.61$, (ii) (1 ve 3) çiftinin sınıflandırılmasına ait sonuçlar yüz görüntüleri için $\%58.38 \pm 4.08$, AGG için $\%66.05 \pm 4.54$, SSB için $\%66.75 \pm 5.49$ ve ÖSB için $\%89.45 \pm 4.26$, (iii) (1 ve 4) çiftinin sınıflandırılmasına ait sonuçlar yüz görüntüleri için $\%59.59 \pm 4.17$, AGG için $\%66.87 \pm 3.13$, SSB için $\%66.92 \pm 4.86$ ve ÖSB için $\%87.03 \pm 5.26$, (iv) (2 ve 3) çiftinin sınıflandırılmasına ait sonuçlar yüz görüntüleri için $\%59.64 \pm 4.53$, AGG için $\%67.51 \pm 4.39$, SSB için $\%64.86 \pm 5.38$ ve ÖSB için $\%89.76 \pm 4.09$, (v) (2 ve 4) çiftinin sınıflandırılmasına ait sonuçlar yüz görüntüleri için $\%58.44 \pm 3.55$, AGG için $\%66.88 \pm 3.32$, SSB için $\%65.82 \pm 3.06$ ve ÖSB için $\%89.16 \pm 6.91$ ve (vi) (3 ve 4) çiftinin sınıflandırılmasına ait sonuçlar yüz görüntüleri için $\%57.58 \pm 3.22$, AGG için $\%69.67 \pm 5.70$, SSB için $\%67.07 \pm 6.01$ ve ÖSB için $\%87.41 \pm 4.08$.

KMED veri setinde gözlenen tüm ortalama sonuçlar incelendiğinde, yüz görüntülerinin K-EYK ile sınıflandırılmasında daha iyi performans gözlenmiştir. Birinci AGD yaklaşımına K-EYK uygulanmasıyla elde edilen sonuçlardan şu çıkarımlar

yapılmıştır. Sinyal görüntülerinin sınıflandırılmasından elde edilen ortalama doğruluk değerleri yüz görüntülerinden daha yüksektir. Sinyal görüntüleri ile yüz görüntülerine SSB uygulanması sonucu gözlenen ortalama değerler (1 ve 2), (1 ve 3) ve (1 ve 4) çiftlerinin sınıflandırılmasında, yüz ve sinyal görüntülerinin ayrı ayrı K-EYK ile sınıflandırılmasından daha iyiyken diğerleri için daha düşüktür. Tüm sınıf çiftleri için sinyal görüntüleri ile yüz görüntülerine ÖSB uygulanması sonucu gözlenen sınıflandırma performansı ise hem yüz ve sinyal görüntülerinin ayrı ayrı sınıflandırılmasından hem de SSB'den daha başarılıdır. Benzer şekilde Birinci AGD yaklaşımı için DVM uygulanmasıyla elde edilen sonuçlardan şu çıkarımlar yapılmıştır. Sinyal görüntülerinin sınıflandırılmasına ait ortalama doğruluk değerleri yüz görüntülerinden daha yüksektir. Sinyal görüntüleri ile yüz görüntülerine SSB uygulanması sonucu gözlenen ortalama değerler (1 ve 2), (1 ve 3) ve (1 ve 4) çiftlerinin sınıflandırılmasında, yüz ve sinyal görüntülerinin ayrı ayrı DVM ile sınıflandırılmasından daha iyiyken diğerleri için daha düşüktür. Tüm sınıf çiftleri için sinyal görüntüleri ile yüz görüntülerine ÖSB uygulanması sonucu gözlenen sınıflandırma performansı ise hem yüz ve sinyal görüntülerinin ayrı ayrı sınıflandırılmasından hem de SSB'den daha başarılıdır.

İkinci AGD yaklaşımı için K-EYK uygulanmasıyla elde edilen sonuçlardan şu çıkarımlar yapılmıştır. Sinyal görüntülerinin sınıflandırılmasında gözlenen ortalama doğruluklar yüz görüntülerinden daha yüksektir. Sinyal görüntüleri ile yüz görüntülerine SSB uygulanması sonucu elde edilen ortalama doğruluk değerleri sadece (1 ve 2) çiftinin sınıflandırılmasında, yüz ve sinyal görüntülerinin ayrı ayrı K-EYK ile sınıflandırılmasından daha yüksekken diğerleri için daha düşüktür. Tüm sınıf çiftleri için sinyal görüntüleri ile yüz görüntülerine ÖSB uygulanmasıyla elde edilen performans değerleri ise hem yüz ve sinyal görüntülerinin ayrı ayrı sınıflandırılmasından hem de SSB'den daha iyidir. Benzer şekilde İkinci AGD yaklaşımına DVM uygulanmasıyla gözlenen sonuçlardan şu çıkarımlar yapılmıştır. Sinyal görüntülerinin sınıflandırılmasına ait ortalama doğruluk değerleri yüz görüntülerinden daha yüksektir. Sinyal görüntüleri ile yüz görüntülerine SSB uygulanmasıyla elde edilen ortalama doğruluk değerleri ise (1 ve 3) ve (1 ve 4) çiftlerinin sınıflandırılmasında, yüz ve sinyal görüntülerinin ayrı ayrı DVM ile sınıflandırılmasından daha yüksekken diğerleri için daha düşüktür. Tüm sınıf çiftleri için sinyal görüntüleri ile yüz görüntülerine ÖSB uygulanmasıyla elde edilen sınıflandırma performansı ise hem yüz ve sinyal görüntülerinin ayrı ayrı sınıflandırılmasından hem de SSB'den daha iyidir.

Birinci ve İkinci AGD yaklaşımları için her iki sınıflandırıcıya ait sonuçlar irdelendiğinde, sadece AGG'lerinin DVM ile sınıflandırıldığı durumda İkinci AGD daha başarılı olmuştur. Diğer tüm problemlerde ise Birinci AGD daha başarılıdır. Tüm problemler incelendiğinde SSB beklenen performansı göstermemiştir. Diğer yandan, tüm problemler için ÖSB yaklaşımlarından oldukça başarılı sonuçlar elde edilmiştir. Tüm problem havuzunda gözlenen standart sapma değerleri %1.94-%6.91 aralığındadır. İlerleyen çalışmalarda birleştirilen görüntülere farklı öznitelik çıkarma ve sınıflandırma yöntemleri uygulanarak sınıflandırma başarısı daha da artırılmalıdır. Çünkü, duygu tanıma problemlerinde denekten-deneğe ve görevden-göreve performans değişim göstermektedir. Bu değişim tez çalışmasında elde edilen sonuçlarda da görülmektedir. Tez çalışmasının bu kısmının belli başlı katkıları şu şekildedir.

1. Literatüre 15 kişilik özgün bir birçok modlu veri seti kazandırılmıştır.
2. Özgün ve umut vaat eden iki AGD yaklaşımı önerilmiştir.
3. SSB ve ÖSB-3 adında iki füzyon yöntemi önerilmiştir.

Önerilen yöntemlerin performansının DEAP ve KMED veri setlerinde sınanmasıyla elde edilen sonuçlar incelendiğinde, AGD yaklaşımları ile füzyon yöntemlerinin birlikte uygulanmasıyla duygu tanıma sistemindeki performans artışlarının oldukça iyi olduğu görülmüştür. SSB yaklaşımına kıyasla ÖSB yaklaşımları sınıflandırmada daha başarılı olmuştur.

5. ÖNERİLER VE TARTIŞMA

Tez çalışmasında, çok modlu çalışmalar için özgün ve problem domainine uygun füzyon yöntemleri tasarlanarak duygu tanıma sistemlerinin başarılarının artırılması hedeflenmiştir. EEG tabanlı çok modlu duygu tanıma sistemleri geleneksel öznitelik çıkarma ve sınıflandırma yöntemleriyle çözülmesi oldukça zor olan birçok probleme sahiptir. Bu nedenle tez çalışmasında, herhangi bir sinyali görüntü temsiline dönüştüren çeşitli açılı genlik dönüşümü yaklaşımları ile duygu tanıma sistemlerinin başarı performansına pozitif katkı sağlaması amaçlanan çeşitli füzyon yöntemleri önerilmiştir. Çalışmalar hem DEAP hem de özgün KMED veri setinde gerçekleştirilerek problemin tutarlılığı ortaya koyulmaya çalışılmıştır. Sonuçlar incelendiğinde, birçok problemde denekler boyunca elde edilen ortalama doğruluk değerlerinin her iki veri seti için de tutarlı olduğu görülmüştür. Ayrıca standart sapma değerleri de oldukça kabul edilebilir düzeyde gözlenmiştir. Tez çalışmasında önerilen füzyon yöntemlerinin literatür çalışmalarına göre oldukça başarılı sonuçlar ürettiği de görülmüştür. Ancak, duygu tanıma sistemlerinde süre gelen birçok problem mevcuttur ve yeni sistemler geliştirildikçe bu problemler değişebilmektedir. Bu nedenle tez çalışmasında önerilen dönüşüm ve füzyon yöntemleri ilerleyen çalışmalarda problemlere göre gerekirse tekrar düzenlenip geliştirilmelidir. Araştırmalarda SSB yaklaşımında beklenen düzeyde başarı gözlenmemiştir. Bu yaklaşım için elde edilen birleştirilmiş görüntülere farklı ön-işlem ve öznitelik çıkarma yöntemleri uygulanarak problemler çözülebilir. Sinyaller durağan olmayan bir yapı sergilemeleri nedeniyle aynı sınıflandırma modellerinde farklı kişiler için farklı performans değerleri görülebilir. Bu problemi aşmak için sistemde kullanılacak öznitelik çıkarma, sınıflandırma ve füzyon yöntemleri iyi analiz edilip birbirleriyle uyumlu olmalıdır. Ayrıca, çalışmada oluşturulan KMED veri seti için kullanılan füzyon işlemlerine ait algoritma kodlarının hesaplama maliyetinin yüksek olduğu gözlenmiş ve sonuç alma işlemleri oldukça uzun sürede tamamlanmıştır. Bu nedenlerle, algoritmalarda sınıflandırma başarısı performansını artırırken çalışma zamanını azaltacak düzenlemeler bu iki kriter arasındaki uyuma dikkat edilerek yapılmalıdır. Son olarak, KMED veri setinde yer alan kadın denek sayısı azdır. Çünkü, kadınların saç faktörü nedeniyle istenen oranda kayıt alınamamıştır. Literatüre kazandırılan KMED veri seti yeni deneklerin eklenmesiyle çeşitlilik açısından ilerleyen çalışmalarda daha da zenginleştirilebilir.

6. KAYNAKLAR

1. He, Z., Li, Z., Yang, F., Wang, L., Li, J., Zhou, C. ve Pan, J., Advances in Multimodal Emotion Recognition Based on Brain–Computer Interfaces, Brain Sciences, 10, 10 (2020) 687.
2. Zheng, W. L., Liu, W., Lu, Y., Lu, B. L. ve Cichocki, A., Emotionmeter: A Multimodal Çerçevework for Recognizing Human Emotions, IEEE Transactions on Cybernetics, 49, 3 (2018) 1110-1122.
3. Yan, J., Bracewell, D. B., Ren, F. ve Kuroiwa, S., The Creation of a Chinese Emotion Ontology Based on HowNet, Engineering Letters, 16, 1 (2008).
4. Lindsley, D. B., Emotion, Handbook of Experimental Psychology, (1951) 473–516.
5. Boehner, K., DePaula, R., Dourish, P. ve Sengers, P., How Emotion is Made and Measured, International Journal of Human-Computer Studies, 65, 4 (2007) 275-291.
6. Ebrahimi, T., Koelstra, S., Lee, J.-S., Muehl, C., Nijholt, A., Patras, I., Pun, T., Soleymani, M. ve Yazdani, A., Deap: A Database for Emotion Analysis; Using Physiological Signals, IEEE Transactions on Affective Computing, 3, 1 (2011) 18-31.
7. Mehrabian, A., Communication without Words, Communication Theory, 2008, 193-200.
8. Gan, Q., Wu, C., Wang, S. ve Ji, Q., Posed and Spontaneous Facial Expression Differentiation using Deep Boltzmann Machines, International Conference on Affective Computing and Intelligent Interaction, Eylül 2015, Gurgaon, 643-648.
9. Huan, R. H., Shu, J., Bao, S. L., Liang, R. H., Chen, P. ve Chi, K. K., Video Multimodal Emotion Recognition Based on Bi-GRU and Attention Fusion, Multimedia Tools and Applications, 80, 6 (2021) 8213-8240.
10. Zheng, W., Tang, H., Lin, Z. ve Huang, T. S, Emotion Recognition from Arbitrary View Facial Images, European Conference on Computer Vision, Eylül 2010, Berlin, 490-503.
11. Zheng, W., Tang, H., Huang, T. S., Konar, A. ve Charkraborty, A., Emotion Recognition from Non-Frontal Facial Images, Emotion Recognition: A Pattern Analysis Approach, (2014) 183-213.
12. Khattak, A., Asghar, M. Z., Ali, M. ve Batool, U., An Efficient Deep Learning Technique for Facial Emotion Recognition, Multimedia Tools and Applications, (2021) 1-35.

13. Alu, D. A. S. C., Zoltan, E. ve Stoica, I. C., Voice Based Emotion Recognition with Convolutional Neural Networks for Companion Robots, Science and Technology, 20, 3 (2017) 222-240.
14. Yacoub, S. M., Simske, S. J., Lin, X. ve Burns, J., Recognition of Emotions in Interactive Voice Response Systems, Proc. 8th European Conference on Speech Communication and Technology, 729-732.
15. Mert, A. ve Akan, A., Emotion Recognition from EEG Signals by Using Multivariate Empirical Mode Decomposition, Pattern Analysis and Applications, 21, 1 (2018) 81-89.
16. Zong, C. ve Chetouani, M., Hilbert-Huang Transform Based Physiological Signals Analysis for Emotion Recognition, IEEE International Symposium on Signal Processing and Information Technology (ISSPIT), Aralık 2009, 334-339.
17. Dziedzickis, A., Kaklauskas, A. ve Bucinskas, V., Human Emotion Recognition: Review of Sensors and Methods, Sensors, 20, 3 (2020) 592.
18. Ekman, P. ve Friesen, W., A Technique for The Measurement of Facial Action, In Facial Action Coding System (FACS), Paul Ekman Group, 1978.
19. Wickramasuriya, D. S., Tessmer, M. K. ve Faghih, R. T., Facial Expression-Based Emotion Classification Using Electrocardiogram and Respiration Signals, IEEE Healthcare Innovations and Point of Care Technologies, Kasım 2019, 9-12.
20. Kose, M. R., Ahirwal, M. K. ve Kumar, A, A New Approach for Emotions Recognition Through EOG And EMG Signals, Signal, Image and Video Processing, 15 (2021), 1863–1871.
21. Girardi, D., Lanubile, F. ve Novielli, N., Emotion Detection Using Noninvasive Low Cost Sensors, Seventh International Conference on Affective Computing and Intelligent Interaction (ACII), Ekim 2017, 125-130.
22. Martínez-Rodrigo, A., Zangróniz, R., Pastor, J. M., Latorre, J. M. ve Fernández-Caballero, A., Emotion Detection in Ageing Adults From Physiological Sensors, Ambient Intelligence-Software and Applications, (2015) 253-261.
23. Wagner, J., Kim, J. ve André, E., From Physiological Signals to Emotions: Implementing and Comparing Selected Methods for Feature Extraction and Classification, IEEE International Conference on Multimedia and Expo, Temmuz 2005, 940-943.
24. Soroush, M. Z., Maghooli, K., Setarehdan, S. K. ve Nasrabadi, A. M, A Review on EEG Signals-Based Emotion Recognition, International Clinical Neuroscience Journal, 4, 4 (2017) 118-129.

25. Hidalgo-Muñoz, A. R., López, M. M., Pereira, A. T., Santos, I. M. ve Tomé, A. M., Spectral Turbulence Measuring as Feature Extraction Method from EEG on Affective Computing, Biomedical Signal Processing and Control, 8, 6 (2013) 945-950.
26. Bozhkov, L., Koprinkova-Hristova, P. ve Georgieva, P., Reservoir Computing for Emotion Valence Discrimination from EEG Signals, Neurocomputing, 231 (2017) 28-40.
27. Zhao, X., Zou, J., Li, H., Dellandréa, E., Kakadiaris, I. A. ve Chen, L., Automatic 2.5-D Facial Landmarking and Emotion Annotation for Social Interaction Assistance, IEEE Transactions on Cybernetics, 46, 9 (2015) 2042-2055.
28. Tzirakis, P., Trigeorgis, G., Nicolaou, M. A., Schuller, B. W. ve Zafeiriou, S., End-to-End Multimodal Emotion Recognition Using Deep Neural Networks, IEEE Journal of Selected Topics in Signal Processing, 11, 8 (2017) 1301-1309.
29. Yang, F., Zhao, X., Jiang, W., Gao, P. ve Liu, G., Multi-Method Fusion of Cross-Subject Emotion Recognition Based on High-Dimensional EEG Features, Frontiers in Computational Neuroscience, 2019; 13-53.
30. Wang, Z., Tong, Y. ve Heng, X., Phase-Locking Value Based Graph Convolutional Neural Networks For Emotion Recognition, IEEE Access, 7 (2019) 93711-93722.
31. Ozel, P., Akan, A. ve Yılmaz, B., Synchrosqueezing Transform Based Feature Extraction from EEG Signals for Emotional State Prediction, Biomedical Signal Processing and Control, 52 (2019) 152-161.
32. Choi, E. J. ve Kim, D. K., Arousal and Valence Classification Model Based on Long Short-Term Memory and DEAP Data for Mental Healthcare Management, Healthcare Informatics Research, 24, 4 (2018) 309-316.
33. Li, M., Xu, H., Liu, X. ve Lu, S., Emotion Recognition from Multichannel EEG Signals Using K-Nearest Neighbor Classification, Technology and Health Care, 26, S1 (2018) 509-519.
34. Chen, J. X., Huang, Y. F., Jiang, D. M., Mao, Z. J., Zhang, P. W. ve Zhang, Y. N., Accurate EEG-Based Emotion Recognition on Combined Features Using Deep Convolutional Neural Networks, IEEE Access, 7 (2019) 44317-44328.
35. Zhang, Y., Zhang, S., & Ji, X. (2018). EEG-based Classification of Emotions Using Empirical Mode Decomposition and Autoregressive Model, Multimedia Tools and Applications, 77 (2018) 26697-26710.
36. Atkinson, J., ve Campos, D., Improving BCI-based Emotion Recognition by Combining EEG Feature Selection and Kernel Classifiers, Expert Systems with Applications, 47 (2016) 35-41.

37. Verma, G. K. ve Tiwary, U. S., Affect Representation and Recognition In 3D Continuous Valence–Arousal–Dominance Space, Multimedia Tools and Applications, 76, 2 (2017) 2159-2183.
38. Zheng, W. L., Zhu, J. Y., Peng, Y. ve Lu, B. L., EEG-based Emotion Classification Using Deep Belief Networks, IEEE International Conference on Multimedia and Expo (ICME), Temmuz 2014, 1-6.
39. N. Thammasan, J. L. Hagad, K.-i. Fukui, M. Numao, Multimodal Stability-Sensitive Emotion Recognition Based on Brainwave and Physiological Signals, Seventh International Conference on Affective Computing and Intelligent Interaction Workshops and Demos (ACIIW), Ekim 2017, San Antonio, 44-49.
40. Zhalehpour, S., Akhtar, Z. ve Erdem, C. E., Multimodal Emotion Recognition Based on Peak Frame Selection from Video, Signal, Image and Video Processing, 10, 5 (2016) 827-834.
41. Martin, O., Kotsia, I., Macq, B. ve Pitas, I., The eNTERFACE' 05 Audio-Visual Emotion Database, 22nd International Conference on Data Engineering Workshops (ICDEW'06), Nisan 2006, Atlanta, 8-8,
42. Zhalehpour, S., Onder, O., Akhtar, Z. ve Erdem, C. E., BAUM-1: A Spontaneous Audio-Visual Face Database of Affective and Mental States, IEEE Transactions on Affective Computing, 8 (2017) 300-313.
43. Torres, C. A., Orozco, Á. A. ve Álvarez, M. A., Feature Selection for Multimodal Emotion Recognition in The Arousal-Valence Space, 35th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society, Temmuz 2013, Osaka, 4330-4333.
44. Soleymani, M., Pantic, M. ve Pun, T., Multimodal Emotion Recognition in Response to Videos, IEEE Transactions on Affective Computing, 3, 2 (2011) 211-223.
45. Huang, Y., Yang, J., Liao, P. ve Pan, J., Fusion of Facial Expressions and EEG for Multimodal Emotion Recognition, Computational Intelligence and Neuroscience, 2017.
46. Yin, Z., Zhao, M., Wang, Y., Yang, J. ve Zhang, J., Recognition of Emotions Using Multimodal Physiological Signals and An Ensemble Deep Learning Model, Computer Methods and Programs in Biomedicine, 140 (2017) 93-110.
47. Kortelainen, J., Tiinanen, S., Huang, X., Li, X., Laukka, S., Pietikäinen, M. ve Seppänen, T., Multimodal Emotion Recognition by Combining Physiological Signals and Facial Expressions: A Preliminary Study, Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society, Eylül 2012, San Diego, 5238-5241.

48. Shu, Y. ve Wang, Emotion Recognition Through Integrating EEG and Peripheral Signals, Acoustics, Speech and Signal Processing, IEEE, Haziran 2017, New Orleans, 2871-2875.
49. Zhang, H., Expression-EEG Based Collaborative Multimodal Emotion Recognition Using Deep Autoencoder, IEEE Access, 8 (2020) 164130-164143.
50. Huang, H., Hu, Z., Wang, W. ve Wu, M., Multimodal Emotion Recognition Based on Ensemble Convolutional Neural Network, IEEE Access, 8 (2019) 3265-3271.
51. Huang, Y., Yang, J., Liu, S. ve Pan, J., Combining Facial Expressions and Electroencephalography to Enhance Emotion Recognition, Future Internet, 11, 5 (2019) 105.
52. Fletcher, T., Support Vector Machines Explained, <https://www.iitk.ac.in/eeold/archive/courses/2013/intel-info/d4pdf2-2.pdf> 23 Eylül 2022.
53. Burges, C. J., A Tutorial on Support Vector Machines for Pattern Recognition, Data Mining and Knowledge Discovery, 2 (1998) 121–167.
54. Russell, J. A., A Circumplex Model of Affect, Journal of Personality and Social Psychology, 39, 6 (1980) 1161.
55. Wiem, M. B. H. ve Lachiri, Z., Emotion Classification in Arousal Valence Model Using MAHNOB-HCI Database, International Journal of Advanced Computer Science and Applications, 8, 3 (2017).
56. Tang, H., Liu, W., Zheng, W.-L. ve Lu, B.-L., Multimodal Emotion Recognition Using Deep Neural Networks, International Conference on Neural Information Processing, Kasım 2017, Guangzhou, 811-819.
57. Qiu, J.-L., Qiu, X.-Y. ve Hu, K., Emotion Recognition Based on Gramian Encoding Visualization, International Conference on Brain Informatics, 2018, 3-12.
58. Torres-Valencia, C., Álvarez-López, M. ve Orozco-Gutiérrez, Á., SVM-Based Feature Selection Methods for Emotion Recognition from Multimodal Data, Journal on Multimodal User Interfaces, 11, 1 (2017) 9-23.
59. Hatipoglu Yilmaz, B. ve Kose, C., A Novel Signal to Image Transformation and Feature Level Fusion for Multimodal Emotion Recognition, Biomedical Engineering / Biomedizinische Technik, 66, 4 (2021) 353-362.
60. Huang, Q. ve Yang, J., A Multistage Target Tracker in IR Image Sequences, Infrared Physics and Technology, 65 (2014) 122-128.

61. Maurya, H. ve Maurya, S., Human Identification by Ear Images using SIFT Algorithm, International Journal of Science and Research, 2, 5 (2013) 58-62.
62. Lu, Z., Derivative Image Retrieval, Doktora Tezi, RMIT University, School of Computer Science and Information Technology, Melbourne Australia, 2005.
63. Derpanis, K., G., The Harris Corner Detector. <https://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.482.1724&rep=rep1&type=pdf> 23 Eylül 2022
64. Misra, I., Moorthi, S. M., Dhar, D. ve Ramakrishnan, R., An Automatic Satellite Image Registration Technique Based on Harris Corner Detection and Random Sample Consensus (RANSAC) Outlier Rejection Model, 1st International Conference on Recent Advances in Information Technology (RAIT), Mart 2012, Dhanbad, 68-73.
65. Sánchez, J., Monzón, N. ve Salgado De La Nuez, A., An Analysis and Implementation of The Harris Corner Detector, Image Processing On Line, 8 (2018) 305-328.
66. Rahdari, F., Rashedi, E. ve Eftekhari, M., A Multimodal Emotion Recognition System Using Facial Landmark Analysis, Iranian Journal of Science and Technology, Transactions of Electrical Engineering, 43, 1 (2019) 171-189.
67. An, Y., Ding, S., Shi, S. ve Li, J., Discrete Space Reinforcement Learning Algorithm Based on Support Vector Machine Classification, Pattern Recognition Letters, 111 (2018) 30-35.
68. Cervantes, J., Garcia-Lamont, F., Rodríguez-Mazahua, L. ve Lopez, A., A Comprehensive Survey on Support Vector Machine Classification: Applications, Challenges and Trends, Neurocomputing, 408 (2020) 189-215.
69. Baveye, Y., Dellandrea, E., Chamaret, C. ve Chen, L., LIRIS-ACCEDE: A Video Database for Affective Content Analysis, IEEE Transactions on Affective Computing, 6, 1 (2015) 43-55.
70. <https://www.emotiv.com/product/epoc-flex-saline-sensor-kit/> EPOC Flex Saline Sensor Kit. 23 Eylül 2022.
71. R. Li, Y. Liang, X. Liu, B. Wang, W. Huang, Z. Cai, Y. Ye, L. ve Qiu, J. Pan, Mindlink-eumpy: An Open-Source Python Toolbox for Multimodal Emotion Recognition, Frontiers in Human Neuroscience, 15, 2021.
72. Zhao, Y. ve Chen, D., Expression EEG Multimodal Emotion Recognition Method Based on the Bidirectional LSTM and Attention Mechanism, Computational and Mathematical Methods in Medicine, 2021, 2021.

73. Tan, Y., Sun, Z., Duan, F., Sole-Casals, J. ve Caiafa, C.F., A Multimodal Emotion Recognition Method Based on Facial Expressions and Electroencephalography, Biomedical Signal Processing and Control, 70, 2021.
74. Zheng, W. ve Lu, B., Investigating Critical Frequency Bands and Channels for EEG-Based Emotion Recognition with Deep Neural Networks, IEEE Transactions on Autonomous Mental Development, vol. 7, 3 (2015) 162-175.
75. Chao, H., Dong, L., Liu, Y. ve Lu, B., Emotion Recognition from Multiband EEG Signals Using CapsNet, Sensors, 19, 9 (2019) 2212.
76. Wichakam, I. ve Vateekul, P., An Evaluation of Feature Extraction in EEG-Based Emotion Prediction with Support Vector Machines, 11th International Joint Conference on Computer Science and Software Engineering, Mayıs 2014, Chon Buri, 106-110.
77. Taran, S. ve Bajaj, V., Emotion Recognition from Single-Channel EEG Signals Using a Two-Stage Correlation and Instantaneous Frequency-Based Filtering Method, Computer Methods and Programs in Biomedicine, 173 (2019) 157-165.
78. Cimtay, Y., Ekmekcioglu, E. ve Caglar-Ozhan, S., Cross-Subject Multimodal Emotion Recognition Based on Hybrid Fusion, IEEE Access, 8 (2020) 168865-168878.
79. Nakisa, B., Rastgoo, M. N., Tjondronegoro, D. ve Chandran, V., Evolutionary Computation Algorithms for Feature Selection Of EEG-Based Emotion Recognition Using Mobile Sensors, Expert Systems with Applications, 93 (2018) 143-155.
80. Hou, H. R., Zhang, X. N., & Meng, Q. H., Odor-Induced Emotion Recognition Based on Average Frequency Band Division of EEG Signals, Journal of Neuroscience Methods, 334, 2020.
81. Zheng, W., Multichannel EEG-Based Emotion Recognition Via Group Sparse Canonical Correlation Analysis, IEEE Transactions on Cognitive and Developmental Systems, 9, 3 (2016) 281-290.
82. Nakisa, B., Emotion Classification Using Advanced Machine Learning Techniques Applied to Wearable Physiological Signals Data, Doktora Tezi, Queensland University of Technology, Science and Engineering Faculty, School of Electrical Engineering and Computer Science, Brisbane, 2019.
83. Al-Qazzaz, N. K., Sabir, M. K., Ali, S. H. B. M., Ahmad, S. A. ve Grammer, K., Electroencephalogram Profiles for Emotion Identification Over the Brain Regions Using Spectral, Entropy and Temporal Biomarkers, Sensors, 20, 1 (2019) 59.
84. Piho, L. ve Tjahjadi, T., A Mutual Information Based Adaptive Windowing of Informative EEG For Emotion Recognition, IEEE Transactions on Affective Computing, 11, 4 (2018) 722-735.

85. Khare, S. K. ve Bajaj, V., Time–Frequency Representation and Convolutional Neural Network-Based Emotion Recognition, IEEE Transactions on Neural Networks and Learning Systems, 32, 7 (2020) 2901-2909.
86. Zibran, M. F., Chi-squared test of independence, University of Calgary, <http://pages.cpsc.ucalgary.ca/~saul/wiki/uploads/CPSC681/topic-fahim-CHI-Square.pdf> 23 Eylül 2022.
87. https://en.wikipedia.org/wiki/Chi-squared_test Chi-squared Test. 23 Eylül 2022.
88. <https://www.mathworks.com/help/stats/fitcsvm.html> Local Binary Patterns. 13 Eylül 2022.
89. http://www.scholarpedia.org/article/Local_Binary_Patterns Local Binary Patterns. 13 Eylül 2022.
90. Yılmaz, Ç. M., Görünüm Temelli Yöntemlerle Gerçek Zamanlı Göz Bakış Yönü Kestirimi ve İnsan Bilgisayar Etkileşimi, Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 2014.
91. Huang, D., Shan, C., Ardabilian, M., Wang, Y. ve Chen, L., Local Binary Patterns and Its Application To Facial Image Analysis: A Survey, IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part C (Applications and Reviews), 41, 6 (2011) 765-781.
92. Erol, Ş, Yüz Bölgelerinin Ağırlıklandırılmasının Yerel İkili Örüntüler ile Yüz Tanıma Performansına Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bilecik, 2019.
93. <https://www.dominodatalab.com/blog/knn-with-examples-in-python> KNN with Examples in Python. 13 Eylül 2022.
94. https://en.wikipedia.org/wiki/K-nearest_neighbors_algorithm K-Nearest Neighbors Algorithm. 13 Eylül 2022.
95. Pandey, A. ve Jain, A., Comparative Analysis of KNN Algorithm Using Various Normalization Techniques, International Journal of Computer Network and Information Security, 9, 11 (2017) 36.
96. <https://www.javatpoint.com/k-nearest-neighbor-algorithm-for-machine-learning> K-Nearest Neighbor (KNN) Algorithm for Machine Learning. 13 Eylül 2022.
97. Deng, Z., Zhu, X., Cheng, D., Zong, M. ve Zhang, S., Efficient KNN Classification Algorithm for Big Data, Neurocomputing, 195 (2016) 143-148.

98. Gadwe, K., Waghchoure, N., Gokule, S., Reddypatil, H. ve Vharkate, M., Remote Sensing Image Classification Using kNN Algorithm, International Journal of Scientific Research in Science, Engineering and Technology, 2, 2 (2016).
99. Jiang, Z. ve Deng, Y., Improving KNN Based Text Classifications, 2nd International Conference on Future Computer and Communication, Mayıs 2010, Wuhan, V2:317-V2:321.
100. https://en.wikipedia.org/wiki/Support-vector_machine Support-vector machine. 13 Eylül 2022.
101. Shmilovici, A., Support Vector Machines, Data Mining and Knowledge Discovery Handbook, Springer, Boston, (2009) 231-247.
102. Noble, W. S., What Is a Support Vector Machine?, Nature Biotechnology, 24, 12 (2006) 1565-1567.
103. Khasnobish, A., Bhattacharyya, S., Konar, A., Tibarewala, D. N. ve Nagar, A. K., A Two-Fold Classification for Composite Decision About Localized Arm Movement from EEG by SVM And QDA Techniques, International Joint Conference on Neural Networks, Temmuz 2011, San Jose, 1344-1351.
104. Subasi, A. ve Gursoy, M. I., EEG Signal Classification Using PCA, ICA, LDA and Support Vector Machines, Expert Systems with Applications, 37, 12 (2010) 8659-8666.
105. Zisserman, A., Lecture 2: The SVM Classifier, <http://ml-tau-2015.wdfiles.com/local-files/course-schedule/ML-slides-6.pdf> 23 Eylül 2022
106. Demirci, D. A., Destek Vektör Makineleri ile Karakter Tanıma, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2007.
107. Gürsoy, M. İ., Destek Vektör Makineleri ile EEG İşaretlerinin Sınıflandırmasında TBA, BBA ve DAA'nın Performansının Karşılaştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Fen Bilimleri Enst., Kahramanmaraş, 2009.
108. Hatipoğlu, B., İmleç Hareketinin Hayali Sırasında Kaydedilmiş EEG Sinyallerinin Sınıflandırmasını Kolaylaştırmak Amacıyla Yeni Bir Dönüşüm Yöntemi, Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 2017.
109. Özbeyaz, A., Gürsoy, M. İ. ve Çoban, R., Regularization and Kernel Parameters Optimization Based on PSO Algorithm In EEG Signals Classification With SVM, IEEE 19th Signal Processing and Communications Applications Conference, Nisan 2011, Antalya, 399-402.

110. Hatipoglu, B., Yilmaz, C. M. ve Kose, C., A Signal-To-Image Transformation Approach for EEG And MEG Signal Classification, Signal, Image and Video Processing, 13, 3 (2019) 483-490.
111. Yilmaz, B.H., Yilmaz, C.M ve Kose, C., Diversity in A Signal-To-Image Transformation Approach For EEG-Based Motor Imagery Task Classification, Medical & Biological Engineering & Computing, 58 (2020) 443–459.
112. <https://emotiv.gitbook.io/epoc-flex-user-manual/epoc-flex/technical-spec> Technical Specifications. 16 Eylül 2022.
113. <https://emotiv.gitbook.io/epoc-flex-user-manual/epoc-flex/safety-precautions> Safety Precautions. 16 Eylül 2022.
114. <https://emotiv.gitbook.io/epoc-flex-user-manual/controller/controller-assembly> Controller Details. 16 Eylül 2022.
115. <https://emotiv.gitbook.io/epoc-flex-user-manual/controller/charging-and-led-indicators> Charging and LED Indicators. 16 Eylül 2022.
116. <https://emotiv.gitbook.io/epoc-flex-user-manual/electrodes/example-electrode-placement> Example Sensor Placement (Montage). 16 Eylül 2022.
117. <https://emotiv.gitbook.io/epoc-flex-user-manual/electrodes/electrode-assembly> Gel Sensors. 16 Eylül 2022.
118. <https://emotiv.gitbook.io/epoc-flex-user-manual/electrodes/saline-electrodes> Saline Sensors. 16 Eylül 2022.
119. <https://emotiv.gitbook.io/epoc-flex-user-manual/cap/epoc-flex-cap> EPOC Flex Cap. 16 Eylül 2022.
120. <https://emotiv.gitbook.io/epoc-flex-user-manual/setup/gel-achieving-high-signal-quality> Gel Achieving high signal quality. 16 Eylül 2022.
121. <https://emotiv.gitbook.io/epoc-flex-user-manual/cleaning-and-troubleshooting/cleaning-gel-sensors-and-cap> Cleaning Gel Sensors & Cap. 16 Eylül 2022.
122. Islam, I., Feature Fusion for Pattern Recognition, Doktora Tezi, Politecnico Di Torino, Department of Control and Computer Engineering, Torino, 2015.
123. Turan, C., Lam, K. M., Histogram-based local descriptors for facial expression recognition (FER): A comprehensive study, Journal of visual communication and image representation, 55 (2018) 331-341.

124. Byington, C., Watson, M., Lee, H., ve Hollins, M., Sensor-level fusion to enhance health and usage monitoring systems, In Annual Forum Proceedings-American Helicopter Society, 64 (2008).
125. Monwar, M. M., ve Gavrilova, M. L., Multimodal biometric system using rank-level fusion approach, IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part B (Cybernetics), 39, 4 (2009) 867-878.
126. Meva, D. T., ve Kumbharana, C. K., Comparative study of different fusion techniques in multimodal biometric authentication, International Journal of Computer Applications, 66, 19 (2013) 16-19.
127. Verma, S. B., ve Saravanan, C., Performance analysis of various fusion methods in multimodal biometric, In 2018 International Conference on Computational and Characterization Techniques in Engineering & Sciences (CCTES), September, 2018, IEEE, 5-8.
128. Kazi, M. M., Rode, Y. S., Dabhade, S. B., Al-Dawla, N. N. H., Mane, A. V., Manza, R. R., ve Kake, K. V., Multimodal biometric system using face and signature: a score level fusion approach. Advances in Computational Research, 4, 1 (2012) 99-103.
129. Monwar, M. D., A Multimodal Biometric System Based on Rank Level Fusion, Doktora tezi, University of Calgary, Department of Computer Science, Calgary, 2012.
130. Anh, T. Q., Bao, P., Khanh, T. T., Thao, B. N. D., Tuan, T. A., ve Nhut, N. T., Video retrieval using histogram and sift combined with graph-based image segmentation, Journal of Computer Science, 8, 6 (2012) 853.
131. Duc, A. N., A New CBIR System Using SIFT Combined with Neural Network and Graph-Based Segmentation, Intelligent Information and Database Systems, Second International Conference, March, 2010, ACIIDS, 24-26.
132. Xu, J., Lu, K., Shi, X., Qin, S., Wang, H., ve Ma, J., A DenseUnet generative adversarial network for near-infrared face image colorization, Signal Processing, 183 (2021) 108007.
133. Lacheheb, H., ve Aouat, S., SIMIR: new mean SIFT color multi-clustering image retrieval, Multimedia Tools and Applications, 76, 5 (2017) 6333-6354.

ÖZGEÇMİŞ

İlk öğrenimini Yıldızlı İlköğretim Okulu, orta öğrenimini Yüzüncü Yıl İlköğretim Okulu, lise öğrenimini Yunus Emre Süper Lisesi'nde tamamladı. 2009 yılında KTÜ Mühendislik Fakültesi Bilgisayar Mühendisliği Bölümü'nde lisans eğitimine başladı ve 2013 yılında mezun oldu. 2014 yılında KTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı'nda yüksek lisans eğitimine başladı. 2015 yılında Bilgisayar Mühendisliği bölümünde araştırma görevlisi olarak çalışmaya başladı. 2017 yılı ocak ayında yüksek lisans eğitimini tamamladı ve KTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı'nda doktora eğitimine başladı. Halen KTÜ Bilgisayar Mühendisliği bölümünde araştırma görevlisi olarak çalışmaktadır. Yabancı dil olarak iyi seviyede İngilizce bilmektedir. Akademik çalışmaları ve yayınları aşağıdadır.

Projeler

1. 121E002 nolu “Sinyal Görüntü Dönüşümü Yöntemi Yardımıyla Çok Yönlü Duygu Tanıma Sisteminin Geliştirilmesi” başlıklı TÜBİTAK 1002 Hızlı Destek Programı projesi, Proje Yürütücüsü, Tamamlandı.
2. 119E397 nolu “EEG Temelli Beyin Bilgisayar Arayüzü Sistemlerine ait Motor Hareket Hayali Görevlerinin Sınıflandırılmasına Yönelik Örüntü Tanıma Yöntemlerin Geliştirilmesi” başlıklı TÜBİTAK 1002 Hızlı Destek Programı projesi, Bursiyer, Tamamlandı.

SCI, SSCI, AHCI İndekslerine Giren Dergilerde Yayımlanan Makaleler

1. Hatipoglu Yilmaz, B. ve Kose, C., A Novel Signal to Image Transformation and Feature Level Fusion for Multimodal Emotion Recognition, Biomedical Engineering / Biomedizinische Technik, 66 (4), 2021, 353-362, doi: 10.1515/bmt-2020-0229.

2. Yilmaz, B.H., Yilmaz, C.M ve Kose, C., Diversity in A Signal-To-Image Transformation Approach For EEG-Based Motor Imagery Task Classification, Medical & Biological Engineering & Computing, 58, 2020, 443–459, doi: 10.1007/s11517-019-02075-x.
3. Hatipoglu, B., Yilmaz, C. M. ve Kose, C., A Signal-To-Image Transformation Approach for EEG And MEG Signal Classification, Signal, Image and Video Processing, 13 (3), 2019, 483-490, doi: 10.1007/s11760-018-1373-y.
4. Yilmaz, C. M., Kose, C. ve Hatipoglu, B., A Quasi-Probabilistic Distribution Model for EEG Signal Classification by using 2-D Signal Representation, Computer Methods and Programs in Biomedicine, 162 (2018) 187-196, doi: 10.1016/j.cmpb.2018.05.026.

Hakemli Kongre / Sempozyumların Bildiri Kitaplarında Yer Alan Yayınlar

1. Yilmaz, C. M., Yilmaz, B. H. ve Kose, C., Prediction of Eye States using k-NN Algorithm: A Comparison Study for Different Distance Metrics and Number of Neighbour Parameters, Medical Technologies Congress, Ekim 2019, İzmir, 1-4, doi: 10.1109/TIPTEKNO.2019.8895170.
2. Yilmaz, B. H., Yilmaz, C. M. ve Kose, C., Classification of the EEG Signals for the Cursor Movement with the Signal-to-Image Transformation, Medical Technologies Congress, Ekim 2019, İzmir, 1-4, doi: 10.1109/TIPTEKNO.2019.8895246.
3. Hatipoglu, B., Yilmaz, C. M., Kose, C. ve Aydemir, O., Classification of Wrist Movements In Different Directions Based On MEG Signals, 26th Signal Processing and Communications Applications Conference, Mayıs 2016, İzmir, 1-4, doi: 10.1109/SIU.2018.8404268.
4. Hatipoglu, B., Yilmaz, C. M. ve Kose, C., A Comparison of Two Appearance Based Methods For Gender Recognition, 25th Signal Processing and Communications Applications Conference, Mayıs 2017, Antalya, 1-4, doi: 10.1109/SIU.2017.7960398.