

ZONGULDAK BÜLENT ECEVİT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

OBEZİTENİN ELEKTRORETİNOGRAFI (ERG) SİNYALİ ÜZERİNDEKİ ETKİSİ

ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

DOKTORA TEZİ

İREM ŞENYER YAPICI

EKİM 2021

ZONGULDAK BÜLENT ECEVİT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

OBEZİTENİN ELEKTRORETİNOGRAFI (ERG) SİNYALİ ÜZERİNDEKİ ETKİSİ

ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

DOKTORA TEZİ

İrem ŞENYER YAPICI

DANIŞMAN : Dr. Öğr. Üyesi Rukiye UZUN ARSLAN

İKİNCİ DANIŞMAN : Doç. Dr. Okan ERKAYMAZ

ZONGULDAK

Ekim 2021

KABUL:

İrem ŞENYER YAPICI tarafından hazırlanan “Obezitenin Elektoretinografi (ERG) Sinyali Üzerindeki Etkisi” başlıklı bu çalışma jürimiz tarafından değerlendirilerek Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalında Doktora Tezi olarak oybirliğiyle kabul edilmiştir. 19/10/2021

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Rukiye UZUN ARSLAN

Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü

Üye: Doç. Dr. Hakan KAYA

Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü

Üye: Doç. Dr. İlker TÜRKER

Karabük Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü

Üye: Dr. Öğr. Üyesi Hande ERKAYMAZ

Milli Savunma Üniversitesi, Deniz Harp Okulu, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü

Üye: Dr. Öğr. Üyesi Tuğba Özge ONUR

Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü

ONAY:

Yukarıdaki imzaların, adı geçen öğretim üyelerine ait olduğunu onaylarım.

..../..../2021

Prof. Dr. Ahmet ÖZARSLAN
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü



“Bu tezdeki tüm bilgilerin akademik kurallara ve etik ilkelere uygun olarak elde edildiğini ve sunulduğunu; ayrıca bu kuralların ve ilkelerin gerektirdiği şekilde, bu çalışmadan kaynaklanmayan bütün atıfları yaptığımı beyan ederim.”

İrem ŞENYER YAPICI

ÖZET

Doktora Tezi

OBEZİTENİN ELEKTRORETİNOGRAFI (ERG) SİNYALİ ÜZERİNDEKİ ETKİSİ

İrem ŞENYER YAPICI

Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi Rukiye UZUN ARSLAN

İkinci Danışman: Doç. Dr. Okan ERKAYMAZ

Ekim 2021, 135 sayfa

Obezite, vücuttaki yağ miktarının insan sağlığını bozacak miktarda artması sonucu ortaya çıkan bir sağlık sorunudur. Günümüzde prevalansı her geçen gün artan obezite, başta gelişmiş ve gelişmekte olan ülkeler olmak üzere dünya çapında geniş bir yayılım sergileyen bir halk sağlığı problemi haline gelmiştir. Obezite yalnızca bir estetik problem değil, aynı zamanda başta kalp damar hastalıkları olmak üzere diyabet, felç, eklem rahatsızlıkları, bazı kanser türleri gibi birçok sağlık sorunu ile yakından ilişkilidir. Bunun yanı sıra obezitenin göz üzerinde de olumsuz etkilerinin olduğu ve gerekli önlemlerin zamanında alınmaması durumunda geri dönüşümsüz görme kayıplarına neden olduğu ortaya koyulmuştur. Günümüzde klinik araştırmalarda göz hastalıklarının tanı ve teşhisinde Elektrookülografi (EOG), Elektoretinografi (ERG) ve Görsel uyarılmış potansiyel (VEP) gibi oküler elektrofizyolojik testler yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Bu tez kapsamında da kullanılan ERG, bir ışık uyarana karşı rod, koni ve gangliyon hücrelerini içeren retina tabakasının kitlesel yanıtını inceleme imkânı vermektedir.

ÖZET (devam ediyor)

Literatürde ERG'den yararlanılarak retina kökenli hastalıkların tanı ve teşhisinin konulmasına yönelik çok sayıda çalışma mevcuttur. Ancak obezite ve ERG sinyalleri arasındaki ilişkiyi irdeleyen herhangi bir çalışmanın bulunmadığı tespit edilmiştir. Diğer taraftan klinik uygulamalarda obezitenin ölçülmesinde sıklıkla kullanılan vücut kitle indeksi (VKİ) parametresinin, obezite ile bağlantılı olan hastalıkların değerlendirilmesinde tek başına yeterli olmadığı ortaya koyulmuştur. Bundan dolayı bu tez çalışması kapsamında obezitenin flaş ERG (fERG) sinyalleri üzerindeki fizyolojik etkisi incelenmiştir. Bunun yanı sıra obezite ve derecelerini fERG sinyallerinden yararlanarak sınıflandırmak için otomatik bir karar destek sistemi önerilmiştir.

Tez kapsamında sağlıklı, fazla kilolu, obez, morbid obez ve süper obez bireylerden kaydedilen fERG sinyallerinin rod, maksimum kombine ve koni yanıtları kullanılmıştır. Bu doğrultuda öncelikli olarak kurulan laboratuvar ortamında fERG sinyalleri için normal değerler tespit edilmiştir. Ardından Kısa Zaman Fourier Dönüşümü (KZFD), Sürekli Dalgacı Dönüşümü (SDD) ve Ayrık Dalgacık Dönüşümü (ADD) yöntemleri ile obezite ve seviyelerinin fERG sinyalleri üzerindeki etkileri analiz edilmiştir. Daha sonra ADD ve Dalgacık Paket Dönüşümü (DPD) yöntemleri ile özellik çıkarma işlemi gerçekleştirilmiştir. Elde edilen özellikler YSA ve parçacık sürü optimizasyonuna (PSO) dayalı olarak oluşturulan YSA modellerinde giriş olarak kullanılarak obezite seviyeleri sınıflandırılmıştır. Kullanılan iki modelin sınıflandırma işlemine ait performansları istatistiksel açıdan karşılaştırılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Obezite, Elektoretinogram, Oküler elektrofizyoloji, İstatistiksel analiz, Kısa zaman fourier dönüşümü, Ayrık dalgacık dönüşümü, Sürekli dalgacık dönüşümü, Sinyal işleme, Özellik çıkarma, Yapay sinir ağları, Parçacık sürü optimizasyonu

Bilim Kodu: 608.03.00

ABSTRACT

Ph.D. Thesis

EFFECT OF OBESITY ON ELECTRORETNOGRAPHY (ERG) SIGNAL

İrem ŞENYER YAPICI

**Zonguldak Bülent Ecevit University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Electrical and Electronics Engineering**

Thesis Advisor: Assist. Prof. Dr. Rukiye UZUN ARSLAN

Co-Advisor: Assoc. Prof. Dr. Okan ERKAYMAZ

October 2021, 135 pages

Obesity is a health problem that arises as a result of an increase in the amount of fat in the body to an extent that will impair human health. Obesity, the prevalence of which is increasing day by day, has become a worldwide public health problem, especially in developed and developing countries. Obesity is not only an aesthetic problem, but also closely related to many health problems such as cardiovascular diseases, diabetes, stroke, joint disorders, and some types of cancer. In addition, it has been revealed that obesity has negative effects on the eye and causes irreversible vision loss if necessary precautions are not taken in a timely manner. Today, ocular electrophysiological tests such as Electrooculography (EOG), Electroretinography (ERG) and Visual Evoked Potential (VEP) are widely used in the diagnosis of eye diseases in clinical studies. ERG, which is also used in this thesis, provides the opportunity to examine the massive response of the retinal layer, which includes rod, cone and ganglion cells, to a light stimulus.

There are many studies in the literature on the diagnosis of retinal diseases by using ERG. However, it has been determined that there is no study examining the relationship between

ABSTRACT (continued)

obesity and ERG signals. On the other hand, it has been demonstrated that the body mass index (BMI) parameter, which is frequently used to measure obesity in clinical practice, is not sufficient on its own in the evaluation of obesity-related diseases. Therefore, within the scope of this thesis, the physiological effect of obesity on flash ERG (fERG) signals was investigated. In addition, an automatic decision support system has been proposed to classify obesity and its levels using fERG signals.

Rod, maximum combined and cone responses of fERG signals recorded from healthy, overweight, obese, morbid obese and super obese individuals were used in the thesis. In this direction, normal values for fERG signals were determined in the laboratory environment established primarily. Then, the effects of obesity and its levels on fERG signals were analyzed with Short Time Fourier Transform (STFT), Continuous Wavelet Transform (CWT) and Discrete Wavelet Transform (DWT) methods. Then, feature extraction was performed with DWT and Wavelet Packet Transformation (WPT) methods. Obesity levels were classified by using the obtained features as inputs in ANN models based on ANN and particle swarm optimization (PSO). The performances of the two models used in the classification process were compared statistically.

Keywords: Obesity, Electroretinogram, Ocular electrophysiology, Statistical analysis, Short time fourier transform, Discrete wavelet transform, Continuous wavelet transform, Signal processing, Feature extraction, Artificial neural networks, Particle swarm optimization

Science Code: 608.03.00

TEŞEKKÜR

Tez çalışmam boyunca görüşlerini ve önerilerini sunan, yardımını ve zamanını esirgemeyen, kendisiyle çalışmaktan onur ve gurur duyduğum değerli Danışman hocam Doç. Dr. Rukiye UZUN ARSLAN'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca çalışmalarım bana yön gösteren, yardımını ve zamanını esirgemeyen, kıymetli bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım tez çalışmamın İkinci Danışmanı Doç. Dr. Okan ERKAYMAZ'a vermiş olduğu katkı ve desteklerinden dolayı teşekkürü bir borç bilirim.

Tez çalışmamda kullanmış olduğum fERG sinyallerinin kaydını almamda ve tıbbi olarak fikirlerini ve görüşlerini sunarak yardımcı olan Sayın Doç. Dr. Orhan AYAR'a teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmamın tez izleme komitesinde bulunarak çalışmanın içerik ve biçiminin şekillenmesine katkı sağlayan değerli hocalarım Doç. Dr. Hakan KAYA ve Dr. Öğr. Üyesi Hande ERKAYMAZ'a teşekkürlerimi sunarım.

Son olarak her zaman yanımda olup bana destek olan anneme, babama ve kardeşime, maddi ve manevi desteklerinden ötürü eşime ve canım oğlum Kuzey'ime sonsuz teşekkür ederim.

Çalışmam süresince mali destek sağlayan Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi'ne (BAP Proje No: 2017-75737790-01) teşekkür ederim.



İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL:	ii
ÖZET	iii
ABSTRACT	v
TEŞEKKÜR	vii
İÇİNDEKİLER.....	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xiii
ÇİZELGELER DİZİNİ	xix
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	xxiii
 BÖLÜM 1 GİRİŞ	 1
 BÖLÜM 2 GENEL BİLGİLER	 9
 2.1 GÖZ	 9
2.1.1 Sert (Dış) Tabaka	10
2.1.1.1 Kornea	10
2.1.1.2 Sklera.....	10
2.1.2 Damar (Orta) Tabaka	10
2.1.2.1 İris.....	10
2.1.2.2 Kirpiksi Cisim	11
2.1.2.3 Choroidea	11
2.1.3 Ağ Tabaka (Retina).....	11
2.1.3.1 Sarı Benek (Makula)	11
2.1.3.2 Kör Nokta	12
2.2 GÖRME FİZYOLOJİSİ	12
2.3 OKÜLER ELEKTROFİZYOLOJİ.....	13
2.3.1 Görsel Uyarılmış Potansiyel	13
2.3.2 Elektrokülografi	13

İÇİNDEKİLER (devam ediyor)

	<u>Sayfa</u>
2.3.3 Elektoretinografi	14
2.3.3.1 Elektoretinografi Tarihi.....	14
2.3.3.2 Patern Elektoretinografi	14
2.3.3.3 Multifokal Elektoretinografi	15
2.3.3.3 Flaş Elektoretinografi.....	16
 BÖLÜM 3 OBEZİTE VE GÖZ	 19
 3.1 OBEZİTE.....	 19
3.1 OBEZİTE VE GÖZ	20
3.2.1 Katarakt.....	20
3.2.2 Yaşa Bağlı Makula Dejenerasyonu.....	21
3.2.3 Diyabetik Retinopati	21
3.2.4 Glokom (Göz Tansiyonu)	21
3.2.5 Makula Dejenerasyonu (Sarı Nokta Hastalığı)	21
 BÖLÜM 4 MATERYAL VE METOD.....	 23
 4.1 VERİLERİN ELDE EDİLMESİ	 23
4.2 SİNYAL İŞLEME	24
4.2.1 Frekans Bölgesi Analizi.....	24
4.2.1.1 Fourier Dönüşümü.....	25
4.2.2 Zaman-Frekans Bölgesi Analizi.....	25
4.2.2.1 Kısa Zamanlı Fourier Dönüşümü	25
4.2.3 Dalgacık Analizi	26
4.2.3.1 Sürekli Dalgacık Dönüşümü	26
4.2.3.2 Ayırık Dalgacık Dönüşümü.....	26
4.3 ÖZELLİK ÇIKARIMI.....	27
4.3.2 Dalgacık Paket Dönüşümünün Özellikleri.....	28
4.4 İSTATİKSEL ÖZELLİKLER	29

İÇİNDEKİLER (devam ediyor)

	Sayfa
4.5 SINIFLANDIRMA YÖNTEMLERİ.....	31
4.5.1 Yapay Sinir Ağları	31
4.5.1.1 Çok Katmanlı Yapay Sinir Ağları	33
4.5.2 Parçacık Sürü Optimizasyonu	33
4.5.3 Yapay Sinir Ağlarına Dayalı Parçacık Sürü Optimizasyonu	35
4.6 SINIFLANDIRICI PERFORMANSININ DEĞERLENDİRİLMESİ	36
 BÖLÜM 5 SİMÜLASYON VE ANALİZ SONUÇLARI	39
 5.1 İSTATİKSEL ANALİZ İLE FERG SİNYALLERİNİN NORMAL DEĞERLERİNİN BELİRLENMESİ	40
5.2 FARKLI SİNYAL İŞLEME YÖNTEMLERİ KULLANILARAK OBEZİTENİN FERG SİNYALLERİ ÜZERİNDEKİ FİZYOLOJİK ETKİLERİNİN TESPİTİ	41
5.2.1 Kısa Zaman Fourier Dönüşümünün Uygulanması ile Elde Edilen Analiz Sonuçları	43
5.2.2 Sürekli Dalgacık Dönüşümünün Uygulanması ile Elde Edilen Analiz Sonuçları ...	50
5.2.3 Ayırık Dalgacık Dönüşümünün Uygulanması ile Elde Edilen Analiz Sonuçları	56
5.3 AYRIK DALGACIK DÖNÜŞÜMÜ ve YAPAY SİNİR AĞLARI KULLANILARAK FERG SİNYALLERİNDEN OBEZİTENİN TEŞHİSİ İÇİN KARAR DESTEK SİSTEMİNİN OLUŞTURULMASI.....	62
5.4 AYRIK DALGACIK DÖNÜŞÜMÜ VE PARÇACIK SÜRÜ OPTİMİZASYONU TEMELLİ YAPAY SİNİR AĞLARI KULLANILARAK FERG SİNYALLERİNDEN OBEZİTENİN TEŞHİSİ İÇİN KARAR DESTEK SİSTEMİNİN OLUŞTURULMASI....	77
5.5 DALGACIK PAKET DÖNÜŞÜMÜ VE YAPAY SİNİR AĞLARI KULLANILARAK FERG SİNYALLERİNDEN OBEZİTENİN TEŞHİSİ İÇİN KARAR DESTEK SİSTEMİNİN OLUŞTURULMASI.....	82
5.6 DALGACIK PAKET DÖNÜŞÜMÜ VE PARÇACIK SÜRÜ OPTİMİZASYONU TEMELLİ YAPAY SİNİR AĞLARI KULLANILARAK FERG SİNYALLERİNDEN OBEZİTENİN TEŞHİSİ İÇİN KARAR DESTEK SİSTEMİNİN OLUŞTURULMASI....	96

İÇİNDEKİLER (devam ediyor)

	<u>Sayfa</u>
BÖLÜM 6 SONUÇ VE ÖNERİLER.....	115
KAYNAKLAR.....	121
ÖZGEÇMİŞ	135



ŞEKİLLER DİZİNİ

No	Sayfa
Şekil 2.1 Gözün yapısı ve bölümleri	9
Şekil 2.2 Görme olayı.....	12
Şekil 2.3 PERG kaydından elde edilen tipik bir sinyal örneği	15
Şekil 2.4 mfERG kaydından elde edilen tipik bir sinyal örneği.....	16
Şekil 2.5 Normal bir bireye ait tipik fERG yanıtı.	17
Şekil 4.1 fERG ölçümünde elektrotların yerleşimi.	23
Şekil 4.2 2. seviyeden ADD'ye ait ayrışım ağacı	27
Şekil 4.3 2. seviyeden DPD'ye ait ayrışım ağacı	29
Şekil 4.4 Yapay sinir hücresinin yapısı.	32
Şekil 4.5 Yapay sinir ağının basit yapısı.	32
Şekil 4.6 Parçacık sürü optimizasyonu algoritmasına ait akış diyagramı.	34
Şekil 5.1 Sağ göze ait fERG sinyallerinden; sağlıklı 10 birey için ortalaması alınmış (a) rod, (b) maksimum kombine ve (c) koni yanıtları; fazla kilolu olan 10 bireye ait ortalaması alınmış (d) rod, (e) maksimum kombine ve (f) koni yanıtları; obez olan 10 bireye ait ortalaması alınmış (g) rod, (h) maksimum kombine ve (ı) koni yanıtları; morbid obez olan 10 bireye ait ortalaması alınmış (i) rod, (j) maksimum kombine ve (k) koni yanıtları; süper obez olan 7 bireye ait ortalaması alınmış (l) rod, (m) maksimum kombine ve (n) koni yanıtlarıdır.	42
Şekil 5.2 Sol göze ait fERG sinyallerinden; sağlıklı 10 birey için ortalaması alınmış (a) rod, (b) maksimum kombine ve (c) koni yanıtları; fazla kilolu olan 10 bireye ait ortalaması alınmış (d) rod, (e) maksimum kombine ve (f) koni yanıtları; obez olan 10 bireye ait ortalaması alınmış (g) rod, (h) maksimum kombine ve (ı) koni yanıtları; morbid obez olan 10 bireye ait ortalaması alınmış (i) rod, (j) maksimum kombine ve (k) koni yanıtları; süper obez olan 7 bireye ait ortalaması alınmış (l) rod, (m) maksimum kombine ve (n) koni yanıtlarıdır.	43
Şekil 5.3 Normal 10 bireyin hem sağ hem de sol gözü için elde edilen ortalaması alınmış fERG sinyallerinin üç farklı yanıtı ve bu yanıtlara ait skalogram görüntüleri. (a), (b) ve (c) sırasıyla sağ göze ait rod, maksimum kombine ve koni yanıtları; (d), (e) ve (f) ise sırasıyla bu yanıtların skalogram görüntüleri. (g), (h) ve (ı) sırasıyla sol göze ait rod, maksimum kombine ve koni yanıtları; (i), (j) ve (k) ise sırasıyla yanıtlardan elde edilen skalogram görüntülerini göstermektedir.	44

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam ediyor)

No

Sayfa

- Şekil 5.4 Fazla kilolu 10 bireyin hem sağ hem de sol gözü için elde edilen ortalaması alınmış fERG sinyallerinin üç farklı yanıtı ve bu yanıtlara ait skalogram görüntüleri. (a), (b) ve (c) sırasıyla sağ göze ait rod, maksimum kombine ve koni yanıtları; (d), (e) ve (f) ise sırasıyla bu yanıtların skalogram görüntüleri. (g), (h) ve (ı) sırasıyla sol göze ait rod, maksimum kombine ve koni yanıtları; (i), (j) ve (k) ise sırasıyla yanıtlardan elde edilen skalogram görüntülerini göstermektedir. 45
- Şekil 5.5 Obez 10 bireyin hem sağ hem de sol gözü için elde edilen ortalaması alınmış fERG sinyallerinin üç farklı yanıtı ve bu yanıtlara ait skalogram görüntüleri. (a), (b) ve (c) sırasıyla sağ göze ait rod, maksimum kombine ve koni yanıtları; (d), (e) ve (f) ise sırasıyla bu yanıtların skalogram görüntüleri. (g), (h) ve (ı) sırasıyla sol göze ait rod, maksimum kombine ve koni yanıtları; (i), (j) ve (k) ise sırasıyla yanıtlardan elde edilen skalogram görüntülerini göstermektedir. 46
- Şekil 5.6 Morbid obez 10 bireyin hem sağ hem de sol gözü için elde edilen ortalaması alınmış fERG sinyallerinin üç farklı yanıtı ve bu yanıtlara ait skalogram görüntüleri. (a), (b) ve (c) sırasıyla sağ göze ait rod, maksimum kombine ve koni yanıtları; (d), (e) ve (f) ise sırasıyla bu yanıtların skalogram görüntüleri. (g), (h) ve (ı) sırasıyla sol göze ait rod, maksimum kombine ve koni yanıtları; (i), (j) ve (k) ise sırasıyla yanıtlardan elde edilen skalogram görüntülerini göstermektedir. 48
- Şekil 5.7 Süper obez 7 bireyin hem sağ hem de sol gözü için elde edilen ortalaması alınmış fERG sinyallerinin üç farklı yanıtı ve bu yanıtlara ait skalogram görüntüleri. (a), (b) ve (c) sırasıyla sağ göze ait rod, maksimum kombine ve koni yanıtları; (d), (e) ve (f) ise sırasıyla bu yanıtların skalogram görüntüleri. (g), (h) ve (ı) sırasıyla sol göze ait rod, maksimum kombine ve koni yanıtları; (i), (j) ve (k) ise sırasıyla yanıtlardan elde edilen skalogram görüntülerini göstermektedir. 49
- Şekil 5.8 Normal bireylerin sağ gözlerinden kaydedilen ortalaması alınmış fERG sinyallerinin (a) rod yanıtı, (b) maksimum kombine yanıtı ve (c) koni yanıtı. (d)-(ı) fERG yanıtları için SDD analizi sonucu elde edilen skalogram görüntüleri: (d), (e) ve (f) sırasıyla rod, maksimum kombine ve koni yanıtlarının db10 dalgacığıyla analizi; (g), (h) ve (i) sırasıyla rod, maksimum kombine ve koni yanıtlarının Haar dalgacığıyla analizi; (j), (k) ve (l) ise sırasıyla rod, maksimum kombine ve koni yanıtlarının Meksika şapka dalgacığıyla analizi. 51
- Şekil 5.9 Normal bireylerin sol gözlerinden kaydedilen ortalaması alınmış fERG sinyallerinin (a) rod yanıtı, (b) maksimum kombine yanıtı ve (c) koni yanıtı, (d)-(ı) fERG yanıtları için SDD analizi sonucu elde edilen skalogram görüntüleri: (d), (e) ve (f) sırasıyla rod, maksimum kombine ve koni yanıtlarının db10 dalgacığıyla analizi; (g), (h) ve (i) sırasıyla rod, maksimum kombine ve koni yanıtlarının Haar dalgacığıyla analizi; (j), (k) ve (l) ise sırasıyla rod, maksimum kombine ve koni yanıtlarının Meksika şapka dalgacığıyla analizi. 52

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam ediyor)

No

Sayfa

- Şekil 5.10 Fazla kilolu bireylerin sağ gözlerinden elde edilen ortalaması alınmış fERG sinyallerinin (a) rod yanıtı, (b) maksimum kombine yanıtı, (c) koni yanıtı, (d)-(l) SDD ile analiz edilen yanıtların skalogram görüntüleri. Fazla kilolu bireylerin sol gözlerinden elde edilen ortalaması alınmış fERG sinyallerine ait (g) rod yanıtı, (h) maksimum kombine yanıtı, (i) koni yanıtı, (i)-(k) SDD ile analiz edilen yanıtların skalogram görüntüleri. 53
- Şekil 5.11 Obez bireylerin sağ gözlerinden elde edilen ortalaması alınmış fERG sinyallerinin (a) rod yanıtı, (b) maksimum kombine yanıtı, (c) koni yanıtı, (d)-(l) SDD ile analiz edilen yanıtların skalogram görüntüleri. Obez bireylerin sol gözlerinden elde edilen ortalaması alınmış fERG sinyallerine ait (g) rod yanıtı, (h) maksimum kombine yanıtı, (i) koni yanıtı, (i)-(k) SDD ile analiz edilen yanıtların skalogram görüntüleri. 53
- Şekil 5.12 Morbid obez bireylerin sağ gözlerinden elde edilen ortalaması alınmış fERG sinyallerinin (a) rod yanıtı, (b) maksimum kombine yanıtı, (c) koni yanıtı, (d)-(l) SDD ile analiz edilen yanıtların skalogram görüntüleri. Morbid obez bireylerin sol gözlerinden elde edilen ortalaması alınmış fERG sinyallerine ait (g) rod yanıtı, (h) maksimum kombine yanıtı, (i) koni yanıtı, (i)-(k) SDD ile analiz edilen yanıtların skalogram görüntüleri. 54
- Şekil 5.13 Süper obez bireylerin sağ gözlerinden elde edilen ortalaması alınmış fERG sinyallerinin (a) rod yanıtı, (b) maksimum kombine yanıtı, (c) koni yanıtı, (d)-(l) SDD ile analiz edilen yanıtların skalogram görüntüleri. Süper obez bireylerin sol gözlerinden elde edilen ortalaması alınmış fERG sinyallerine ait (g) rod yanıtı, (h) maksimum kombine yanıtı, (i) koni yanıtı, (i)-(k) SDD ile analiz edilen yanıtların skalogram görüntüleri. 54
- Şekil 5.14 Normal bireylerin sağ gözlerinden kaydedilen ortalaması alınmış fERG sinyallerinin (a) rod yanıtı, (b) maksimum kombine yanıtı ve (c) koni yanıtı. (d)-(i) fERG yanıtları için ADD analizi sonucu elde edilen skalogram görüntüleri: (d), (e) ve (f) sırasıyla rod, maksimum kombine ve koni yanıtlarının db10 dalgacığıyla analizi; (g), (h) ve (i) sırasıyla rod, maksimum kombine ve koni yanıtlarının Haar dalgacığıyla analizi. 57
- Şekil 5.15 Normal bireylerin sol gözlerinden kaydedilen ortalaması alınmış fERG sinyallerinin (a) rod yanıtı, (b) maksimum kombine yanıtı ve (c) koni yanıtı. (d)-(i) fERG yanıtları için ADD analizi sonucu elde edilen skalogram görüntüleri: (d), (e) ve (f) sırasıyla rod, maksimum kombine ve koni yanıtlarının db10 dalgacığıyla analizi; (g), (h) ve (i) sırasıyla rod, maksimum kombine ve koni yanıtlarının Haar dalgacığıyla analizi. 58
- Şekil 5.16 Fazla kilolu bireylerin sağ gözlerinden elde edilen ortalaması alınmış fERG sinyallerinin (a) rod yanıtı, (b) maksimum kombine yanıtı, (c) koni yanıtı, (d)-(l) ADD ile analiz edilen yanıtların skalogram görüntüleri. Fazla kilolu bireylerin sol gözlerinden elde edilen ortalaması alınmış fERG sinyallerine ait (g) rod yanıtı, (h) maksimum kombine yanıtı, (i) koni yanıtı, (i)-(k) ADD ile analiz edilen yanıtların skalogram görüntüleri. 59

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam ediyor)

No

Sayfa

- Şekil 5.17 Obez bireylerin sağ gözlerinden elde edilen ortalaması alınmış fERG sinyallerinin (a) rod yanıtı, (b) maksimum kombine yanıtı, (c) koni yanıtı, (d)-(l) ADD ile analiz edilen yanıtların skalogram görüntüleri. Obez bireylerin sol gözlerinden elde edilen ortalaması alınmış fERG sinyallerine ait (g) rod yanıtı, (h) maksimum kombine yanıtı, (i) koni yanıtı, (i)-(k) ADD ile analiz edilen yanıtların skalogram görüntüleri..... 59
- Şekil 5.18 Morbid obez bireylerin sağ gözlerinden elde edilen ortalaması alınmış fERG sinyallerinin (a) rod yanıtı, (b) maksimum kombine yanıtı, (c) koni yanıtı, (d)-(l) ADD ile analiz edilen yanıtların skalogram görüntüleri. Morbid obez bireylerin sol gözlerinden elde edilen ortalaması alınmış fERG sinyallerine ait (g) rod yanıtı, (h) maksimum kombine yanıtı, (i) koni yanıtı, (i)-(k) ADD ile analiz edilen yanıtların skalogram görüntüleri. 60
- Şekil 5.19 Süper obez bireylerin sağ gözlerinden elde edilen ortalaması alınmış fERG sinyallerinin (a) rod yanıtı, (b) maksimum kombine yanıtı, (c) koni yanıtı, (d)-(l) ADD ile analiz edilen yanıtların skalogram görüntüleri. Süper obez bireylerin sol gözlerinden elde edilen ortalaması alınmış fERG sinyallerine ait (g) rod yanıtı, (h) maksimum kombine yanıtı, (i) koni yanıtı, (i)-(k) ADD ile analiz edilen yanıtların skalogram görüntüleri. 60
- Şekil 5.20 fERG sinyallerinin rod yanıtı için ara katmandaki nöron sayısının modelinin doğruluğuna etkisi. Sağ göze ait veri setinin eğitim ve test için (a) %80-%20, (c) %70-%30, (d) %60-%40, (e) %50-%50 olarak bölünmesi durumunda modelin ara katman nöron sayısına karşı doğruluğu. Sol göze ait veri setinin eğitim ve test için (b) %80-%20, (d) %70-%30, (e) %60-%40, (f) %50-%50 olarak bölünmesi durumunda modelin ara katman nöron sayısına karşı doğruluğu. 64
- Şekil 5.21 fERG sinyallerinin maksimum kombine yanıtı için ara katmandaki nöron sayısının modelinin doğruluğuna etkisi. Sağ göze ait veri setinin eğitim ve test için (a) %80-%20, (c) %70-%30, (d) %60-%40, (e) %50-%50 olarak bölünmesi durumunda modelin ara katman nöron sayısına karşı doğruluğu. Sol göze ait veri setinin eğitim ve test için (b) %80-%20, (d) %70-%30, (e) %60-%40, (f) %50-%50 olarak bölünmesi durumunda modelin ara katman nöron sayısına karşı doğruluğu. 65
- Şekil 5.22 fERG sinyallerinin koni yanıtı için ara katmandaki nöron sayısının modelinin doğruluğuna etkisi. Sağ göze ait veri setinin eğitim ve test için (a) %80-%20, (c) %70-%30, (d) %60-%40, (e) %50-%50 olarak bölünmesi durumunda modelin ara katman nöron sayısına karşı doğruluğu. Sol göze ait veri setinin eğitim ve test için (b) %80-%20, (d) %70-%30, (e) %60-%40, (f) %50-%50 olarak bölünmesi durumunda modelin ara katman nöron sayısına karşı doğruluğu. 66
- Şekil 5.23 fERG sinyalinin rod yanıtı için ara katmandaki nöron sayısının modelinin doğruluğuna etkisi. Sağ göze ait veri setinin eğitim ve test için (a) %80-%20, (c) %70-%30, (d) %60-%40, (e) %50-%50 olarak bölünmesi durumunda modelin ara katman nöron sayısına karşı doğruluğunu göstermektedir. Sol göze ait veri setinin eğitim ve test için (b) %80-%20, (d) %70-%30, (e) %60-%40, (f) %50-%50 olarak bölünmesi durumunda modelin ara katman nöron sayısına karşı doğruluğunu göstermektedir. 83

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam ediyor)

No

Sayfa

- Şekil 5.24 fERG sinyalinin maksimum kombine yanıtı için ara katmandaki nöron sayısının modelinin doğruluğuna etkisi. Sağ göze ait veri setinin eğitim ve test için (a) %80-%20, (c) %70-%30, (d) %60-%40, (e) %50-%50 olarak bölünmesi durumunda modelin ara katman nöron sayısına karşı doğruluğunu göstermektedir. Sol göze ait veri setinin eğitim ve test için (b) %80-%20, (d) %70-%30, (e) %60-%40, (f) %50-%50 olarak bölünmesi durumunda modelin ara katman nöron sayısına karşı doğruluğunu göstermektedir. 84
- Şekil 5.25 fERG sinyalinin koni yanıtı için ara katmandaki nöron sayısının modelinin doğruluğuna etkisi. Sağ göze ait veri setinin eğitim ve test için (a) %80-%20, (c) %70-%30, (d) %60-%40, (e) %50-%50 olarak bölünmesi durumunda modelin ara katman nöron sayısına karşı doğruluğunu göstermektedir. Sol göze ait veri setinin eğitim ve test için (b) %80-%20, (d) %70-%30, (e) %60-%40, (f) %50-%50 olarak bölünmesi durumunda modelin ara katman nöron sayısına karşı doğruluğunu göstermektedir. 85
- Şekil 5.26 Obezite seviyelerinin sınıflandırılmasında fERG sinyalinin rod yanıtından DPD'yle çıkartılan özelliklerin PSO-YSA modelinde kullanılması sonucu elde edilen karmaşıklık matrisi; (a) sağ göz, (b) sol göz. 104
- Şekil 5.27 Obezite seviyelerinin sınıflandırılmasında fERG sinyalinin maksimum kombine yanıtından DPD'yle çıkartılan özelliklerin PSO-YSA modelinde kullanılması sonucu elde edilen karmaşıklık matrisi; (a) sağ göz, (b) sol göz. 105
- Şekil 5.28 Obezite seviyelerinin sınıflandırılmasında fERG sinyalinin koni yanıtından DPD'yle çıkartılan özelliklerin PSO-YSA modelinde kullanılması sonucu elde edilen karmaşıklık matrisi; (a) sağ göz, (b) sol göz. 106
- Şekil 5.29 Sağ gözün rod yanıtından DPD'yle çıkartılan özelliklerin PSO-YSA modelinde kullanılması sonucu (a) normal, (b) fazla kilolu, (c) obez, (d) morbid obez, (e) süper obez bireyler için elde edilen ROC eğrileri ve AUC değerleri. 108
- Şekil 5.30 Sağ gözün maksimum kombine yanıtından DPD'yle çıkartılan özelliklerin PSO-YSA modelinde kullanılması sonucu (a) normal, (b) fazla kilolu, (c) obez, (d) morbid obez, (e) süper obez bireyler için elde edilen ROC eğrileri ve AUC değerleri. 109
- Şekil 5.31 Sağ gözün koni yanıtından DPD'yle çıkartılan özelliklerin PSO-YSA modelinde kullanılması sonucu (a) normal, (b) fazla kilolu, (c) obez, (d) morbid obez, (e) süper obez bireyler için elde edilen ROC eğrileri ve AUC değerleri. 110
- Şekil 5.32 Sol gözün rod yanıtından DPD'yle çıkartılan özelliklerin PSO-YSA modelinde kullanılması sonucu (a) normal, (b) fazla kilolu, (c) obez, (d) morbid obez, (e) süper obez bireyler için elde edilen ROC eğrileri ve AUC değerleri. 111
- Şekil 5.33 Sol gözün maksimum kombine yanıtından DPD'yle çıkartılan özelliklerin PSO-YSA modelinde kullanılması sonucu (a) normal, (b) fazla kilolu, (c) obez, (d) morbid obez, (e) süper obez bireyler için elde edilen ROC eğrileri ve AUC değerleri. 112

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam ediyor)

No

Sayfa

Şekil 5.34 Sol gözün koni yanıtından DPD'yle çıkartılan özelliklerin PSO-YSA modelinde kullanılması sonucu (a) normal, (b) fazla kilolu, (c) obez, (d) morbid obez, (e) süper obez bireyler için elde edilen ROC eğrileri ve AUC değerleri..... 113



ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>No</u>	<u>Sayfa</u>
Çizelge 3.1 DSÖ'nün yetişkinler için VKİ' ye göre tanımladığı obezite seviyeleri.....	20
Çizelge 4.1 Karmaşık matrisi.....	38
Çizelge 5.1 fERG sinyalinin 'a' dalgası için elde edilen normal değerler.....	42
Çizelge 5.2 fERG sinyalinin 'b' dalgası için elde edilen normal değerler.....	42
Çizelge 5.3 Farklı obezite seviyelerinde bulunan bireylerin sağ ve sol gözlerine ait rod, maksimum kombine ve koni yanıtlarından SDD yöntemiyle elde edilen 'a' ve 'b' dalgalarının frekansları ve oluşum zamanları.....	58
Çizelge 5.4 Farklı obezite seviyelerinde bulunan sağ ve sol gözlerine ait rod, maksimum kombine ve koni yanıtlarından ADD yöntemiyle elde edilen 'a' ve 'b' dalgalarının frekansları ve oluşum zamanları.....	64
Çizelge 5.5 Her iki göz ait rod yanıtı kullanılarak ADD yöntemiyle oluşturulan veri setinin %80-%20 oranında bölünmesi sonucu YSA modelinden elde edilen sınıflandırma metrikleri.....	70
Çizelge 5.6 Her iki göz ait maksimum kombine yanıtı kullanılarak ADD yöntemiyle oluşturulan veri setinin %80-%20 oranında bölünmesi sonucu YSA modelinden elde edilen sınıflandırma metrikleri.....	71
Çizelge 5.7 Her iki göz ait koni yanıtı kullanılarak ADD yöntemiyle oluşturulan veri setinin %80-%20 oranında bölünmesi sonucu YSA modelinden elde edilen sınıflandırma metrikleri.....	72
Çizelge 5.8 Her iki göz ait rod yanıtı kullanılarak ADD yöntemiyle oluşturulan veri setinin %70-%30 oranında bölünmesi sonucu YSA modelinden elde edilen sınıflandırma metrikleri.....	72
Çizelge 5.9 Her iki göz ait maksimum kombine yanıtı kullanılarak ADD yöntemiyle oluşturulan veri setinin %70-%30 oranında bölünmesi sonucu YSA modelinden elde edilen sınıflandırma metrikleri.....	73
Çizelge 5.10 Her iki göz ait koni yanıtı kullanılarak ADD yöntemiyle oluşturulan veri setinin %70-%30 oranında bölünmesi sonucu YSA modelinden elde edilen sınıflandırma metrikleri.....	74
Çizelge 5.11 Her iki göz ait rod yanıtı kullanılarak ADD yöntemiyle oluşturulan veri setinin %60-%40 oranında bölünmesi sonucu YSA modelinden elde edilen sınıflandırma metrikleri.....	74
Çizelge 5.12 Her iki göz ait maksimum kombine yanıtı kullanılarak ADD yöntemiyle oluşturulan veri setinin %60-%40 oranında bölünmesi sonucu YSA modelinden elde edilen sınıflandırma metrikleri.....	75

ÇİZELGELER DİZİNİ (devam ediyor)

No

Sayfa

Çizelge 5.13	Her iki göz ait koni yanıtı kullanılarak ADD yöntemiyle oluşturulan veri setinin %60-%40 oranında bölünmesi sonucu YSA modelinden elde edilen sınıflandırma metrikleri.....	76
Çizelge 5.14	Her iki göz ait rod yanıtı kullanılarak ADD yöntemiyle oluşturulan veri setinin %50-%50 oranında bölünmesi sonucu YSA modelinden elde edilen sınıflandırma metrikleri.....	76
Çizelge 5.15	Her iki göz ait maksimum kombine yanıtı kullanılarak ADD yöntemiyle oluşturulan veri setinin %50-%50 oranında bölünmesi sonucu YSA modelinden elde edilen sınıflandırma metrikleri.	77
Çizelge 5.16	Her iki göz ait koni yanıtı kullanılarak ADD yöntemiyle oluşturulan veri setinin %50-%50 oranında bölünmesi sonucu YSA modelinden elde edilen sınıflandırma metrikleri.....	78
Çizelge 5.17	Her iki göze ait rod yanıtı için farklı oranlarda bölünmüş veri setine göre hata analizi.	79
Çizelge 5.18	Her iki göze ait maksimum kombine yanıtı için farklı oranlarda bölünmüş veri setine göre hata analizi.	79
Çizelge 5.19	Her iki göze ait koni yanıtı için farklı oranlarda bölünmüş veri setine göre hata analizi.	80
Çizelge 5.20	Her iki göz ait fERG yanıtlarından ADD yöntemiyle oluşturulan veri setinin %80-%20 oranında bölünmesi sonucu PSO-YSA modelinin sınıflandırma metrikleri ve istatiksel hata sonuçları.....	81
Çizelge 5.21	Her iki göz ait fERG yanıtlarından ADD yöntemiyle oluşturulan veri setinin %70-%30 oranında bölünmesi sonucu PSO-YSA modelinin sınıflandırma metrikleri ve istatiksel hata sonuçları.....	82
Çizelge 5.22	Her iki göz ait fERG yanıtlarından ADD yöntemiyle oluşturulan veri setinin %60-%40 oranında bölünmesi sonucu PSO-YSA modelinin sınıflandırma metrikleri ve istatiksel hata sonuçları.....	83
Çizelge 5.23	Her iki göz ait fERG yanıtlarından ADD yöntemiyle oluşturulan veri setinin %50-%50 oranında bölünmesi sonucu PSO-YSA modelinin sınıflandırma metrikleri ve istatiksel hata sonuçları.....	84
Çizelge 5.24	Her iki göz için rod yanıtından DPD'yle özellik çıkarılmasıyla oluşturulan veri setinin %80-%20 oranında bölünmesi sonucu YSA modelinden elde edilen sınıflandırma metrikleri.....	89
Çizelge 5.25	Her iki göz için maksimum kombine yanıtından DPD'yle özellik çıkarılmasıyla oluşturulan veri setinin %80-%20 oranında bölünmesi sonucu YSA modelinden elde edilen sınıflandırma metrikleri.	90
Çizelge 5.26	Her iki göz için koni yanıtından DPD'yle özellik çıkarılmasıyla oluşturulan veri setinin %80-%20 oranında bölünmesi sonucu YSA modelinden elde edilen sınıflandırma metrikleri.....	90

ÇİZELGELER DİZİNİ (devam ediyor)

No

Sayfa

Çizelge 5.27 Her iki göz için rod yanıtından DPD'yle özellik çıkarılmasıyla oluşturulan veri setinin %70-%30 oranında bölünmesi sonucu YSA modelinden elde edilen sınıflandırma metrikleri.....	91
Çizelge 5.28 Her iki göz için maksimum kombine yanıtından DPD'yle özellik çıkarılmasıyla oluşturulan veri setinin %70-%30 oranında bölünmesi sonucu YSA modelinden elde edilen sınıflandırma metrikleri.	92
Çizelge 5.29 Her iki göz için koni yanıtından DPD'yle özellik çıkarılmasıyla oluşturulan veri setinin %70-%30 oranında bölünmesi sonucu YSA modelinden elde edilen sınıflandırma metrikleri.....	92
Çizelge 5.30 Her iki göz için rod yanıtından DPD'yle özellik çıkarılmasıyla oluşturulan veri setinin %60-%40 oranında bölünmesi sonucu YSA modelinden elde edilen sınıflandırma metrikleri.....	93
Çizelge 5.31 Her iki göz için maksimum kombine yanıtından DPD'yle özellik çıkarılmasıyla oluşturulan veri setinin %60-%40 oranında bölünmesi sonucu YSA modelinden elde edilen sınıflandırma metrikleri.	94
Çizelge 5.32 Her iki göz için koni yanıtından DPD'yle özellik çıkarılmasıyla oluşturulan veri setinin %60-%40 oranında bölünmesi sonucu YSA modelinden elde edilen sınıflandırma metrikleri.....	94
Çizelge 5.33 Her iki göz için rod yanıtından DPD'yle özellik çıkarılmasıyla oluşturulan veri setinin %50-%50 oranında bölünmesi sonucu YSA modelinden elde edilen sınıflandırma metrikleri.....	95
Çizelge 5.34 Her iki göz için maksimum kombine yanıtından DPD'yle özellik çıkarılmasıyla oluşturulan veri setinin %50-%50 oranında bölünmesi sonucu YSA modelinden elde edilen sınıflandırma metrikleri.	96
Çizelge 5.35 Her iki göz için koni yanıtından DPD'yle özellik çıkarılmasıyla oluşturulan veri setinin %50-%50 oranında bölünmesi sonucu YSA modelinden elde edilen sınıflandırma metrikleri.....	96
Çizelge 5.36 Her iki göze ait rod yanıtı için farklı oranlarda bölünmüş veri setine göre hata analizi.	97
Çizelge 5.37 Her iki göze ait maksimum kombine yanıtı için farklı oranlarda bölünmüş veri setine göre hata analizi.	98
Çizelge 5.38 Her iki göze ait koni yanıtı için farklı oranlarda bölünmüş veri setine göre hata analizi.	98
Çizelge 5.39 Her iki göz için fERG yanıtlarından DPD'yle özellik çıkarılmasıyla elde edilen veri setinin %80 - %20 oranında bölünmesi sonucu PSO-YSA modelinin sınıflandırma metrikleri ve istatistiksel hata sonuçları.	99
Çizelge 5.40 Her iki göz için fERG yanıtlarından DPD'yle özellik çıkarılmasıyla elde edilen veri setinin %70 - %30 oranında bölünmesi sonucu PSO-YSA modelinin sınıflandırma metrikleri ve istatistiksel hata sonuçları.	100

ÇİZELGELER DİZİNİ (devam ediyor)

No

Sayfa

Çizelge 5.41 Her iki göz için fERG yanıtlarından DPD'yle özellik çıkarılmasıyla elde edilen veri setinin %60 - %40 oranında bölünmesi sonucu PSO-YSA modelinin sınıflandırma metrikleri ve istatistiksel hata sonuçları.	101
Çizelge 5.42 Her iki göz için fERG yanıtlarından DPD'yle özellik çıkarılmasıyla elde edilen veri setinin %50 - %50 oranında bölünmesi sonucu PSO-YSA modelinin sınıflandırma metrikleri ve istatistiksel hata sonuçları.	101
Çizelge 5.43 Her iki göze ait rod yanıtı için PSO-YSA modelin istatistiksel performansı.	103
Çizelge 5.44 Her iki göze ait maksimum kombine yanıtı için PSO-YSA modelin istatistiksel performansı.	104
Çizelge 5.45 Her iki göze ait koni yanıtı için PSO-YSA modelin istatistiksel performansı.	105



SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

SİMGELER

D	: Detay katsayısı
A	: Yaklaşım katsayısı
S	: Orijinal sinyal
G	: Alçak geçiren filtre
H	: Yüksek geçiren filtre
ψ	: Dalgacık fonksiyonu
τ	: Öteleme parametresi
s	: Ölçeklendirme parametresi
μ	: Mutlak ortalama
λ	: Ortalama güç
σ	: Standart sapma
ϕ	: Çarpıklık
φ	: Basıklık
χ	: Komşu alt bantlardaki sinyal katsayılarının mutlak ortalama değerlerinin oranı
X_n	: Ağın girişi
W_n	: Ağırlıklar
Σ	: Toplama fonksiyonu
f	: Aktivasyon fonksiyonu
Y	: Ağ çıkışı
V_i	: Parçacık pozisyonu
X_i	: Hız vektörü

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ (devam ediyor)

KISALTMALAR

ADD	: Ayrık Dalgacık Dönüşümü
AUC	: Area Under Curve
ÇKYSA	: Çok Katmanlı Yapay Sinir Ağları
db	: Daubechies
DPD	: Dalgacık Paket dönüşümü
DSÖ	: Dünya Sağlık Örgütü
DTL	: Dawson-Trick-Litzkow
EEG	: Elektroensefalografi
EKG	: Elektrokardiyografi
EMG	: Elektromiyografi
EOG	: Elektrookülografi
ERG	: Elektoretinografi
FD	: Fourier dönüşümü
FN	: Yanlış Negatif
FP	: Yanlış Pozitif
fERG	: Flaş Elektoretinografi
GUP	: Görsel Uyarılmış Potansiyel
Hz	: Hertz
mfERG	: Multifokal Elektoretinografi
ISCEV	: International Society for Clinical Electrophysiology of Vision- Uluslararası oküler klinik elektrofizyoloji topluluğu
kg	: Kilogram
KZFD	: Kısa Zamanlı Fourier Dönüşümü
m	: Metre
μV	: Mikrovolt
ms	: Milisaniye
PERG	: Patern Elektoretinografi
PSO	: Parçacık Sürü Optimizasyonu
PSO-YSA	: Parçacık Sürü Optimizasyonu Temelli Yapay Sinir Ağı

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ (devam ediyor)

ROC	: İşlem Karakteristik Eğrisi-Receiver Operating Characteristics
SDD	: Sürekli Dalgacık Dönüşümü
TP	: Doğru Pozitif
TN	: Doğru Negatif
VKİ	: Vücut Kitle İndeksi
YSA	: Yapay Sinir Ağları
ZBEÜ-BAP	: Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projesi





BÖLÜM 1

GİRİŞ

Obezite, gelişmiş ve gelişmekte olan ülkeler başta olmak üzere dünya genelinde yaygınlığı her geçen gün artan ve küresel bir epidemi (salgın hastalık) haline dönüşmeye başlayan büyük bir sağlık sorunudur. Dünya Sağlık Örgütü (DSÖ) obeziteyi vücuttaki yağ dokularında sağlığı bozacak derecede anormal ya da aşırı oranda yağ birikimi olarak tanımlamaktadır [1]. Obezitenin oluşmasında genetik, psikolojik problemler, hatalı beslenme, fiziksel aktivite yetersizliği, hazır gıdaların kalorilerinin artması, sosyoekonomik ve kültürel etkenler gibi pek çok faktörün etkili olduğu bilinmektedir [2]. Klinik araştırmalarda obezite tanısının konulmasında birçok yöntem kullanılmasına rağmen, uygulama kolaylığı ve maliyet açısından en çok tercih edilen yöntemler Vücut Kitle İndeksi (VKİ) ile bel ve kalça çevresi ölçümüdür [3].

VKİ, bireylerin kilogram cinsinden kilolarının, boylarının metre cinsinden karesine oranlanması ile hesaplanmaktadır. Bu hesaplama sonucu VKİ; 18-25 arasında ise normal, 25-30 arasında ise fazla kilolu, 30-40 arasında ise obez, 40-50 arasında ise morbid obez ve 50'nin üzerinde ise süper obez olarak kabul edilmektedir [4].

DSÖ'nün obeziteye yönelik yayınladığı verilere bakıldığında son 35 yılda dünyadaki obez birey sayısının iki kat arttığı görülmektedir. Dünya genelinde 18 yaş ve üzeri bireyler içerisinde erkeklerin %38'i ile kadınların %40'ı aşırı kilolu iken, erkeklerin %11'i ile kadınların %15'i ise obezdir [5]. Ülkemizde de yaşam tarzlarının değişmesi nedeniyle obezitenin görülme sıklığı giderek artmaktadır. Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) tarafından hazırlanan raporda ülkemizde obezite oranları 2008 yılında %15,2, 2014 yılında %19,9 ve 2019 yılında ise %21,1 olarak verilmiştir [6].

Önlenebilir bir sağlık sorunu olan obezitenin; hipertansiyon, yüksek kolesterol, kalp hastalığı, tip 2 diyabet, astım, solunum zorluğu, felç, eklem hastalıkları, kısırlık, adet düzensizliği, safra kesesi hastalıkları, taş oluşumu, karaciğer yağlanması ve hatta bazı kanser türleriyle yakından

ilişkili olduğu ortaya koyulmuştur [7]. Yapılan araştırmalarda obezitenin; katarakt, yaşa bağlı makula dejenerasyonu, diyabetik retinopati, göz tansiyonu (glokom) ve sarı nokta hastalığı (makula dejenerasyonu) gibi çeşitli göz hastalıklarını da tetiklediği tespit edilmiştir [8-24]. Geri dönüşümsüz görme kayıplarına sebep olan bu göz hastalıklarının erken tanı ve teşhisi büyük önem arz etmektedir. Bu bağlamda klinik araştırmalarda retina pigment epitelinden oksipital kortekse kadar bütün görme yollarının değerlendirilmesine imkân tanıyan oküler elektrofizyolojik testlerden yararlanılmaktadır. Elektrookulografi (EOG), Görsel Uyarılmış Potansiyel (GUP), Patern Elektoretinografi (PERG) ve Elektoretinografi (ERG) yaygın olarak kullanılan oküler elektrofizyolojik testlerdir. Bunlardan EOG, retina pigment epiteliliyle fotoreseptör hücreler arasındaki dinlenme potansiyelini ölçmek için kullanılmaktadır. GUP, retinadaki gangliyon hücrelerinden beyindeki oksipital kortekse kadar uzanan görme yollarını değerlendirmektedir. PERG, satranç tahtası ya da çubuklar şeklindeki desen uyarıya karşı retinadaki değişimleri incelemektedir. ERG ise bir ışık uyaranına karşı retina hücrelerinin (rod, koni ve gangliyon hücrelerinin) kitlesel yanıtını irdelemektedir [25, 26]. Bu nedenle retinal hastalıkların teşhisi, takibi ve terapötik müdahalelerin etkinliğinin irdelenmesinde kullanılmaktadır [27- 29].

ERG sinyali, milisaniyelik (ms) bir zaman diliminde mikrovolt (μV) gibi küçük genlik değerlerine sahip bir biyoelektriksel potansiyeldir. Klinik ortamda elde edilen test sonuçları; bireye (hastaya), testin yapıldığı ortama, ölçüm için kullanılan cihaza ve testin uygulanma biçimine bağlı olarak değişebilmektedir. Bu durum testler için standart ölçüm değerlerinin belirlenememesine ve laboratuvarların kendisine ait normal değerlerinde farklılıkların oluşmasına neden olmaktadır [30]. Dolayısıyla her laboratuvarın öncelikli olarak kendi normal değerlerini tanımlaması gerekmektedir [31, 32]. Bundan dolayı bu tez kapsamında da öncelikli olarak ölçüm alınan laboratuvar ortamı için normal (sağlıklı) bir bireye ait flaş ERG (fERG) sinyalinin normal değerleri belirlenmiştir [33].

Diğer taraftan, retina kökenli hastalıkların tanı ve teşhisinin konulmasında uzman hekimlere destek olmak amacıyla ERG sinyalleri farklı sinyal işleme yöntemleri kullanılarak analiz edilmektedir. Bu kapsamda birçok çalışmada ERG sinyal bileşenlerine ait başlangıç zamanı, genlik değeri ve zamanda gecikme süresi gibi birçok özelliğinin analizinde Temel Bileşen Analizi (TBA), Fourier Analizi (FA), Dalgacık Analizi (DA) gibi yöntemler kullanılmıştır. Örneğin, Miguel-Jimenez ve ark. (2010) oküler glokom hastalığını tespit etmek amacıyla global flaş multifokal ERG (mfERG) sinyallerinin karakteristiğini sinyal işleme tekniklerinden biri

olan ayrık dalgacık dönüşüm yöntemi kullanılarak incelenmiştir. Bu yöntemle sinyallerden çıkarttıkları iki adet özelliği kullanarak, sağlıklı ile glokomlu sinyallerin birbirlerinden başarılı bir şekilde ayrıştırılabileceğini ortaya koymuşlardır [34].

Barraco ve ark. (2011) ise normal ve akromatopsi rahatsızlığı bulunan bireylerden kaydedilen ERG sinyallerinin “a” bileşenlerinin zaman-frekans özelliklerini analiz etmişlerdir. Bu amaçla frekans bileşenlerinin ve bunlara ait oluşum zamanlarının belirlenmesinde dalgacık analizinden yararlanmışlardır. Yapılan analizler sonucunda, retinadaki fotoreseptörlerin durumunun kararlı frekans sayısına ve oluştukları zamana bağlı olduğunu ortaya koymuşlardır. Patolojik durumlarda ise frekans bileşenlerinin değerlerinin düştüğünü ve oluşum zamanlarının değiştiğini tespit etmişlerdir [35].

Barraco ve ark.’nın (2011) başka bir çalışmasında herhangi bir göz rahatsızlığı bulunmayan sağlıklı bireylerden kaydedilen ERG sinyallerinin “a” bileşeni Sürekli Dalgacık Dönüşümü (SDD) yöntemiyle analiz edilmiştir. Analizlerde 6 farklı parlaklık değeri kullanılarak a dalgasına ait zaman-frekans bileşenleri tespit edilmiştir. Bu bağlamda 20-200 Hz aralığında 3 kararlı frekans saptanmış ve bunlar “a” dalgasının oluşumunun altında yatan mekanizmalar ile ilişkilendirilmiştir [36].

Barraco ve ark.’nın (2014) bir diğer çalışmasında ise normal, akromatopsi ve konjenital sabit gece körlüğü bulunan bireylerin ERG sinyallerinin “a” bileşenine farklı sinyal işleme teknikleri uygulanarak hangi yöntemin analizlerde daha başarılı olduğu araştırılmıştır. Bu doğrultuda sağlıklı ve hastalıklı bireyleri tespit etmek için FA, TBA ve DA sinyal işleme teknikleri kullanılmıştır. Yapılan analizler sonucunda oküler patolojilerin teşhisinde Meksika şapka dalgacığının kullanıldığı DA’nın diğer tekniklere kıyasla daha başarılı olduğu tespit edilmiştir [37].

Gauvin ve ark.’nın (2014) çalışmasında sağlıklı bir bireyden alınan fotopik ERG sinyalinin zaman bölgesindeki analizi FA, SDD ve Ayrık Dalgacık Dönüşümü (ADD) yöntemleriyle gerçekleştirilmiştir. Çalışmada ERG sinyalindeki piklerin genlik ve zaman değerleri tespit edilerek yöntemlerin birbirlerine göre başarımları karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar doğrultusunda Haar tipi ana dalgacığının kullanıldığı SDD yönteminin diğerlerinden daha başarılı olduğu saptanmıştır [38].

Nair ve ark. (2014) ise sağlıklı, konjenital sabit gece körlüğü ve koni çubuk distrofileri bulunan üç farklı grup için ERG sinyalinin kaotik yönünü araştıran bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Çalışmada üç sınıf için Hurst üsteli, en büyük Lyapunov üsteli, Higuchi fraktal boyutu ve yaklaşık entropi gibi doğrusal olmayan parametrelerinin analizi yapılmıştır. Analizler sonucunda Hurst üsteli ve yaklaşık entropi parametre değerlerinin sağlıklı grubunda diğer gruplara kıyasla daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Buna karşılık, en büyük Lyapunov üsteli için gruplar arasında kayda değer bir değişim belirlenememiştir [39].

Alaql (2016) çalışmasında farklı sinyal işleme teknikleri (Kısa Zaman Fourier Dönüşümü (KZFD), SDD ve ADD) kullanarak sağlıklı bir bireyin fotopik ERG yanıtını zaman-frekans bölgesinde analizini gerçekleştirmiştir. Daubechies 10 (db10) dalgacık tipinin kullanıldığı SDD uygulanması durumunda zaman-frekans bölgesinde diğer yöntemlerden daha yüksek başarımlar elde edilebileceğini göstermiştir [40].

Günümüzde klinik araştırmalarda hastalıkların erken aşamada teşhis edilmesine olanak tanıyan karar destek sistemleri yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Bu kapsamda karar destek sistemlerinden biri olan yapay sinir ağlarının tıp alanında ilk uygulaması 1959 yılında Ledley ve Lusted tarafından gerçekleştirilmiştir [41, 42]. İlerleyen yıllarda teknolojinin de gelişmesiyle birlikte YSA'nın tıp alanındaki kullanımı giderek artmaya başlamıştır. Literatürdeki çalışmalar irdelendiğinde göze rahatsızlıklarının teşhisinde YSA'nın kullanıldığı destek sistemlerinin çoğunun sınıflandırma temeline dayandığı görülmektedir. Örneğin; Güven ve ark. (2006) PERG sinyallerinden makula hastalığının tespiti için yapay sinir ağları (YSA) temelli bir tanı yöntemi ileri sürmüşlerdir. Levenberg Marquart (LM) geri yayılım algoritması ile eğitilmiş olan çok katmanlı YSA (ÇKYSA) sınıflandırıcıyla oluşturulan modelin genel başarımları %98, duyarlılığı %96 ve özgüllüğü %100 olarak ortaya koyulmuştur [43]. Güven ve ark.'nın (2006) diğer bir çalışmasında PERG sinyallerinden optik sinir hastalığının tespiti edilmesi amaçlanmıştır. Bu bağlamda LM geri yayılım algoritması ile eğitilmiş ÇKYSA kullanılarak tasarlanan sistemin başarımları %94,2, özgüllüğü %90,4 ve hassaslığı ise % 96,4 olarak tespit edilmiştir [44]. Kara ve ark. (2007) ise PERG sinyallerinden elde edilen özellikleri öğrenmeli vektör kuantalama sinir ağına girişine uygulayarak optik sinir hastalığı olan ve olmayan bireylerin sınıflandırmasını gerçekleştirmişlerdir. Gerçekleştirilen modelin sınıflandırma performansı %94 hassaslık, %90,32 özgüllük ve %92 genel başarımları olarak elde edilmiştir. Elde edilen sonuçların beklenen sonuçlar ile benzerlik göstermesine bağlı olarak yöntemin optik sinir hastalığının tanısının konması için güvenilir bir araç olduğunu tespit etmişlerdir [45]. Polat ve

ark.'ı (2007) gerçekleştirdikleri çalışmada PERG sinyallerinden makula hastalığını tespit edebilen otomatik bir hibrit algılama sistemi (hibrit bir sistem) tasarlanmışlardır. Tasarlanan sistemde PERG sinyallerine K-en yakın komşu (K_NN - K-Nearest Neighbor) bazlı ağırlıklı önişleme yapılarak, en küçük kareler destek vektör makineleriyle sağlıklı ve makula hastalığı bulunan gözlerin sınıflandırılması yapılmıştır. Önerilen sistemde on kat çapraz doğrulamanın kullanılması durumunda en yüksek sınıflandırma doğruluğunun (% 100) elde edilebileceği gösterilmiştir [46]. Miguel-Jimenez ve ark. (2009) mfERG sinyallerinden yapısal model analiziyle elde edilen özellikleri radyal temelli yapay sinir ağları (RTYSA) ile birleştirilerek gözdeki glokomlu kısımların sınıflandırılmasını gerçekleştirmişlerdir. Ortaya koyulan sistemin duyarlılığı %92, özgüllüğü ise %83 olarak tespit edilmiştir [47]. Miguel-Jiménez ve ark. nın (2011) bir başka çalışmasında mfERG sinyalinin morfolojik özellikleri, dalgacık paket analiziyle birleştirilerek glokom hastalığının teşhis edilmesi amaçlanmıştır. RTYSA kullanılarak gerçekleştirilen sistemde hassaslığın %98, özgüllüğün ise %85 olarak bulunduğu belirtilmiştir. Bunun yanı sıra çalışma [47] ile sonuçlar kıyaslanmış olup gerçekleştirdikleri yöntemin başarı yüzdesinin daha yüksek olduğunu belirtmişlerdir [48]. Miguel-Jimenez ve ark. ı (2015) diğer bir çalışmada ise mfERG sinyallerinden SDD ve YSA sınıflandırıcı olarak kullanarak glokom hastalığını doğru teşhis edilebilen bir model önermişlerdir. Modelde sinyallerden SDD'de morlet ana dalgacığıyla elde edilen katsayılar RTYSA'nın girişi olarak kullanılmıştır. Böylelikle önerilen model kullanılarak gözdeki glokomlu kısımların tespitinde %84,4 özgüllük ve %89,4 duyarlılık elde edilmiştir [49].

Boquete ve ark.'ı (2012) da mfERG sinyallerinin morfolojik analizine dayalı olarak glokomlu sektörlerin tespit edilmesine yönelik bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Çalışmada sinyallerin morfolojik özelliklerinden çıkarılan 13 özellik aşırı öğrenme algoritması ile eğitilen bir RTYSA'da giriş olarak kullanılarak modelin sınıflandırma performansı irdelenmiştir. Optimum nöron sayısının 15 olarak tespit edildiği modelde eğitim için %98,2 iken test için %80,7'lik bir sınıflandırma başarımı elde edilmiştir [50]. Bagheri ve ark. (2014) ise fERG sinyallerinden retinal hastalıkların tespit edilebilmesi için ampirik kip yaklaşımı ve YSA' ya dayanan bir model ileri sürmüşlerdir. Modelde iki farklı flaş yoğunluğunda ve 100ms, 200ms ve 500ms sürelerde kaydedilen fERG sinyallerinden ampirik kip yaklaşımı yöntemiyle özellik çıkarımı yapılmıştır. Ardından elde edilen özellikler YSA giriş olarak kullanılarak sağlıklı, renk körü (akromatopsi) ve doğuştan gece körlüğü hastalıklarının sınıflandırılması gerçekleştirilmiştir. Bu doğrultudan farklı flaş yoğunluğundaki sinyallerin birlikte kullanılmasının ve özellik

sayısının azaltılmasının sınıflandırma başarımını düşürdüğü tespit edilmiştir. Aksi durumlar için sınıflandırıcının performansının %100 olduğu gösterilmiştir [51].

Literatürde yapılan bütün çalışmalar göz önüne alındığında sinyal analizi, özellik çıkarma ve sınıflandırma yöntemleri kullanılarak fERG sinyallerinden pek çok göz hastalığına ait tanımlama ve teşhis işlemlerinin gerçekleştirildiği görülmektedir. Ancak görme olayını olumsuz yönde etkileyen obezite ve fERG sinyallerine dair herhangi bir çalışmanın yapılmadığı tespit edilmiştir. Öte yandan obezitenin ölçülmesinde ve derecelendirilmesinde yaygın bir şekilde kullanılan VKİ'nin kişilerin vücut kompozisyonunun ölçüsüne ait doğru bir sonuç vermediği tespit edilmiştir [58]. Ayrıca obezite ile ilişkili sağlık riskinin değerlendirilmesinde VKİ'nin tek başına yeterli olmadığı da literatürde belirtilmiştir [52-55]. Bu bağlamda yapılan tez çalışmasıyla obezite ve seviyelerinin (derecelerin) fERG sinyalleri ile bağlantısı irdelenmiştir. Çalışmada öncelikli olarak Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi Obezite ve Diyabet Uygulama ve Araştırma Merkezinde bulunan Metrovision MonPackOne Elektrokülografi cihazı kullanılarak sağlıklı, fazla kilolu, obez, morbid obez ve süper obez olan bireylerden fERG sinyallerinin alımı gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sinyallerden analizler için Uluslararası Oküler Klinik Elektrofizyoloji Topluluğunun (ISCEV- International Society for Clinical Electrophysiology of Vision) klinik uygulamalarda fERG sinyallerinin değerlendirilmesinde önerdiği rod, maksimum kombine ve koni yanıtları kullanılmıştır. Bu doğrultuda normal bireylere ait bu üç yanıt göz önüne alınarak, kendi laboratuvar ortamımız için istatistiksel analiz yöntemiyle normal değerler belirlenmiştir. Ardından Kısa Zaman Fourier Dönüşümü (KZFD), Sürekli Dalgacı Dönüşümü (SDD) ve Ayrık Dalgacık Dönüşümü (ADD) yöntemleri kullanılarak obezite ve seviyelerinin fERG sinyali üzerindeki etkisi analiz edilmiştir. Son olarak fERG sinyallerinden obezite ve seviyeleri sınıflandırılmasında kullanılmak üzere ADD ve Dalgacık Paket Dönüşümü (DPD) yöntemleriyle özellik çıkarma işlemi gerçekleştirilmiştir. Çıkarılan özellikler geleneksel Yapay Sinir Ağları (YSA) ve parçacık sürü optimizasyonuna (PSO) dayalı YSA modellerinde giriş olarak kullanılarak obezite seviyeleri sınıflandırılmıştır. Kullanılan sınıflandırıcılar için performansı analizleri istatistiksel olarak incelenmiştir. Böylece yapılan tez çalışmasıyla obezite ve seviyelerinin fERG sinyaliyle arasındaki ilişki hem fizyolojik hem de sınıflandırma dayalı olarak ortaya koyulmuştur.

Tez çalışması genel olarak beş bölümden meydana gelmektedir. Bölüm 1 ayrıntılı literatür taramasını ve tezin amacını içeren giriş kısmıdır. Bölüm 2'de gözün anatomik yapısına ait genel

bilgileri, oküler elektrofizyolojik testler hakkında genel bilgi verilmiştir. Ayrıca fERG sinyal ölçümüne ait işlemler hakkında bilgi sunulmuştur. Bölüm 3’de obezite ve obezite ile ilişkili hastalıklara yönelik bilgi verilmiştir. Bölüm 4’de fERG verilerinin elde edilme aşamasında gerçekleştirilen işlemler, analizler için kullanılan sinyal işleme teknikleri (KZFD, ADD, SDD), özellik çıkarma (ADD, DPD) ve sınıflandırma yöntemleri (YSA, PSO) hakkında temel bilgiler sunulmuştur. Bölüm 5’de ise tez çalışmasına ait sonuçlar verilmiştir. Son bölümde, Bölüm 6, elde edilen sonuçlar ve gelecekte yapılacak çalışmalara dair öneriler sunulmuştur.





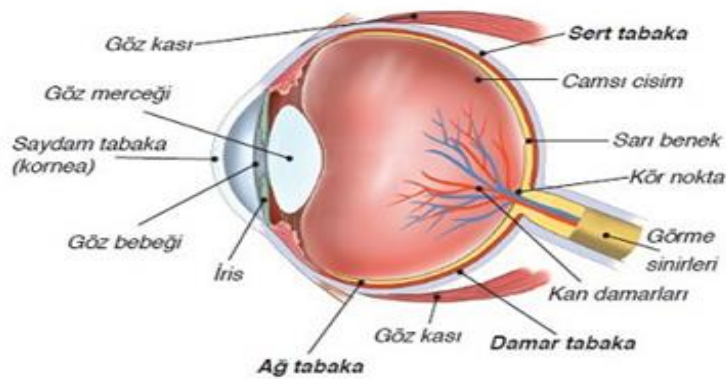
BÖLÜM 2

GENEL BİLGİLER

2.1 GÖZ

İnsan beyninin bir uzantısı olan göz, ışık vasıtasıyla dış dünyanın algılanmasını sağlayan bir duyu organıdır. Kafatasında orbita adı verilen kemik yuvasına yerleşmiş olan gözlerin her birisi yaklaşık 126 milyon ışığa duyarlı sinir hücrelerini bünyesinde barındırmaktadır. Fotoreseptör olarak adlandırılan bu özelleşmiş hücreler gözün gördüğü görünür ışığı elektrokimyasal enerjiye dönüştürerek beynin görüntü oluşturmalarını sağlamaktadır [56].

Yaklaşık küre şeklinde olan gözün çapı 2-2,5 cm, ağırlığı ise ortalama 10-12 gramdır. [57, 58]. Gözün yalnızca ön yüzü dış ortam ile etkileşim halinde olup, istenildiğinde bu kısım göz kapakları ile kapatılabilir. Gözün arka yüzünü ise yağ ve bağ dokusu ile kaplamaktadır. Gözün hareketini yağ dokusunu çevreleyen zarın üzerindeki altı adet göz kası sağlamaktadır [59, 60]. Göz dıştan içe doğru sert tabaka, damar tabaka ve ağ tabaka olmak üzere üç ana tabakadan oluşmaktadır. Şekil 2.1’de gözün yapısı ve bölümleri gösterilmiştir.



Şekil 2.1 Gözün yapısı ve bölümleri [57].

2.1.1 Sert (Dış) Tabaka

Gözün en dış kısmında yer alan sert ve dayanıklı tabakadır. Bağ dokudan oluşan bu tabaka kornea ve sklera olmak üzere iki kısımdan meydana gelmektedir.

2.1.1.1 Kornea

Kornea, sert tabakanın ön tarafında yer alan saydam ve şişkin olan kısımdır. Göze gelen güneş ışığının ilk ve en çok kırıldığı bölümdür. Bundan dolayı gözün net görmesinde en büyük paya sahiptir [58, 60-62].

2.1.1.2 Sklera

Sklera, gözün dışarıdan görünen beyaz kısmı olup, göze biçimini ve sağlamlığını veren temel yapıdır. İki delikli bir küre şeklinde olan skleranın ön kısımdaki deliğinde kornea, iris ve gözbebeği, arka deliğinde ise optik sinir ve göz içi damarları yer almaktadır. Göz içinin karanlık oda gibi davranmasına neden olan yapısı aynı zamanda göze hareket edebilme yeteneği sağlamaktadır. Sklera etrafındaki altı adet kas ile tutulmakta ve bu kaslar sayesinde göz bebeği (yani ışığın göze girdiği kısım) istenilen yöne doğru çevrilebilmektedir [60, 62].

2.1.2 Damar (Orta) Tabaka

Skleranın iç kısmında yer alan damar tabaka, gözü besleyen kan damarları ve pigmentlerce zengin olan tabakadır. Yapısındaki yoğun pigmentler nedeniyle siyah olarak görünmektedir. Işık emilimi sayesinde göz içinde ışığın yansımaları önlemekte ve görüntüye netlik kazandırmaktadır. Damar tabakanın iris, kirpiksi cisim ve choroidea olmak üzere üç kısmı bulunmaktadır.

2.1.2.1 İris

İris yapısındaki yoğun renk pigmentleri sayesinde göze rengini veren damarlı yapıdır. İrisin ortasında göz bebeği (pupilla), arka tarafında ise göz merceği (lens) yer almaktadır. Siyah görünümlü göz bebeği, göze gelen ışık miktarına bağlı olarak iristeki kasların kasılıp

gevşemesiyle birlikte daralmakta veya genişlemektedir. Saydam ve damarsız bir yapıya sahip olan lens ise kasılıp gevşeyerek odaklamada ince ayar yapmaktadır [59, 60, 63, 64].

2.1.2.2 Kirpiksi Cisim

Damar tabakanın ön dış bölümü olan kirpiksi cisim, düz kaslardan ve bağ dokudan oluşmaktadır. Yapısında yumak şeklinde damarlar ve kirpiksi cismin gerilip gevşemesini sağlayan kaslar bulunmaktadır. Bu kaslar sayesinde göz merceğinin göze gelen ışığa karşı uyumu sağlanmaktadır [65].

2.1.2.3 Choroidea

Choroidea, kirpiksi cismin hemen arkasında yer almaktadır. Damar tabakanın en geniş kısmını oluşturan choroideanın temel görevi yapısındaki zengin damar dokusu ile retinayı beslemektir.

2.1.3 Ağ Tabaka (Retina)

Retina, göz duvarının en iç kısmında yer alan cam saydamlığındaki tabakadır. Görme olayının gerçekleştiği bu tabakanın yapısında ışığa karşı hassas olan reseptörler ve sinir hücreleri yer almaktadır. Göz merceğinde kırılıp ağ tabaka üzerine düşürülen ışık, bu tabakada yer alan sinir hücreleri tarafından elektrokimyasal enerjiye dönüştürülmektedir. Ardından bu enerji optik sinirler vasıtasıyla beyne aktarılmaktadır [66, 67]. Sarı benek ve kör nokta ağ tabakada yer alan yapılardır.

2.1.3.1 Sarı Benek (Makula)

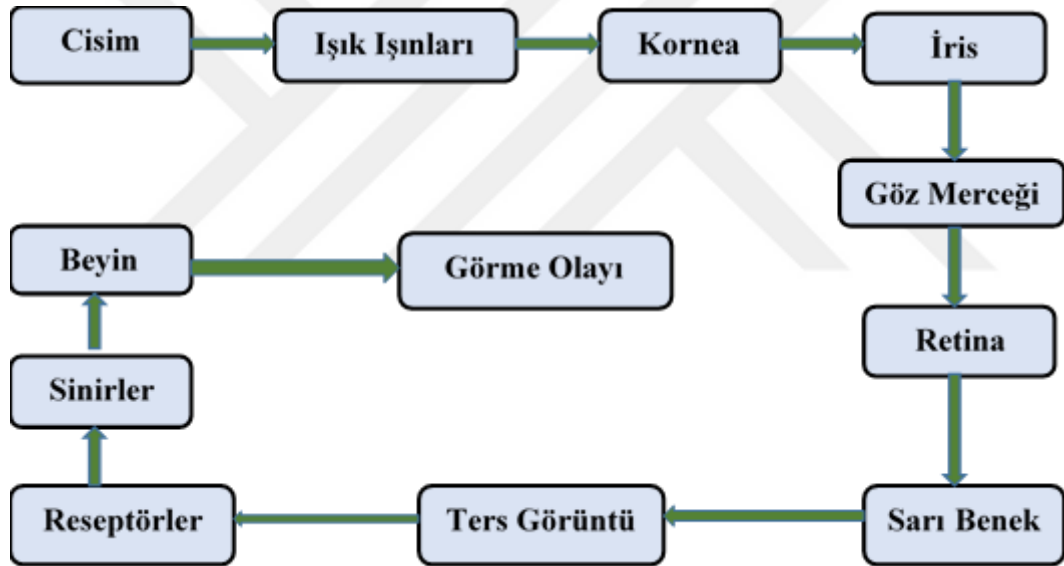
Sarı benek, göz bebeğinin hemen karşısında yer almaktadır. Ağ tabaka içerisinde görüntünün en net olduğu kısım olup, elde edilen görüntü ters şekildedir. Sarı beneğin yapısında rod ve koni olarak adlandırılan görme duyu hücreleri yer almaktadır. Rod hücreleri cisimlerin şekillerini algılayan, karanlıkta iyi görmeyi sağlayan ancak renklere karşı duyarlı olmayan bir yapıdadır. Koni hücreleri ise aydınlıkta, yeterli ışık şiddetine bağlı olarak renkli görmeyi sağlayan hücrelerdir [65, 67].

2.1.3.2 K r Nokta

K r nokta sarı beneğin alt kısmında yer alan, görmeden sorumlu duyu sinirlerinin gözden çıktığı yapıdır. Yapısında herhangi bir duyu h creti olmadığından bu noktada görüntü oluşumu gerçekleşmemektedir [67].

2.2 GÖRME F ZYOLJİSİ

Beş duyu organından biri olan gözün, cisimleri şekillerine ve renklerine bağlı olarak ayırt etmesini sağlayan fizyolojik süreç görme olarak adlandırılmaktadır. Görme olayı göz ve beyin arasındaki koordinasyona bağlı olarak gerçekleşmekte olup, aşamaları şekil 2.2’de gösterilmiştir.



şekil 2.2 Görme olayı.

şekil 2.2’den görüldüğü üzere cisimlerden yansıyan ışınlar öncelikli olarak kornea tabakasına gelir. Burada gelen ışınlar ilk kırınımına  ğradıktan sonra irise geçerler. Ardından ışınlar göz bebeğinden geçerek göz merceğine ulaşır. Burada ikinci defa kırınımına  ğrayan ışınlar ağ tabakadaki sarı benekte ters bir görüntü oluşturur. Sarı benek üzerinde bulunan reseptörler vasıtasıyla ışınlar sinir darbelerine (impulslarına) dönüştürülür. Elde edilen impulsler optik sinirler yardımıyla gözden beyine doğru aktarılır. Ters olarak aktarılan görüntü beyinde düz bir şekilde algılanır ve bu şekilde görme olayı meydana gelir.

2.3 OKÜLER ELEKTROFİZYOLOJİ

Görme, ışığın göze ait tabakalardan geçerek retinaya ulaşması sonucu oluşan elektrokimyasal sinyallerin beyinde analiz edilmesiyle ortaya çıkan bir duyumdur (süreçtir) [68]. Son yıllarda göz ait fonksiyon bozuklarının teşhis edilmesinde oküler elektrofizyolojik testler sıklıkla kullanılmaktadır. Bu testler retina pigment epitelinden oksipital kortekse kadar olan bütün görme yollarının değerlendirilmesine olanak sağlamaktadır [25]. Klinik araştırmalarda sıklıkla Görsel Uyarılmış Potansiyel (GUP), Elektrookülografi (EOG) ve Elektoretinografi (ERG) kullanılmaktadır. Bu testler genel anlamda kalıtsal, nörooftalmolojik ve retinal damar hastalıklar ile retinopatilerin tanısında kullanılmaktadır [69, 70].

2.3.1 Görsel Uyarılmış Potansiyel

GUP, retinadan beyindeki görme merkezine kadar olan görme yollarının incelenmesinde kullanılan elektrofizyolojik testtir. Burada kafa derisine yerleştirilen iğne veya yüzeysel elektrotlar kullanılarak ortaya çıkan elektriksel potansiyeller kayıt altına alınmaktadır [71]. Uyarıcıya bağlı olarak testin flaş GUP ve desen (patern) GUP olmak üzere iki çeşidi bulunmaktadır. Flaş GUP'ta göz belirli aralıklarla yanıp sönen flaş bir ışık ile uyartılmaktadır. Buna karşılık desen GUP'ta ise uyarıcı olarak dama tahtasına benzer siyah beyaz karelerden oluşan ve bu karelerin siyahtan beyaza, beyazdan siyaha dönüştüğü desenler kullanılmaktadır. GUP ile görme keskinliği, ambliopiler (tembel göz), optik sinir hastalıkları, vasküler hastalıklar nörolojik hastalıklar, renk körlüğü, refraksiyon (kıırma) bozuklukları ve görme alanı kusurlarıyla ilgili diğer muayene yöntemlerine kıyasla daha kapsamlı bilgiler elde edilmektedir [25, 60].

2.3.2 Elektrookülografi

EOG, kornea (negatif yüklü) ile retina (pozitif yüklü) arasındaki dinlenme potansiyelinin kayıt altına alındığı elektrofizyolojik testtir. Göz hareketlerine bağlı olarak değişim gösteren dinlenme potansiyeli, gözün iç ve dış kısımlarına yerleştirilen elektrotlar vasıtasıyla ölçülmektedir. Klinikte EOG, pigment epitelinin primer distrofileri, toksik retinopatileri, fotoreseptör distrofileri, koroid distrofileri, retina ayrılması ve vasküler hastalıklarının değerlendirilmesinde kullanılmaktadır [60, 72].

2.3.3 Elektoretinografi

Retina içinde yer alan hücrelerin ani bir uyararla uyarılması sonucu retinada oluşan elektriksel yanıtın kaydedilmesine ERG denilmektedir [28, 68, 73]. Bu ölçüm tekniğiyle kornea üzerine veya yakınına yerleştirilen elektrotlar kullanılarak retinanın değişik tabaklarında oluşan elektriksel potansiyeller kayıt altına alınmaktadır. ERG'nin, uyarın tipine bağlı olarak flaş ERG (fERG), patern ERG (PERG) ve multifokal ERG (mfERG) olmak üzere üç çeşidi bulunmaktadır [74].

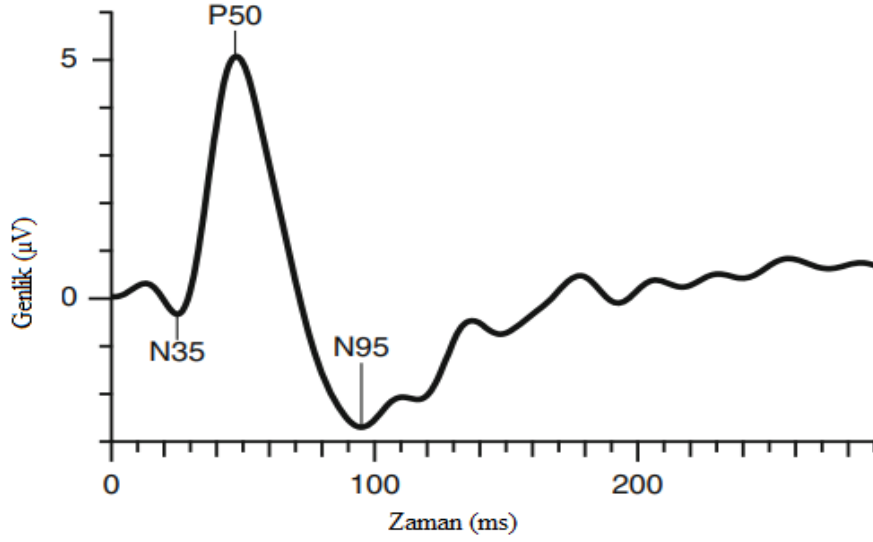
2.3.3.1 Elektoretinografi Tarihi

Reymond, 1849 yılında kornea ile gözün arka segmenti arasında 6 mV'lık bir elektriksel potansiyelin varlığını tespit etmiştir. 1865 yılında İsveçli fizyolog Holmgren tarafından ışık uyarandaki değişimlerin retinanın elektriksel aktivitesinde değişikliğe neden olduğunu ortaya koymuştur. İnsandan alınan ilk başarılı ERG kaydı 1877 yılında Dewar tarafından gerçekleştirilmiştir [38]. Bunu takiben 1880 yılında Kuhne ve Steiner reseptör tabakasının ERG yanıtlarının kaynağı olduğunu tespit etmişlerdir. 1924 yılında ise Kahn ve Löwenstein tarafından insana ait ERG sinyalinin kaydı yayınlanmıştır [75, 76]. Granit hayvanlar üzerinde yaptığı araştırmalar sonucunda PI, PII ve PIII olarak adlandırılan ERG bileşenlerini ortaya koymuştur [60]. ERG kayıtlarında kontak lens kullanımı ilk defa 1941'de Rigs tarafından gerçekleştirilmiştir. 1950'den itibaren güvenilir yükseltici ve kontak lenslerin gelişmesiyle birlikte ERG klinik araştırmalarda yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır. 1970'den sonra gözün alt kapağına yerleştirilen eğilebilir elektrotların kullanılmaya başlanmasıyla daha iyi ERG kayıtları elde edilmiştir [50, 77].

2.3.3.2 Patern Elektoretinografi

PERG, belirli bir düzende hareket eden dama tahtası veya çubuklar şeklinde bir desen uyarana karşı retinadan elde edilen kitlesel yanıtın elde edildiği ölçüm tekniğidir. Bu teknik gangliyon hücrelerinin fonksiyonlarını doğrudan yansıtmassından dolayı makula ve ön görme yollarının değerlendirilmesinde sıklıkla tercih edilmektedir [78]. Normal bir PERG yanıtı 3 dalgadan meydana gelmektedir (Şekil 2.3). Yanıtta yer alan ilk küçük negatif genliğe sahip ve en geç 35. ms'de gözlemlenen dalga N35 olarak adlandırılmaktadır. Bu dalganın ardından büyük pozitif

genlikli P50 dalgası oluşmakta olup, 50. ms'de ortaya çıkmaktadır. Son olarak ise 100. ms'de büyük negatif genliğe sahip N95 dalgası gözlenmektedir [79].

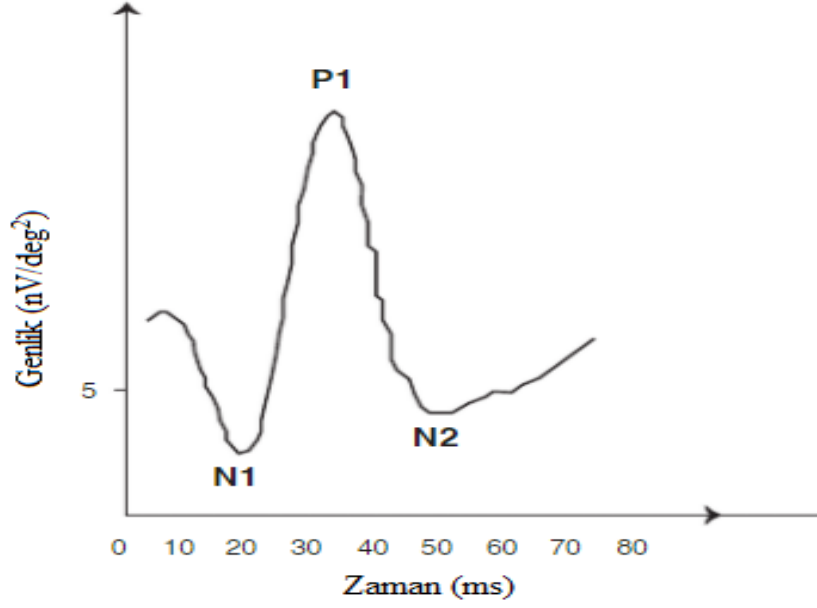


Şekil 2.3 PERG kaydından elde edilen tipik bir sinyal örneği [80].

2.3.3.3 Multifokal Elektoretinografi

mfERG, retinanın lokal bölgelerinin elektrofizyolojik aktivitesini topografik ölçümler ile ortaya koyan bir testtir. Bu testle tek bir çekimde çapraz-korelasyon tekniği kullanılarak eşzamanlı olarak 61 ya da 103 lokal ERG kaydı alınabilmektedir [81]. Uyaran olarak altıgenlerden oluşan bir desenin kullanıldığı testin cevapları elektrotlar vasıtasıyla kayıt edilmektedir.

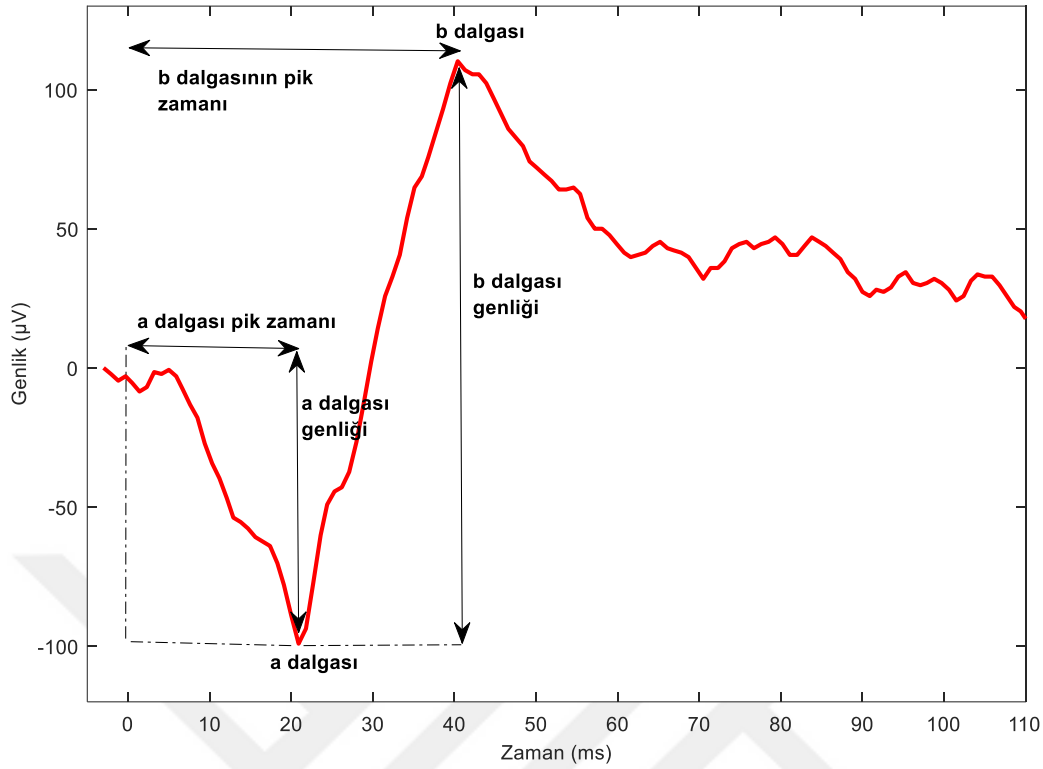
Normal bir mfERG yanıtı birinci kernel olarak bilinen negatif sapma ile başlayıp ardından pozitif pikin geldiği bir dalga şekline sahiptir. (Şekil 2.4). Yanıttaki ilk negatif dalga N1, ardından gelen pozitif dalga P1 ve P1'i takip eden ikinci negatif sapma ise N2 olarak adlandırılmaktadır [82, 83].



Şekil 2.4 mfERG kaydından elde edilen tipik bir sinyal örneği [84].

2.3.3.3 Flaş Elektoretinografi

Flaş Elektoretinografi (fERG), retinanın bir ışık flaşıyla uyarılması sonucu retinada meydana gelen elektriksel potansiyelin kayıt altına alınmasıdır. Bu doğrultuda elde edilen fERG sinyali “a”, “b”, “c” ve “d” olarak adlandırılan dalgalar ile osilatör potansiyellerinden oluşmaktadır. Bunların içerisinde “a” dalgası fotoreseptör hücrelerinin, “b” dalgası bipolar ve müller hücrelerinin, “c” dalgası pigment epitelium tabakasının ve osilatör potansiyeli ise amakrin hücrelerinin yanıtı göstermektedir. “d” dalgası ise uyarımın bittiği andaki kapama yanıtıdır. Klinik araştırmalarda çoğunlukla fERG’nin iki ana bileşeni olan “a” ve “b” dalgaları değerlendirilmektedir [52, 85, 86]. Şekil 2.5’de normal (sağlıklı) bir bireye ait fERG sinyali gösterilmiştir.



Şekil 2.5 Normal bir bireye ait tipik fERG yanıtı.

Şekil 2.5’den görüleceği gibi uyartımın verildiği andan sonra ortaya çıkan, ilk ve en büyük negatif genliğe sahip olan dalga “a” dalgasıdır. Bu dalgaya ait genlik değeri uyaran verilmeden önceki taban çizgisinden en büyük negatif genliğin olduğu tepe değerine kadar ki ölçüm sonucudur. Dalganın oluşum zamanı ise uyartım verildiği andan “a” dalgasının tepe değerine ulaşınca kadar geçen süredir. Bu dalganın hemen ardından ise en büyük pozitif genlikli “b” dalgası oluşmaktadır. “b” dalganın tepe noktasından “a” dalgasının tepe noktasına kadar olan genlik değeri “b” dalgasının genlik değeri iken, uyartımın başlangıcından “b” dalgasının tepe değerine ulaşınca kadar ki süre de “b” dalgasının oluşum zamanını ifade etmektedir. Dalgalara ait genlik ve oluşum süreleri retinal hastalıkların türlerine göre farklılıklar göstermektedir [37, 38, 40, 87].

ISCEV standartları kapsamında klinik araştırmalarda fERG ile beş farklı yanıt alınabilmektedir. Bunlar rod, maksimum kombine, koni, osilatör potansiyeli ve 30 Hz fliker yanıtlarıdır [39, 88].

Rod yanıtı; karanlık adaptasyon sürecinden sonra şiddeti azaltılmış standart flaşla elde edilen yanıttır. Koni hücrelerinin eşik değerinin çok altında bir uyaranın kullanılmasından dolayı bu

yanıt sadece rod hücrelerinin aktivitesini yansıtmaktadır. Rod yanıtında “a” dalgası net bir şekilde gözlenemez iken, geç başlangıçlı olacak şekilde “b” dalgası görülebilmektedir. Maksimum kombine yanıt; karanlık adaptasyon ardından standart bir flaş kullanılmasıyla fotoreseptör hücrelerinin (rod ve koni hücrelerinin) tepkisini yansıtmaktadır. Bu yanıtta büyük genlikli “a” ve “b” dalgaları görülmektedir. Koni yanıtı, aydınlık adaptasyon sonrası standart bir flaş uyararla elde edilen yanıttır. Koni hücreleri yansıtan bu yanıtta, hem “a” hem de “b” dalgası görülmektedir. Osilatör potansiyeli, karanlık adaptasyon ardından standart flaş kullanılması sonucu amakrin hücrelerinden elde edilen yanıttır. 30 Hz Fliker yanıtı ise aydınlık adaptasyon sonrası 30 Hz’lik frekansa sahip flaş bir uyararla koni hücrelerinden elde edilen yanıttır [60].



BÖLÜM 3

OBEZİTE VE GÖZ

3.1 OBEZİTE

Obezite, vücuttaki yağ miktarının aşırı ölçüde birikmesine bağlı olarak ortaya çıkan ve müdahale edilmemesi halinde çok ciddi sağlık problemlerine yol açabilen bir metabolik hastalıktır [89]. Çağın en büyük sorunlarından biri olan obezite gelişmiş ve gelişmekte olan ülkeler başta olmak üzere tüm ülkelerde bir epidemi durumuna gelmiştir [90]. Obezitenin artmasının başlıca nedenleri gelişen teknolojiyle birlikte, yaşam standartlarının kolaylaşması ve buna bağlı olarak da azalan fiziksel aktiviteleri ve değişen besleme alışkanlıklarıdır.

DSÖ tarafından açıklanan verilere göre son 35 yılda obezite prevalansı ikiye katlanmıştır. Ülkemizde de yaşam standartlarının değişmesiyle birlikte obezitenin görülme sıklığı giderek artmaktadır. TÜİK'in 2019 yılındaki Türkiye Sağlık Araştırması raporuna göre ülkemizdeki kadınların %24,8'i obez, %30,4'ü fazla kilolu iken erkeklerin %17,3'ü obez, %39,7'si fazla kiloludur [6].

Günümüzde çoğunlukla obezite tanısının konulmasında ve seviyesinin belirlenmesinde DSÖ tarafından esas alınan VKİ kullanılmaktadır [1, 91]. VKİ kilogram (kg) cinsinden vücut ağırlığının metre (m) cinsinden boyun karesine bölünmesiyle hesaplanmaktadır. DSÖ' nün VKİ' ye göre yetişkinler için belirlediği obezite seviyeleri (dereceleri) Çizelge 3.1' de gösterilmiştir [92].

Çizelge 3.1 DSÖ'nün yetişkinler için VKİ'ye göre tanımladığı obezite seviyeleri.

OBEZİTE SEVİYELERİ	VKİ (kg/m ²)
Zayıf	<18
Sağlıklı	18-24.9
Fazla Kilolu	25-29.9
Obez	30-39.9
Morbid Obez	40-49.9
Süper Obez	>50

3.1 OBEZİTE VE GÖZ

Karmaşık ve multifaktöriyel bir hastalık olan obezite dünya çapında zayıflıkla değil genel olarak ölümle bağdaştırılmaktadır. Dünya nüfusunun yaklaşık %65'inin obezite kaynaklı ölümlerin görüldüğü ülkelerde yaşadığı bilinmektedir [93]. Önlenebilir bir sağlık sorunu olan obezite, başta diyabet olmak üzere kardiyovasküler hastalıklar, bazı kanser türleri (kadınlarda safra kesesi, endometriyum, yumurtalık ve meme kanserleri, erkeklerde ise kolon ve prostat kanserleri), felç, uyku apnesi, karaciğer yağlanması, astım, solunum zorluğu, gebelik komplikasyonları ve ruhsal sorunlar gibi birçok sağlık sorununa neden olmaktadır [94-101]. Obezitenin genel vücut sağlığı kadar görme sistemi üzerinde de olumsuz etkileri olduğu bilinmektedir. Göz hastalıkları arasından katarakt, yaşa bağlı makula dejenerasyonu, diyabetik retinopati, göz tansiyonu (glokom) ve sarı nokta hastalığının (makula dejenerasyonu) obezite ile bağlantılı olduğu kanıtlanmıştır [8-24]. Obezitenin görme sistemi üzerindeki etkileri araştırılması devam eden bir çalışma alanıdır [24].

3.2.1 Katarakt

Katarakt, gözün net görmesini sağlayan şeffaf yapıdaki merceğin saydamlığını kaybedip matlaşması sonucu görme bozukluğuna sebep olan bir göz hastalığıdır. Dünya çapında görme bozukluğunun en önde gelen nedenlerinden biri olarak gösterilmektedir. DSÖ tarafından 18 milyon insanın kör olma sebebinin katarakt oluşumuna bağlı olduğu ileri sürülmüştür [21, 24, 102-104].

3.2.2 Yaşa Bağlı Makula Dejenerasyonu

Retinanın merkezinde görmeden sorumlu makula bölgesinin yaşa bağlı olarak bozulması sonucu ortaya çıkan retinal bir hastalıktır. Özellikle 65 yaşından sonra sık görülen bu hastalığın ilerlemesiyle birlikte körlüğe sebep olacak görme kayıpları meydana gelmektedir. Gelişmiş ülkelerde yaşlı nüfus üzerinde körlüğe sebep olan en önemli hastalıklardan biridir [105].

3.2.3 Diyabetik Retinopati

Diyabet (şeker hastalığı) insülin hormonunun yetersizliğine bağlı olarak meydana gelen kronik bir hastalıktır. Uluslararası Diyabet Federasyonu tarafından 2019 yılı için ortaya konulan verilere göre 20-79 yaş aralığındaki bireylerin yaklaşık 463 milyonu diyabetlidir. Bunun yanı sıra 2045 yılında bu sayısının 700 milyona ulaşacağı öngörülmektedir [106]. Diyabetik retinopati, diyabetin komplikasyonuna bağlı olarak ortaya çıkan yaygın bir göz hastalığıdır. Tüm yaş grupları için en önemli görme kayıplarından bir tanesi olan diyabetik retinopatinin erken tanı ve teşhisi, hastalığın ilerlemesinin önüne geçilmesinde ve görme kayıplarının azaltılmasında büyük önem taşımaktadır [107].

3.2.4 Glokom (Göz Tansiyonu)

Glokom, gözün iç basıncının gereğinden fazla yükselerek görme sinirlerinin tahrip olması sonucu görmeye kayıplarına sebep olan bir optik sinir hastalığıdır. Geri dönüşü olmayan körlüğe sebep olan hastalıklar arasında ikinci sırada yer alan bu hastalık 40-60 yaş arasındaki nüfusun %5'ini etkilemektedir. Dünya çapında 70 milyon insanın glokom hastası olduğu ve yaklaşık 6,5 milyon insanın bu hastalık yüzünden görme yetisini kaybettiği bilinmektedir. Türkiye'de ise bu hastalığın görülme sıklığı %2-2,5 iken, 550 bin bireyinde glokom hastası olduğu tespit edilmiştir [50, 108].

3.2.5 Makula Dejenerasyonu (Sarı Nokta Hastalığı)

Makula dejenerasyonu, keskin görmeden sorumlu olan makulanın (sarı nokta) bozulması sonucu ortaya çıkan retinal bir hastalıktır. Bu hastalık gelişmiş ülkelerde özellikle ileri yaşlarda geri dönüşümsüz görme kayıplarının en sık görülme nedenlerindendir [109]. 2020 yılında 196

milyon ve 2040 yılında ise 288 milyon insanın makula dejenerasyonu hastası olacağı ileri sürülmektedir [110].



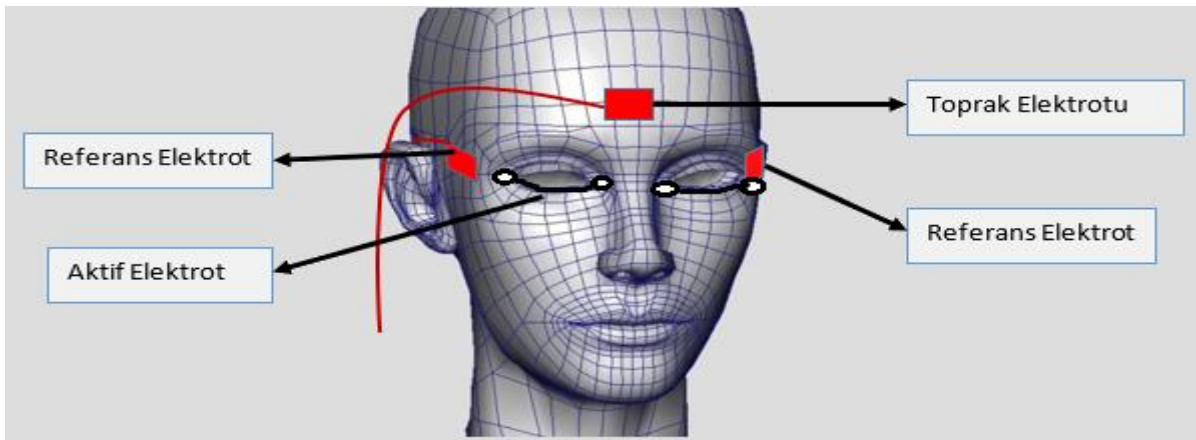
BÖLÜM 4

MATERYAL VE METOD

4.1 VERİLERİN ELDE EDİLMESİ

Bu çalışma Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi Obezite ve Diyabet Uygulama ve Araştırma Merkezi' ne başvuran 47 bireyin fERG sinyallerini içermektedir. Bireylerin yaşları 18 ila 70 arasında değişmektedir. Gerçekleştirilecek olan tetkikler öncesinde yazılı onayları alınan bireylerin oftalmolojik testleri uzman bir hekim tarafından yapılmıştır. Ölçümler, “Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi İnsan Araştırmaları Etik Kurulu” ile “Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi Klinik Araştırmalar Etik Kurulu” ndan alınan izinler doğrultusunda ISCEV standartlarına uygun olarak gerçekleştirilmiştir.

Bireylerin fERG sinyallerinin kaydedilmesinde Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projesi (ZBEÜ-BAP) kapsamında tedarik edilen Metrovision MonPackOne Elektrokülografi cihazı kullanılmıştır. Bu kapsamda ölçüm esnasında, bireyin konjektivasına Dawson-Trick-Litzkow (DTL) aktif elektrotu, alınının ortasına toprak elektrotu ve gözün yan kısımlarına da referans elektrotları yerleştirilmiştir (Şekil 4.1).



Şekil 4.1 fERG ölçümünde elektrotların yerleşimi.

Bireylerden fERG sinyallerinin alınmasında aşağıdaki işlem basamakları uygulanmıştır:

- 1) Bireyin gözleri en az yarım saat olacak şekilde dilate edilir.
- 2) Bireyin alnı ve gözlerinin yan tarafları jel ile temizlenir.
- 3) Alnın ortasına toprak elektrotu, gözlerin yan kısmına da referans elektrotları yerleştirilir.
- 4) Göze alkalın damlatılıp fERG elektrotları gözün alt iç kısmına doğru yerleştirilir.
- 5) Birey yarım saat karanlık odada bekletilerek, karanlık adaptasyon süreci tamamlanır.
- 6) Karanlık adaptasyon sonunda farklı seviyelerde flaş ışıklar atılarak fERG sinyalleri kaydedilir.
- 7) Birey on beş dakika aydınlıkta bekletilerek, aydınlık adaptasyon süreci tamamlanır.
- 8) Aydınlık adaptasyon sürecinden sonra farklı seviyelerde flaş ışıklar atılarak fERG sinyalleri kaydedilir.

Bu doğrultuda tez kapsamında kullanılmak üzere normal (10 kişi), fazla kilolu (10 kişi), obez (10 kişi), morbid obez (10 kişi) ve süper obez (7 kişi) bireylerin fERG kayıtlarını içeren bir veri seti oluşturulmuştur.

4.2 SİNYAL İŞLEME

İnsan vücudundaki organlardan kaydedilen biyosinyaller, çıplak gözle ayırt edilemeyen önemli bilgiler içermektedir. Bu bilgilerin oluşmasına sebep olan sinyale ait karakteristik özelliklerin ortaya çıkarılması, vücuttaki fizyolojik süreçlerin anlaşılmasına katkı sağlamaktadır. Bu bağlamda farklı sinyal işleme teknikleri uygulanarak, sinyallere ait olan özellikler zaman ve frekans bölgesinde eş zamanlı olarak analiz edilmektedir. Böylelikle mevcut sinyal işleme teknikleri içerisinde en uygun olanı belirlenerek, uzman hekimlere doğru tıbbi tanı ve teşhisin konulmasında yardımcı bir destek yöntemi sunulmaktadır.

4.2.1 Frekans Bölgesi Analizi

Sinyallerin karakteristik bilgilerinin ortaya çıkarılmasında zaman bölgesinde yapılan analizlerin yeterli olmadığı durumlarda frekans bölgesinde analizler yapılmaktadır. Literatürde; Elektroensefalografi (EEG), Elektromiyografi (EMG), Elektrokardiyografi (EKG) gibi biyomedikal sinyallerin frekans analizlerinin yapılmasının hastalık tanı ve teşhisinin konulmasında daha anlamlı bilgiler ortaya koyduğu tespit edilmiştir [111].

4.2.1.1 Fourier Dönüşümü

Fourier dönüşümü (FD), sinyalin frekans bölgesindeki karakteristiğini inceleyen bir yöntemdir. FD ile sinyal zaman bölgesinden frekans bölgesine aktarılmaktadır. Bu yöntemde sinyalin zaman bilgisi kaybolurken, sadece zamana ait frekans bilgisi kalmaktadır. Durağan sinyallerin analizinde önemli bir yer tutan FD'nin temel denklemi aşağıda verilmiştir:

$$X(f) = \int_{-\infty}^{+\infty} x(t)e^{-2\pi ift} dt \quad (4.1)$$

Burada $x(t)$ zaman serisini (sinyal), t zamanı, f ise frekansı göstermektedir [112,113].

4.2.2 Zaman-Frekans Bölgesi Analizi

Zaman-frekans analizi, biyomedikal sinyaller gibi durağan olmayan sinyallerin önemli bilgilerini elde etmek için kullanılan güçlü bir yöntemdir. Bu analizle sinyallerin hem zaman bölgesindeki hem de zamana bağlı frekans bölgesindeki bilgileri ortaya koyulmaktadır [114-116].

4.2.2.1 Kısa Zamanlı Fourier Dönüşümü

FD'de zaman bilgisinin kaybolması, ilgili frekansın hangi zaman diliminde oluştuğuna dair bilginin de kaybolmasına neden olmaktadır. FD'deki bu durumun önüne geçebilmek için Kısa Zamanlı Fourier Dönüşümü (KZFD) geliştirilmiştir. KZFD'de sinyal tek bir pencere fonksiyonuyla çarpılarak, pencere fonksiyonunun altında kalan alanın FD'si alınmaktadır. Böylelikle sinyalin hem zaman hem de zamana ait frekans bilgisi elde edilmektedir. KZFD'ye ait matematiksel eşitlik aşağıda verilmiştir [113].

$$KZFD(t, f) = \int_{-\infty}^{+\infty} x(t) w(t - K) e^{-2\pi ift} dt \quad (4.2)$$

Burada $x(t)$ zaman serisini (sinyal), $w(t-K)$ t zaman ekseninde K noktasındaki pencere fonksiyonunu, f ise frekansı temsil etmektedir. Dönüşümde pencere fonksiyonun uzunluğunun kısa seçilmesi halinde düşük frekans ve yüksek zaman çözünürlüğü; pencere uzunluğunun uzun

seçilmesi durumunda ise yüksek frekans ve düşük zaman çözünürlüğü elde edilmektedir [117,118].

4.2.3 Dalgacık Analizi

KZFD’de, pencere fonksiyonunun boyutunun sabit olması nedeniyle tüm zamanlarda sabit bir çözünürlük elde edilmektedir. Bu durum sinyale ait zaman ve frekans bileşenlerinin doğru tespit edilmemesine neden olabilmektedir. Bundan dolayı değişken boyutlu pencereye yapısına sahip dalgacık dönüşümü yöntemi geliştirilmiştir. Diğer yöntemlerden farklı olarak dalgacık dönüşümünde sinyal analizinde zaman-ölçek metodundan yararlanılmaktadır. Böylelikle yavaş değişime karşılık gelen alçak frekanslarda geniş boyutlu pencere fonksiyonu, hızlı değişime karşılık gelen yüksek frekanslarda ise dar boyutlu pencere fonksiyonu kullanılmaktadır [112]. Bu sayede tüm frekans bileşenleri için en uygun zaman-frekans çözünürlüğü elde edilebilmektedir [111, 118]. Dalgacık dönüşümünün Sürekli Dalgacık Dönüşümü (SDD) ve Ayırık Dalgacık Dönüşümü (ADD) olmak üzere iki çeşidi bulunmaktadır.

4.2.3.1 Sürekli Dalgacık Dönüşümü

SDD, sinyalin bütün zaman boyunca ölçeklendirilmiş ve ötelenmiş dalgacık fonksiyonuyla çarpımının toplanmasıyla elde edilmektedir. SDD işlemine ait matematiksel ifade Eşitlik 4.3’de verilmiştir.

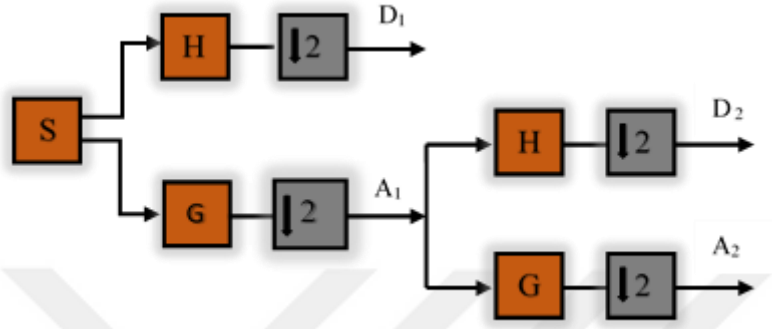
$$SDD(s, \tau) = \frac{1}{\sqrt{s}} \int_{-\infty}^{+\infty} x(t) \psi\left(\frac{t - \tau}{s}\right) dt \quad (4.3)$$

Burada $x(t)$ sinyal, ψ dalgacık fonksiyonu, τ öteleme parametresi, s ise ölçeklendirme parametresidir. SDD’de, ana dalgacık ölçeklendirildiğinden dolayı pencere fonksiyonu değişken boyutlu hale gelmektedir. Böylelikle yüksek frekanslar için küçük ölçeklendirme, düşük frekanslar için yüksek ölçeklendirme elde edilmektedir [119, 120].

4.2.3.2 Ayırık Dalgacık Dönüşümü

ADD, SDD’deki değişken ölçek parametrelerinin yerine alçak ve yüksek geçiren filtrelerinin kullanıldığı matematiksel bir yöntemdir. ADD’de sinyalin, yüksek geçiren filtreden geçirilmesi

sonucu yüksek frekans, alçak geçiren filtreden geçirilmesi sonucu ise düşük frekans bileşenleri elde edilmektedir. Bu doğrultuda elde edilen düşük ölçekli yüksek frekanslı bileşenler detay katsayısı (detail, D) , yüksek ölçekli alçak frekanslı bileşenler ise yaklaşım (approximation, A) katsayısı olarak adlandırılmaktadır. Şekil 4.2’de bir sinyalin 2. seviyeden ADD yöntemiyle ayrıştırılması gösterilmiştir.



Şekil 4.2 2. seviyeden ADD’ye ait ayrışım ağacı

Şekil 4.2’de S orjinal sinyal, G alçak geçiren filtre ve H ise yüksek geçiren filtredir. ADD yönteminde ilk olarak orijinal sinyal (S), alçak ve yüksek geçiren filtrelerden geçirilerek sırasıyla yaklaşım (A) ve detay (D) katsayılarına ayrıştırılır. Ayrıştırma sonucu elde edilen yaklaşım katsayıları için benzer işlemler ayrıştırılmak istenilen seviyeye kadar tekrarlanmaktadır [118]. ADD aşağıda verilen matematiksel ifadeyle hesaplanmaktadır.

$$ADD(s, \tau) = 2^{-\frac{s}{2}} \int_{-\infty}^{+\infty} x(t) \psi(2^{-s} t - \tau) dt \quad (4.4)$$

Burada $x(t)$ sinyal, ψ dalgacık fonksiyonu, τ öteleme parametresi ve s ölçeklendirme parametresidir [121].

4.3 ÖZELLİK ÇIKARIMI

Özellik çıkarımı, sinyalleri en iyi karakterize eden bilgilerin (sinyalle ait özelliklerin) ortaya çıkarılmasıdır. Sınıflandırma temelli yapılan çalışmalarda sınıflandırıcının performansı kullanılan özellik çıkarma yöntemine göre değişmektedir. Bu çalışma kapsamında özellik çıkarım yöntemi olarak ADD ve Dalgacık Paket Dönüşümü (DPD) yöntemleri kullanılmıştır.

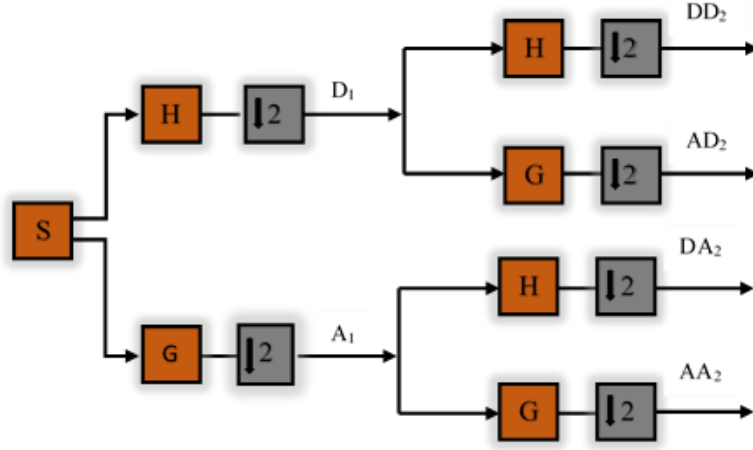
4.3.1 Ayrık Dalgacık Dönüşümünün Özellikleri

ADD, “dalgacık” olarak adlandırılan pencere fonksiyonları yardımıyla, sinyalleri frekans bileşenlerine ayrıştırmaktadır. SDD’de sinyalin alt bantlarına ayrıştırılmasında ölçeklendirme ve öteleme parametreleri daima değişmektedir. Bu durum her bir ölçek için dalgacık katsayılarının hesaplanmasını zorlaştırmakta ve işlem süresini uzatmaktadır. Ayrıca verilere ait çok fazla bilgi elde edilmesinden dolayı gereksiz yer işgali ve işlem kalabalığı oluşmaktadır. Bundan dolayı özellik çıkarımında, bahsedilen dezavantajları bünyesinde bulundurmeyen ADD yöntemi daha çok tercih edilmektedir [122].

ADD’de sinyal öncelikli olarak, alçak ve yüksek geçiren filtrelerden geçirilerek yaklaşım ve detay katsayılarına ayrıştırılır. Ayrıştırma işlemi seçilen seviyeye kadar yalnızca yaklaşım katsayıları üzerinden devam ettirilir. Bu tez çalışması kapsamında, ADD yönteminde 4. dereceden db4 ana dalgacı kullanılarak sinyalin ayrıştırılması sonucu A4, D4, D3, D2, D1 alt bantları elde edilmiştir.

4.3.2 Dalgacık Paket Dönüşümünün Özellikleri

Dalgacık Paket Dönüşümü (DPD), ADD yönteminin genelleştirilmiş bir hali olup sinyallerin daha kapsamlı bir şekilde analiz edilmesine olanak tanımaktadır. ADD yöntemiyle sinyalin alt bantlara ayrıştırılmasında yalnızca yaklaşım bileşenleri kullanılırken, DPD’de ise hem yaklaşım hem de detay bileşenleri her seviye için alt bantlarına ayrıştırılmaktadır. Böylelikle DPD yöntemiyle sinyale ait frekans bileşenleri daha ayrıntılı bir biçimde elde edilebilmektedir. Bu sayede sinyale ait yüksek frekans bileşenlerinin bünyesinde taşıdığı bilgilerinin elimine edilmesinin önüne geçilmektedir [123, 124]. Şekil 4.3’de bir sinyalin DPD yöntemiyle 2. dereceden ayrıştırılması gösterilmiştir [125].



Şekil 4.3 2. seviyeden DPD'ye ait ayrışım ağacı

Şekilden de görüldüğü gibi bu yöntemde orijinal sinyal (S), alçak (G) ve yüksek (H) geçiren filtrelerden geçirilerek yaklaşım (A) ve detay (D) bileşenlerine ayrıştırılır. Ardından elde edilen yaklaşım ve detay bileşenleri belirlenen seviyeye kadar alt bantlarına ayrıştırılmaya devam edilir. Bu yöntemde ayrıştırma işleminde mevcut bilginin azaltılması veya çoğaltılması gibi bir durum söz konusu olmadığından, sinyal orijinal bilgiyi bünyesinde barındırmaktadır.

Literatürdeki sınıflandırma algoritmalarının performanslarının karşılaştırıldığı çalışmalarda özellik çıkarımı için her iki bileşenin kullanıldığı DPD'de yönteminin ADD yöntemine kıyasla daha başarılı olduğu ortaya koyulmuştur [123, 126]. Bu doğrultuda tez çalışması kapsamında DPD yöntemi kullanılarak, 4. dereceden db4 ana dalgacığıyla sinyale ait 30 adet alt bant (D1, A1, DD2, AD2, DA2, AA2, DAD3, AAD3, DDD3, ADD3, DAA3, AAA3, DDA3, ADA3, DAAD4, AAAD4, DDAD4, ADAD4, DADD4, AADD4, DDDD4, ADDD4, DAAA4, AAAA4, DDAA4, ADAA4, DADA4, AADA4, DDDA4 ve ADDA4) elde edilmiştir.

4.4 İSTATİKSEL ÖZELLİKLER

Tez kapsamında ADD ve DPD yöntemleri ile elde edilen alt bantlardan istatistiksel özellikler hesaplanarak fERG sinyallerine ait özellik vektörleri oluşturulmuştur. Bu doğrultuda literatürde de sıklıkla kullanılan her bir alt banttaki bileşenin (sinyalin) mutlak ortalaması (μ), ortalama gücü (λ), standart sapması (σ), çarpıklık (ϕ), basıklık (φ) ve komşu alt bantlardaki sinyal katsayılarının mutlak ortalama değerlerinin oranı (χ) parametrelerinden yararlanılmıştır. İstatistiksel özelliklerden çıkartılan özellik vektörleri çalışma kapsamında kullanılacak olan sınıflandırıcıların girişlerine uygulanmıştır.

Mutlak ortalama (μ), sinyalin mutlak değerinin ortalamasının alınması sonucu elde edilen en basit özellik çıkarma tekniklerinden olup, Eşitlik 4.5 ile hesaplanmaktadır [127]:

$$\mu = \frac{1}{M} \sum_{j=1}^M |y_j| \quad (4.5)$$

Ortalama güç (λ) sinyalin gücünü ifade eden parametredir. Matematiksel denklemi Eşitlik 4.6’da verilmiştir:

$$\lambda = \sqrt{\frac{1}{M} \sum_{j=1}^M y_j^2} \quad (4.6)$$

Standart sapma (σ), aritmetik ortalamaya bağlı olarak sinyalin sergilemiş olduğu dağılımdır [128]. Standart sapmanın değeri küçük ise sinyalin ortalama değere yakın olduğu, aksi durumda ise uzaklaştığı sonucuna varılmaktadır [118]. Eşiklik 4.7’de standart sapmaya ait matematiksel ifade yer almaktadır.

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{M} \sum_{j=1}^M (y_j - \mu)^2} \quad (4.7)$$

Çarpıklık (Skewness) (ϕ), rastgele bir sürece ait olasılık dağılımının asimetrisini ortaya koyan özelliktir. Çarpıklık değerinin pozitif olması sinyalin sola, negatif olması ise sinyalin sağa doğru yaslı olduğunu ifade etmektedir [129]. Üçüncü moment olarak ifade edilen çarpıklığa ait matematiksel ifade Eşitlik 4.8’de verilmiştir [130].

$$\phi = \sqrt{\frac{1}{M} \sum_{j=1}^M \frac{(y_j - \mu)^3}{\sigma^3}} \quad (4.8)$$

Dağılımın büyüklüğünün ölçülmesinde kullanılan basıklık (kurtosis) (φ), sinyalin tepe noktalarının belirlenmesini sağlamaktadır. Basıklığın sıfırdan büyük olması sinyalin sivri, küçük olması ise basık olduğunu ifade etmektedir [129]. İstatiksel dağılımda dördüncü moment ile tanımlanan basıklığa ait denklem Eşitlik 4.9’da gösterilmiştir [130].

$$\varphi = \sqrt{\frac{1}{M} \sum_{j=1}^M \frac{(y_j - \mu)^4}{\sigma^4}} \quad (4.9)$$

Komşu alt bantlardaki sinyal katsayılarının mutlak ortalama değerlerinin oranı (χ), alt bantlardaki bitişik konumda olan iki sinyalin birbirine oranı olarak ifade edilmektedir (Eşitlik 4.10).

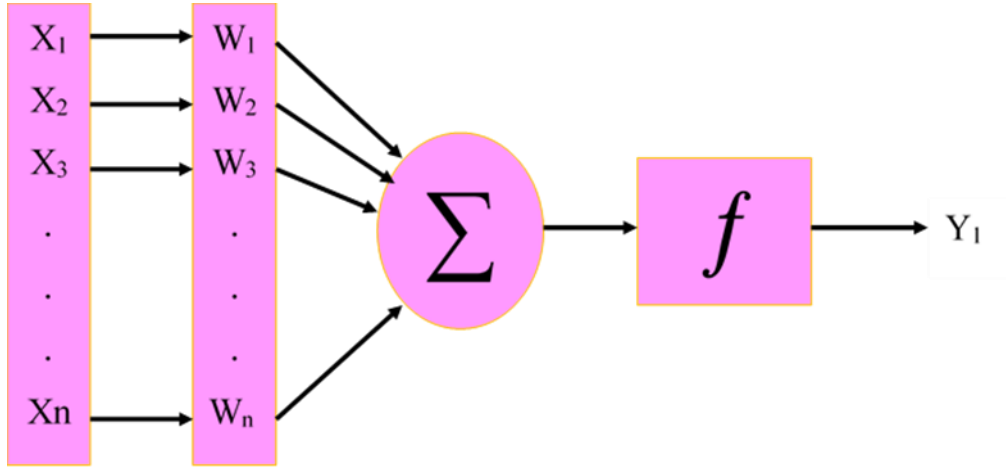
$$\chi = \frac{\sum_{j=1}^M |y_j|}{\sum_{j=1}^M |z_j|} \quad (4.10)$$

4.5 SINIFLANDIRMA YÖNTEMLERİ

4.5.1 Yapay Sinir Ağları

Yapay sinir ağları (YSA), insan beyninin temel çalışma prensibinden esinlenerek geliştirilmiştir. YSA, insan beyninin öğrenme, kavrama, analiz etme ve genelleme yapma gibi yeteneklerini kullanmaya olanak sağlayan bir bilgisayar teknolojisidir [131, 132].

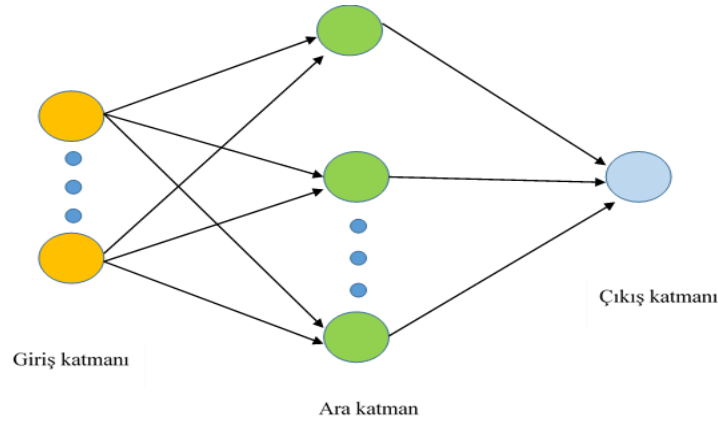
YSA, biyolojik sinir hücrelerine benzer yapıda olan yapay sinir hücrelerinden oluşmaktadır. Yapay sinir hücreleri girdiler, ağırlıklar, toplama fonksiyonu, aktivasyon fonksiyonu ve çıktılar olmak üzere beş kısımdan meydana gelmektedir (Şekil 4.4). Girdi, dış ortamdan gelen bilgilerin yapay sinir hücresine alındığı kısımdır. Ağırlık, girdinin aktarılmadan önceki etkisini tespit eden değer olup, ağırlık performansı bu değere bağlı olarak değişmektedir. Toplama fonksiyonu, hücreye aktarılan net girdinin hesaplandığı kısımdır. Çıktı ise başka bir sinir hücresine veya dış dünyaya aktarılacak olan ve aktivasyon fonksiyonu tarafından belirlenen değeri ifade etmektedir.



Şekil 4.4 Yapay sinir hücresinin yapısı.

Şekilde $X_1, X_2 \dots X_n$ girdileri, $W_1, W_2 \dots W_n$ ağırlıkları, Σ toplama fonksiyonunu, f aktivasyon fonksiyonunu ve Y ise çıktıyı ifade etmektedir. Yapay sinir hücresinde dış ortamdan gelen bilgiler girdi kısmından sinire getirilir. Ardından girdiler belirlenen ağırlıklar ile çarpılarak toplama fonksiyonuna aktarılır. Bu fonksiyonda girdiler ile ağırlıkların çarpım sonuçları toplanır. Son olarak aktivasyon fonksiyonundan geçirilerek hücre çıktısı elde edilir [133, 134].

Yapay sinir hücrelerinin birbirleriyle farklı şekillerde bağlantı kurması sonucu yapay sinir ağları elde edilmektedir. YSA giriş katmanı, ara katman ve çıkış katmanı olmak üzere üç ana katmandan meydana gelmektedir (Şekil 4.5).



Şekil 4.5 Yapay sinir ağının basit yapısı.

Giriş katmanı, dış ortamdan alınan bilgilerin ara katmana aktarıldığı kısımdır. Ara katman, giriş katmanından gelen bilgilerin işlenerek çıktı katmanına iletildiği bölümdür. Ara katman, tek veya daha fazla sayıda katmandan oluşabilir. Çıkış katmanı, ara katmandan gelen bilgilerin

işlenerek YSA'ya ait genel bir çıkış vermektedir. Çıkış katmanı yapısında bir veya birden fazla hücre bulundurulabilir [135, 136].

4.5.1.1 Çok Katmanlı Yapay Sinir Ağları

Çok katmanlı yapay sinir ağları (ÇKYSA); bir giriş, bir çıkış ve en az bir adet ara katmandan oluşmaktadır. Bu ağ yapısında katmanların her biri sadece kendinden sonra gelen katman ile bağlantı kurmakta olup, geriye dönük bir bağlantı mevcut değildir. Bundan dolayı ÇKYSA modeli, ileri beslemeli sinir ağı modeli olarak da bilinmektedir.

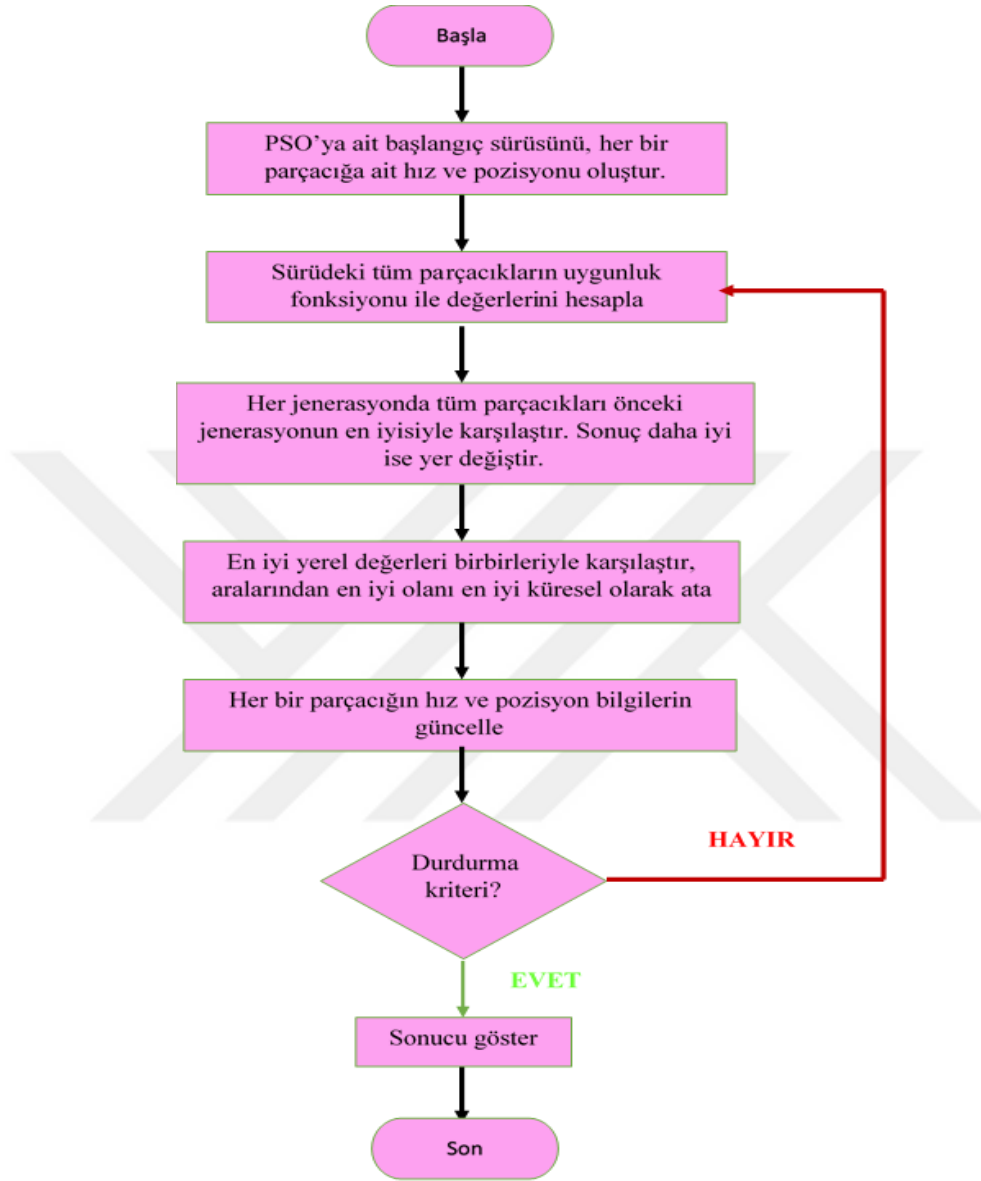
ÇKYSA'da giriş katmanına gelen bilgi, istenilen çıkış değerine ulaşması için bir dizi işlem den geçirilerek çıkış katmanına doğru aktarılmaktadır. Çıkış katmanında elde edilen sonuç değerinin kontrolü, elde edilen çıkış ile beklenen çıkış arasında yapılan hata analizine bağlı olarak gerçekleştirilmektedir. Hatanın istenilen değerden büyük olması halinde geriye doğru hesaplamayla ağırlıklar güncellenmektedir. Bu işlem hatanın değeri minimum seviyeye ulaşınca kadar devam etmektedir [137-139].

4.5.2 Parçacık Sürü Optimizasyonu

Parçacık sürü optimizasyonu (PSO), kuş sürülerinin temel ihtiyaçlarını gidermek adına sergiledikleri davranıştan esinlenerek ortaya koyulmuş popülasyon temelli bir optimizasyondur. Bu algoritma doğrusal olmayan, çok parametrelili ve çok değişkenli optimizasyon problemlerinin çözülmesine yönelik olarak geliştirilmiştir. Diğer optimizasyon algoritmalarına kıyasla daha az parametre kullanılması, çözümlere hızlı bir şekilde yakınsaması ve uygulamasının kolay olması nedeniyle daha yüksek performans elde edilmektedir. Bu algoritma yapay sinir ağlarının eğitimi, bulanık mantık sistemleri, görüntü işleme, çizelgeleme ve fonksiyonların optimize edilmesi gibi pek çok alanda kullanılmaktadır [140, 141].

PSO sürü zekâsını temel alan bir algoritmadır. Kuşlar doğada yiyecek ararken, sürüdeki diğer kuşlar hedefe (yiyeceğe) en yakın olan kuşu takip etmektedir. Bu durum PSO'da var olan probleme çözüm arayışına benzetilmektedir. PSO'da arama yapan her bir kuş parçacık, parçacıklardan bir araya gelen topluluk ise sürü olarak adlandırılmaktadır. Sürüdeki parçacıkların çözüme olan yakınlıkları uygunluk fonksiyonu ile belirlenmektedir. Böylece

çözümüne en yakın olan parçacık tespit edilerek, sürünün diğer parçacıkları ilgili pozisyonuna yaklaştırılmaktadır [142-145]. PSO algoritmasına ait akış diyagramı Şekil 4.6’da verilmiştir.



Şekil 4.6 Parçacık sürü optimizasyonu algoritmasına ait akış diyagramı.

PSO algoritmasında yer alan adımlar aşağıda tanımlanmaktadır [146, 147]:

1. Öncelikli olarak çözümü arayacak olan sürü oluşturulur. Bu doğrultuda her bir parçacığa ait başlangıç pozisyon ve hız bilgileri rastgele olacak şekilde atanır. Sürüde bulunan i . parçacığın pozisyonu (V_i) ve her bir pozisyonuna bağlı olarak değişim gösteren hız (X_i) vektörleri,

$$V_i=[V_{i1}, V_{i2}, \dots V_{iD}] \quad (4.11)$$

$$X_i=[X_{i1}, X_{i2}, \dots X_{iD}] \quad (4.12)$$

eşitlikleriyle tanımlanmaktadır.

2. Sürüdeki tüm parçacıkların çözüme olan yakınlığı uygunluk fonksiyonuyla hesaplanır.
3. Mevcut jenerasyonda parçacığa ait pozisyonun uygunluk değeri kendi yerel en iyi konumunun değerinden daha iyiye p_{eniye} güncellenir. Benzer olarak yerel en iyi parçacık vektöründen uygunluk değeri en iyi olanı g_{eniye} olarak güncellenir. Burada her bir parçacığın çözüme en yakın olduğu pozisyon p_{eniye} , tüm parçacıkların içinden çözüme en yakın olunan pozisyon ise g_{eniye} ile ifade edilmektedir [148].
4. Tespit edilen p_{eniye} ve g_{eniye} değerlerine bağlı olarak parçacıklara ait hız ve pozisyon bilgileri güncellenir. Parçacıkların hız (V) ve konum (X) bilgileri aşağıdaki eşitlikler kullanılarak hesaplanır.

$$V_{i,j}(t+1) = V_{i,j}(t) + c_1 r_1 (p_{eniye i,j}(t) - X_{i,j}(t)) + c_2 r_2 (g_{eniye i,j}(t) - X_{i,j}(t)) \quad (4.13)$$

$$X_{i,j}(t+1) = X_{i,j}(t) + V_{i,j}(t+1) \quad (4.14)$$

5. Burada r_1 ve r_2 0 ile 1 arasında değişen rastgele sayılardır. c_1 ve c_2 ise 0 ile 2 arasında değer alan sabit değerli hızlanma katsayıları olup, her bir parçacığı p_{eniye} ve g_{eniye} 'ye ait pozisyona doğru çekmektedirler.
6. Konum ve hız bilgilerinin hesaplanmasının ardından ulaşılan bilgilerin durdurma kriterine uygunluğu kontrol edilir. Eğer algoritmada durdurma kriteri sağlanıyorsa, algoritma sonlandırılır. Aksi takdirde istenilen şartlar sağlanıncaya kadar 2. Adımdan itibaren döngü tekrarlanır [146,148].

4.5.3 Yapay Sinir Ağlarına Dayalı Parçacık Sürü Optimizasyonu

YSA, doğrusal olmayan biyomedikal sinyallerin sınıflandırılmasında sıklıkla tercih edilmektedir. YSA'nın temel avantajı, kullanımı kolay ve hesaplama maliyetinin düşük olmasıdır. Ayrıca doğrusal olmayan problemlerde girdiler/çıktılar arasındaki karmaşık ilişki

haritalarını tespit etme yeteneğine de sahiptirler. Ancak bu avantajlarının yanında daha fazla eğitim verisine ihtiyaç duyması, yavaş eğitim süreci ve aşırı uyum sorunu gibi dezavantajları bulunmaktadır. Bu dezavantajları elimine etmek için, PSO tabanlı YSA modelleri geliştirilmiştir.

4.6 SINIFLANDIRICI PERFORMANSININ DEĞERLENDİRİLMESİ

Sınıflandırıcı performansının değerlendirilmesi, yüksek başarıma sahip modelin belirlenmesi açısından önem taşımaktadır. Literatürde sınıflandırıcı performansının değerlendirilmesinde pek çok parametre kullanılmakta olup, parametrelerin hesaplanmasında karmaşıklık matrisinden faydalanılmaktadır. İki seviyeli bir sınıflandırma için karmaşıklık matrisi Çizelge 4.1’de verilmiştir.

Çizelge 4.1 Karmaşıklık matrisi.

		Gerçekte Olması Gereken Sınıflar	
		Pozitif	Negatif
Tahmin Edilen sınıf	Pozitif	TP Doğru Pozitif	FP Yanlış Pozitif
	Negatif	FN Yanlış Negatif	TN Doğru Negatif

Burada sınıflandırıcının hastaları hasta olarak belirlediklerinin sayısı TP, hasta olanları sağlıklı (normal) olarak tespit ettiklerinin sayısı FN, sağlıklıları sağlıklı olarak ifade ettiklerinin sayısı TN iken sağlıklılarda hasta olarak tespit edilenlerin sayısı ise FP olarak ifade edilmektedir.

Yapılan bu tez kapsamında sınıflandırıcı performans değerlendirme kriterleri olarak doğruluk (accuracy), duyarlılık (sensitivity) ve özgünlük (specificity) oranları kullanılmıştır.

Doğruluk, sınıflandırıcının tahmin ettiği durumun, gerçek durumla ne kadar ilişkili olduğunu belirtmektedir. Doğru olarak tahmin edilenlerinin sayısının tüm tahmin sayısına oranı olarak ifade edilmektedir. İki sınıflı bir sınıflandırıcı için doğruluğa ait hesaplama Eşitlik 4.15’de verilmiştir.

$$Doğruluk = \frac{TP + TN}{TP + TN + FP + FN} \quad (4.15)$$

Duyarlılık, sınıflandırıcının hastaları doğru tespit edebilme yeteneğini göstermektedir. Bu parametre gerçekte pozitif olan durumları doğru tahmin edebilme oranını ifade etmektedir. İki sınıflı bir sınıflandırıcının duyarlılığını hesaplayan denklem Eşitlik 4.16’da verilmiştir.

$$Duyarlılık = \frac{TP}{TP + FN} \quad (4.16)$$

Özgünlük, sınıflandırıcının sağlıklıları tespit edebilme yeteneğidir. Gerçekte negatif olup, sınıflandırıcı tarafından doğru bir şekilde tahmin edilebilme oranı olarak tanımlanmaktadır. İkili sınıflı bir sınıflandırıcının özgünlüğü aşağıda verilen matematiksel eşitlik ile hesaplanmaktadır [149, 150].

$$Özgüllük = \frac{TN}{TN + FP} \quad (4.17)$$

Ayrıca sınıflandırıcıların analizinde ortalama mutlak hata ve ortalama karesel hata değerleri de hesaplanarak, sınıflandırıcının tahmin ettiği çıkış ile gerçek çıkış arasındaki oransal yakınlık analiz edilmiştir. Ortalama mutlak hata ve ortalama karesel hata değerlerinin hesaplanmasında kullanılan eşitlikler aşağıda sırasıyla verilmiştir.

$$Ortalama Karesel Hata (MSE) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (h_{\zeta_i} - b_{\zeta_i})^2 \quad (4.18)$$

$$Ortalama Mutlak Hata (MAE) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |h_{\zeta_i} - b_{\zeta_i}| \quad (4.19)$$

Eşitliklerde n örnek sayısını, h_{ζ_i} ağıın hesapladığı çıkış ve b_{ζ_i} ise ağıın beklenen çıkışıdır. Sınıflandırıcı performansının değerlendirilmesindeki önemli bir diğer adım veri setinin bölünmesidir. Literatürde bu kapsamda kullanılan farklı yöntemler olmakla birlikte, bu tez çalışmasında “hold out” yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntemde sınıflandırma işleminde veri belirli oranlarda eğitim ve test setlerine ayrıştırılmaktadır. Yapılan bu tez çalışmasında yüksek

sınıflandırma başarımı elde edebilmek için mevcut veri seti %50-%50, %40-%60, %30-%70 ve %20-%80 olacak şekilde bölünmüştür.

Bunun yanı sıra tez kapsamında sınıflandırıcı performansının değerlendirilmesinde ROC (İşlem Karakteristik Eğrisi - Receiver Operating Characteristics) eğrilerinden de faydalanılmıştır. ROC eğrileri doğru pozitiflerin (TP) sayısının yanlış pozitiflerin (FP) sayısına bağlı olduğu bir fonksiyona göre çizilmektedir. Sınıflandırıcı performansı çizilen eğrilerin altında kalan alanlara göre değerlendirilmektedir. Eğrinin altında kalan alan ile sınıflandırıcı performansı arasında doğru orantılı bir ilişki bulunmaktadır. Yani eğrinin altında kalan alan ne kadar büyük olursa, sınıflandırıcı performansı da yüksek olduğu anlamına gelmektedir. ROC eğrisinin altında kalan alan AUC (Eğri Altında Kalan Alan - Area Under Curve) olarak tanımlanmaktadır. 0 ile 1 arasında değer alan AUC'un 1'e yaklaşması durumunda sınıflandırıcı yüksek performans (yani doğru sınıflandırma işlemi gerçekleştirmiştir) sergilemektedir. AUC'un değeri 0,5 olduğunda sınıflandırıcının rastgele çalıştığı, 0,5'in altındaki değerlerinde ise sınıflandırıcının doğru bir şekilde çalışmadığı söylenebilmektedir [151].

BÖLÜM 5

SİMÜLASYON VE ANALİZ SONUÇLARI

Bu tez çalışmasında, sağlıklı (normal) ve farklı obezite derecelerine sahip bireylerden kaydedilen flaş Elektroretinogram (fERG) sinyalleri üzerinde obezitenin nasıl bir etki oluşturduğu irdelenmiştir. Yanı sıra, fERG sinyalleri kullanılarak obezite seviyelerinin belirlenmesinde geleneksel çok katmanlı yapay sinir ağı (ÇKYSA) ile parçacık sürü optimizasyonu (PSO) temelli yapay sinir ağı modellerinin uygulanabilirliği ve önerilen modellerin performansları analiz edilmiştir. Bu doğrultuda Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi Obezite ve Diyabet Uygulama ve Araştırma Merkezine başvuruda bulunan 47 bireyden (10 normal, 10 fazla kilolu, 10 obez, 10 morbid obez ve 7 süper obez) farklı zamanlarda kaydedilen fERG sinyalleri kullanılarak veri seti oluşturulmuştur. Veri seti ile ilk olarak ölçüm alınan laboratuvar ortamı için normal değerler SPSS 22.0 (Sosyal Bilimler İçin İstatistik Programı, Statistical Package for the Social Sciences Inc., Chicago, Illinois, USA) istatistiksel analiz paket programı kullanılarak belirlenmiştir. Daha sonra obezite ve seviyelerinin fERG sinyalinin rod, maksimum kombine ve koni yanıtları üzerindeki fizyolojik etkisi farklı sinyal işleme tekniklerinden (Kısa Zaman Fourier Dönüşümü (KZFD), Sürekli Dalgacık Dönüşümü (SDD) ve Ayrık Dalgacık Dönüşümü (ADD)) yararlanılarak analiz edilmiştir.

Son olarak fERG sinyallerinden ADD ve Dalgacık Paket Dönüşümü (DPD) yöntemleriyle çıkarılan öznitelikler ÇKYSA ve PSO-ÇKYSA modellerinde kullanılarak obezite ve seviyelerinin sınıflandırma başarımları araştırılmıştır. Öznitelik çıkarımında biyomedikal sinyallerin analizde sıklıkla yararlanılan Daubeschies (db) ana dalgacığı kullanılarak 4. seviyeden ayırıştırma işlemi uygulanmıştır.

Bu çalışma kapsamında gerçekleştirilen sinyal işleme, özellik çıkarma ve sınıflandırma işlemlerinde MATLAB (R2018) yazılım paketinden yararlanılmıştır.

5.1 İSTATİKSEL ANALİZ İLE fERG SİNYALLERİNİN NORMAL DEĞERLERİNİN BELİRLENMESİ

Her laboratuvarın farklı ortam ve koşullara sahip olması yapılan ölçümlerde farklılıklara sebep olmaktadır. Bu durum laboratuvarların kendilerine ait normal değerlerinin belirlenmesini gerekli kılmıştır. Bunun için çalışma kapsamında ilk olarak normal bireylerden kaydedilen fERG sinyalleri kullanılarak ölçüm alınan laboratuvar için normal değerler belirlenmiştir. Bu amaç doğrultusunda 10 normal bireyin her iki gözünden kaydedilen fERG sinyallerinin üç farklı yanıtı (rod, maksimum kombine ve koni yanıtları) için istatistiksel analiz yapılmıştır. Analizlerde fERG sinyalini temsil eden iki önemli bileşen için ('a' ve 'b' dalgaları) normal değerler ortalanca cinsinden hesaplanarak, %95 güven aralığında alt ve üst sınırlar ortaya koyulmuştur. Elde edilen sonuçlar Çizelge 5.1 ve Çizelge 5.2'de sunulmuştur.

Çizelge 5.1 fERG sinyalinin 'a' dalgası için elde edilen normal değerler.

		Parametreler			
		Latans (ms)		Genlik (µvolt)	
fERG Yanıtı	Dalga Türü	Ortanca	%95 Güven Aralığı	Ortanca	%95 Güven Aralığı
Rod yanıtı	a	32	27-37	10	4-27
Maksimum kombine yanıtı	a	20	19-21	96	87-107
Koni yanıtı	a	14	13-15	16	12-18

Çizelge 5.2 fERG sinyalinin 'b' dalgası için elde edilen normal değerler.

		Parametreler			
		Latans (ms)		Genlik (µvolt)	
fERG Yanıtı	Dalga Türü	Ortanca	%95 Güven Aralığı	Ortanca	%95 Güven Aralığı
Rod yanıtı	b	81	76-85	110	87-144
Maksimum kombine yanıtı	b	41	39-43	198	174-224
Koni yanıtı	b	29	28-29	52	48-58

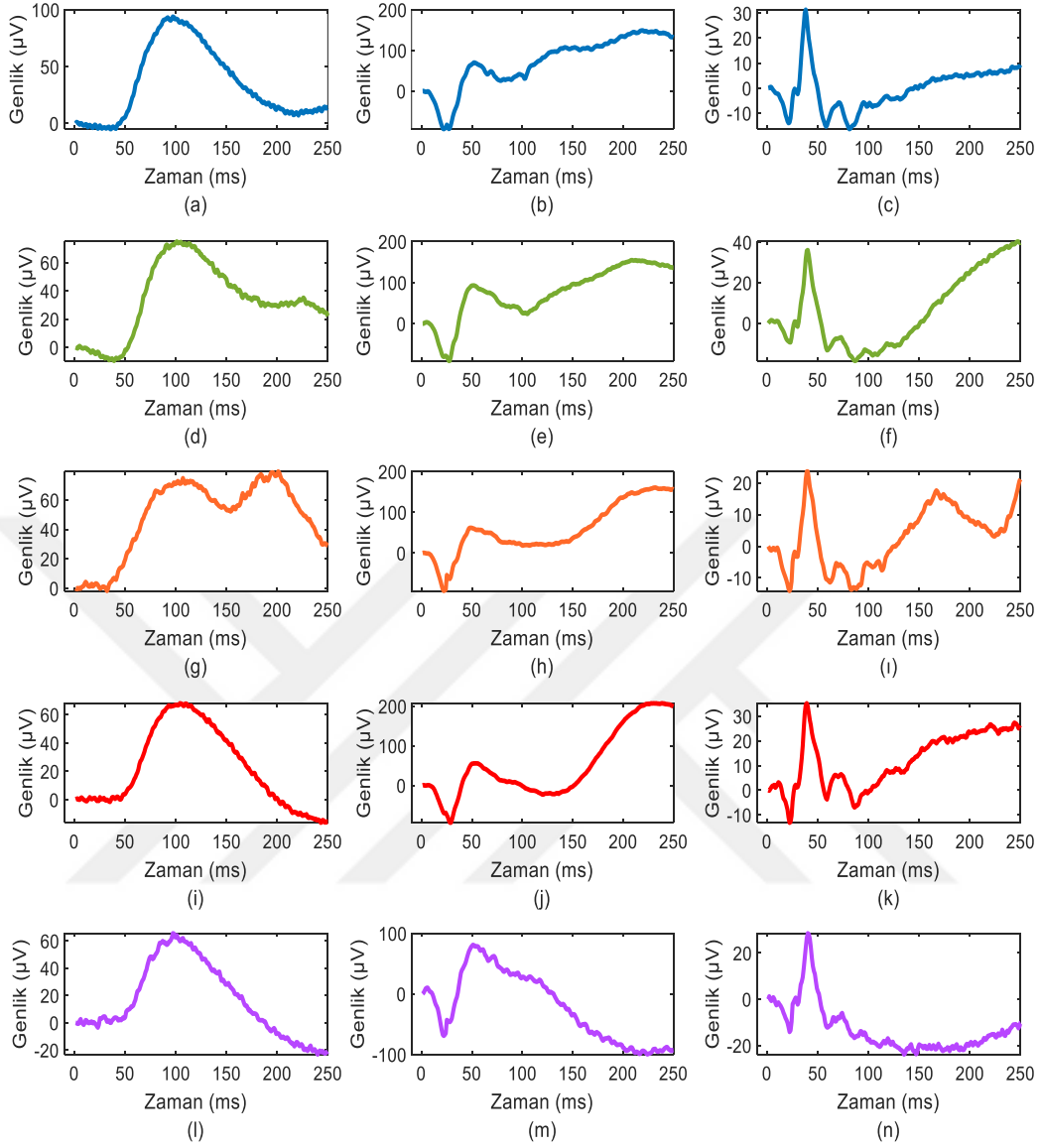
Çizelge 5.1'de yer alan sonuçlar incelendiğinde rod yanıtı için; 'a' dalgasının ortalanca cinsinden genlik değeri 10 µV ve güven aralığı 4 ila 27 iken, dalganın latans değeri 32 ms ve güven aralığı 27 ila 37 arasındadır. Maksimum kombine yanıtta dalganın genlik değeri 96 µV, güven aralığı

87 ila 107 arasında; latans değeri ise 20 ms, güven aralığı 19 ila 21 arasındadır. Koni yanıtı için ise dalganın genlik değeri ortanca cinsinden 16 μ V, güven aralığı 12 ila 18 arasında iken, latans değerinin ise 14 ms ile güven aralığı 13-15 arasında olduğu görülmektedir.

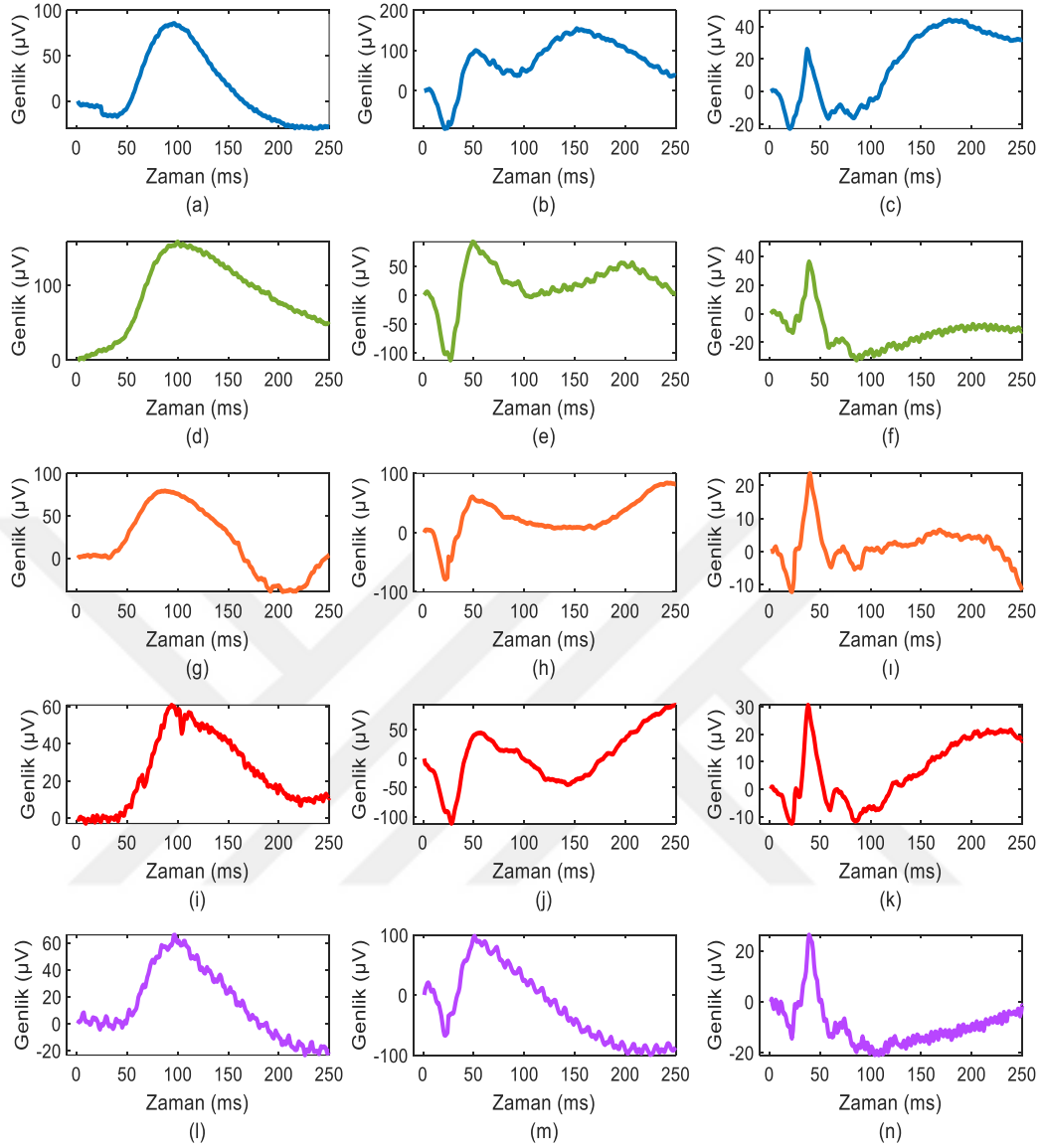
Çizelge 5.2’de verilen sonuçlar doğrultusunda rod yanıtı için ‘b’ dalgasının ortanca cinsinden genlik değeri 110 μ V ve güven aralığı 87-114’dür. Dalganın latans değeri ise ortanca cinsinden 81 ms ve güven aralığı ise 76-85’ dir. Yanıtlardan bir diğeri olan maksimum kombine yanıtta ise ‘b’ dalgasının genlik değeri 198 μ V ve güven aralığı 174-224 iken latansı ise 41 ms ve güven aralığı 39-43’dür. Son olarak koni yanıtı için ‘b’ dalgasının genlik değeri 52 μ V ve güven aralığı 48-58’ dir. Latans değeri ise 29 ms ve güven aralığı da 28-29’dur.

5.2 FARKLI SİNYAL İŞLEME YÖNTEMLERİ KULLANILARAK OBEZİTENİN fERG SİNYALLERİ ÜZERİNDEKİ FİZYOLOJİK ETKİLERİNİN TESPİTİ

Bu bölümde obezite ve seviyelerinin fERG sinyali üzerindeki fizyolojik etkilerini ortaya koymak adına KZFD, SDD ve ADD yöntemlerinden elde edilen sonuçlar verilmiştir. Analizler sonucu elde edilen skalogram görüntülerinden yararlanılarak fERG sinyallerinin rod, maksimum kombine ve koni yanıtları için ‘a’ ve ‘b’ dalgalarının genlik ve oluşum zamanları incelenmiştir. Bu doğrultuda her bir yanıt için analizlerde kullanılan normal ve obez gruplardaki bireylerin sağ ve sol gözlerine ait ortalaması alınmış fERG sinyalleri sırasıyla Şekil 5.1 ve Şekil 5.2’de gösterilmiştir.



Şekil 5.1 Sağ göze ait fERG sinyallerinden; sağlıklı 10 birey için ortalaması alınmış (a) rod, (b) maksimum kombine ve (c) koni yanıtları; fazla kilolu olan 10 bireye ait ortalaması alınmış (d) rod, (e) maksimum kombine ve (f) koni yanıtları; obez olan 10 bireye ait ortalaması alınmış (g) rod, (h) maksimum kombine ve (i) koni yanıtları; morbid obez olan 10 bireye ait ortalaması alınmış (j) rod, (k) maksimum kombine ve (l) koni yanıtları; süper obez olan 7 bireye ait ortalaması alınmış (m) rod, (n) maksimum kombine ve (o) koni yanıtlarıdır.

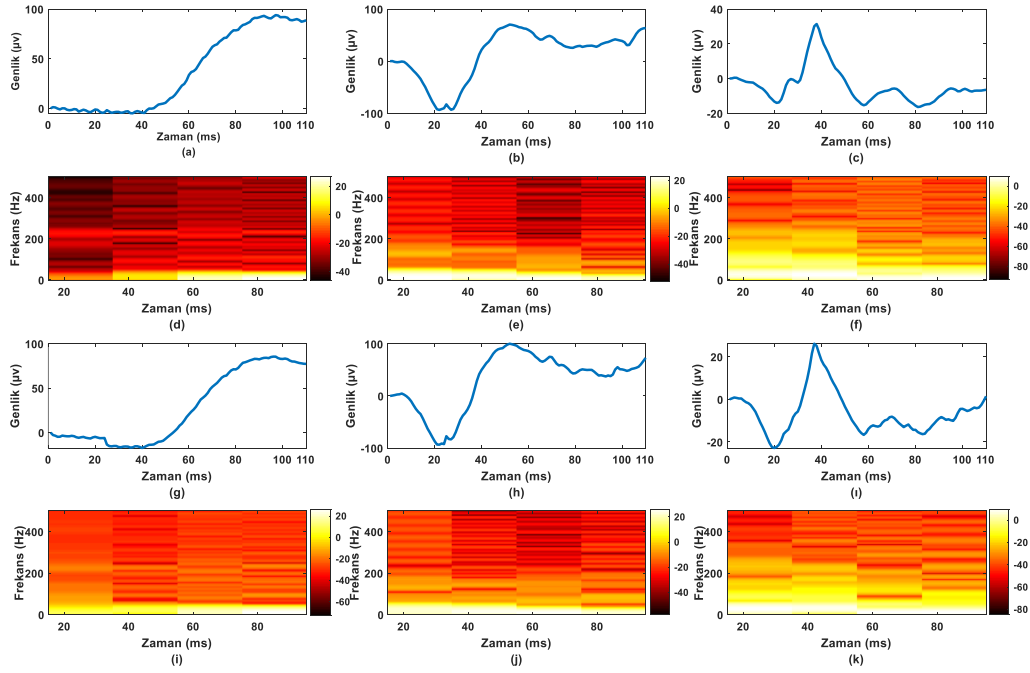


Şekil 5.2 Sol göze ait fERG sinyallerinden; sağlıklı 10 birey için ortalaması alınmış (a) rod, (b) maksimum kombine ve (c) koni yanıtları; fazla kilolu olan 10 bireye ait ortalaması alınmış (d) rod, (e) maksimum kombine ve (f) koni yanıtları; obez olan 10 bireye ait ortalaması alınmış (g) rod, (h) maksimum kombine ve (i) koni yanıtları; morbid obez olan 10 bireye ait ortalaması alınmış (j) rod, (k) maksimum kombine ve (l) koni yanıtları; süper obez olan 7 bireye ait ortalaması alınmış (m) rod, (n) maksimum kombine ve (o) koni yanıtlarıdır.

5.2.1 Kısa Zaman Fourier Dönüşümünün Uygulanması ile Elde Edilen Analiz Sonuçları

Bu kısımda fERG sinyallerinden KZFD ile çıkarılan skalogram görüntüleri kullanılarak, obezite seviyelerinin fizyolojik etkilerinin belirlenmesine yönelik elde edilen sonuçlar sunulmuştur. Sinyallerin enerji yoğunluğunu temsil eden skalogram görüntülerinde yoğunluğun

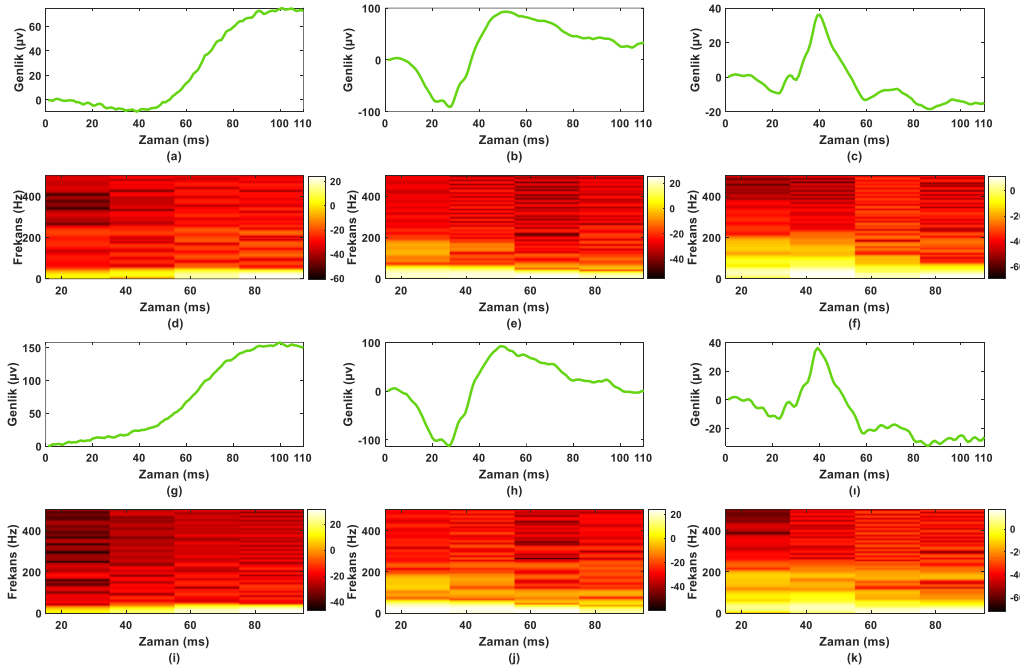
fazla olduğu yerler sinyallerde en yüksek genliğe sahip olan yerlerle örtüşmektedir. Dolayısıyla fERG sinyalleri için elde edilen skalogram görüntülerinde enerji yoğunluğunun en fazla olduğu yerler ‘a’ ve ‘b’ dalgalarına ait bilgi içermektedir. Bu kapsamda normal ve farklı obezite dereceleri için hem sağ hem de sol göze ait rod, maksimum kombine ve koni yanıtlarının skalogram görüntüleri Şekil 5.3 - Şekil 5.7’de gösterilmiştir.



Şekil 5.3 Normal 10 bireyin hem sağ hem de sol gözü için elde edilen ortalaması alınmış fERG sinyallerinin üç farklı yanıtı ve bu yanıtlara ait skalogram görüntüleri. (a), (b) ve (c) sırasıyla sağ göze ait rod, maksimum kombine ve koni yanıtları; (d), (e) ve (f) ise sırasıyla bu yanıtların skalogram görüntüleri. (g), (h) ve (ı) sırasıyla sol göze ait rod, maksimum kombine ve koni yanıtları; (i), (j) ve (k) ise sırasıyla yanıtlardan elde edilen skalogram görüntülerini göstermektedir.

Şekil 5.3 sağ göz için incelendiğinde; rod yanıtında ‘a’ dalgası gözlenmezken, 85-110 ms aralığında yüksek genlikli ‘b’ dalgası yer almaktadır. Rod yanıtına ait skalogram görüntüsünde 75-95 ms aralığında enerjinin en yoğun olduğu görülmektedir. Maksimum kombine yanıtında ‘a’ ve ‘b’ dalgalarının oluşum zamanları sırasıyla 21-27 ms ile 45-60 ms aralığındadır. Yanıtın skalogram görüntüsünde ise 15-35 ms ve 55-75 ms aralıklarında yüksek enerji yoğunluğu ortaya çıkmaktadır. Koni yanıtında ise ‘a’ dalgası 20-22 ms, ‘b’ dalgası 37-39 ms aralığında oluşmaktadır. Skalogram görüntüsü incelendiğinde 15-35ms ile 35-55 ms aralıklarında enerjinin yüksek olduğu görülmektedir. Dolayısıyla sağ göze ait rod, maksimum kombine ve koni yanıtları için ‘a’ ve ‘b’ dalgaların oluşum zamanları ile skalogram görüntülerindeki enerjinin en yoğun olduğu bölgeler birbirleriyle örtüşmektedir.

Sol göze ait yanıtlar incelendiğinde ise, rod yanıtında ‘b’ dalgası 80-110 ms aralığında iken skalogram görüntüsünde en yüksek seviyedeki enerji 75-95 ms aralığındadır. Maksimum kombine yanıtında ‘a’ dalgasının oluşum zamanı 21-27 ms aralığında iken ‘b’ dalgasının oluşum zamanı 46-57 ms aralığında yer almaktadır. Yanıta ait skalogram görüntüsünde enerjinin yoğun olduğu bölgeler 15-35 ms ile 35-75 ms aralığında bulunmaktadır. Koni yanıtında ise ‘a’ dalgası 18-22 ms, ‘b’ dalgası ise 36-38 ms aralığında ortaya çıkmaktadır. Yanıttan elde edilen skalogram görüntüsünde ise en yüksek enerji tüm zaman boyunca yayıldığı görülmektedir. Sonuç olarak sol göze ait rod ve maksimum kombine yanıtlarında dalgaların oluşum zamanları ile en yüksek enerjinin elde edildiği bölgeler birbirleriyle örtüşürken, bu durum koni yanıtı için sağlanamamaktadır.

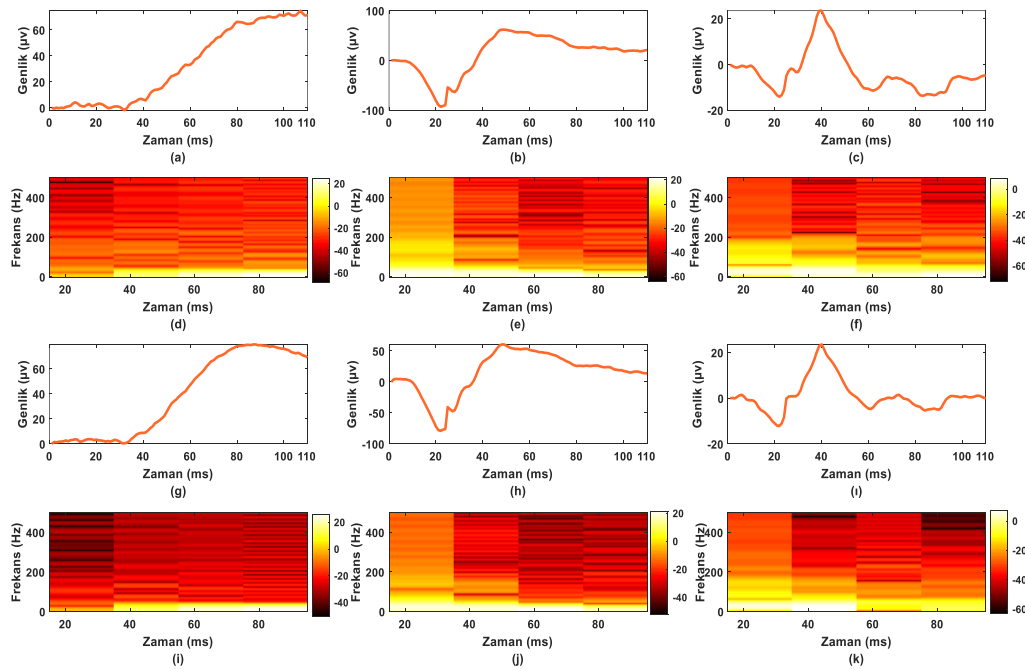


Şekil 5.4 Fazla kilolu 10 bireyin hem sağ hem de sol gözü için elde edilen ortalaması alınmış fERG sinyallerinin üç farklı yanıtı ve bu yanıtlara ait skalogram görüntüleri. (a), (b) ve (c) sırasıyla sağ göze ait rod, maksimum kombine ve koni yanıtları; (d), (e) ve (f) ise sırasıyla bu yanıtların skalogram görüntüleri. (g), (h) ve (i) sırasıyla sol göze ait rod, maksimum kombine ve koni yanıtları; (j), (k) ve (l) ise sırasıyla yanıtlardan elde edilen skalogram görüntülerini göstermektedir.

Şekil 5.4’de sağ göze ait sonuçlar incelendiğinde, rod yanıtında ‘b’ dalgası 90-110 ms aralığında ortaya çıkmaktadır. Yanıta ait skalogram görüntüsünde en yüksek enerji 75-95 ms aralığında gözlenmekte olup, bu zaman aralığı ‘b’ dalgasının oluşum süresini kapsamaktadır. Maksimum kombine yanıtta ‘a’ dalgası 26-29 ms, ‘b’ dalgası ise 46-56 ms aralıklarında oluşmaktadır. Yanıta ait skalogram görüntüsünde en yüksek enerjinin oluştuğu zaman aralıkları sırasıyla 15-55 ms ile

55-75 ms'dir. Koni yanıtında ise 'a' dalgası 22-24 ms aralığında oluşmakta iken, 'b' dalgası 38-41 ms aralığında ortaya çıkmaktadır. Yanıta ait skalogram görüntüsünde en yüksek enerjiler 35-55 ms ve 75-95 ms aralıklarında gözlenmektedir. Sonuç olarak sağ göze ait rod ve maksimum kombine yanıtlarında dalgaların oluşum zamanları ile skalogram görüntülerinde enerjinin en yüksek olduğu zaman aralıkları birbirleriyle örtüşürken, bu durum koni yanıtı için sağlanamamaktadır.

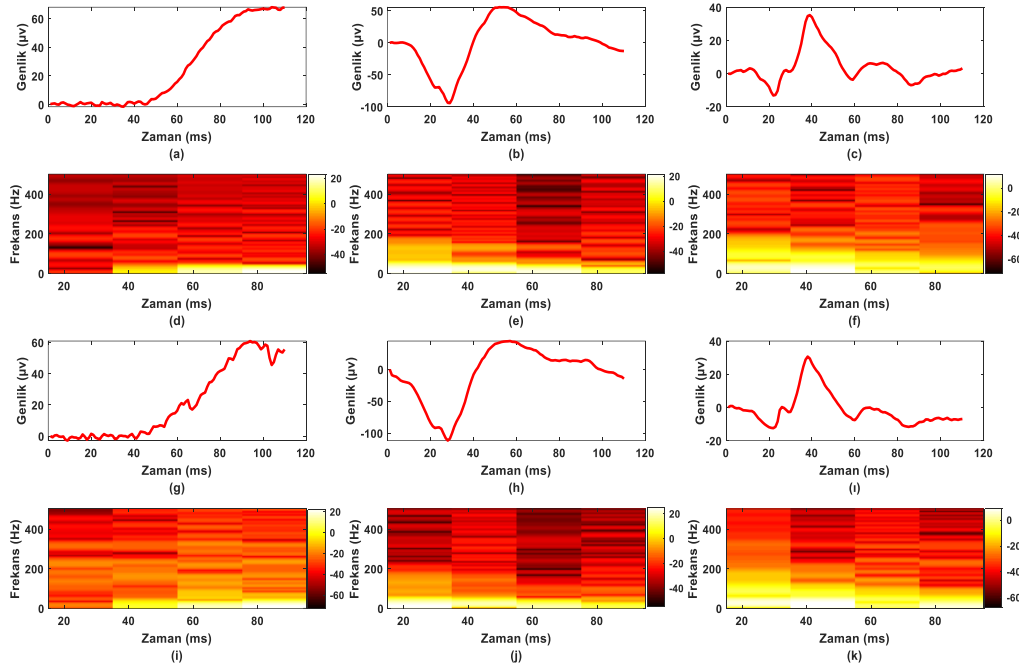
Sol gözden elde edilen sonuçlar irdelendiğinde, rod yanıtında 'b' dalgasının oluşum zamanı 90-110 ms aralığında bulunmaktadır. Skalogram görüntüsünde enerjinin en yüksek olduğu zaman aralığı ise 75-95 ms'dir. Maksimum kombine yanıtta ise 'a' dalgası 24-28 ms aralığında oluşmakta iken, 'b' dalgası 47-52 ms aralığında ortaya çıkmaktadır. Skalogram görüntüsünde ise enerjinin 15-75 ms zaman aralığı boyunca yayıldığı görülmektedir. Son olarak koni yanıtında 'a' dalgasının oluşum zamanı 22-24 ms aralığında, 'b' dalgasının ise 38-40 ms aralığında yer almaktadır. Yanıtın skalogram görüntüsünde enerjinin en yüksek olduğu zaman aralığı 75-95 ms'dir. Sonuç olarak fazla kilolu bireylerin sol gözü için yalnızca rod yanıtına ait skalogram görüntüsü kullanılarak 'b' dalgasına dair bilgilere ulaşılabilmektedir.



Şekil 5.5 Obez 10 bireyin hem sağ hem de sol gözü için elde edilen ortalaması alınmış fERG sinyallerinin üç farklı yanıtı ve bu yanıtlara ait skalogram görüntüleri. (a), (b) ve (c) sırasıyla sağ göze ait rod, maksimum kombine ve koni yanıtları; (d), (e) ve (f) ise sırasıyla bu yanıtların skalogram görüntüleri. (g), (h) ve (i) sırasıyla sol göze ait rod, maksimum kombine ve koni yanıtları; (j), (k) ve (l) ise sırasıyla yanıtlardan elde edilen skalogram görüntülerini göstermektedir.

Şekil 5.5’de sağ göze ait rod yanıtında ‘b’ dalgasının oluşum zamanı 85-110 ms aralığında iken, skalogram görüntüsünde en yüksek enerjinin oluştuğu zaman aralığı 55-95 ms’dir. Maksimum kombine yanıtta ‘a’ ve ‘b’ dalgalarının oluşum zamanları sırasıyla 21-24 ms ve 44-50 ms aralıklarında yer almaktadır. Yanıtta ait skalogram görüntüsünde en yüksek enerjinin oluştuğu zaman aralığı 15-75 ms aralığında geniş bir yayılım sergilemektedir. Koni yanıtında ise ‘a’ dalgası 21-24 ms, ‘b’ dalgası 38-41 ms aralıklarında oluşmaktadır. Bununla birlikte en yüksek enerji seviyeleri 35-55 ms ile 75-95 ms aralıklarında görülmektedir. Dolayısıyla obez bireylerin sağ gözü için rod ve koni yanıtlarına ait skalogram görüntüleri kullanılarak ‘b’ dalgasına dair bilgilere ulaşılabilmektedir.

Sol göze ait rod yanıtı ve yanıtın skalogram görüntüsü incelendiğinde ‘b’ dalgasının oluşum zaman aralığı 80-100 ms iken, enerjinin en yüksek olduğu bölge 75-95 ms aralığındadır. Maksimum kombine yanıt için dalgaların oluşum zamanları sırasıyla 20-24 ms ile 45-53 ms aralıklarındadır. Yanıtın skalogram görüntüsünde ise enerji 55-75 ms aralığında yoğunlaşmaktadır. Son olarak koni yanıtında ise ‘a’ dalgasının oluşum zamanı 21-24 ms, ‘b’ dalgasının 38-41 ms aralığındadır. Skalogram görüntüsünde 35-55 ms aralığında enerjinin yoğunlaştığı görülmektedir. Sonuç olarak obez bireylerin sol gözü için elde edilen skalogram görüntülerinden ‘a’ dalgasına ilişkin herhangi bir bilgi edilemezken, ‘b’ dalgasına ilişkin bulgulara rod ve koni yanıtları kullanılarak erişilebilmektedir.

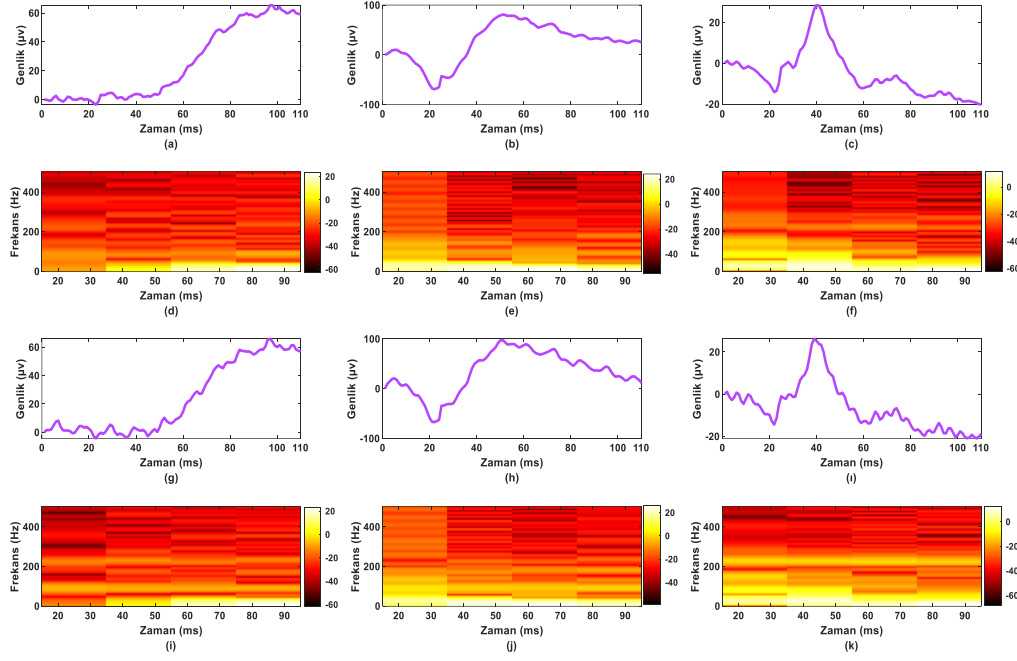


Şekil 5.6 Morbid obez 10 bireyin hem sağ hem de sol gözü için elde edilen ortalaması alınmış fERG sinyallerinin üç farklı yanıtı ve bu yanıtlara ait skalogram görüntüleri. (a), (b) ve (c) sırasıyla sağ göze ait rod, maksimum kombine ve koni yanıtları; (d), (e) ve (f) ise sırasıyla bu yanıtların skalogram görüntüleri. (g), (h) ve (i) sırasıyla sol göze ait rod, maksimum kombine ve koni yanıtları; (i), (j) ve (k) ise sırasıyla yanıtlardan elde edilen skalogram görüntülerini göstermektedir.

Şekil 5.6 incelendiğinde, sağ göz için rod yanıtında 'b' dalgasının oluşum zamanı 90-110 ms aralığında iken, skalogram görüntüsündeki en yüksek enerji yoğunluğu 75-95 ms aralığındadır. Maksimum kombine yanıtı için 'a' dalgası 27-30 ms, 'b' dalgası 45-60 ms aralığında ortaya çıkmaktadır. Yanıtı ait skalogram görüntüsünde 15-35 ms ile 35-75 ms zaman aralıklarında sinyalin enerjisinin yoğunlaştığı görülmektedir. Koni yanıtında ise dalgaların oluşum zamanları sırasıyla 20-25ms ile 37-40 ms'dir. Skalogram görüntüsünde ise sinyalin en yüksek enerji yoğunluğu 35-45 ms aralığındadır. Dolayısıyla sağ göz için 'b' dalgasının oluşum zamanının tespitinde bütün yanıtların skalogram görüntülerinden faydalanabilirken, 'a' dalgasının oluşum zamanına dair bilgilere maksimum kombine ve koni yanıtlarının skalogram görüntüsü kullanılarak erişilebilmektedir.

Sol göze ait rod yanıtı için 'b' dalgasının oluşum zamanı 88-99 ms olup, en yüksek enerji seviyesinin olduğu zaman aralığı 75-100 ms'dir. Maksimum kombine yanıtta 'a' dalgası 27-30 ms, 'b' dalgası ise 47-62 ms zaman aralıklarında ortaya çıkmaktadır. Skalogram görüntüsünde ise sinyalin enerjisinin en yüksek olduğu zaman dilimleri 0-35 ms ile 35-75

ms'dir. Koni yanıtında ise 'a' dalgası 22-25ms, 'b' dalgası 37-39 ms zaman aralıklarında görülmektedir. Yanıtın skalogram görüntüsünde 0-35 ms ile 35-55 ms zaman dilimlerinde yoğun enerji seviyeleri bulunmaktadır. Sonuç olarak tüm yanıtların skalogram görüntüleri kullanılarak sinyalin hem 'a' hem de 'b' dalgasına ilişkin bilgilerine ulaşmak mümkündür.



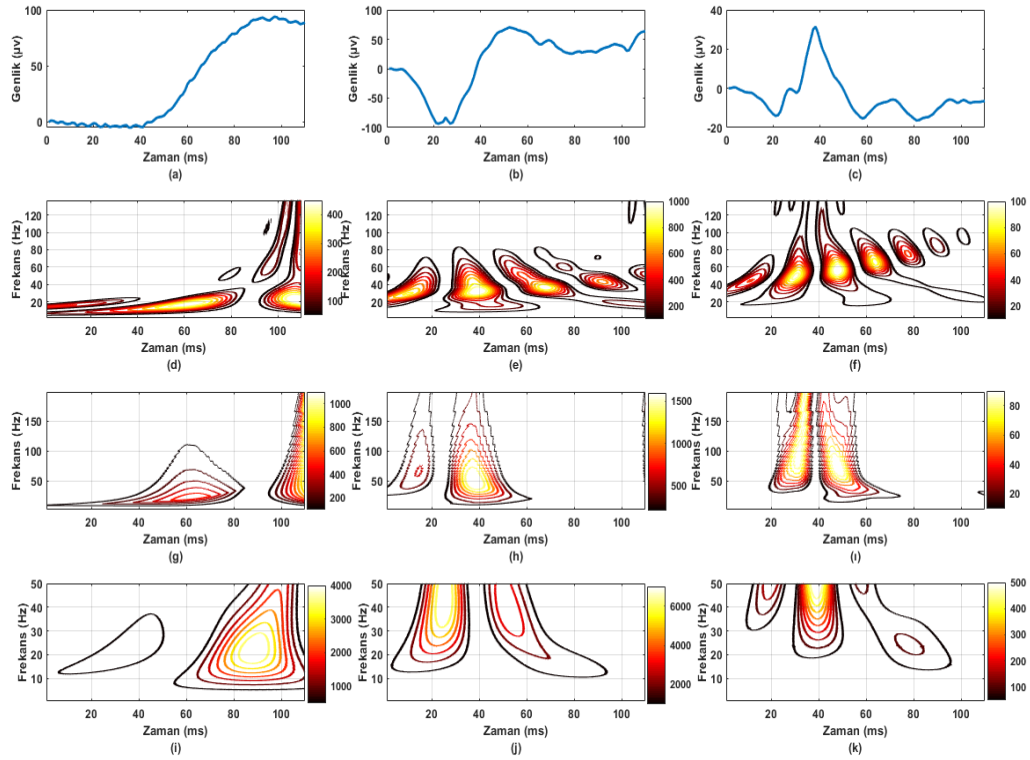
Şekil 5.7 Süper obez 7 bireyin hem sağ hem de sol gözü için elde edilen ortalaması alınmış fERG sinyallerinin üç farklı yanıtı ve bu yanıtlara ait skalogram görüntüleri. (a), (b) ve (c) sırasıyla sağ göze ait rod, maksimum kombine ve koni yanıtları; (d), (e) ve (f) ise sırasıyla bu yanıtların skalogram görüntüleri. (g), (h) ve (i) sırasıyla sol göze ait rod, maksimum kombine ve koni yanıtları; (i), (j) ve (k) ise sırasıyla yanıtlardan elde edilen skalogram görüntülerini göstermektedir.

Şekil 5.7’de yer alan sonuçlar incelendiğinde; sağ göz için rod yanıtında 'b' dalgasının oluşum zamanı 94-108 ms'dir. Yanıtın skalogram görüntülerinde 75 ila 95 ms zaman aralığında sinyalinin enerjisinin yoğun olduğu görülmektedir. Maksimum kombine yanıt için dalgaların oluşum zamanları sırasıyla 21-24 ms ile 47-63 ms'dir. Skalogram görüntüsünde sinyalin enerji yoğunluğunun en yüksek olduğu zaman aralıkları 15-35 ms ile 35-75 ms'dir. Koni yanıtı için ise 'a' dalgasının oluşum zaman aralığı 22-23 ms iken , 'b' dalgasının ise 38-41 ms zaman aralığındandır. Skalogram görüntüsünde en yüksek enerji seviyeleri 35-55 ms ile 75-95 ms zaman aralıklarında yer almaktadır. Dolayısıyla süper obez bireyler için sağ göze ait rod ve maksimum kombine yanıtlarının skalogram görüntülerinden 'b' dalgasının oluşum zamanı belirlenebilirken, 'a' dalgasının ki ise yalnızca maksimum kombine yanıtının skalogram görüntülerinden ulaşılabilir.

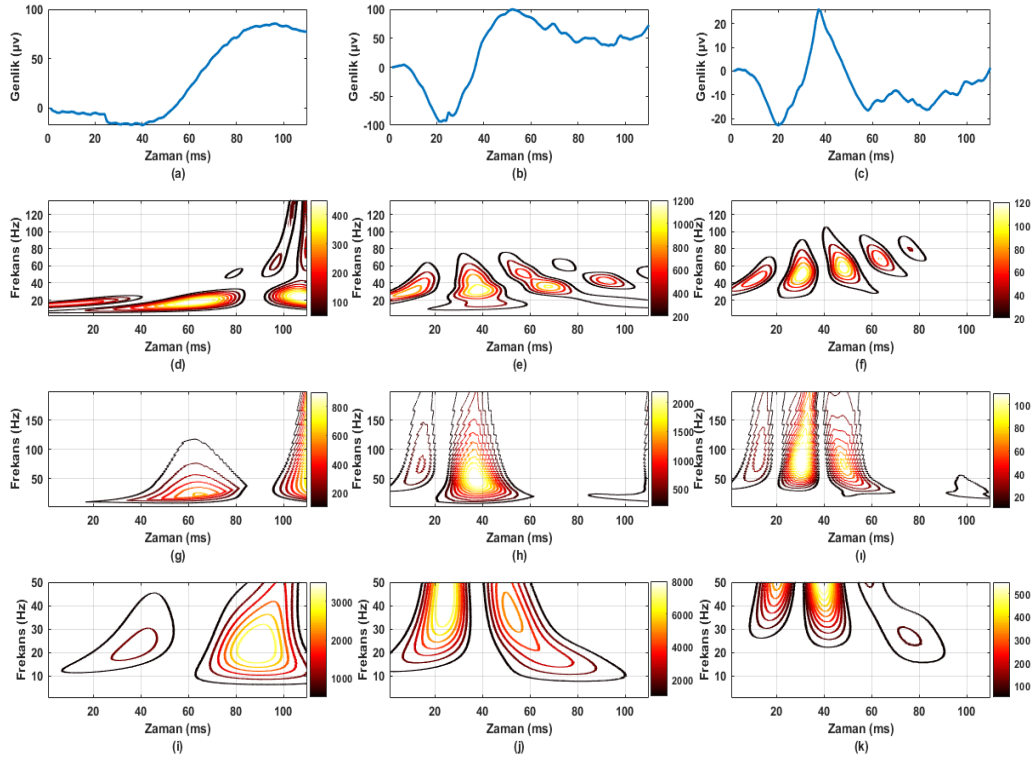
Sol göz için ise rod yanıtında ‘b’ dalgasının oluşum zamanı 95-98 ms zaman aralığında yer almakta olup, yanıtın skalogram görüntüsünde en yoğun enerji seviyesi 75-95 ms aralığındadır. Maksimum kombine yanıtında ‘a’ dalgası 21-23 ms zaman aralığında oluşurken, ‘b’ dalgası 49-52 ms zaman aralığında gözlenmektedir. Yanıta ait skalogram görüntüsünde ise 37-75 ms’lik zaman diliminde en yoğun enerji seviyesi ortaya çıkmaktadır. Son olarak koni yanıtında ‘a’ dalgası 21-23 ms zaman aralığında ve ‘b’ dalgası ise 38-41 ms zaman aralığında yer almaktadır. Skalogram görüntüsünde 35-55 ms ile 75-95 ms aralıkları en yoğun enerji seviyelerinin olduğu zaman dilimleridir. Sonuç olarak sol göze ait rod ve maksimum kombine yanıtının skalogram görüntülerinden ‘b’ dalgasının oluşum zamanının tespit edilmesi mümkün olmaktadır. Buna karşın ‘a’ dalgasına dair bilgilere skalogram görüntülerinden ulaşılamamaktadır.

5.2.2 Sürekli Dalgacık Dönüşümünün Uygulanması ile Elde Edilen Analiz Sonuçları

Bu kısımda SDD yöntemiyle normal ve farklı obezite derecelerine sahip bireylerin her iki gözüne ait fERG sinyallerinin rod, maksimum kombine ve koni yanıtlarının zaman-frekans bölgesindeki analiz sonuçları verilmiştir. Çalışmada öncelikle normal bireylerin fERG yanıtları kullanılarak, farklı obez gruplarına ait yanıtların analizleri için en uygun ana dalgacık türü skalogram görüntülerinden yararlanılarak belirlenmiştir. Bu doğrultuda normal bireylerin fERG sinyallerine ait yanıtlarının analizinde db10, haar ve Meksika şapka dalgacıkları kullanılmıştır. Şekil 5.8 ve Şekil 5.9’da sırasıyla normal bireylerin sağ ve sol gözlerine ait rod, maksimum kombine ve koni yanıtlarının skalogram görüntüleri verilmiştir.

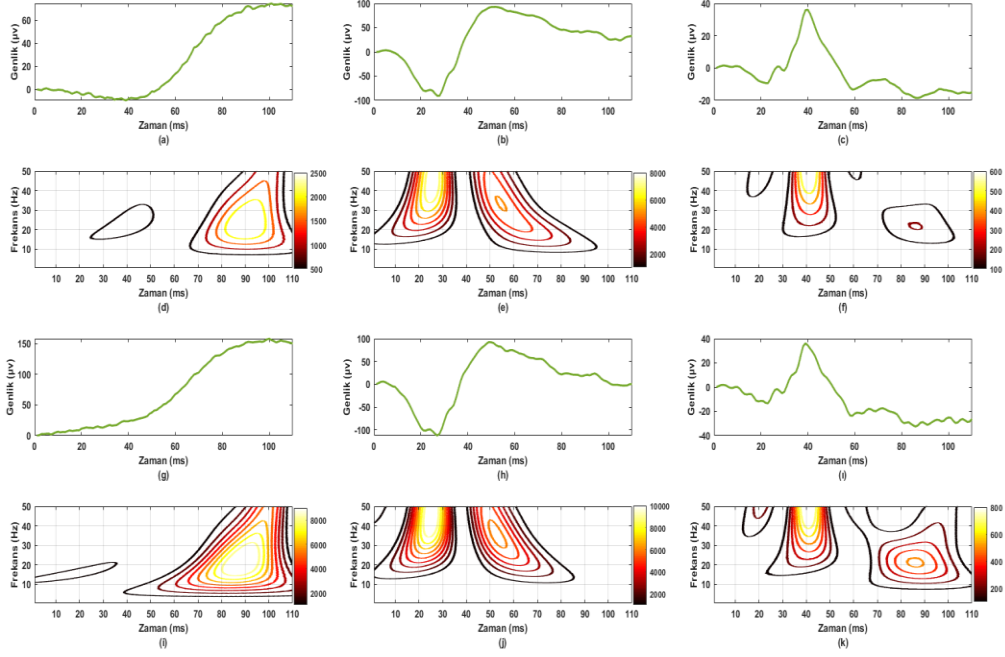


Şekil 5.8 Normal bireylerin sağ gözlerinden kaydedilen ortalaması alınmış fERG sinyallerinin (a) rod yanıtı, (b) maksimum kombine yanıtı ve (c) koni yanıtı. (d)-(l) fERG yanıtları için SDD analizi sonucu elde edilen skalogram görüntüleri: (d), (e) ve (f) sırasıyla rod, maksimum kombine ve koni yanıtlarının db10 dalgacıyla analizi; (g), (h) ve (i) sırasıyla rod, maksimum kombine ve koni yanıtlarının Haar dalgacıyla analizi; (j), (k) ve (l) ise sırasıyla rod, maksimum kombine ve koni yanıtlarının Meksika şapka dalgacıyla analizi.

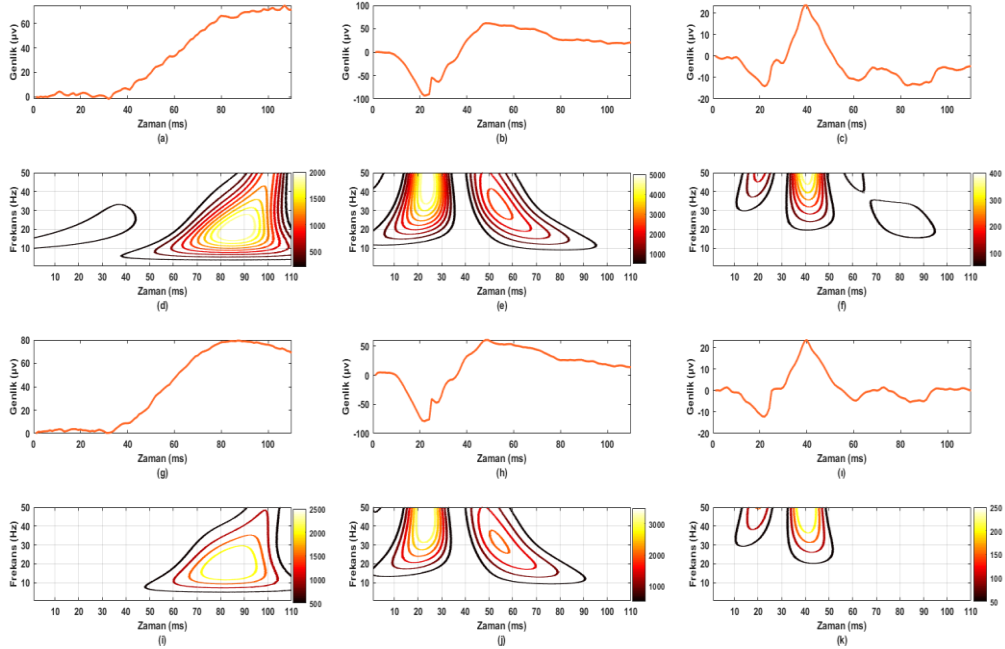


Şekil 5.9 Normal bireylerin sol gözlerinden kaydedilen ortalaması alınmış fERG sinyallerinin (a) rod yanıtı, (b) maksimum kombine yanıtı ve (c) koni yanıtı, (d)-(l) fERG yanıtları için SDD analizi sonucu elde edilen skalogram görüntüleri: (d), (e) ve (f) sırasıyla rod, maksimum kombine ve koni yanıtlarının db10 dalgacığıyla analizi; (g), (h) ve (i) sırasıyla rod, maksimum kombine ve koni yanıtlarının Haar dalgacığıyla analizi; (j), (k) ve (l) ise sırasıyla rod, maksimum kombine ve koni yanıtlarının Meksika şapka dalgacığıyla analizi.

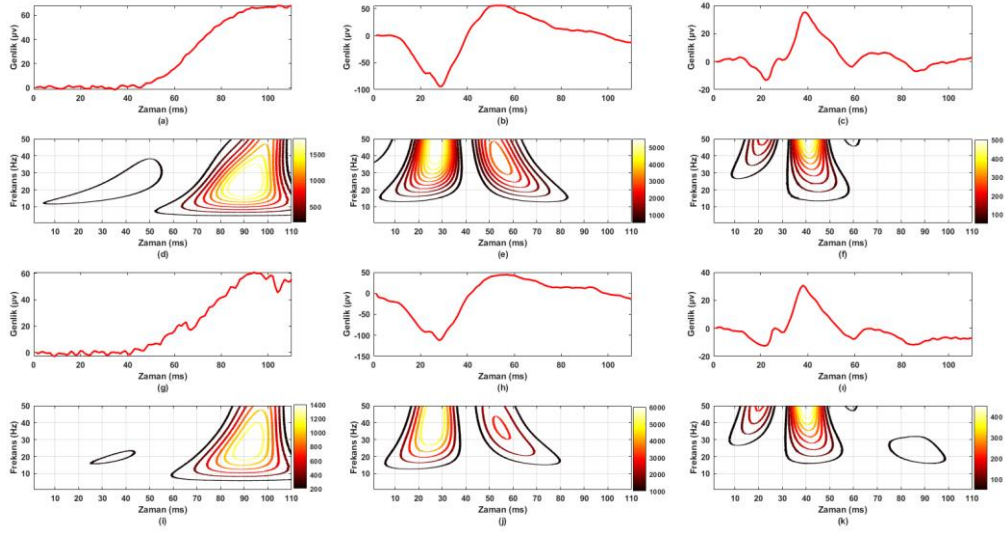
Şekil 5.8 ve Şekil 5.9’da, fERG yanıtlarının analizinde db10 ve haar ana dalgacıkları kullanılması durumunda elde edilen skalogram görüntülerinde enerji seviyelerinin en yoğun olduğu zaman aralıklarının, ‘a’ ve ‘b’ dalgalarının oluşum zamanları ile örtüşmediği görülmektedir. db10 ve haar ana dalgacık türlerinin dalgaların oluşum zamanlarında kaymalara neden olmaktadır. Ancak Meksika şapkasıyla gerçekleştirilen analizlerde ise dalgaların oluşum zamanları ile skalogramlardaki en yoğun enerji seviyelerine ait zaman aralıkları kesişmektedir. Sonuç olarak fERG sinyallerine ait yanıtlardaki ‘a’ ve ‘b’ dalgalarının lokasyon bilgilerinin tespitinde en uygun dalgacık türü Meksika şapkasıdır. Her iki göz için normal bireylerin fERG sinyallerinin analizinden en uygun dalgacık türü belirlendikten sonra, bu dalgacık türü kullanılarak obezitenin fazla kilolu, obez, morbid obez, süper obez seviyelerine ait yanıtlar SDD yöntemi yardımıyla analiz edilmiştir. Bu doğrultuda her bir obez seviyesi için bireylerin hem sağ hem de sol gözlerinden elde edilen skalogram görüntüleri Şekil 5.10 – Şekil 5.13’de verilmiştir.



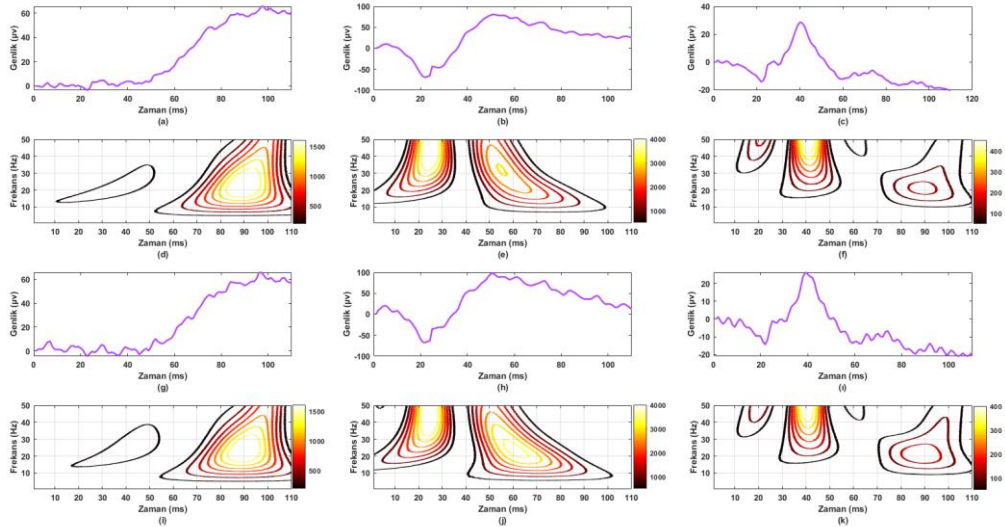
Şekil 5.10 Fazla kilolu bireylerin sağ gözlerinden elde edilen ortalaması alınmış fERG sinyallerinin (a) rod yanıtı, (b) maksimum kombine yanıtı, (c) koni yanıtı, (d)-(l) SDD ile analiz edilen yanıtların skalogram görüntüleri. Fazla kilolu bireylerin sol gözlerinden elde edilen ortalaması alınmış fERG sinyallerine ait (g) rod yanıtı, (h) maksimum kombine yanıtı, (i) koni yanıtı, (i)-(k) SDD ile analiz edilen yanıtların skalogram görüntüleri.



Şekil 5.11 Obez bireylerin sağ gözlerinden elde edilen ortalaması alınmış fERG sinyallerinin (a) rod yanıtı, (b) maksimum kombine yanıtı, (c) koni yanıtı, (d)-(l) SDD ile analiz edilen yanıtların skalogram görüntüleri. Obez bireylerin sol gözlerinden elde edilen ortalaması alınmış fERG sinyallerine ait (g) rod yanıtı, (h) maksimum kombine yanıtı, (i) koni yanıtı, (i)-(k) SDD ile analiz edilen yanıtların skalogram görüntüleri.



Şekil 5.12 Morbid obez bireylerin sağ gözlerinden elde edilen ortalaması alınmış fERG sinyallerinin (a) rod yanıtı, (b) maksimum kombine yanıtı, (c) koni yanıtı, (d)-(l) SDD ile analiz edilen yanıtların skalogram görüntüleri. Morbid obez bireylerin sol gözlerinden elde edilen ortalaması alınmış fERG sinyallerine ait (g) rod yanıtı, (h) maksimum kombine yanıtı, (i) koni yanıtı, (i)-(k) SDD ile analiz edilen yanıtların skalogram görüntüleri.



Şekil 5.13 Süper obez bireylerin sağ gözlerinden elde edilen ortalaması alınmış fERG sinyallerinin (a) rod yanıtı, (b) maksimum kombine yanıtı, (c) koni yanıtı, (d)-(l) SDD ile analiz edilen yanıtların skalogram görüntüleri. Süper obez bireylerin sol gözlerinden elde edilen ortalaması alınmış fERG sinyallerine ait (g) rod yanıtı, (h) maksimum kombine yanıtı, (i) koni yanıtı, (i)-(k) SDD ile analiz edilen yanıtların skalogram görüntüleri.

Şekil 5.10- Şekil 5.13'deki skalogram görüntülerinde enerjinin yoğun olduğu bölgeler 'a' ve 'b' dalgalarının lokalizasyonları hakkında bilgi vermektedir. Bunun yanı sıra bu bölgeler dalgalara ait frekans bilgilerini de içermektedir. Bu doğrultuda şekillerden çıkarılan bilgiler Çizelge 5.3'de özetlenmiştir.

Çizelge 5.3 Farklı obezite seviyelerinde bulunan bireylerin sağ ve sol gözlerine ait rod, maksimum kombine ve koni yanıtlarından SDD yöntemiyle elde edilen 'a' ve 'b' dalgalarının frekansları ve oluşum zamanları.

			Rod Yanıtı		Maksimum Kombine Yanıtı		Koni Yanıtı	
	Obezite Seviyesi	Dalga türü	Zaman (ms)	Frekans (Hz)	Zaman (ms)	Frekans (Hz)	Zaman (ms)	Frekans (Hz)
Sağ göz	Normal	a	-	-	25±4	41±9	19±3	47±3
	Normal	b	89±7	23±7	54±5	39±11	39±3	47±3
	Fazla kilolu	a	-	-	25±3	42±8	21±6	44±7
	Fazla kilolu	b	90±9	26±10	54±3	33±4	41±3	44±6
	Obez	a	-	-	24±3	42±8	21±3	47±3
	Obez	b	87±8	21±7	56±5	34±8	41±3	47±3
	Morbid Obez	a	-	-	27±3	43±8	22±2	48±2
	Morbid Obez	b	91±8	26±10	56±4	39±9	41±2	48±3
	Süper Obez	a	-	-	25±4	41±9	21±2	48±2
	Süper Obez	b	90±9	24±9	55±2	32±4	41±3	46±4
Sol göz	Normal	a	37±9	23±7	24±4	41±9	20±2	48,2±2
	Normal	b	90±6	23±6	52±5	37±8	40±2	47±2
	Fazla kilolu	a	-	-	25±3	42±8	21±3	47±3
	Fazla kilolu	b	80±8	23±8	54±3	36±7	41±3	44±6
	Obez	a	-	-	23±4	40,5±9	20±1	49,4±1
	Obez	b	85±7	21±9	55±4	32±6	41±4	44±6
	Morbid Obez	a	-	-	25±5	38±10	20±2	48,5±2
	Morbid Obez	b	93±5	28±11	54±4	38±6	40±2	46±4
	Süper Obez	a	-	-	24±3	40±10	20±4	45±5
	Süper Obez	b	92±3	26±8	60±5	24±5	40,5±2	45,5±4

Çizelge 5.3'de görüldüğü üzere her iki göze ait rod yanıtlarında 'a' dalgası gözlenmemektedir. Sağ göz için normal bireylerin maksimum kombine yanıtında 'a' dalgasının oluşum zamanı 25±4 ms, frekansı 41±9 Hz iken, koni yanıtında ise dalganın oluşum zamanı 19±3 ms ve frekansı 47±3 Hz'dir. Öte yandan rod, maksimum kombine ve koni yanıtları için 'b' dalgasının oluşum zamanları sırasıyla 89 ±7 ms, 54±5 ms ve 39±3 ms iken, frekansları 23±7 Hz, 39±11 Hz ve 47±3 Hz'dir. Fazla kilolu bireyler için rod yanıtında 'b' dalgasının oluşum zamanı 90±9 ms ve frekansı 26±10 Hz'dir. Maksimum kombine yanıtında 'a' dalgasının oluşum zamanı 25±3 ms, frekansı 42±8 Hz iken, 'b' dalgasının oluşum zamanı 54±3 ms ve frekansı 33±4 Hz'dir. Koni yanıtında dalgaların oluşum zamanları sırasıyla 21±6 ms ve 41±3 ms; frekansları ise 44±7 Hz ve 44±6 Hz'dir. Obez bireyler için sırasıyla maksimum kombine ve koni yanıtlarında 'a' dalgasına ait oluşum zamanları ve frekansları 24±3 ms ve 42±8 Hz, 21±3 ms

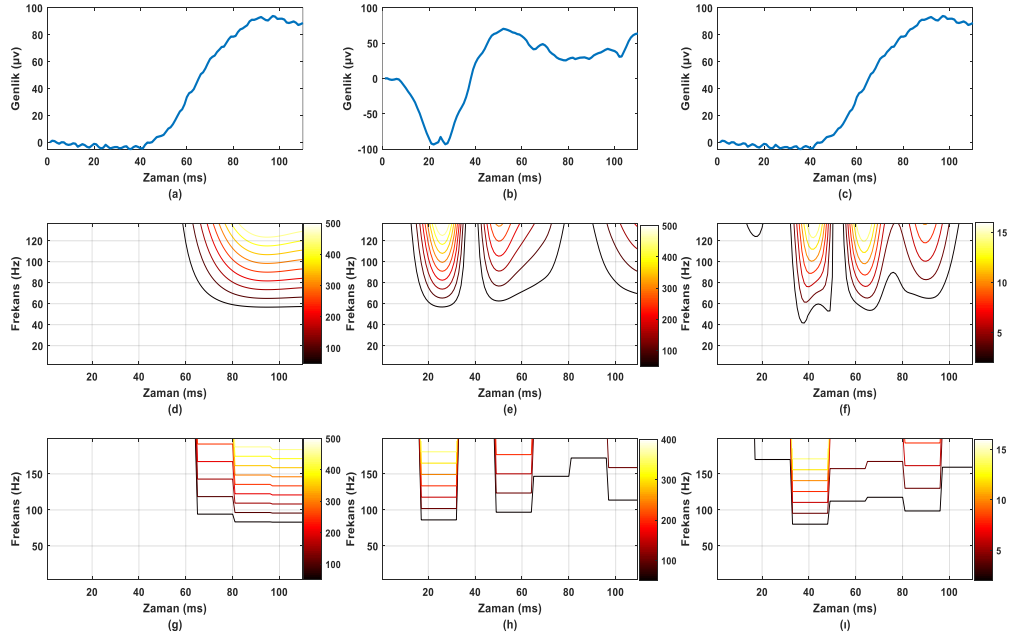
ve 47 ± 3 Hz'dir. Rod, maksimum kombine ve koni yanıtlarında 'b' dalgasının oluşum zamanları ve frekansları ise sırasıyla 87 ± 8 ms ve 21 ± 7 Hz, 56 ± 5 ms ve 34 ± 8 Hz, 41 ± 3 ms ve 47 ± 3 Hz değerlerindedir. Morbid obez bireyler için rod yanıtında 'b' dalgasının oluşum zamanı 91 ± 8 ms iken, 26 ± 10 Hz'lik bir frekans değerine sahiptir. Maksimum kombine yanıtta 'a' ve 'b' dalgalarının oluşum zamanları sırasıyla 27 ± 3 ms ve 56 ± 4 ms olup, frekansları 43 ± 8 Hz ve 39 ± 9 Hz'dir. Koni yanıtında ise 'a' dalgasının oluşum zamanı 22 ± 2 ms, frekansı 48 ± 2 Hz iken, 'b' dalgasının oluşum zamanı 41 ± 2 ms ve frekansı 48 ± 3 Hz'dir. Son olarak süper obez bireyler için maksimum kombine yanıtında 'a' dalgasının oluşum zamanı 25 ± 4 ms, frekansı 41 ± 9 Hz iken, koni yanıtında dalganın oluşum zamanı 21 ± 2 ms, frekansı ise 48 ± 2 Hz'dir. Rod, maksimum kombine ve koni yanıtları için 'b' dalgasına ait oluşum zamanları ve frekansları sırasıyla 90 ± 9 ms ve 24 ± 9 Hz, 55 ± 2 ms ve 32 ± 4 Hz, 41 ± 3 ms ve 46 ± 4 Hz'dir.

Çizelge 5.3'deki sol göze ait bilgiler incelendiğinde; 'a' dalgasının oluşum zamanı, maksimum kombine yanıtında normal bireyler için 24 ± 4 ms iken, obez grupları (fazla kilolu, obez, morbid obez ve süper obez) için 25 ± 3 ms, 23 ± 4 ms, 25 ± 5 ms ve 24 ± 3 ms'dir. Dalgaya ait frekanslar ise normal ve obez grupları için sırasıyla 41 ± 9 Hz, 42 ± 8 Hz, $40,5\pm9$ Hz, 38 ± 10 Hz ve 40 ± 10 Hz'dir. Normal ve obez grupların koni yanıtlarında 'a' dalgasının oluşum zamanları 20 ± 2 ms, 21 ± 3 ms, 20 ± 1 ms, 20 ± 2 ms ve 20 ± 4 ms iken, frekansları $48,2\pm2$ Hz, 47 ± 3 Hz, $49,4\pm1$ Hz, $48,5\pm2$ Hz ve 45 ± 5 Hz'dir. Diğer taraftan 'b' dalgasının oluşum zamanı rod yanıtında normal bireyler için 90 ± 6 ms iken, obez gruplar için sırasıyla 80 ± 8 ms, 85 ± 7 ms, 93 ± 5 ms ve 92 ± 3 ms'dir. Dalgaya ait ilgili gruplardaki frekans değerleri ise sırasıyla 23 ± 6 Hz, 23 ± 8 Hz, 21 ± 9 Hz, 28 ± 11 Hz ve 26 ± 8 Hz'dir. Maksimum kombine yanıt için dalganın oluşum zamanı ve frekansı normal bireyler için 52 ± 5 ms ve 37 ± 8 Hz'dir. Fazla kilolu bireyler için dalganın oluşum zamanı ve frekansı 54 ± 3 ms ve 36 ± 7 Hz'dir. Obez, morbid obez ve süper obez bireyler için ise dalganın oluşum zamanları ve frekansları sırasıyla 55 ± 4 ms ve 32 ± 6 Hz, 54 ± 4 ms ve 38 ± 6 Hz, 60 ± 5 ms ve 24 ± 5 Hz'dir. Son olarak koni yanıtında 'b' dalgasının oluşum zamanı ve frekansı normal bireylerde 40 ± 2 ms ve 47 ± 2 Hz, fazla kilolularda 41 ± 3 ms ve 41 ± 3 Hz, obez bireylerde 41 ± 4 ms ve 44 ± 6 Hz, morbid obezlerde 40 ± 2 ms ve 46 ± 4 Hz, süper obez bireyler için ise $40,5\pm2$ ms ve $45,5\pm4$ Hz'dir.

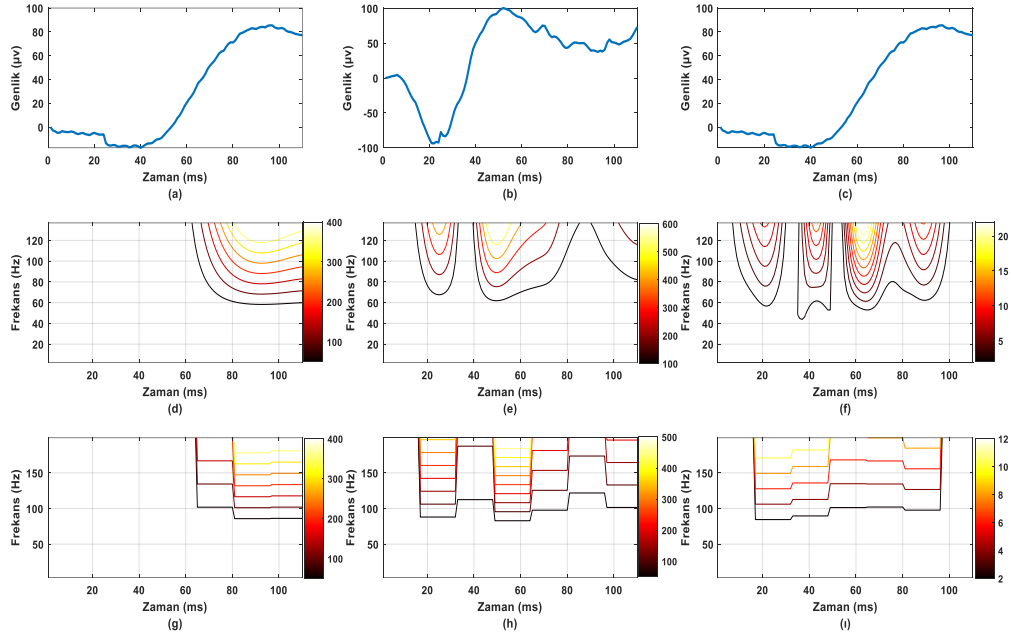
5.2.3 Ayrık Dalgacık Dönüşümünün Uygulanması ile Elde Edilen Analiz Sonuçları

Çalışmanın bu kısmında, normal ve farklı obezite derecelerine sahip bireylerin her iki gözüne ait fERG sinyallerinin rod, maksimum kombine ve koni yanıtlarının ADD yönteminin

uygulanmasıyla elde edilen analiz sonuçları verilmiştir. Bu doğrultuda öncelikle normal bireylerin yanıtlarına db10 ve haar dalgacıklarının kullanıldığı ADD'nin uygulanmasıyla elde edilen skalogramlar incelenerek, hangi dalgacık türünün analizler için uygun olduğu belirlenmiştir. Şekil 5.14 ve Şekil 5.15'de sırasıyla normal bireylerin her iki gözü için rod, maksimum kombine ve koni yanıtlarının skalogram görüntüleri verilmiştir.

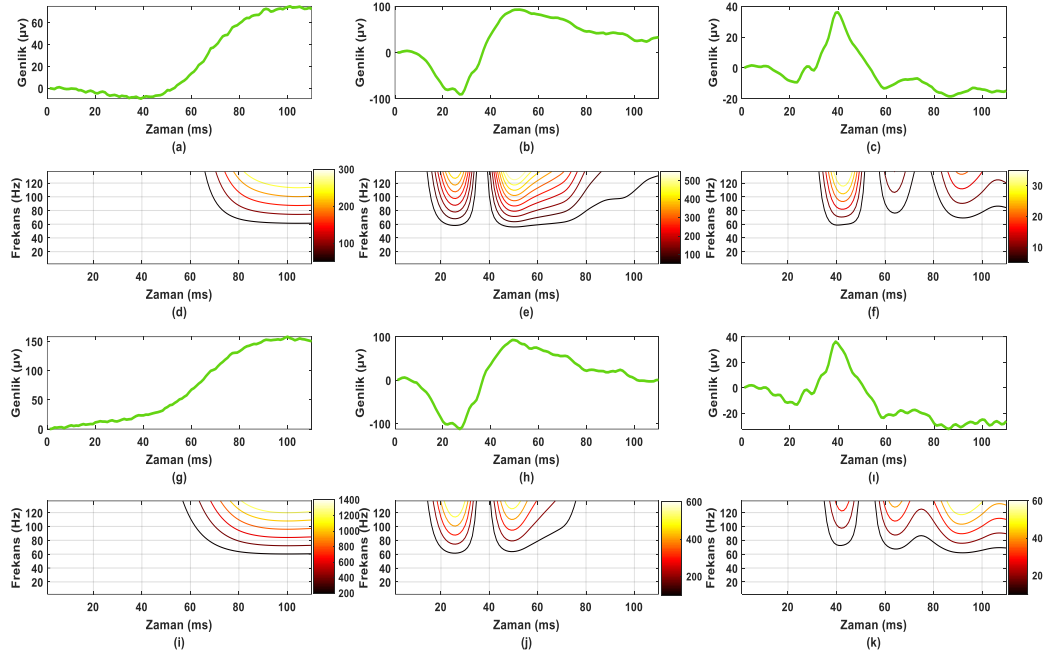


Şekil 5.14 Normal bireylerin sağ gözlerinden kaydedilen ortalaması alınmış fERG sinyallerinin (a) rod yanıtı, (b) maksimum kombine yanıtı ve (c) koni yanıtı. (d)-(i) fERG yanıtları için ADD analizi sonucu elde edilen skalogram görüntüleri: (d), (e) ve (f) sırasıyla rod, maksimum kombine ve koni yanıtlarının db10 dalgacıyla analizi; (g), (h) ve (i) sırasıyla rod, maksimum kombine ve koni yanıtlarının Haar dalgacıyla analizi.

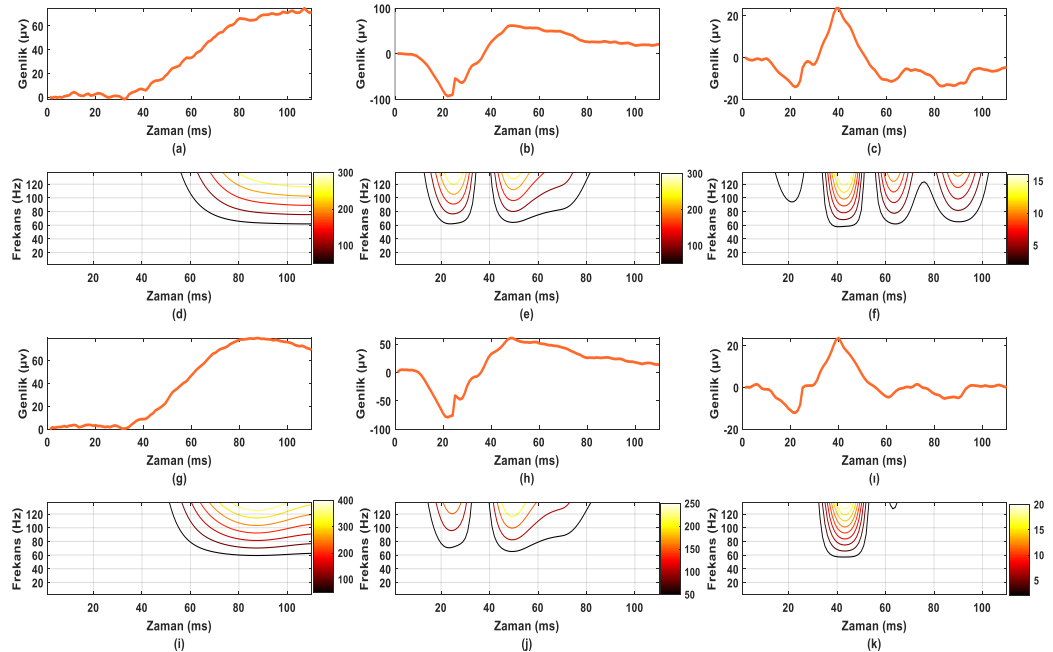


Şekil 5.15 Normal bireylerin sol gözlerinden kaydedilen ortalaması alınmış fERG sinyallerinin (a) rod yanıtı, (b) maksimum kombine yanıtı ve (c) koni yanıtı. (d)-(i) fERG yanıtları için ADD analizi sonucu elde edilen skalogram görüntüleri: (d), (e) ve (f) sırasıyla rod, maksimum kombine ve koni yanıtlarının db10 dalgacığıyla analizi; (g), (h) ve (i) sırasıyla rod, maksimum kombine ve koni yanıtlarının Haar dalgacığıyla analizi.

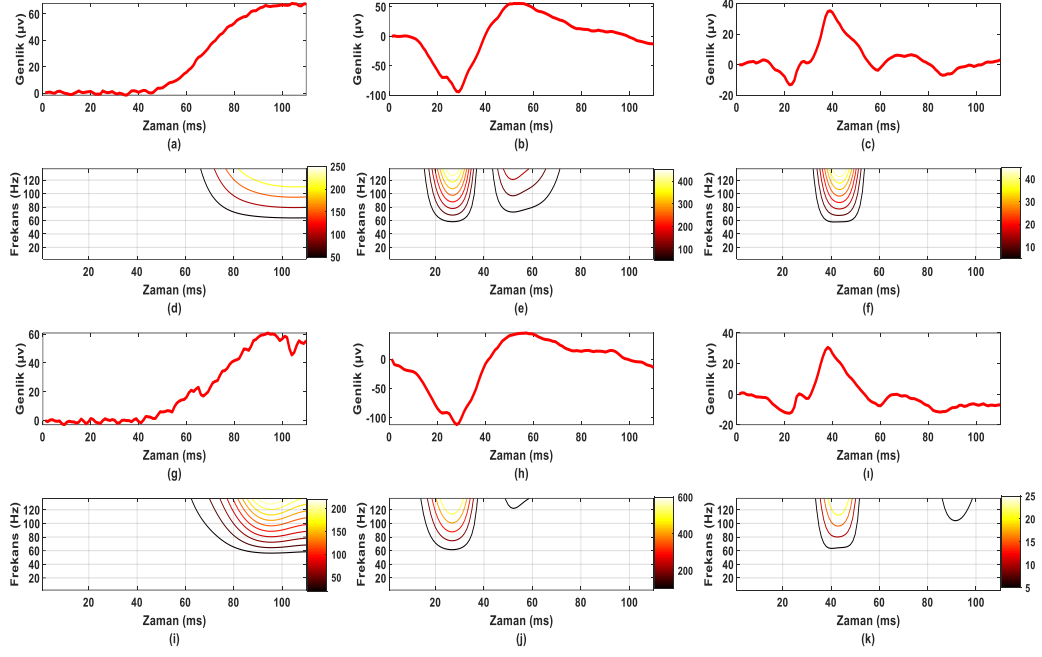
Şekil 5.14 ve Şekil 5.15’den açıkça görüldüğü üzere, her iki göze ait rod yanıtlarında dalgacık tipine bakılmaksızın skalogram görüntülerinde ‘a’ dalgasına dair herhangi bir zaman-frekans bilgisi ulaşılamamaktadır. db10 dalgacığının kullanılması halinde, maksimum kombine ve koni yanıtlarının skalogramlarından hem ‘a’ hem de ‘b’ dalgasının lokalizasyonu doğru bir şekilde belirlenebilmektedir. Öte yandan haar dalgacığının kullanılması halinde ise rod yanıtının skalogramından yalnızca ‘b’ dalgasına ait bilgilere ulaşılabilmektedir. Buna karşılık maksimum kombine yanıtına ait skalogramlarda hem ‘a’ hem de ‘b’ dalgalarının zaman-frekans bilgisi tespit edilebilmektedir. Ancak koni yanıtlarının skalogram görüntüleri dalgaların konumuna ait toplu bir bilgi verdiğinden, dalgalar ayrı ayrı tespit edilememektedir. Sonuç olarak fERG sinyallerine ait yanıtlardaki dalgalara ilişkin zaman-frekans bilgisinin ADD yöntemiyle çıkarımında kullanılacak olan en uygun dalgacık türünün db10 olduğu tespit edilmiştir. Bu doğrultuda her bir obez seviyesi için db10 dalgacığının kullanıldığı ADD yöntemiyle elde edilen skalogram görüntüleri Şekil 5.16 – Şekil 5.19’da verilmiştir. Çizelge 5.4’de ise analizler sonucu elde edilen skalogramlardaki yoğun enerji seviyelerinden çıkarılan ‘a’ ve ‘b’ dalgalarna ait zaman-frekans bilgileri verilmiştir.



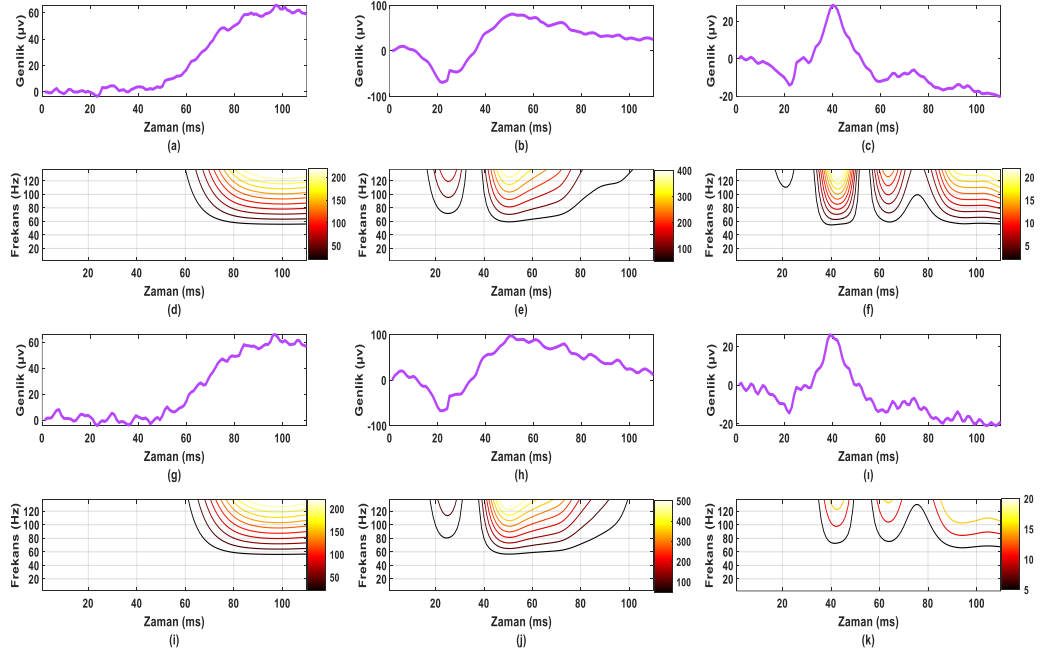
Şekil 5.16 Fazla kilolu bireylerin sağ gözlerinden elde edilen ortalaması alınmış fERG sinyallerinin (a) rod yanıtı, (b) maksimum kombine yanıtı, (c) koni yanıtı, (d)-(f) ADD ile analiz edilen yanıtların skalogram görüntüleri. Fazla kilolu bireylerin sol gözlerinden elde edilen ortalaması alınmış fERG sinyallerine ait (g) rod yanıtı, (h) maksimum kombine yanıtı, (i) koni yanıtı, (j)-(k) ADD ile analiz edilen yanıtların skalogram görüntüleri.



Şekil 5.17 Obez bireylerin sağ gözlerinden elde edilen ortalaması alınmış fERG sinyallerinin (a) rod yanıtı, (b) maksimum kombine yanıtı, (c) koni yanıtı, (d)-(f) ADD ile analiz edilen yanıtların skalogram görüntüleri. Obez bireylerin sol gözlerinden elde edilen ortalaması alınmış fERG sinyallerine ait (g) rod yanıtı, (h) maksimum kombine yanıtı, (i) koni yanıtı, (j)-(k) ADD ile analiz edilen yanıtların skalogram görüntüleri.



Şekil 5.18 Morbid obez bireylerin sağ gözlerinden elde edilen ortalaması alınmış fERG sinyallerinin (a) rod yanıtı, (b) maksimum kombine yanıtı, (c) koni yanıtı, (d)-(l) ADD ile analiz edilen yanıtların skalogram görüntüleri. Morbid obez bireylerin sol gözlerinden elde edilen ortalaması alınmış fERG sinyallerine ait (g) rod yanıtı, (h) maksimum kombine yanıtı, (i) koni yanıtı, (i)-(k) ADD ile analiz edilen yanıtların skalogram görüntüleri.



Şekil 5.19 Süper obez bireylerin sağ gözlerinden elde edilen ortalaması alınmış fERG sinyallerinin (a) rod yanıtı, (b) maksimum kombine yanıtı, (c) koni yanıtı, (d)-(l) ADD ile analiz edilen yanıtların skalogram görüntüleri. Süper obez bireylerin sol gözlerinden elde edilen ortalaması alınmış fERG sinyallerine ait (g) rod yanıtı, (h) maksimum kombine yanıtı, (i) koni yanıtı, (i)-(k) ADD ile analiz edilen yanıtların skalogram görüntüleri.

Çizelge 5.4 Farklı obezite seviyelerinde bulunan sağ ve sol gözlerine ait rod, maksimum kombine ve koni yanıtlarından ADD yöntemiyle elde edilen ‘a’ ve ‘b’ dalgalarının frekansları ve oluşum zamanları.

			Rod Yanıtı		Maksimum Kombine Yanıtı		Koni Yanıtı	
	Obezite Seviyesi	Dalga türü	Zaman (ms)	Frekans (Hz)	Zaman (ms)	Frekans (Hz)	Zaman (ms)	Frekans (Hz)
Sağ göz	Normal	a dalgası	-	-	26±3	131±6	17±4	130±6
	Normal	b dalgası	96±14	130±7	51±2	135±2	42±3	130±7
	Fazla kilolu	a dalgası	-	-	26±3	132±5	-	-
	Fazla kilolu	b dalgası	96±14	125±12	51±4	131±6	43±4	126±11
	Obez	a dalgası	-	-	25±5	128±9	20±6	115±22
	Obez	b dalgası	95±15	126±11	50±3	132±5	43±3	127±9
	Morbid Obez	a dalgası	-	-	27±3	132±5	-	-
	Morbid Obez	b dalgası	96±4	123±13	54±6	129±8	44±4	131±6
	Süper Obez	a dalgası	-	-	26±4	128±9	21±4	124±13
	Süper Obez	b dalgası	97±3	130±7	51±4	131±6	43±3	130±7
Sol göz	Normal	a dalgası	-	-	25±3	132±6	43±2	133±4
	Normal	b dalgası	96±15	137±18	51±11	128±10	63±3	132±6
	Fazla kilolu	a dalgası	-	-	26±5	125±12	-	-
	Fazla kilolu	b dalgası	96±15	128±9	50±4	131±6	42±3	130±7
	Obez	a dalgası	-	-	25±4	129±9	-	-
	Obez	b dalgası	89±12	132±6	50±5	127±10	44±3	133±3
	Morbid Obez	a dalgası	-	-	27±5	125±12	-	-
	Morbid Obez	b dalgası	96±6	132±4	54±6	131±6	43±4	126±14
	Süper Obez	a dalgası	-	-	25±2	125±11	42±2	130±7
	Süper Obez	b dalgası	97±13	131±5	52±6	130±6	64±2	133±3

Çizelge 5.4’de görüldüğü üzere sağ ve sol göze ait sinyallerin tamamında ait rod yanıtlarında ‘a’ dalgası gözlenmemektedir. Sağ göz için normal bireylere ait maksimum kombine yanıtında ‘a’ dalgasının oluşum zamanı 26±3 ms, frekansı 131±6 Hz iken, koni yanıtında ise dalganın oluşum zamanı 17±4 ms ve frekansı 130±6 Hz’dir. ‘b’ dalgasının oluşum zamanı ve frekansı rod yanıtında 96±14 ms ve 130±7 Hz, maksimum kombine yanıtında 54±5 ms ve 39±11 Hz, koni yanıtında ise 51±2 ms ve 135±2 Hz’dir. Fazla kilolu bireylerde ‘b’ dalgasının oluşum zamanı ve frekansı rod, maksimum kombine ve koni yanıtları için sırasıyla 96±14 ms ve 125±12 Hz, 51±4 ms ve 131±6 Hz, 43±4 ms ve 126±11 Hz’dir. Öte yandan maksimum kombine yanıtında ‘a’ dalgasının oluşum zamanı 26±3 ms, frekansı 132±5 Hz iken, koni yanıtında dalgaya ait herhangi bir bilgiye ulaşılamamaktadır. Obez bireyler için sırasıyla maksimum kombine ve koni yanıtlarında ‘a’ dalgasına ait oluşum zamanları ve frekansları 25±5 ms ve 128±9 Hz, 20±6 ms ve 115±22 Hz’dir. Rod, maksimum kombine ve koni yanıtlarında ‘b’ dalgasının oluşum zamanları ve frekansları sırasıyla 95±15 ms ve 126±11 Hz, 50±3 ms ve 132±5 Hz, 43±3 ms ve 127±9 Hz değerlerindedir. Morbid obez bireyler için rod yanıtında ‘b’ dalgasının oluşum zamanı 96±4 ms iken, 123±13 Hz’lik bir frekans değerine sahiptir. Maksimum kombine yanıtta ‘a’ ve ‘b’ dalgalarının oluşum zamanları sırasıyla 27±3 ms ve 54±6

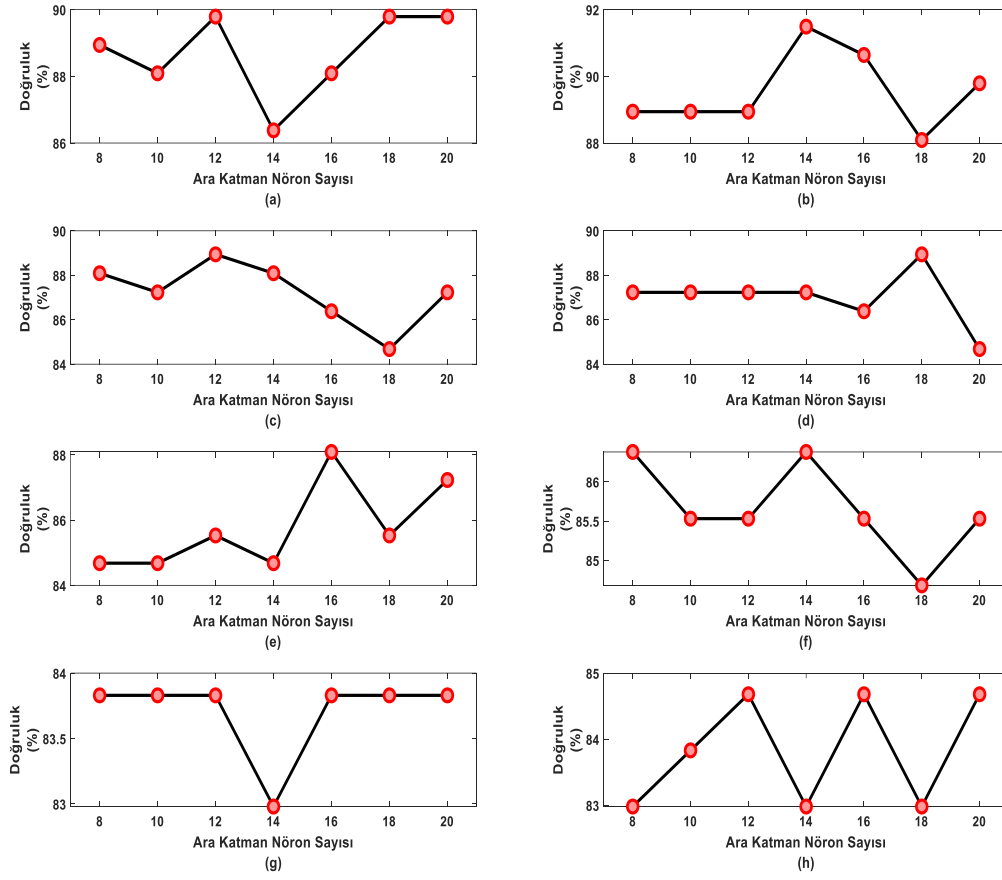
ms olup, frekansları 132 ± 5 Hz ve 129 ± 8 Hz'dir. Koni yanıtında ise 'a' dalgası tespit edilememekte olup, 'b' dalgasının oluşum zamanı 44 ± 4 ms, frekansı 131 ± 6 Hz'dir. Son olarak süper obez bireylerin maksimum kombine yanıtında 'a' dalgasının oluşum zamanı 26 ± 4 ms, frekansı 128 ± 9 Hz iken, koni yanıtında dalganın oluşum zamanı 21 ± 4 ms ve frekansı 124 ± 13 Hz'dir. Rod, maksimum kombine ve koni yanıtları için 'b' dalgasına ait oluşum zamanı ve frekans bilgileri sırasıyla 97 ± 3 ms ve 130 ± 7 Hz, 51 ± 4 ms ve 131 ± 6 Hz, 43 ± 3 ms ve 130 ± 7 Hz'dir.

Sol göz için Çizelge 5.4'de yer alan bilgiler incelendiğinde maksimum kombine yanıtta; 'a' dalgasının oluşum zamanı normal bireyler için 25 ± 3 ms iken, diğer obez grupları (fazla kilolu, obez, morbid obez ve süper obez) için 26 ± 5 ms, 25 ± 4 ms, 27 ± 5 ms ve 25 ± 2 ms'dir. Ayrıca tüm gruplar için (normal ve obez grupları) dalgaya ait frekanslar sırasıyla 132 ± 6 Hz, 125 ± 12 Hz, 129 ± 9 Hz, 125 ± 12 Hz ve 125 ± 11 Hz'dir. Bütün grupların koni yanıtları dikkate alındığında, normal bireyler için 'a' dalgasının oluşum zamanı 43 ± 2 ms ve frekansı 133 ± 4 Hz iken, süper obezlerde dalganın oluşum zamanı 42 ± 2 ms ve frekansı 130 ± 7 Hz'dir. Fazla kilolu, obez ve morbid obez bireyler için ise 'a' dalgası tespit edilmemiştir. Diğer taraftan, rod yanıtında 'b' dalgasının oluşum zamanları ve frekansları normal bireylerde 96 ± 15 ms ve 137 ± 18 Hz, fazla kilolularda 96 ± 15 ms ve 128 ± 9 Hz, obez bireylerde 89 ± 12 ms ve 132 ± 6 Hz, morbid obezlerde 96 ± 6 ms ve 132 ± 4 Hz, süper obez bireylerde ise 97 ± 13 ms ve 131 ± 5 Hz'dir. Maksimum kombine yanıtına ait 'b' dalgasının oluşum zamanı normal bireyler için 51 ± 11 ms, fazla kilolular için 54 ± 3 ms, obez bireyler için 50 ± 5 ms, morbid obezler için 54 ± 6 ms ve süper obez bireyler için 52 ± 6 ms'dir. Her bir grup için dalgaya ait frekans değerleri sırasıyla 128 ± 10 Hz, 131 ± 6 Hz, 127 ± 10 Hz, 131 ± 6 Hz ve 130 ± 6 Hz'dir. Son olarak koni yanıtında 'b' dalgasının normal bireyler için oluşum zamanı 63 ± 3 ms ve frekansı 132 ± 6 Hz, fazla kilolu bireyler için oluşum zamanı 42 ± 3 ms ve frekansı 130 ± 7 Hz, obez bireyler için oluşum zamanı 44 ± 3 ms ve frekansı 133 ± 3 Hz, morbid obez bireyler için oluşum zamanı 43 ± 4 ms ve 126 ± 14 Hz, süper obez bireyler için ise oluşum zamanı 64 ± 2 ms ve frekansı 133 ± 3 Hz'dir.

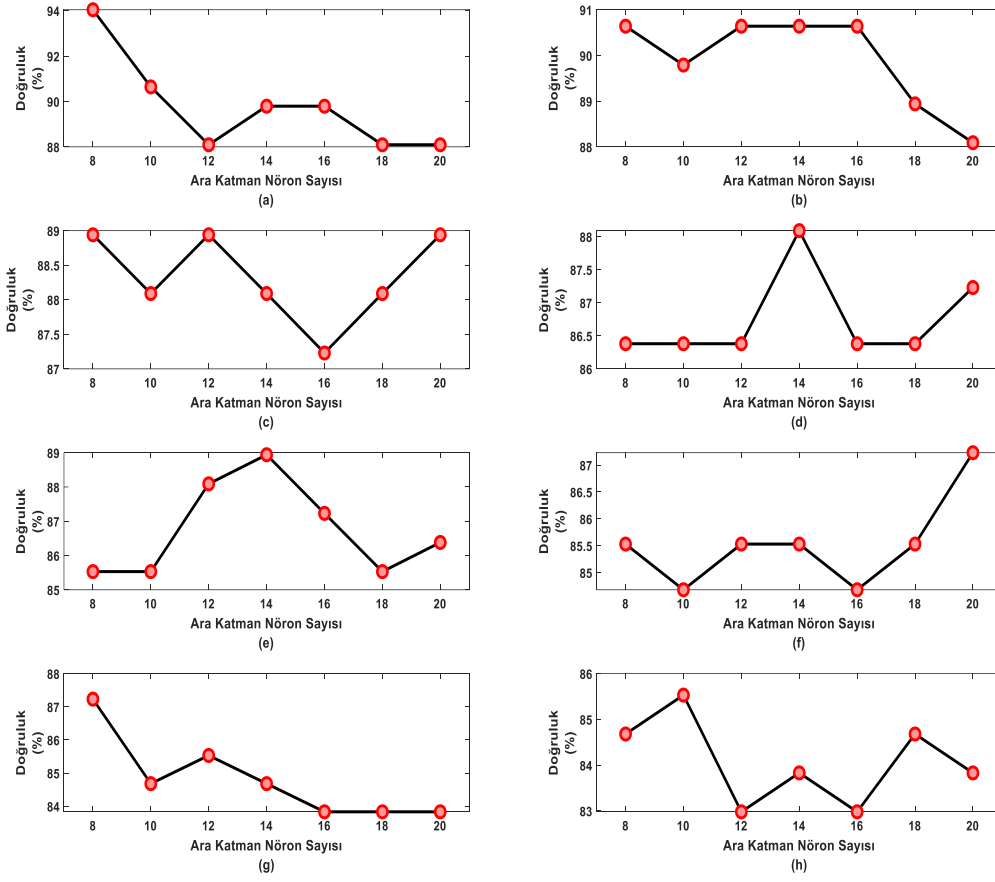
5.3 AYRIK DALGACIK DÖNÜŞÜMÜ ve YAPAY SİNİR AĞLARI KULLANILARAK fERG SİNYALLERİNDEN OBEZİTENİN TEŞHİSİ İÇİN KARAR DESTEK SİSTEMİNİN OLUŞTURULMASI

Çalışmanın bu kısmında fERG sinyallerinden ayırık dalgacık dönüşümü (ADD) yöntemiyle çıkarılan özelliklerin kullanıldığı geleneksel YSA modeline ait sınıflandırma başarımları

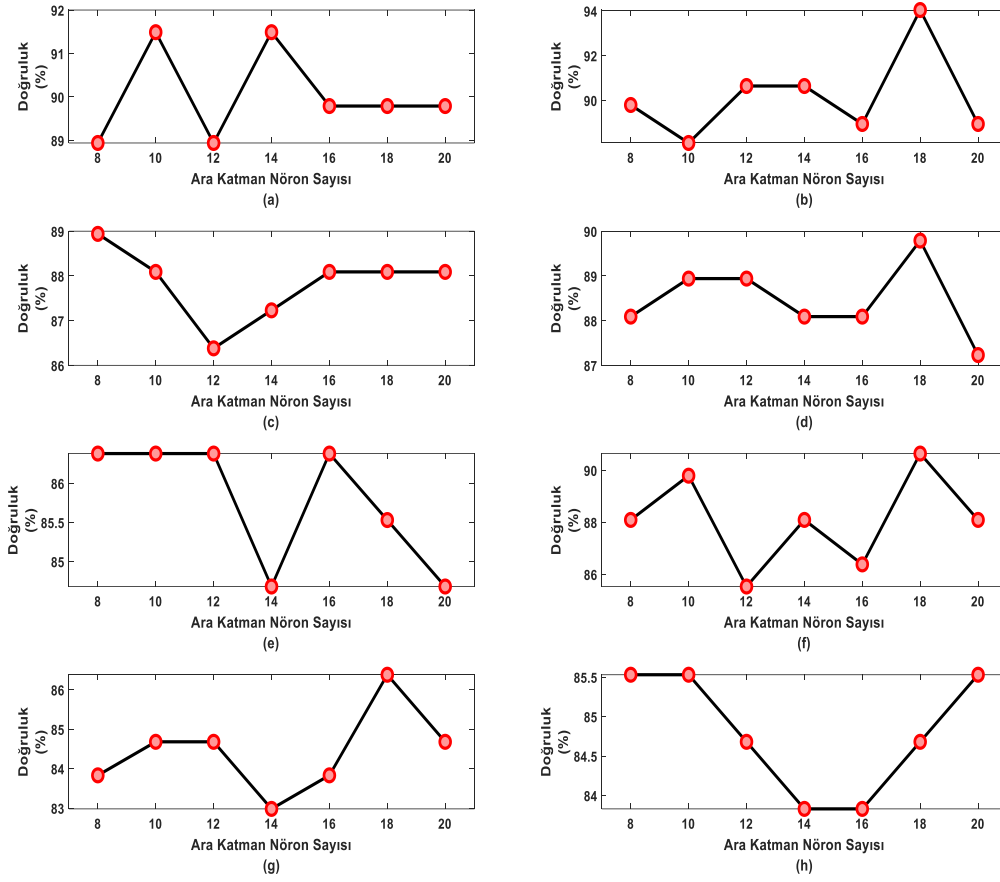
verilmiştir. Bu doğrultuda, her iki gözden kaydedilen üç farklı fERG yanıtından 4. seviyeden db4 dalgacığıyla çıkarılan özniteliklere altı farklı istatistiksel analiz (her alt banttaki sinyal katsayılarının ortalama mutlak değeri, ortalama gücü, standart sapması, çarpıklığı, basıklık ve bitişik alt bantların sinyal katsayılarının mutlak ortalama değerlerinin oranı) uygulanmış ve 29 elemanlı bir öznitelik vektörü elde edilmiştir. Daha sonra elde edilen bu öznitelikler YSA modelinde giriş olarak kullanılmıştır. Levenberg-Marquardt geri yayılım algoritmasının kullanıldığı YSA modeli 1 giriş katmanı, 1 çıkış katmanı ve 1 ara katmandan oluşacak şekilde tasarlanmıştır. Modelde sınıflandırma işlemi için öznitelik vektörlerinden oluşan veri seti hold-out çapraz doğrulama yöntemiyle eğitim ve test için farklı oranlarda bölünmüştür. Daha sonra $H=8...20$ kullanılarak 29-H-1 mimarisiyle oluşturulan YSA modeline 100 farklı denemeyle eğitim işlemi uygulanmıştır. Eğitim işlemi sonucunda en yüksek sınıflandırma doğruluğunun elde edildiği nöron sayısı, modelin ara katmanı için optimum nöron sayısı olarak belirlenmiştir. Ara katmandaki nöron sayısının birden fazla değeri için sınıflandırma doğruluğunun en yüksek olması halinde en düşük nöron sayısı modelin mimarisinin oluşturulmasında tercih edilmiştir. Modelde ara katman için optimum nöron sayısı, sağ ve sol gözlere ait fERG sinyallerinin rod, maksimum kombine ve koni yanıtları için ayrı ayrı hesaplanmış ve elde edilen sonuçlar sırasıyla Şekil 5.20 - Şekil 5.22'de verilmiştir.



Şekil 5.20 fERG sinyallerinin rod yanıtı için ara katmandaki nöron sayısının modelinin doğruluğuna etkisi. Sağ göze ait veri setinin eğitim ve test için (a) %80-%20, (c) %70-%30, (d) %60-%40, (e) %50-%50 olarak bölünmesi durumunda modelin ara katman nöron sayısına karşı doğruluğu. Sol göze ait veri setinin eğitim ve test için (b) %80-%20, (d) %70-%30, (e) %60-%40, (f) %50-%50 olarak bölünmesi durumunda modelin ara katman nöron sayısına karşı doğruluğu.



Şekil 5.21 fERG sinyallerinin maksimum kombine yanıtı için ara katmandaki nöron sayısının modelinin doğruluğuna etkisi. Sağ göze ait veri setinin eğitim ve test için (a) %80-%20, (c) %70-%30, (d) %60-%40, (e) %50-%50 olarak bölünmesi durumunda modelin ara katman nöron sayısına karşı doğruluğu. Sol göze ait veri setinin eğitim ve test için (b) %80-%20, (d) %70-%30, (e) %60-%40, (f) %50-%50 olarak bölünmesi durumunda modelin ara katman nöron sayısına karşı doğruluğu.



Şekil 5.22 fERG sinyallerinin koni yanıtı için ara katmandaki nöron sayısının modelinin doğruluğuna etkisi. Sağ göze ait veri setinin eğitim ve test için (a) %80-%20, (c) %70-%30, (d) %60-%40, (e) %50-%50 olarak bölünmesi durumunda modelin ara katman nöron sayısına karşı doğruluğu. Sol göze ait veri setinin eğitim ve test için (b) %80-%20, (d) %70-%30, (e) %60-%40, (f) %50-%50 olarak bölünmesi durumunda modelin ara katman nöron sayısına karşı doğruluğu.

Şekil 5.20’de görüldüğü üzere, rod yanıtında veri setinin eğitim ve test için %80-%20 olarak bölünmesi halinde geleneksel YSA mimarisi sağ göz için 29-12-1 iken, sol göz için 29-14-1’dir. Veri setinin eğitim/test yüzdelik oranının %70-%30 olması durumunda YSA mimarisi sağ göz için 29-12-1, sol göz için 29-18-1’dir. Verinin eğitim ve test olarak %60-%40 şeklinde ayrıştırıldığı durumda ise YSA mimarisi sağ göz için 29-16-1, sol göz için 29-8-1 olarak belirlenmiştir. Son olarak veri setinin eğitim/test yüzdelik oranının %50-%50 olması durumunda YSA mimarisi sağ göz için 29-8-1 ve sol göze için 29-12-1 şeklindedir.

Şekil 5.21’de maksimum kombine yanıtı için veri setinin eğitim/test yüzdelik oranının %80-%20 olması halinde sağ ve sol göz için geleneksel YSA mimarisinin 29-8-1 olduğu tespit edilmiştir. Veri

seti %70-%30 oranında ayrıştırıldığında ise YSA mimarisi sağ ve sol göz için sırasıyla 29-8-1 ve 29-14-1 olarak belirlenmiştir. Veri setinin %60-%40 olarak ayrıldığı yapıda tespit edilen optimum YSA mimarileri sağ göz için 29-14-1 ve sol göz için 29-20-1' dir. %50-%50 şeklinde ayrıştırılmış bir veri seti için ise optimum YSA mimarisi sağ göz için 29-8-1 ve sol göz için ise 29-10-1 şeklinde elde edilmiştir.

Şekil 5.22' de görüldüğü gibi sağ gözün koni yanıtı için veri setinin %80-%20, %70-%30, %60-%40 ve %50-%50 oranlarında bölünmesi durumunda YSA mimarileri sırasıyla 29-10-1, 29-8-1, 29-8-1 ve 29-18-1 olarak elde edilmiştir. Sol göz için ise YSA mimarisi veri setinin eğitim/test yüzdelik oranının %80-%20, %70-%30 ve %60-%40 olması durumunda 29-18-1 iken, %50-%50 için 29-8-1' dir.

Bunlara ek olarak her bir yanıt için veri setinin farklı oranlardaki eğitim/test yüzdeliklerine göre YSA mimarilerinin sınıflandırma başarımları analiz edilmiştir. Bu doğrultuda karmaşıklık matrisi yöntemiyle doğruluk, duyarlılık ve özgüllük parametrelerine göre sınıflandırma başarımları hesaplanmıştır. Yanı sıra ortalama mutlak hata ve ortalama karesel hata parametreleriyle de mimarinin istatistiksel hata analizleri yapılmıştır. Her bir yanıt için farklı oranlarda bölünmüş veri setinin kullanıldığı YSA modeline ait elde edilen sınıflandırma metrikleri Çizelge 5.5- Çizelge 5.16'da sunulmuştur.

Çizelge 5.5 Her iki göz ait rod yanıtı kullanılarak ADD yöntemiyle oluşturulan veri setinin %80-%20 oranında bölünmesi sonucu YSA modelinden elde edilen sınıflandırma metrikleri.

	Ara Katman Sayısı	Doğruluk (%)	Duyarlılık (%)	Özgüllük (%)
Sağ göz	8	88,94	69,71	93,01
	10	88,09	71,14	92,51
	12	89,79	75,14	93,64
	14	86,38	66,29	91,51
	16	88,09	70,29	92,51
	18	89,79	73,43	93,59
	20	89,79	74,29	93,68
Sol göz	8	88,94	74	93,18
	10	88,94	71,43	93,01
	12	88,94	72,29	93,14
	14	91,49	79,14	94,68
	16	90,64	76,29	94,09
	18	88,09	71,14	92,51
	20	89,79	72,57	93,51

Çizelge 5.5’de görüldüğü gibi obezite seviyelerinin sınıflandırılmasında rod yanıtını içeren veri setinin %80-%20 oranında bölünmesi halinde modele ait ara katmandaki optimum nöron sayısı sağ gözde 12, sol gözde 14 belirlenmiştir. Bu durumda sağ göz için tasarlanan modelin doğruluğu %89,79, duyarlılığı %75,14 ve özgüllüğü %93,64 olarak hesaplanmıştır. Sol göz için ise modelin doğruluk, duyarlılık ve özgüllük değerleri sırasıyla % 91,49, % 79,14 ve % 94,68 olarak elde edilmiştir.

Çizelge 5.6 Her iki göz ait maksimum kombine yanıtı kullanılarak ADD yöntemiyle oluşturulan veri setinin %80-%20 oranında bölünmesi sonucu YSA modelinden elde edilen sınıflandırma metrikleri.

	Ara Katman Sayısı	Doğruluk (%)	Duyarlılık (%)	Özgüllük (%)
Sağ göz	8	94,04	85,14	96,34
	10	90,64	77,14	94,05
	12	88,09	70,29	92,55
	14	89,79	72,57	93,55
	16	89,79	74,29	93,64
	18	88,09	71,14	92,59
	20	88,09	70,29	92,51
Sol göz	8	90,64	75,43	94,14
	10	89,79	71,71	93,51
	12	90,64	78	94,09
	14	90,64	75,43	94,05
	16	90,64	77,14	94,26
	18	88,94	72,29	93,09
	20	88,09	70,29	92,51

Maksimum kombine yanıtı kullanılarak tasarlanan modele ait ara katmandaki nöron sayısı her iki göz için de 8 olarak tespit edilmiştir. Buna göre sağ göz için modelin sınıflandırma performansının % 94,04 doğruluk, % 85,14 duyarlılık ve % 96,34 özgüllük değerlerine sahip olduğu belirlenmiştir. Sol göz için ise sınıflandırıcının doğruluğu, duyarlılığı ve özgüllüğü sırasıyla %90,64, %75,43 ve %94,14 olarak elde edilmiştir (Çizelge 5.6).

Çizelge 5.7 Her iki göz ait koni yanıtı kullanılarak ADD yöntemiyle oluşturulan veri setinin %80-%20 oranında bölünmesi sonucu YSA modelinden elde edilen sınıflandırma metrikleri.

	Ara Katman Sayısı	Doğruluk (%)	Duyarlılık (%)	Özgüllük (%)
Sağ göz	8	88,94	72,29	93,01
	10	91,49	78,29	94,59
	12	88,94	70,57	93,01
	14	91,49	79,14	94,64
	16	89,79	74,29	93,51
	18	89,79	74,29	93,51
	20	89,79	75,14	93,55
Sol göz	8	89,79	75,14	93,59
	10	88,09	71,14	92,51
	12	90,64	76,29	94,09
	14	90,64	76,29	94,09
	16	88,94	70,57	93,05
	18	94,04	85,14	96,30
	20	88,94	72,29	93,01

Çizelge 5.7 incelendiğinde, koni yanıtı kullanılarak tasarlanan modelin ara katmanındaki optimum nöron sayısı ise sağ göz için 10, sol göz için 18 olarak tespit edilmiştir. Bu doğrultuda modelin sınıflandırma performanslarına ait doğruluk, duyarlılık ve özgüllük değerleri sırasıyla sağ göz için %91,49, %78,29, %94,59; sol göz için %94,04, %85,14, %96,30 olarak hesaplanmıştır.

Çizelge 5.8 Her iki göz ait rod yanıtı kullanılarak ADD yöntemiyle oluşturulan veri setinin %70-%30 oranında bölünmesi sonucu YSA modelinden elde edilen sınıflandırma metrikleri.

	Ara Katman Sayısı	Doğruluk (%)	Duyarlılık (%)	Özgüllük (%)
Sağ göz	8	88,09	70,29	92,51
	10	87,23	68,29	92,05
	12	88,94	74	93,14
	14	88,09	71,14	92,55
	16	86,38	67,14	91,39
	18	84,68	61,43	90,35
	20	87,23	68,29	92,14
Sol göz	8	87,23	68,29	92,09
	10	87,23	68,29	91,97
	12	87,23	66,57	92,01
	14	87,23	68,29	91,93
	16	86,38	64,57	91,47
	18	88,94	73,14	93,01
	20	84,68	61,43	90,35

Çizelge 5.8’de görüldüğü gibi veri setinin %70-%30 oranında bölünmesi durumunda rod yanıtı kullanılarak tasarlanan modelin ara katmanındaki optimum nöron sayısı sağ göz için 12 ve sol göz için 18 olarak belirlenmiştir. Buna göre sağ göze ait modelin sınıflandırma doğruluğu %88,94, duyarlılığı %74 ve özgüllüğü %93,14 iken; sol göz için bu değerler sırasıyla %88,94, %73,14 ve %93,01 şeklinde elde edilmiştir.

Çizelge 5.9 Her iki göz ait maksimum kombine yanıtı kullanılarak ADD yöntemiyle oluşturulan veri setinin %70-%30 oranında bölünmesi sonucu YSA modelinden elde edilen sınıflandırma metrikleri.

	Ara Katman Sayısı	Doğruluk (%)	Duyarlılık (%)	Özgüllük (%)
Sağ göz	8	88,94	72,29	93,05
	10	88,09	71,14	92,59
	12	88,94	72,29	93,01
	14	88,09	71,14	92,47
	16	87,23	67,43	91,93
	18	88,09	69,43	92,43
	20	88,94	72,29	92,97
Sol göz	8	86,38	66,29	91,51
	10	86,38	63,71	91,43
	12	86,38	65,43	91,35
	14	88,09	71,14	92,55
	16	86,38	64,57	91,43
	18	86,38	67,14	91,55
	20	87,23	68,29	92,18

Çizelge 5.9 incelendiğinde, sağ göz için maksimum kombine yanıtı kullanılarak tasarlanan modelin ara katmanındaki optimum nöron sayısı 8 olarak belirlenmiş ve buna göre modelin sınıflandırma doğruluğu %88,94, duyarlılığı %72,29 ve özgüllüğü %93,05 olarak hesaplanmıştır. Sol gözde ise modelin en yüksek doğruluğa ulaşabilmesi için ara katmandaki optimum nöron sayısının 14 olması gerektiği belirlenmiştir. Bu durumda modelin doğruluğu %88,09, duyarlılığı %71,14 ve özgüllüğü ise %92,55 olarak hesaplanmıştır.

Çizelge 5.10 Her iki göz ait koni yanıtı kullanılarak ADD yöntemiyle oluşturulan veri setinin %70-%30 oranında bölünmesi sonucu YSA modelinden elde edilen sınıflandırma metrikleri.

	Ara Katman Sayısı	Doğruluk (%)	Duyarlılık (%)	Özgüllük (%)
Sağ göz	8	88,94	72,29	93,01
	10	88,09	69,43	92,51
	12	86,38	66,29	91,47
	14	87,23	69,14	91,93
	16	88,09	70,29	92,64
	18	88,09	70,29	92,47
	20	88,09	70,29	92,51
Sol göz	8	88,09	70,29	92,47
	10	88,94	71,43	93,05
	12	88,94	74	93,22
	14	88,09	69,43	92,47
	16	88,09	69,43	92,47
	18	89,79	73,43	93,64
	20	87,23	67,43	91,89

Çizelge 5.10’da görüldüğü üzere koni yanıtı kullanılarak geliştirilen modelin ara katmanındaki optimum nöron sayısı sağ ve sol göz için sırasıyla 8 ve 18 olarak tespit edilmiştir. Belirlenen koşullar altında tasarlanan modelin doğruluk, duyarlılık ve özgüllük değerleri sırasıyla sağ göz için %88,94, %72,29 ve %93,01, sol göz için ise %89,79, %73,43 ve %93,64 olarak elde edilmiştir.

Çizelge 5.11 Her iki göz ait rod yanıtı kullanılarak ADD yöntemiyle oluşturulan veri setinin %60-%40 oranında bölünmesi sonucu YSA modelinden elde edilen sınıflandırma metrikleri.

	Ara Katman Sayısı	Doğruluk (%)	Duyarlılık (%)	Özgüllük (%)
Sağ göz	8	84,68	59,71	90,43
	10	84,68	60,57	90,27
	12	85,53	66,00	91,09
	14	84,68	63,14	90,39
	16	88,09	72	92,51
	18	85,53	64,29	90,97
	20	87,23	67,43	91,97
Sol göz	8	86,38	65,43	91,47
	10	85,53	63,43	90,93
	12	85,53	62,57	90,89
	14	86,38	65,43	91,55
	16	85,53	62,57	90,81
	18	84,68	63,14	90,47
	20	85,53	65,14	91,01

Çizelge 5.11’de görüldüğü üzere veri setinin %60-%40 oranında bölünmesi durumunda rod yanıtı kullanılarak tasarlanan modelin sınıflandırma başarımlarının en yüksek olması için optimum ara katman nöron sayısı sağ ve sol göz için sırasıyla 16 ve 8 olarak belirlenmiştir. Buna göre sağ göz için tasarlanan modelin sınıflandırma metrikleri %88,09 (doğruluk), %72 (duyarlılık) ve %92,51 (özgüllük) yüzdelik oranlarıyla elde edilmiştir. Sol göz için ise bu metrikler sırasıyla %86,38, %65,43 ve %91,47 olarak hesaplanmıştır.

Çizelge 5.12 Her iki göz ait maksimum kombine yanıtı kullanılarak ADD yöntemiyle oluşturulan veri setinin %60-%40 oranında bölünmesi sonucu YSA modelinden elde edilen sınıflandırma metrikleri.

	Ara Katman Sayısı	Doğruluk (%)	Duyarlılık (%)	Özgüllük (%)
Sağ göz	8	85,53	62,57	90,85
	10	85,53	63,43	90,81
	12	88,09	71,14	92,64
	14	88,94	71,43	93,09
	16	87,23	67,43	91,93
	18	85,53	64,29	90,85
	20	86,38	67,14	91,51
Sol göz	8	85,53	63,43	90,81
	10	84,68	62,29	90,43
	12	85,53	63,43	90,81
	14	85,53	62,57	90,81
	16	84,68	60,57	90,31
	18	85,53	62,57	90,85
	20	87,23	67,43	92,01

Çizelge 5.12 incelendiğinde maksimum kombine yanıtı kullanılarak tasarlanan modelin ara katmanındaki optimum nöron sayısı sağ gözde 14, sol gözde 20 olarak belirlenmiştir. Bu durumda modelin sınıflandırma başarımları sağ göz için %88,94 doğruluk, %71,43 duyarlılık, %93,09 özgüllük değerlerine sahip iken, sol göz için ise bu değerler sırasıyla %87,23, %67,43 ve %92,01 olacak şekilde hesaplanmıştır.

Çizelge 5.13 Her iki göz ait koni yanıtı kullanılarak ADD yöntemiyle oluşturulan veri setinin %60-%40 oranında bölünmesi sonucu YSA modelinden elde edilen sınıflandırma metrikleri.

	Ara Katman Sayısı	Doğruluk (%)	Duyarlılık (%)	Özgüllük (%)
Sağ göz	8	86,38	65,43	91,47
	10	86,38	66,29	91,43
	12	86,38	65,43	91,35
	14	84,68	59,71	90,31
	16	86,38	65,43	91,43
	18	85,53	63,43	90,85
	20	84,68	61,43	90,31
Sol göz	8	88,09	69,43	92,47
	10	89,79	74,29	93,55
	12	85,53	62,57	90,97
	14	88,09	70,29	92,51
	16	86,38	65,43	91,43
	18	90,64	76,29	94,14
	20	88,09	69,43	92,59

Çizelge 5.13’de ise koni yanıtı kullanılarak tasarlanan modelin sınıflandırma başarımlarının en yüksek olduğu ara katmandaki optimum nöron sayısı sağ gözde 8, sol gözde 18 olarak belirlenmiştir. Buna göre tasarlanan modelin doğruluk, duyarlılık ve özgüllük değerleri sırasıyla sağ göz için %86,38, %65,43 ve %91,47 iken, sol göz için %90,64, %76,29 ve %94,14 olarak hesaplanmıştır.

Çizelge 5.14 Her iki göz ait rod yanıtı kullanılarak ADD yöntemiyle oluşturulan veri setinin %50-%50 oranında bölünmesi sonucu YSA modelinden elde edilen sınıflandırma metrikleri.

	Ara Katman Sayısı	Doğruluk (%)	Duyarlılık (%)	Özgüllük (%)
Sağ göz	8	83,83	60,29	89,85
	10	83,83	58,57	89,85
	12	83,83	57,71	89,85
	14	82,98	58,29	89,39
	16	83,83	60,29	89,89
	18	83,83	58,57	89,77
	20	83,83	60,29	89,89
Sol göz	8	82,98	56,57	89,23
	10	83,83	57,71	89,85
	12	84,68	61,43	90,39
	14	82,98	58,29	89,35
	16	84,68	59,71	90,35
	18	82,98	56,57	89,35
	20	84,68	60,57	90,47

Çizelge 5.14’de görüldüğü üzere veri setinin eğitim/test için %50-%50 oranında ayrıştırılması durumunda rod yanıtı kullanılarak tasarlanan modelin en yüksek sınıflandırma performansının elde edildiği ara katman nöron sayısı sağ göz için 8, sol göz için 12 olarak belirlenmiştir. Bu durumda sağ göz için sınıflandırıcının doğruluğu %83,83, duyarlılığı %60,29 ve özgüllüğü %89,85 olarak hesaplanmıştır. Sol göz için bu değerler sırasıyla %84,68, %61,43 ve %90,39 elde edilmiştir.

Çizelge 5.15 Her iki göz ait maksimum kombine yanıtı kullanılarak ADD yöntemiyle oluşturulan veri setinin %50-%50 oranında bölünmesi sonucu YSA modelinden elde edilen sınıflandırma metrikleri.

	Ara Katman Sayısı	Doğruluk (%)	Duyarlılık (%)	Özgüllük (%)
Sağ göz	8	87,23	66,57	91,93
	10	84,68	60,57	90,31
	12	85,53	63,43	90,93
	14	84,68	62,29	90,43
	16	83,83	61,14	89,97
	18	83,83	59,43	89,77
	20	83,83	57,71	89,77
Sol göz	8	84,68	62,29	90,39
	10	85,53	64,29	90,89
	12	82,98	56,57	89,31
	14	83,83	58,57	89,85
	16	82,98	59,14	89,39
	18	84,68	60,57	90,31
	20	83,83	59,43	89,85

Çizelge 5.15 incelendiğinde sağ göz için maksimum kombine yanıtı kullanılarak tasarlanan modelin ara katmanındaki nöron sayısının 8 olması durumunda en yüksek sınıflandırma performansının elde edildiği belirlenmiştir. Buna göre modelin sınıflandırma metrikleri %87,23 (doğruluk), %66,57 (duyarlılık) ve %91,93 (özgüllük) olarak elde edilmiştir. Sol göz için ise modelin optimum ara katman nöron sayısı 10 olarak tespit edilmiştir. Böylece en yüksek sınıflandırma performansı olarak %85,53 doğruluk, %64,29 duyarlılık ve %90,89 özgüllük değerleri elde edilmiştir.

Çizelge 5.16 Her iki göz ait koni yanıtı kullanılarak ADD yöntemiyle oluşturulan veri setinin %50-%50 oranında bölünmesi sonucu YSA modelinden elde edilen sınıflandırma metrikleri.

	Ara Katman Sayısı	Doğruluk (%)	Duyarlılık (%)	Özgüllük (%)
Sağ göz	8	83,83	61,14	89,89
	10	84,68	62,29	90,43
	12	84,68	60,57	90,35
	14	82,98	60	89,35
	16	83,83	60,29	89,85
	18	86,38	64,57	91,47
	20	84,68	62,29	90,35
Sol göz	8	85,53	60,86	90,81
	10	85,53	61,71	90,85
	12	84,68	58,86	90,31
	14	83,83	58,57	89,77
	16	83,83	58,57	89,77
	18	84,68	59,71	90,31
	20	85,53	62,57	90,93

Çizelge 5.16’da görüldüğü üzere koni yanıtı kullanılarak tasarlanan modellerin sınıflandırma başarımlarının en yüksek olduğu ara katmandaki optimum nöron sayısı sağ göz için 18 ve sol göz için 8 olarak tespit edilmiştir. Bu durumda modelin sınıflandırma metrikleri sağ göz için %86,38 (doğruluk), %64,57 (duyarlılık) ve %91,47 (özgüllük); sol göz için de %85,53(doğruluk), %60,86 (duyarlılık), ve %90,81(özgüllük) olarak hesaplanmıştır.

Çizelge 5.5 – Çizelge 5.16’da yer alan sonuçlarda her iki göze ait rod yanıtından elde edilen veri setinin farklı oranlarda bölünmesi halinde eğitim için ayrılan kısmın artırılıp, test için ayrılan kısmın azaltılması durumunda sınıflandırıcının doğruluk, duyarlılık ve özgüllük metriklerinin yükseldiği tespit edilmiştir.

Maksimum kombine yanıtı için sağ göze ait veri setinin eğitime ayrılan kısmının artırılıp, teste ayrılan kısmının azaltılması durumunda sınıflandırıcı başarımının artan bir eğilim gösterdiği belirlenmiştir. Ancak veri setinin eğitim/test yüzdelik oranının %70-%30 ve %60-%40 olduğu durumda doğruluk değerinin sabit olduğu görülmüştür. Yanı sıra eğitim/test yüzdelik oranının %70-%30 yerine %60-%40 olması halinde özgüllük değerinin bir miktar arttığı tespit edilmiştir. Sol göz için ise veri setinin eğitim kısmının artırılması ve test kısmının azaltılması durumunda doğruluk, duyarlılık ve özgüllük değerlerinde artış olduğu belirlenmiştir.

Koni yanıtında ise sağ göz için veri setinin farklı oranlarda bölündüğü durumda eğitim için olan kısmının arttırılması halinde sınıflandırma doğruluğunun, duyarlılığının ve özgüllüğünün artış eğilimi gösterdiği tespit edilmiştir. Sol göz için ise veri setinden eğitim için ayrılan kısmın %50'den %60'a çıkarılması durumunda doğruluk, duyarlılık ve özgüllük değerleri artar iken, bu oran %60'dan %70'e çıkarıldığında söz konusu değerlerin azaldığı belirlenmiştir. Ayrıca bu yanıt için eğitime ayrılan kısım %70'den %80'e çıkarıldığında sınıflandırıcının doğruluk, duyarlılık ve özgüllük değerlerinin artarak en yüksek değerlere ulaştığı tespit edilmiştir.

Sonuç olarak her iki göze ait fERG sinyallerinin üç farklı yanıtı için elde edilen veri setinin eğitim/test yüzdelik oranının %80-%20 olması durumunda obezite seviyelerinin sınıflandırılmasında en yüksek sınıflandırma metriklerinin elde edildiği tespit edilmiştir. Çizelge 5.17 – Çizelge 5.19'da yukarıda gerçekleştirilen analizlerde belirlenen optimum ağ topolojisine göre tasarlanan modellere ait istatistiksel hata analiz sonuçları verilmiştir.

Çizelge 5.17 Her iki göze ait rod yanıtı için farklı oranlarda bölünmüş veri setine göre hata analizi.

	Veri Seti (Eğitim-Test)	Ortalama Mutlak Hata	Ortalama Karesel Hata
Sağ göz	%80 - %20	0,0469	0,0358
	%70 - %30	0,0472	0,0362
	%60 - %40	0,0493	0,0371
	%50 - %50	0,0495	0,0375
Sol göz	%80 - %20	0,0438	0,0271
	%70 - %30	0,0461	0,0296
	%60 - %40	0,0506	0,0367
	%50 - %50	0,0500	0,0353

Çizelge 5.18 Her iki göze ait maksimum kombine yanıtı için farklı oranlarda bölünmüş veri setine göre hata analizi.

	Veri Seti (Eğitim-Test)	Ortalama Mutlak Hata	Ortalama Karesel Hata
Sağ göz	%80 - %20	0,0472	0,0340
	%70 - %30	0,0479	0,0482
	%60 - %40	0,0500	0,0351
	%50 - %50	0,0502	0,0372
Sol göz	%80 - %20	0,0400	0,0305
	%70 - %30	0,0469	0,0335
	%60 - %40	0,0493	0,0348
	%50 - %50	0,0487	0,0354

Çizelge 5.19 Her iki göze ait koni yanıtı için farklı oranlarda bölünmüş veri setine göre hata analizi.

	Veri Seti (Eğitim-Test)	Ortalama Mutlak Hata	Ortalama Karesel Hata
Sağ göz	%80 - %20	0,0469	0,0308
	%70 - %30	0,0470	0,0369
	%60 - %40	0,0500	0,0378
	%50 - %50	0,0495	0,0362
Sol göz	%80 - %20	0,0462	0,0323
	%70 - %30	0,0494	0,0329
	%60 - %40	0,0467	0,0325
	%50 - %50	0,0500	0,0369

Çizelge 5.17 – Çizelge 5.19’da yer alan sonuçlar doğrultusunda her iki gözden kaydedilen fERG sinyalinin rod, maksimum kombine ve koni yanıtlarına ait veri setlerinin sınıflandırmada kullanılmak üzere eğitim için olan kısmının artırılıp, test için olan kısmının azaltılması durumunda modelin ortalama mutlak hata ve ortalama karesel hata değerlerinin azalma yönünde bir eğilim sergilediği belirlenmiştir. Buna göre her üç yanıt için de veri setinin eğitim/test yüzdelik oranının %80 - %20 olması halinde ortalama mutlak hatanın ve ortalama karesel hatanın minimum seviyede olduğu tespit edilmiştir. Bu durumda rod, maksimum kombine ve koni yanıtları için ayrı ayrı tasarlanan modellerin ortalama mutlak hatası sağ göz için sırasıyla 0,0469, 0,0472 ve 0,0469 iken; sol göz için bu değerler 0,0438, 0,0400 ve 0,0462 olarak hesaplanmıştır. Yanı sıra modellere ait ortalama karesel hata değerleri sağ ve sol gözün rod yanıtı için sırasıyla 0,0358 ve 0,0271, maksimum kombine yanıtı için 0,0340 ve 0,0305, koni yanıtı için ise 0,0308 ve 0,0323 olarak tespit edilmiştir.

5.4 AYRIK DALGACIK DÖNÜŞÜMÜ VE PARÇACIK SÜRÜ OPTİMİZASYONU TEMELLİ YAPAY SİNİR AĞLARI KULLANILARAK fERG SİNYALLERİNDEN OBEZİTENİN TEŞHİSİ İÇİN KARAR DESTEK SİSTEMİNİN OLUŞTURULMASI

Çalışmanın bu kısmında fERG sinyallerinden ADD yöntemiyle çıkarılan özelliklere göre tasarlanan PSO-YSA modelinin obezite seviyelerini sınıflandırmadaki başarımları irdelenmiştir. Bu bağlamda analizlerde geleneksel YSA modelinde her bir fERG yanıtı için belirlenen optimum ara katman sayıları göz önünde bulundurulmuştur. Buna göre de farklı oranlarda eğitim/test olarak ayrıştırılan veri setine bağlı olarak modelin sınıflandırma

performansı doğruluk, duyarlılık, özgüllük, ortalama mutlak hata ve ortalama karesel hata metriklerine göre değerlendirilmiştir. Bu bağlamda her iki göz için elde edilen sonuçlar Çizelge 5.20 - 5.23’de sunulmuştur.

Çizelge 5.20 Her iki göz ait fERG yanıtlarından ADD yöntemiyle oluşturulan veri setinin %80-%20 oranında bölünmesi sonucu PSO-YSA modelinin sınıflandırma metrikleri ve istatistiksel hata sonuçları.

	fERG yanıtı	Ara Katman Sayısı	Doğruluk (%)	Duyarlılık (%)	Özgüllük (%)	Ortalama Mutlak Hata	Ortalama Karesel Hata
Sağ göz	Rod yanıtı	12	92,34	81,14	95,14	0,0332	0,0191
	Maksimum kombine yanıtı	8	94,89	88	96,76	0,0275	0,0113
	Koni yanıtı	10	94,04	84,29	96,22	0,0311	0,0141
Sol göz	Rod yanıtı	14	93,19	83,14	95,80	0,0315	0,0203
	Maksimum kombine yanıtı	8	93,19	82,29	95,68	0,0366	0,0208
	Koni yanıtı	18	95,74	89,14	97,30	0,0333	0,0213

Çizelge 5.20’den görüldüğü üzere sağ göze ait fERG sinyalinin rod yanıtından çıkartılan özelliklerden oluşan veri setinin eğitim/test yüzdeler oranının %80-%20 olması durumunda PSO-YSA modelinde obezite seviyelerinin sınıflandırılmasında % 92,34 doğruluk, % 81,14 duyarlılık ve % 95,14 özgüllük elde edilmiştir. Maksimum kombine yanıtı kullanılarak tasarlanan modelin doğruluğu % 94,89, duyarlılığı % 88 ve özgüllüğü ise % 96,76 olarak hesaplanmıştır. Koni yanıtı kullanarak tasarlanan modelin ise doğruluğu % 94,04, duyarlılığı % 84,29 ve özgüllüğü % 96,22 elde edilmiştir. Diğer taraftan sol göz için rod yanıtını kullanılarak tasarlanan modelin sınıflandırma metrikleri % 93,19 (doğruluk), % 83,14 (duyarlılık) ve % 95,80 (özgüllük) olarak hesaplanmıştır. Maksimum kombine yanıtlarının kullanılarak tasarlanan model için doğruluk % 93,19, duyarlılık % 82,29 ve özgüllük % 95,68 değerleri elde edilmiştir. Son olarak sol göze ait koni yanıtının kullanıldığı modelin sınıflandırma doğruluğu % 95,74, duyarlılığı % 89,14 ve özgüllüğü % 97,30 olarak hesaplanmıştır.

Öte yandan rod yanıtı kullanılarak tasarlanan modelin ortalama mutlak hata ve ortalama karesel hata değerleri sağ göz için 0,0332 ve 0,0191; sol göz için de sırasıyla 0,0315 ve 0,0203 olarak elde edilmiştir. Maksimum kombine yanıtının kullanıldığı model için ise ortalama mutlak hata ve ortalama karesel hata değerleri sırasıyla sağ gözde 0,0275 ve 0,0113, sol gözde ise 0,0366

ve 0,0208 olarak belirlenmiştir. Koni yanıtına ait verilerin kullanıldığı modelin sağ göz için ortalama mutlak hatası 0,0311, ortalama karesel hatası 0,0141 iken, sol göz için bu değerler sırasıyla 0,0333 ve 0,0213 olarak tespit edilmiştir.

Çizelge 5.21 Her iki göz ait fERG yanıtlarından ADD yöntemiyle oluşturulan veri setinin %70-%30 oranında bölünmesi sonucu PSO-YSA modelinin sınıflandırma metrikleri ve istatistiksel hata sonuçları.

	fERG yanıtı	Ara Katman Sayısı	Doğruluk (%)	Duyarlılık (%)	Özgüllük (%)	Ortalama Mutlak Hata	Ortalama Karesel Hata
Sağ göz	Rod yanıtı	12	91,49	79,14	94,64	0,0437	0,0273
	Maksimum kombine yanıtı	8	92,34	82	95,22	0,0413	0,0268
	Koni yanıtı	8	92,34	80,29	95,14	0,0335	0,0166
Sol göz	Rod yanıtı	18	91,49	77,43	94,59	0,0399	0,0245
	Maksimum kombine yanıtı	14	90,64	77,14	94,14	0,0391	0,0231
	Koni yanıtı	18	93,19	83,14	95,68	0,0377	0,0215

Çizelge 5.21’de görüldüğü gibi veri setinin eğitim/test için %70-%30 oranında ayrıştırılması durumunda rod yanıtı kullanılarak tasarlanan PSO-YSA modelinin obezite seviyelerini sınıflandırmasında sağ göz için % 91,49 doğruluk, % 79,14 duyarlılık ve % 94,64 özgüllük elde edilmiştir. Sol göz için ise bu değerler sırasıyla % 91,49, % 77,43 ve %94,59 olarak hesaplanmıştır. Maksimum kombine yanıtı kullanılarak tasarlanan modele ait doğruluk, duyarlılık ve özgüllük değerleri sırasıyla sağ göz için % 92,34, %82 ve % 95,22, sol göz için % 90,64, % 77,14 ve % 94,14 olarak elde edilmiştir. Koni yanıtı kullanılarak tasarlanan modelde ise sağ göz için % 92,34 doğruluk, % 80,29 duyarlılık ve % 95,14 özgüllük elde edilirken, sol göz için bu değerler sırasıyla % 93,19, % 83,14 ve %95,68 olarak hesaplanmıştır.

Modelin hata analizine ait sonuçlarında sağ göz için ortalama mutlak hata ve ortalama karesel hata değerleri sırasıyla rod yanıtlarının kullanılması durumunda 0,0437 ve 0,0273, maksimum kombine yanıtlarının kullanılması durumunda 0,0413 ve 0,0268, koni yanıtlarının kullanılması durumunda ise 0,0335 ve 0,0166 elde edilmiştir. Sol göz için ise bu değerler rod yanıtı için 0,0399 ve 0,0245, maksimum kombine yanıtı için 0,0391 ve 0,0231, koni yanıtı için de 0,0377 ve 0,0215 olarak hesaplanmıştır.

Çizelge 5.22 Her iki göz ait fERG yanıtlarından ADD yöntemiyle oluşturulan veri setinin %60-%40 oranında bölünmesi sonucu PSO-YSA modelinin sınıflandırma metrikleri ve istatistiksel hata sonuçları.

	fERG yanıtı	Ara Katman Sayısı	Doğruluk (%)	Duyarlılık (%)	Özgüllük (%)	Ortalama Mutlak Hata	Ortalama Karesel Hata
Sağ göz	Rod yanıtı	16	89,79	73,43	93,51	0,0350	0,0192
	Maksimum kombine yanıtı	14	91,49	79,14	94,59	0,0420	0,0264
	Koni yanıtı	8	88,94	70,57	92,97	0,0314	0,0144
Sol göz	Rod yanıtı	8	88,94	70,57	93,09	0,0369	0,0213
	Maksimum kombine yanıtı	20	88,09	68,57	92,43	0,0408	0,0243
	Koni yanıtı	18	92,34	79,43	95,14	0,0428	0,0273

Çizelge 5.22’de görüldüğü üzere rod yanıtından elde edilen veri setinin %60-%40 olacak şekilde ayrıştırılması sonucu tasarlanan modelde sağ gözden %89,79 doğruluk, %73,43 duyarlılık ve %93,51 özgüllük; sol gözden ise %88,94 doğruluk, %70,57 duyarlılık ve %93,09 özgüllük elde edilmiştir. Maksimum kombine yanıtı kullanılarak tasarlanan modelin sınıflandırma metrikleri; sağ göz için %91,49 (doğruluk), %79,14 (duyarlılık) ve %94,59 (özgüllük); sol göz için de %88,09 (doğruluk), %68,57 (duyarlılık) ve %92,43 (özgüllük) olarak hesaplanmıştır. Koni yanıtları kullanılarak tasarlanan modelin doğruluk, duyarlılık ve özgüllük değerleri sırasıyla sağ göz için %88,94, %70,57, %92,97, sol göz için de %92,34, %79,43 ve %95,14 olarak belirlenmiştir.

Öte yandan modelin sınıflandırma performanslarına ait ortalama mutlak hata ve ortalama karesel hata değerleri sırasıyla sağ göze ait rod yanıtı için 0,0350 ve 0,0192, maksimum kombine yanıtı için 0,0420 ve 0,0264, koni yanıtı için ise 0,0314 ve 0,0144 olarak hesaplanmıştır. Sol göz için ise bu hatalar sırasıyla rod yanıtında 0,0369 ve 0,0213, maksimum kombine yanıtında 0,0408 ve 0,0243, koni yanıtında ise 0,0428 ve 0,0273 elde edilmiştir.

Çizelge 5.23 Her iki göz ait fERG yanıtlarından ADD yöntemiyle oluşturulan veri setinin %50-%50 oranında bölünmesi sonucu PSO-YSA modelinin sınıflandırma metrikleri ve istatistiksel hata sonuçları.

	fERG yanıtı	Ara Katman Sayısı	Doğruluk (%)	Duyarlılık (%)	Özgüllük (%)	Ortalama Mutlak Hata	Ortalama Karesel Hata
Sağ göz	Rod yanıtı	8	85,53	64,29	90,81	0,0353	0,0191
	Maksimum kombine yanıtı	8	88,94	73,14	93,01	0,0365	0,0203
	Koni yanıtı	18	88,09	71,14	92,51	0,0406	0,0276
Sol göz	Rod yanıtı	12	88,94	74	93,09	0,0404	0,0250
	Maksimum kombine yanıtı	10	89,79	72,57	93,55	0,0389	0,0231
	Koni yanıtı	8	87,23	67,43	92,05	0,0395	0,0233

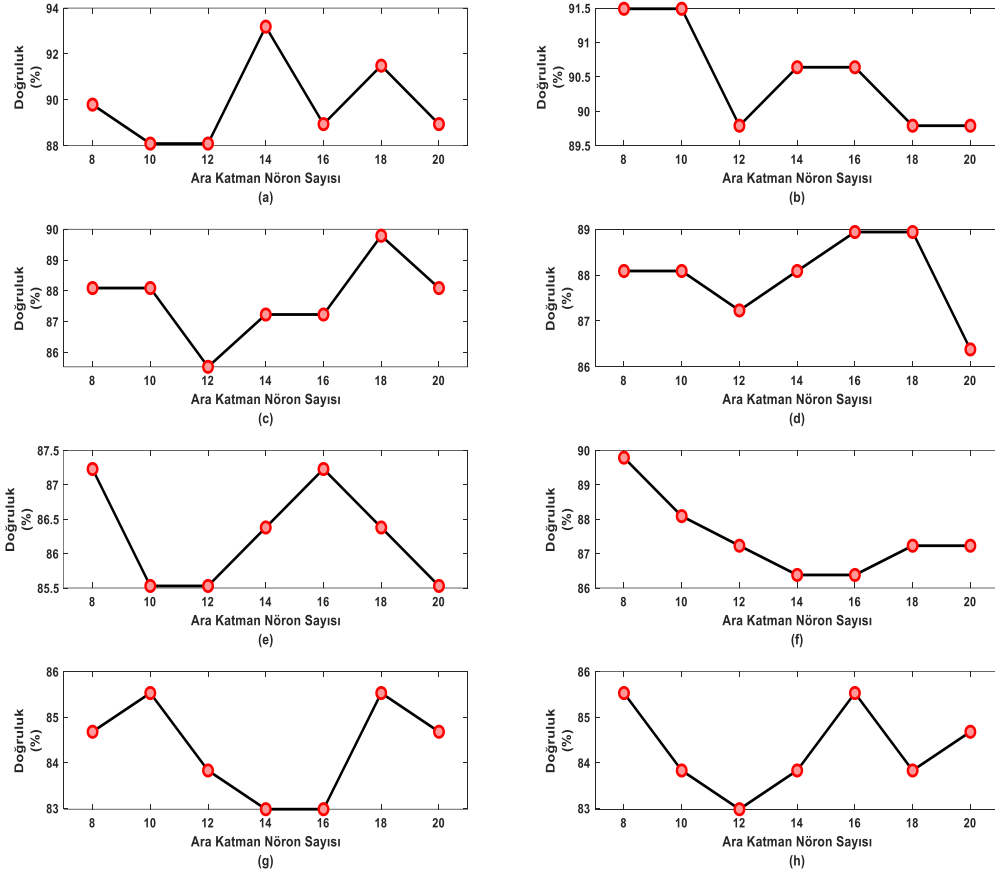
Çizelge 5.23’de görüldüğü gibi sağ göze ait rod yanıtına ait veri setinin %50-%50 olacak şekilde eğitim ve test için ayrıştırılması sonucu PSO-YSA modelinde elde edilen doğruluk %85,53, duyarlılık %64,29 ve özgüllük %90,81’dir. Benzer şekilde sol göz için ise doğruluk %88,94, duyarlılık %74 ve özgüllük de %93,09 olarak hesaplanmıştır. Maksimum kombine yanıtı kullanılarak tasarlanan modelin doğruluk, duyarlılık ve özgüllük değerleri sırasıyla sağ göz için %88,94, %73,14 ve %93,01 elde edilmiştir. Sol göz için ise sınıflandırıcı performansı %89,79 doğruluk, %72,57 duyarlılık ve %93,55 özgüllük ile elde edilmiştir. Koni yanıtı kullanılarak tasarlanan modelin sınıflandırma performansı sağ göz için %88,09 doğruluk, %71,14 duyarlılık ve %92,51 özgüllük değerlerine sahip iken, sol göz için bu değerler sırasıyla %87,23, %67,43 ve %92,05 olarak hesaplanmıştır.

Modelin ortalama mutlak hatası sağ ve sol göz için sırasıyla rod yanıtında 0,0353 ve 0,0404, maksimum kombine yanıtında 0,0365 ve 0,0389, koni yanıtında 0,0406 ve 0,0395 olarak belirlenmiştir. Ortalama karesel hata ise sağ ve sol göz için sırasıyla rod yanıtında 0,0191 ve 0,0250, maksimum kombine yanıtında 0,0203 ve 0,0231, koni yanıtında ise 0,0276 ve 0,0233 olarak hesaplanmıştır.

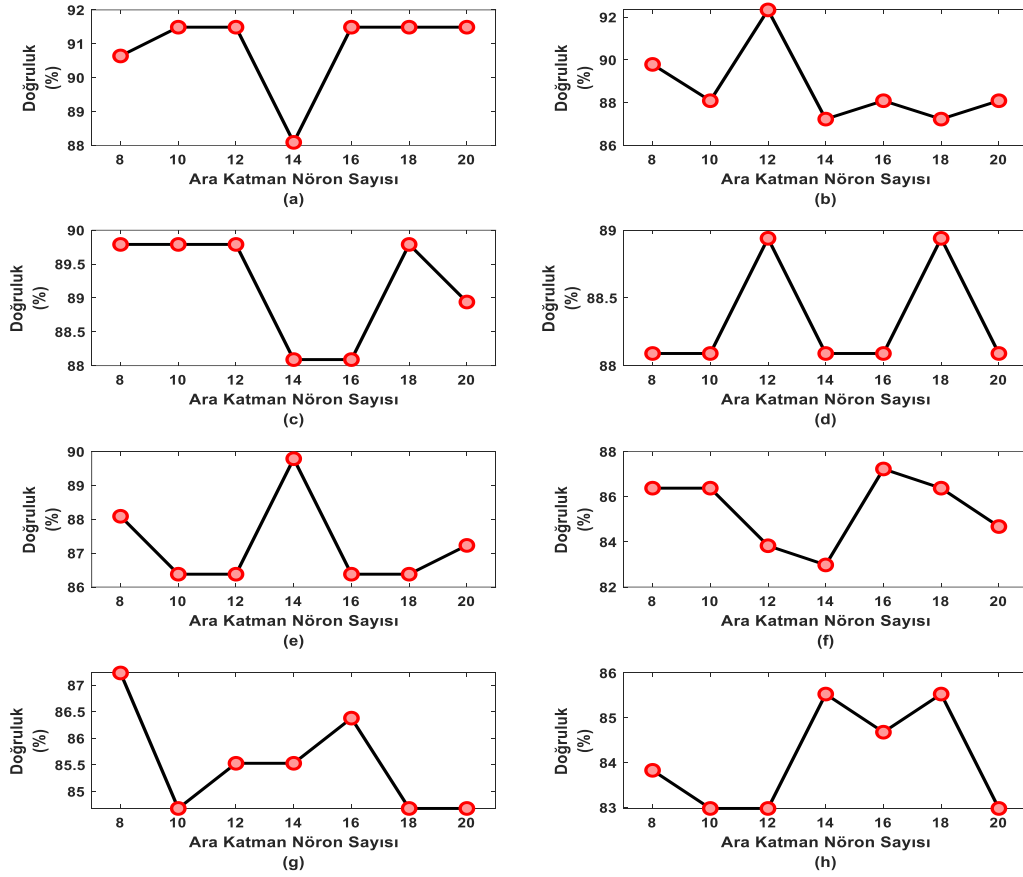
Çizelge 5.20 ve Çizelge 5.23’de görüldüğü üzere fERG sinyallerinin rod, maksimum kombine ve koni yanıtlarından ADD’yle çıkartılan özelliklerle obezite seviyelerinin sınıflandırılmasında veri setinin %80 - %20 oranında ayrıştırılması durumunda en yüksek sınıflandırma performansı elde edilmiştir. Ayrıca bu oran için modelin ortalama mutlak hata ve ortalama karesel hata değerleri minimum olduğu belirlenmiştir.

5.5 DALGACIK PAKET DÖNÜŞÜMÜ VE YAPAY SİNİR AĞLARI KULLANILARAK fERG SİNYALLERİNDEN OBEZİTENİN TEŞHİSİ İÇİN KARAR DESTEK SİSTEMİNİN OLUŞTURULMASI

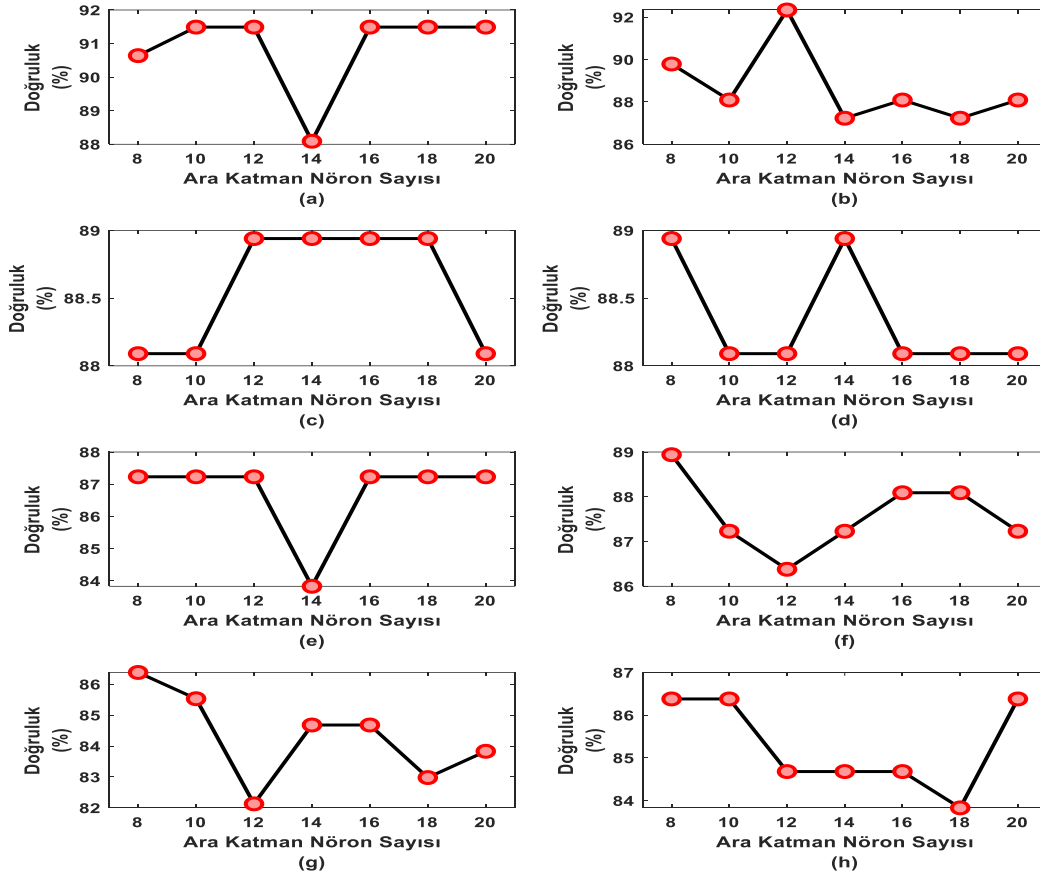
Çalışmanın bu kısmında fERG sinyallerinden dalgacık paket dönüşümü (DPD) yöntemiyle çıkarılan özelliklerin kullanıldığı geleneksel YSA modeline ait sınıflandırma başarımları verilmiştir. Bu doğrultuda, her iki gözden kaydedilen üç farklı fERG yanıtından 4. seviyeden db4 dalgacıyla çıkarılan özniteliklere altı farklı istatistiksel analiz (her alt banttaki sinyal katsayılarının ortalama mutlak değeri, ortalama gücü, standart sapması, çarpıklığı, basıklık ve bitişik alt bantların sinyal katsayılarının mutlak ortalama değerlerinin oranı) uygulanmış ve 176 elemanlı bir öznitelik vektörü elde edilmiştir. Elde edilen bu öznitelikler 1 giriş katmanı, 1 çıkış katmanı ve 1 ara katman şeklinde tasarlanan YSA modelinde giriş olarak kullanılmıştır. Modelde sınıflandırma işlemi için öznitelik vektörlerini içeren veri seti hold-out çapraz doğrulama yöntemiyle farklı oranlarda eğitim ve test kümelerine ayrıştırılmıştır. Yanı sıra öğrenme algoritması olarak Levenberg-Marquardt geri yayılım algoritmasının seçildiği modelin eğitimi, H=8...20 kullanılarak 176-H-1 mimarisi ile 100 farklı deneme yapılarak gerçekleştirilmiştir. Buna göre en yüksek doğruluğun elde edildiği nöron sayısı model için optimum ara katman nöron sayısı olarak belirlenmiştir. Ara katmandaki nöron sayısının birden fazla değeri için sınıflandırma doğruluğunun en yüksek olması halinde ise en düşük nöron sayısı optimum ara katman nöron sayısı olarak seçilmiştir. Bu bağlamda tasarlanan modelin ara katmanındaki optimum nöron sayısı her iki gözün fERG sinyallerine ait rod, maksimum kombine ve koni yanıtları için ayrı ayrı hesaplanmış ve elde edilen sonuçlar Şekil 5.23 - Şekil 5.24'de verilmiştir.



Şekil 5.23 fERG sinyalinin rod yanıtı için ara katmandaki nöron sayısının modelinin doğruluğuna etkisi. Sağ göze ait veri setinin eğitim ve test için (a) %80-%20, (c) %70-%30, (d) %60-%40, (e) %50-%50 olarak bölünmesi durumunda modelin ara katman nöron sayısına karşı doğruluğunu göstermektedir. Sol göze ait veri setinin eğitim ve test için (b) %80-%20, (d) %70-%30, (e) %60-%40, (f) %50-%50 olarak bölünmesi durumunda modelin ara katman nöron sayısına karşı doğruluğunu göstermektedir.



Şekil 5.24 fERG sinyalinin maksimum kombine yanıtı için ara katmandaki nöron sayısının modelinin doğruluğuna etkisi. Sağ göze ait veri setinin eğitim ve test için (a) %80-%20, (c) %70-%30, (d) %60-%40, (e) %50-%50 olarak bölünmesi durumunda modelin ara katman nöron sayısına karşı doğruluğunu göstermektedir. Sol göze ait veri setinin eğitim ve test için (b) %80-%20, (d) %70-%30, (e) %60-%40, (f) %50-%50 olarak bölünmesi durumunda modelin ara katman nöron sayısına karşı doğruluğunu göstermektedir.



Şekil 5.25 fERG sinyalinin koni yanıtı için ara katmandaki nöron sayısının modelinin doğruluğuna etkisi. Sağ göze ait veri setinin eğitim ve test için (a) %80-%20, (c) %70-%30, (d) %60-%40, (e) %50-%50 olarak bölünmesi durumunda modelin ara katman nöron sayısına karşı doğruluğunu göstermektedir. Sol göze ait veri setinin eğitim ve test için (b) %80-%20, (d) %70-%30, (e) %60-%40, (f) %50-%50 olarak bölünmesi durumunda modelin ara katman nöron sayısına karşı doğruluğunu göstermektedir.

Şekil 5.23’de görüldüğü gibi, rod yanıtından DPD’yle çıkartılan öznelilikleri içeren veri setinin eğitim ve test için %80-%20 oranında bölünmesi durumunda geleneksel YSA mimarisi sağ gözde 176-14-1 ve sol gözde 176-8-1 olarak belirlenmiştir. %70-%30 eğitim/test oranında belirlenen en uygun YSA mimarileri ise sağ göz için 176-18-1, sol göz için 176-16-1’dir. Eğitim/test yüzdelik oranının %60 - %40 olduğu durumda en uygun mimarinin her iki göz için 176-8-1 olduğu tespit edilmiştir. %50-%50 şeklinde ayrıştırılan veri setinde ise YSA mimarileri sağ göz için 176-10-1, sol göz için de 176-8-1 olarak belirlenmiştir.

Şekil 5.24’den görüldüğü üzere, maksimum kombine yanıtı için veri setinin eğitim/test yüzdelik oranının %80-%20 olması halinde optimum model mimarisi sağ gözde 176-10-1 ve sol gözde 176-

12-1 olarak belirlenmiştir. Veri seti %70-%30 oranında ayrıştırıldığında ise en uygun mimari sağ ve sol göz için sırasıyla 176-8-1 ve 176-12-1 olarak tespit edilmiştir. %60-%40 eğitim/test oranında belirlenen en uygun mimari yapıları sağ göz için 176-14-1 ve sol göz için 176-16-1' dir. %50 - %50 oranında ayrıştırılmış veri setine ait model mimarisi sağ göz için 176-8-1 iken, sol göz için ise 176-14-1 olarak belirlenmiştir.

Şekil 5.25'e göre koni yanıtı için %80-%20 oranında ayrıştırılan veri setine ait en uygun mimarinin sağ ve sol göz için sırasıyla 176-10-1 ve 176-12-1 olduğu tespit edilmiştir. Veri seti %70-%30 oranında ayrıştırıldığında modelin mimarisi sağ gözde 176-12-1 ve sol gözde 176-8-1 olarak elde edilmiştir. Veri setinin eğitim ve test için %60- %40 ve %50 - %50 olacak şekilde ayrıştırıldığı durumlarda ise optimum model mimarisi hem sağ hem de sol göz için 176-8-1 olarak belirlenmiştir.

Bunlara ek olarak her bir yanıt için veri setinin farklı eğitim/test yüzdeliklerine göre YSA mimarilerinin sınıflandırma başarımları analiz edilmiştir. Bunun için karmaşıklık matrisleriyle doğruluk, duyarlılık, özgüllük parametreleri ve istatistiksel hata analiziyle de ortalama karesel hata ve ortalama mutlak hata parametreleri belirlenmiştir. Çizelge 5.24 - Çizelge 5.35'de her bir yanıt için farklı oranlarda ayrıştırılan veri setinin kullanıldığı YSA modeline ait sınıflandırma metrikleri verilmiştir.

Çizelge 5.24 Her iki göz için rod yanıtından DPD'yle özellik çıkarılmasıyla oluşturulan veri setinin %80-%20 oranında bölünmesi sonucu YSA modelinden elde edilen sınıflandırma metrikleri.

	Ara Katman Sayısı	Doğruluk (%)	Duyarlılık (%)	Özgüllük (%)
Sağ göz	8	89,79	74,29	93,68
	10	88,09	71,14	92,47
	12	88,09	69,43	92,43
	14	93,19	82,29	95,76
	16	88,94	72,29	93,05
	18	91,49	78,29	94,68
	20	88,94	71,43	93,01
Sol göz	8	91,49	79,14	94,76
	10	91,49	78,29	94,59
	12	89,79	74,29	93,59
	14	90,64	76,29	94,18
	16	90,64	76,29	94,09
	18	89,79	76,00	93,59
	20	89,79	72,57	93,59

Çizelge 5.24’de görüldüğü üzere, rod yanıtına ait veri setinin eğitim ve test için %80 - %20 oranında bölünmesi durumunda optimum ara katman nöron sayısının sağ gözde 14, sol gözde 8 olduğunda en yüksek sınıflandırma başarımları elde edilmiştir. Bu durumda sağ göz için tasarlanan modelin doğruluğu %93,19, duyarlılığı %82,29 ve özgüllüğü %95,76 olarak hesaplanmıştır. Sol göz için modelin sınıflandırma başarımına ait doğruluk, duyarlılık ve özgüllük değerleri ise sırasıyla % 91,49, % 79,14 ve % 94,76 olarak elde edilmiştir.

Çizelge 5.25 Her iki göz için maksimum kombine yanıtından DPD’yle özellik çıkarılmasıyla oluşturulan veri setinin %80-%20 oranında bölünmesi sonucu YSA modelinden elde edilen sınıflandırma metrikleri.

	Ara Katman Sayısı	Doğruluk (%)	Duyarlılık (%)	Özgüllük (%)
Sağ göz	8	90,64	77,14	94,09
	10	91,49	80	94,59
	12	91,49	79,14	94,64
	14	88,09	69,43	92,47
	16	91,49	79,14	94,64
	18	91,49	78,29	94,59
	20	91,49	78,29	94,64
Sol göz	8	89,79	75,14	93,51
	10	88,09	70,29	92,47
	12	92,34	82	95,18
	14	87,23	69,14	92,01
	16	88,09	70,29	92,55
	18	87,23	68,29	91,97
	20	88,09	70,29	92,43

Maksimum kombine yanıtı kullanılarak tasarlanan modele ait ara katmandaki optimum nöron sayıları sağ ve sol göz için sırasıyla 10 ve 12 olarak belirlenmiştir. Buna göre tasarlanan modele göre hesaplanan doğruluk, duyarlılık ve özgüllük değerleri sağ göz için sırasıyla % 91,49, % 80 ve % 94,59, sol göz için ise sırasıyla % 92,34, %82 ve %95,18’ dir (Çizelge 5.25).

Çizelge 5.26 Her iki göz için koni yanıtından DPD’yle özellik çıkarılmasıyla oluşturulan veri setinin %80-%20 oranında bölünmesi sonucu YSA modelinden elde edilen sınıflandırma metrikleri.

	Ara Katman Sayısı	Doğruluk (%)	Duyarlılık (%)	Özgüllük (%)
Sağ göz	8	90,64	77,14	94,09
	10	91,49	80	94,59
	12	91,49	79,14	94,64
	14	88,09	69,43	92,47
	16	91,49	79,14	94,64
	18	91,49	78,29	94,59
	20	91,49	78,29	94,64
Sol göz	8	89,79	75,14	93,51
	10	88,09	70,29	92,47
	12	92,34	82	95,18
	14	87,23	69,14	92,01
	16	88,09	70,29	92,55
	18	87,23	68,29	91,97
	20	88,09	70,29	92,43

Çizelge 5.26’da yer alan sonuçlara göre, koni yanıtı kullanılarak tasarlanan modelin ara katmanındaki optimum nöron sayısı ise sağ göz için 10, sol göz için 12 olarak tespit edilmiştir. Bu doğrultuda modelin sınıflandırma performanslarına ait doğruluk, duyarlılık ve özgüllük değerleri sırasıyla sağ göz için % 91,49, % 80 ve % 94,59; sol göz için % 92,34, % 82 ve % 95,18 olarak hesaplanmıştır.

Çizelge 5.27 Her iki göz için rod yanıtından DPD’yle özellik çıkarılmasıyla oluşturulan veri setinin %70-%30 oranında bölünmesi sonucu YSA modelinden elde edilen sınıflandırma metrikleri.

	Ara Katman Sayısı	Doğruluk (%)	Duyarlılık (%)	Özgüllük (%)
Sağ göz	8	88,09	68,57	92,43
	10	88,09	68,57	92,47
	12	85,53	64,29	90,89
	14	87,23	68,29	92,05
	16	87,23	67,43	91,97
	18	89,79	73,43	93,59
	20	88,09	70,29	92,59
Sol göz	8	88,09	70,29	92,64
	10	88,09	69,43	92,47
	12	87,23	69,14	91,97
	14	88,09	72,00	92,47
	16	88,94	72,29	93,05
	18	88,94	70,57	92,97
	20	86,38	66,29	91,39

Çizelge 5.27’de görüldüğü gibi veri setinin %70-%30 oranında bölünmesi durumunda rod yanıtı kullanılarak tasarlanan modelin ara katmanındaki optimum nöron sayısı sağ göz için 18 ve sol göz için 16 olarak belirlenmiştir. Buna göre sağ göze ait modelin sınıflandırma doğruluğu %89,79, duyarlılığı %73,43 ve özgüllüğü %93,59 iken; sol göz için bu değerler sırasıyla %88,94, %72,29 ve %93,05 şeklinde elde edilmiştir.

Çizelge 5.28 Her iki göz için maksimum kombine yanıtından DPD’yle özellik çıkarılmasıyla oluşturulan veri setinin %70-%30 oranında bölünmesi sonucu YSA modelinden elde edilen sınıflandırma metrikleri.

	Ara Katman Sayısı	Doğruluk (%)	Duyarlılık (%)	Özgüllük (%)
Sağ göz	8	89,79	75,14	93,59
	10	89,79	73,43	93,59
	12	89,79	75,14	93,51
	14	88,09	70,29	92,55
	16	88,09	70,29	92,47
	18	89,79	75,14	93,51
	20	88,94	72,29	93,05
Sol göz	8	88,09	68,57	92,43
	10	88,09	70,29	92,47
	12	88,94	74	93,05
	14	88,09	70,29	92,55
	16	88,09	71,14	92,47
	18	88,94	71,43	93,01
	20	88,09	69,43	92,47

Çizelge 5.28 incelendiğinde, sağ göz için maksimum kombine yanıtı kullanılarak tasarlanan modelin ara katmanındaki optimum nöron sayısı 8 olarak belirlenmiş ve buna göre modelin sınıflandırma doğruluğu %89,79, duyarlılığı %75,14 ve özgüllüğü %93,59 olarak hesaplanmıştır. Sol gözde ise modelin en yüksek doğruluğa ulaşabilmesi için ara katmandaki optimum nöron sayısının 12 olması gerektiği belirlenmiştir. Bu durumda modelin doğruluğu %88,94, duyarlılığı %74 ve özgüllüğü ise %93,05 olarak hesaplanmıştır.

Çizelge 5.29 Her iki göz için koni yanıtından DPD’yle özellik çıkarılmasıyla oluşturulan veri setinin %70-%30 oranında bölünmesi sonucu YSA modelinden elde edilen sınıflandırma metrikleri.

	Ara Katman Sayısı	Doğruluk (%)	Duyarlılık (%)	Özgüllük (%)
Sağ göz	8	88,09	70,29	92,47
	10	88,09	67,71	92,43
	12	88,94	70,57	92,97
	14	88,94	71,43	93,01
	16	88,94	71,43	92,97
	18	88,94	72,29	92,97
	20	88,09	72	92,51
Sol göz	8	88,94	73,14	93,09
	10	88,09	70,29	92,47
	12	88,09	70,29	92,43
	14	88,94	71,43	92,97
	16	88,09	71,14	92,51
	18	88,09	71,14	92,51
	20	88,09	70,29	92,55

Çizelge 5.29’da görüldüğü üzere koni yanıtı kullanılarak geliştirilen modelin ara katmanındaki optimum nöron sayısı sağ ve sol göz için sırasıyla 12 ve 8 olarak tespit edilmiştir. Belirlenen koşullar altında tasarlanan modelin doğruluk, duyarlılık ve özgüllük değerleri sırasıyla sağ göz için %88,94, %70,57 ve %92,97, sol göz için ise %88,94, %73,14 ve %93,09 olarak elde edilmiştir.

Çizelge 5.30 Her iki göz için rod yanıtından DPD’yle özellik çıkarılmasıyla oluşturulan veri setinin %60-%40 oranında bölünmesi sonucu YSA modelinden elde edilen sınıflandırma metrikleri.

	Ara Katman Sayısı	Doğruluk (%)	Duyarlılık (%)	Özgüllük (%)
Sağ göz	8	87,23	68,29	91,97
	10	85,53	62,57	90,85
	12	85,53	63,43	90,93
	14	86,38	64,57	91,43
	16	87,23	66,57	91,97
	18	86,38	65,43	91,43
	20	85,53	62,57	90,85
Sol göz	8	89,79	74,29	93,51
	10	88,09	68,57	92,43
	12	87,23	66,57	91,93
	14	86,38	65,43	91,43
	16	86,38	65,43	91,43
	18	87,23	66,57	91,97
	20	87,23	70	92,09

Çizelge 5.30’da görüldüğü üzere veri setinin %60-%40 oranında bölünmesi durumunda rod yanıtı kullanılarak tasarlanan modelin sınıflandırma başarımlarının en yüksek olması için optimum ara katman nöron sayısı her iki göz için 8 olarak belirlenmiştir. Buna göre sağ göz için tasarlanan modelin sınıflandırma metrikleri %87,23 (doğruluk), %68,29 (duyarlılık) ve %91,97 (özgüllük) yüzdelik oranlarıyla elde edilmiştir. Sol göz için ise bu metrikler sırasıyla %89,79, %74,29 ve %93,51 olarak hesaplanmıştır.

Çizelge 5.31 Her iki göz için maksimum kombine yanıtından DPD’yle özellik çıkarılmasıyla oluşturulan veri setinin %60-%40 oranında bölünmesi sonucu YSA modelinden elde edilen sınıflandırma metrikleri.

	Ara Katman Sayısı	Doğruluk (%)	Duyarlılık (%)	Özgüllük (%)
Sağ göz	8	88,09	70,29	92,59
	10	86,38	66,29	91,35
	12	86,38	65,43	91,55
	14	89,79	74,29	93,55
	16	86,38	65,43	91,35
	18	86,38	66,29	91,39
	20	87,23	67,43	91,97
Sol göz	8	86,38	66,29	91,39
	10	86,38	65,43	91,39
	12	83,83	60,29	89,77
	14	82,98	58,29	89,43
	16	87,23	66,57	91,89
	18	86,38	66,29	91,35
	20	84,68	63,14	90,27

Çizelge 5.31 incelendiğinde maksimum kombine yanıtı kullanılarak tasarlanan modelin ara katmanındaki optimum nöron sayısı sağ gözde 14, sol gözde 16 olarak belirlenmiştir. Bu durumda modelin sınıflandırma başarımları sağ göz için %89,79 doğruluk, %74,29 duyarlılık, %93,55 özgüllük değerlerine sahip iken, sol göz için ise bu değerler sırasıyla %87,23, %66,57 ve %91,89 olacak şekilde hesaplanmıştır.

Çizelge 5.32 Her iki göz için koni yanıtından DPD’yle özellik çıkarılmasıyla oluşturulan veri setinin %60-%40 oranında bölünmesi sonucu YSA modelinden elde edilen sınıflandırma metrikleri.

	Ara Katman Sayısı	Doğruluk (%)	Duyarlılık (%)	Özgüllük (%)
Sağ göz	8	87,23	66,57	91,93
	10	87,23	68,29	91,93
	12	87,23	69,14	91,89
	14	83,83	58,57	89,73
	16	87,23	66,57	91,89
	18	87,23	66,57	91,97
	20	87,23	66,57	91,93
Sol göz	8	88,94	70,57	92,97
	10	87,23	64,86	91,89
	12	86,38	67,14	91,39
	14	87,23	68,29	91,89
	16	88,09	68,57	92,51
	18	88,09	68,57	92,47
	20	87,23	67,43	91,89

Çizelge 5.32’de ise koni yanıtı kullanılarak tasarlanan modelin sınıflandırma başarımlarının en yüksek olduğu ara katmandaki optimum nöron sayısı her iki göz için 8 olarak belirlenmiştir. Buna göre tasarlanan modelin doğruluk, duyarlılık ve özgüllük değerleri sırasıyla sağ göz için sağ göz için sırasıyla %87,23, %66,57 ve %91,93 iken, sol göz için ise %88,94, %70,57 ve %92,97 olarak hesaplanmıştır.

Çizelge 5.33 Her iki göz için rod yanıtından DPD’yle özellik çıkarılmasıyla oluşturulan veri setinin %50-%50 oranında bölünmesi sonucu YSA modelinden elde edilen sınıflandırma metrikleri.

	Ara Katman Sayısı	Doğruluk (%)	Duyarlılık (%)	Özgüllük (%)
Sağ göz	8	84,68	61,43	90,35
	10	85,53	64,29	91,05
	12	83,83	61,14	90,05
	14	82,98	57,43	89,31
	16	82,98	57,43	89,51
	18	85,53	63,43	90,93
	20	84,68	59,71	90,43
Sol göz	8	85,53	62,57	90,97
	10	83,83	58,57	89,81
	12	82,98	58,29	89,51
	14	83,83	58,57	89,89
	16	85,53	63,43	90,97
	18	83,83	62	90,05
	20	84,68	59,71	90,27

Çizelge 5.33’de görüldüğü üzere veri setinin eğitim/test için %50-%50 oranında ayrıştırılması durumunda rod yanıtı kullanılarak tasarlanan modelin en yüksek sınıflandırma performansının elde edildiği ara katman nöron sayısı sağ göz için 10, sol göz için 8 olarak belirlenmiştir. Bu durumda sağ göz için sınıflandırıcının doğruluğu %85,53, duyarlılığı %64,29 ve özgüllüğü %91,05 olarak hesaplanmıştır. Sol göz için bu değerler sırasıyla %85,53, %62,57 ve %90,97 elde edilmiştir.

Çizelge 5.34 Her iki göz için maksimum kombine yanıtından DPD’yle özellik çıkarılmasıyla oluşturulan veri setinin %50-%50 oranında bölünmesi sonucu YSA modelinden elde edilen sınıflandırma metrikleri.

	Ara Katman Sayısı	Doğruluk (%)	Duyarlılık (%)	Özgüllük (%)
Sağ göz	8	87,23	69,14	91,93
	10	84,68	62,29	90,35
	12	85,53	65,14	90,85
	14	85,53	65,14	90,85
	16	86,38	66,29	91,43
	18	84,68	62,29	90,43
	20	84,68	61,43	90,31
Sol göz	8	83,83	57,71	89,81
	10	82,98	55,71	89,19
	12	82,98	57,43	89,23
	14	85,53	64,29	90,93
	16	84,68	59,71	90,31
	18	85,53	64,29	90,85
	20	82,98	57,43	89,35

Çizelge 5.34 incelendiğinde sağ göz için maksimum kombine yanıtı kullanılarak tasarlanan modelin ara katmanındaki nöron sayısının 8 olması durumunda en yüksek sınıflandırma performansının elde edildiği belirlenmiştir. Buna göre modelin sınıflandırma metrikleri %87,23 (doğruluk), %69,14 (duyarlılık) ve %91,93 (özgüllük) olarak elde edilmiştir. Sol göz için ise modelin optimum ara katman nöron sayısı 14 olarak tespit edilmiştir. Böylece en yüksek sınıflandırma performansı olarak %85,53 doğruluk, %64,29 duyarlılık ve %90,93 özgüllük değerleri elde edilmiştir.

Çizelge 5.35 Her iki göz için koni yanıtından DPD’yle özellik çıkarılmasıyla oluşturulan veri setinin %50-%50 oranında bölünmesi sonucu YSA modelinden elde edilen sınıflandırma metrikleri.

	Ara Katman Sayısı	Doğruluk (%)	Duyarlılık (%)	Özgüllük (%)
Sağ göz	8	86,38	67,14	91,43
	10	85,53	63,43	90,81
	12	82,13	55,43	88,65
	14	84,68	59,71	90,35
	16	84,68	61,43	90,35
	18	82,98	59,14	89,39
	20	83,83	58,57	89,77
Sol göz	8	86,38	68	91,51
	10	86,38	64,57	91,35
	12	84,68	61,43	90,35
	14	84,68	60,57	90,47
	16	84,68	61,43	90,47
	18	83,83	60,29	89,85
	20	86,38	67,14	91,59

Çizelge 5.35’de görüldüğü üzere koni yanıtı kullanılarak tasarlanan modellerin sınıflandırma başarımlarının en yüksek olduğu ara katmandaki optimum nöron sayısı her iki göz için 8 olarak tespit edilmiştir. Bu durumda modelin sınıflandırma metrikleri sağ göz için %86,38 (doğruluk), %67,14 (duyarlılık) ve %91,43 (özgüllük); sol göz için de %86,38 (doğruluk), %68 (duyarlılık), ve %91,51 (özgüllük) olarak hesaplanmıştır.

Çizelge 5.24 – Çizelge 5.35’da görüldüğü üzere sağ gözün rod yanıtı ve sol gözün maksimum kombine yanıtı ait veri setlerinde eğitim için ayrılan kısmın arttırılıp, test için ayrılan kısmın azaltılması durumunda modelin doğruluk, duyarlılık ve özgüllük metriklerinin arttığı tespit edilmiştir. Sol gözün rod yanıtı, sağ gözün maksimum kombine yanıtı ve sağ ile sol gözün koni yanıtlarına ait veri setlerinde eğitim için ayrılan kısmın arttırılıp, test için ayrılan kısmın azaltılması durumunda modelin doğruluk, duyarlılık ve özgüllük metrikleri artış eğiliminde olduğu belirlenmiştir. Ancak sol gözün rod yanıtına ait olan veri setinde eğitim için ayrılan kısmın %60’dan %70’e çıkarılması halinde bu metriklerin değerleri azalmıştır. Sağ gözün maksimum kombine yanıtı ve sol gözün koni yanıtına ait veri setlerinde eğitim için ayrılan kısmın %60’dan %70’e çıkarılmasının modelin doğruluk değerinde herhangi bir değişime neden olmadığı görülmüştür. Sağ göze ait koni yanıtında ise veri setinin eğitim için ayrılan kısmının %50’den %60’a çıkarılması halinde modelin duyarlılık değeri azalmıştır.

Çizelge 5.36 – Çizelge 5.38 de yukarıda gerçekleştirilen analizlerle tespit edilen optimum ağ topolojisine göre tasarlanan modellere ait istatistiksel hata analiz sonuçları verilmiştir.

Çizelge 5.36 Her iki göze ait rod yanıtı için farklı oranlarda bölünmüş veri setine göre hata analizi.

	Veri Seti (Eğitim-Test)	Ortalama Mutlak Hata (%)	Ortalama Karesel Hata (%)
Sağ göz	%80 - %20	0,0045	0,0029
	%70 - %30	0,0047	0,0033
	%60 - %40	0,0047	0,0034
	%50 - %50	0,0050	0,0037
Sol göz	%80 - %20	0,0043	0,0027
	%70 - %30	0,0046	0,0030
	%60 - %40	0,0047	0,0034
	%50 - %50	0,0050	0,0037

Çizelge 5.37 Her iki göze ait maksimum kombine yanıtı için farklı oranlarda bölünmüş veri setine göre hata analizi.

	Veri Seti (Eğitim-Test)	Ortalama Mutlak Hata (%)	Ortalama Karesel Hata (%)
Sağ göz	%80 - %20	0,0050	0,0033
	%70 - %30	0,0050	0,0037
	%60 - %40	0,0051	0,0041
	%50 - %50	0,0051	0,0041
Sol göz	%80 - %20	0,0042	0,0026
	%70 - %30	0,0048	0,0029
	%60 - %40	0,0050	0,0036
	%50 - %50	0,0047	0,0032

Çizelge 5.38 Her iki göze ait koni yanıtı için farklı oranlarda bölünmüş veri setine göre hata analizi.

	Veri Seti (Eğitim-Test)	Ortalama Mutlak Hata (%)	Ortalama Karesel Hata (%)
Sağ göz	%80 - %20	0,0050	0,0033
	%70 - %30	0,0050	0,0039
	%60 - %40	0,0051	0,0036
	%50 - %50	0,0053	0,0041
Sol göz	%80 - %20	0,0042	0,0026
	%70 - %30	0,0044	0,0029
	%60 - %40	0,0049	0,0033
	%50 - %50	0,0050	0,0036

Çizelge 5.36 – Çizelge 5.38’den elde edilen sonuçlar doğrultusunda farklı obezite seviyelerine ait fERG sinyalinin üç farklı yanıtından elde edilen veri setlerinin eğitim ve test için ayrıştırılmasında eğitime ayrılan kısmın arttırılıp, teste ayrılan kısmının azaltılması durumunda sınıflandırıcının ortalama mutlak hata ve ortalama karesel hata değerlerinin azalma yönünde bir eğilim sergilediği tespit edilmiştir. Buna göre her üç yanıt için de veri setinin eğitim/test yüzdelik oranının %80 - %20 olması halinde ortalama mutlak hatanın ve ortalama karesel hatanın minimum seviyede olduğu görülmüştür. Bu durumda rod, maksimum kombine ve koni yanıtları için ayrı ayrı tasarlanan modellerin ortalama mutlak hatası sağ göz için sırasıyla 0,0045, 0,0050 ve 0,0050 iken; sol göz için bu değerler 0,0051, 0,0042 ve 0,0042 olarak hesaplanmıştır. Yanı sıra modellere ait ortalama karesel hata değerleri sağ ve sol gözün rod yanıtı için sırasıyla 0,0029 ve 0,0037, maksimum kombine ve koni yanıtları için 0,0033 ve 0,0026 olarak tespit edilmiştir.

5.6 DALGACIK PAKET DÖNÜŞÜMÜ VE PARÇACIK SÜRÜ OPTİMİZASYONU TEMELLİ YAPAY SİNİR AĞLARI KULLANILARAK FERG SİNYALLERİNDEN OBEZİTENİN TEŞHİSİ İÇİN KARAR DESTEK SİSTEMİNİN OLUŞTURULMASI

Çalışmanın bu kısmında fERG sinyallerinden DPD yöntemiyle çıkarılan özniteliklere göre tasarlanan PSO-YSA modelinin obezite seviyelerini sınıflandırmadaki başarımları irdelenmiştir. Bu bağlamda analizlerde geleneksel YSA modelinde her bir fERG yanıtı için belirlenen optimum ara katman sayıları göz önünde bulundurulmuştur. Buna göre de farklı oranlarda eğitim/test olarak ayrıştırılan veri setine bağlı olarak modelin sınıflandırma performansı doğruluk, duyarlılık, özgüllük, ortalama mutlak hata ve ortalama karesel hata metriklerine göre değerlendirilmiştir. Bu bağlamda her iki göz için elde edilen sonuçlar Çizelge 5.39 - 5.42’de sunulmuştur.

Çizelge 5.39 Her iki göz için fERG yanıtlarından DPD'yle özellik çıkarılmasıyla elde edilen veri setinin %80 - %20 oranında bölünmesi sonucu PSO-YSA modelinin sınıflandırma metrikleri ve istatistiksel hata sonuçları.

	fERG yanıtı	Ara Katman Sayısı	Doğruluk (%)	Duyarlılık (%)	Özgüllük (%)	Ortalama Mutlak Hata	Ortalama Karesel Hata
Sağ göz	Rod yanıtı	14	94,04	84,29	96,26	0,0307	0,0121
	Maksimum kombine yanıtı	10	95,74	90	97,34	0,0201	0,0155
	Koni yanıtı	16	95,74	90	97,34	0,0247	0,0191
Sol göz	Rod yanıtı	8	95,74	90	97,30	0,0324	0,0108
	Maksimum kombine yanıtı	12	94,89	87,14	96,76	0,0331	0,0170
	Koni yanıtı	16	95,74	90	97,30	0,0289	0,0124

Çizelge 5.20'den görüldüğü üzere sağ göze ait fERG sinyalinin rod yanıtından çıkartılan özelliklerden oluşan veri setinin eğitim/test yüzdelik oranının %80-%20 olması durumunda PSO-YSA modelinde obezite seviyelerinin sınıflandırılmasında % 94,04 doğruluk, % 84,29 duyarlılık ve % 96,26 özgüllük elde edilmiştir. Maksimum kombine ve koni yanıtları kullanılarak tasarlanan modellerin doğruluğu % 95,74, duyarlılığı % 90 ve özgüllüğü ise % 97,34olarak hesaplanmıştır. Diğer taraftan sol göz için rod ve koni yanıtını kullanılarak tasarlanan modellerin sınıflandırma metrikleri % 95,74 (doğruluk), % 90 (duyarlılık) ve % 97,30 (özgüllük) olarak hesaplanmıştır. Maksimum kombine yanıtlarının kullanılarak tasarlanan model için doğruluk % 94,89, duyarlılık % 87,14 ve özgüllük % 96,76 değerleri elde edilmiştir.

Öte yandan rod yanıtı kullanılarak tasarlanan modelin ortalama mutlak hata ve ortalama karesel hata değerleri sağ göz için 0,0307 ve 0,0121; sol göz için de sırasıyla 0,0324 ve 0,0108 olarak elde edilmiştir. Maksimum kombine yanıtının kullanıldığı model için ise ortalama mutlak hata ve ortalama karesel hata değerleri sırasıyla sağ gözde 0,0201 ve 0,0155, sol gözde ise 0,0331 ve 0,0170 olarak belirlenmiştir. Koni yanıtına ait verilerin kullanıldığı modelin sağ göz için ortalama mutlak hatası 0,0247, ortalama karesel hatası 0,0191 iken, sol göz için bu değerler sırasıyla 0,0289 ve 0,0124 olarak tespit edilmiştir.

Çizelge 5.40 Her iki göz için fERG yanıtlarından DPD'yle özellik çıkarılmasıyla elde edilen veri setinin %70 - %30 oranında bölünmesi sonucu PSO-YSA modelinin sınıflandırma metrikleri ve istatistiksel hata sonuçları.

	fERG yanıtı	Ara Katman Sayısı	Doğruluk (%)	Duyarlılık (%)	Özgüllük (%)	Ortalama Mutlak Hata	Ortalama Karesel Hata
Sağ göz	Rod yanıtı	18	92,34	81,14	95,18	0,0313	0,0148
	Maksimum kombine yanıtı	8	92,34	82	95,14	0,0367	0,0200
	Koni yanıtı	12	92,34	81,14	95,14	0,0397	0,0236
Sol göz	Rod yanıtı	16	92,34	80,29	95,14	0,0355	0,0189
	Maksimum kombine yanıtı	12	92,34	79,43	95,14	0,0368	0,0204
	Koni yanıtı	8	94,04	83,43	96,26	0,0339	0,0172

Çizelge 5.40'da görüldüğü gibi veri setinin eğitim/test için %70-%30 oranında ayrıştırılması durumunda rod yanıtı kullanılarak tasarlanan PSO-YSA modelinin obezite seviyelerini sınıflandırmasında sağ göz için % 92,34 doğruluk, % 81,14 duyarlılık ve % 95,18 özgüllük elde edilmiştir. Sol göz için ise bu değerler sırasıyla % 92,34, % 80,29 ve %95,14 olarak hesaplanmıştır. Maksimum kombine yanıtı kullanılarak tasarlanan modele ait doğruluk, duyarlılık ve özgüllük değerleri sırasıyla sağ göz için % 92,34, %82 ve % 95,14, sol göz için % 92,34, % 79,43 ve % 95,14 olarak elde edilmiştir. Koni yanıtı kullanılarak tasarlanan modelde ise sağ göz için % 92,34 doğruluk, % 81,14 duyarlılık ve % 95,14 özgüllük elde edilirken, sol göz için bu değerler sırasıyla % 94,04, % 83,43 ve %96,26 olarak hesaplanmıştır.

Modelin hata analizine ait sonuçlarında sağ göz için ortalama mutlak hata ve ortalama karesel hata değerleri sırasıyla rod yanıtlarının kullanılması durumunda 0,0313 ve 0,0148, maksimum kombine yanıtlarının kullanılması durumunda 0,0367 ve 0,0200, koni yanıtlarının kullanılması durumunda ise 0,0397 ve 0,0366 elde edilmiştir. Sol göz için ise bu değerler rod yanıtı için 0,0355 ve 0,0189, maksimum kombine yanıtı için 0,0368 ve 0,0204, koni yanıtı için de 0,0339 ve 0,0172 olarak hesaplanmıştır.

Çizelge 5.41 Her iki göz için fERG yanıtlarından DPD'yle özellik çıkarılmasıyla elde edilen veri setinin %60 - %40 oranında bölünmesi sonucu PSO-YSA modelinin sınıflandırma metrikleri ve istatistiksel hata sonuçları.

	fERG yanıtı	Ara Katman Sayısı	Doğruluk (%)	Duyarlılık (%)	Özgüllük (%)	Ortalama Mutlak Hata	Ortalama Karesel Hata
Sağ göz	Rod yanıtı	8	88,94	72,29	93,09	0,0408	0,0249
	Maksimum kombine yanıtı	14	90,64	77,14	94,14	0,0346	0,0174
	Koni yanıtı	8	88,94	72,29	92,97	0,0350	0,0194
Sol göz	Rod yanıtı	8	90,64	75,43	94,05	0,0443	0,0282
	Maksimum kombine yanıtı	16	90,64	76,29	94,09	0,0438	0,0281
	Koni yanıtı	8	89,79	75,14	93,51	0,0335	0,0161

Çizelge 5.41'de görüldüğü üzere rod yanıtından elde edilen veri setinin %60-%40 olacak şekilde ayrıştırılması sonucu tasarlanan modelde sağ gözden %88,94 doğruluk, %72,29 duyarlılık ve %93,09 özgüllük; sol gözden ise %90,64 doğruluk, %75,43 duyarlılık ve %94,05 özgüllük elde edilmiştir. Maksimum kombine yanıtı kullanılarak tasarlanan modelin sınıflandırma metrikleri; sağ göz için %90,64 (doğruluk), %77,14 (duyarlılık) ve %94,14 (özgüllük); sol göz için de %90,64 (doğruluk), %76,29 (duyarlılık) ve %94,09 (özgüllük) olarak hesaplanmıştır. Koni yanıtları kullanılarak tasarlanan modelin doğruluk, duyarlılık ve özgüllük değerleri sırasıyla sağ göz için %88,94, %72,29, %92,97, sol göz için de %89,79, %75,14 ve %93,51 olarak belirlenmiştir.

Öte yandan modelin sınıflandırma performanslarına ait ortalama mutlak hata ve ortalama karesel hata değerleri sırasıyla sağ göze ait rod yanıtı için 0,0408 ve 0,0249, maksimum kombine yanıtı için 0,0346 ve 0,0174, koni yanıtı için ise 0,0350 ve 0,0194 olarak hesaplanmıştır. Sol göz için ise bu hatalar sırasıyla rod yanıtında 0,0443 ve 0,0282, maksimum kombine yanıtında 0,0438 ve 0,0281, koni yanıtında ise 0,0335 ve 0,0161 elde edilmiştir.

Çizelge 5.42 Her iki göz için fERG yanıtlarından DPD'yle özellik çıkarılmasıyla elde edilen veri setinin %50 - %50 oranında bölünmesi sonucu PSO-YSA modelinin sınıflandırma metrikleri ve istatistiksel hata sonuçları.

	fERG yanıtı	Ara Katman Sayısı	Doğruluk (%)	Duyarlılık (%)	Özgüllük (%)	Ortalama Mutlak Hata	Ortalama Karesel Hata
Sağ göz	Rod yanıtı	10	88,09	68,57	92,55	0,0377	0,0202
	Maksimum kombine yanıtı	8	88,94	72,29	93,05	0,0406	0,0241
	Koni yanıtı	8	88,94	72,29	93,01	0,0338	0,0175
Sol göz	Rod yanıtı	8	88,09	71,14	92,51	0,0432	0,0285
	Maksimum kombine yanıtı	14	88,94	71,43	93,01	0,0354	0,0184
	Koni yanıtı	8	88,94	72,29	92,97	0,0365	0,0214

Çizelge 5.42'de görüldüğü gibi sağ göze ait rod yanıtına ait veri setinin %50-%50 olacak şekilde eğitim ve test için ayrıştırılması sonucu PSO-YSA modelinde elde edilen doğruluk %88,09, duyarlılık %68,57 ve özgüllük %92,55'dir. Benzer şekilde sol göz için ise doğruluk %88,09, duyarlılık %71,14 ve özgüllük de %92,51 olarak hesaplanmıştır. Maksimum kombine yanıtı kullanılarak tasarlanan modelin doğruluk, duyarlılık ve özgüllük değerleri sırasıyla sağ göz için %88,94, %72,29 ve %93,05 elde edilmiştir. Sol göz için ise sınıflandırıcı performansı %88,94 doğruluk, %71,43 duyarlılık ve %93,01 özgüllük ile elde edilmiştir. Koni yanıtı kullanılarak tasarlanan modelin sınıflandırma performansı sağ göz için %88,94 doğruluk, %72,29 duyarlılık ve %93,01 özgüllük değerlerine sahip iken, sol göz için bu değerler sırasıyla %88,94, %72,29 ve %92,97 olarak hesaplanmıştır.

Modelin ortalama mutlak hatası sağ ve sol göz için sırasıyla rod yanıtında 0,0377 ve 0,0432, maksimum kombine yanıtında 0,0406 ve 0,0354, koni yanıtında 0,0338 ve 0,0365 olarak belirlenmiştir. Ortalama karesel hata ise sağ ve sol göz için sırasıyla rod yanıtında 0,0202 ve 0,0285, maksimum kombine yanıtında 0,0241 ve 0,0184, koni yanıtında ise 0,0175 ve 0,0214 olarak hesaplanmıştır.

Çizelge 5.39 ve Çizelge 5.42'den yer alan sonuçlar doğrultusunda fERG sinyallerinden DPD'yle çıkartılan özelliklerden faydalanarak obezite seviyelerinin sınıflandırılmasında veri setinin eğitim/test yüzdelik oranı %80 - %20 olacak şekilde ayrıştırılması durumunda en yüksek

sınıflandırma performansı elde edilmiştir. Hata analizden elde edilen sonuçlara göre yine benzer şekilde veri setinin %80 - %20 oranında olması durumunda minimum ortalama mutlak hata ve ortalama karesel hata değerlerine ulaşılmıştır.

Gerçekleştirilen tüm analizler sonucunda fERG sinyalinin rod, maksimum kombine ve koni yanıtlarından obezite seviyelerinin sınıflandırılması için tasarlanan PSO-YSA modelinin daha yüksek bir başarımla ortaya koyduğu belirlenmiştir. Yanı sıra rod, maksimum kombine ve koni yanıtlarından özellik çıkarma işleminde ADD yönetimi yerine DPD'nin kullanılması durumunda sınıflandırma performansının daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Öte yandan özellik çıkarma işlemiyle oluşturulan veri setinin %80 - %20 oranında ayrıştırıldığında yine en yüksek sınıflandırma performansına ulaşıldığı görülmüştür. Buna göre en yüksek sınıflandırma başarımlarını veren koşullar göz önüne alınarak, her bir göz için obezite seviyelerinin ayrı ayrı sınıflandırılmasında modelin istatistiksel performansı Çizelge 5.43 – Çizelge 5.45’de sunulmuştur.

Çizelge 5.43 Her iki göze ait rod yanıtı için PSO-YSA modelin istatistiksel performansı.

	Ara katman nöron sayısı	Obezite seviyesi	Doğruluk (%)	Duyarlılık (%)	Özgüllük (%)
Sağ göz	14	Normal	95,74	80	100
		Fazla kilolu	100	100	100
		Obez	91,49	90	91,89
		Morbid obez	89,36	80	91,89
		Süper obez	93,62	71,43	97,50
		Ortalama	94,04	84,29	96,26
Sol göz	8	Normal	91,49	80	95,49
		Fazla kilolu	97,87	90	100
		Obez	95,74	100	94,59
		Morbid obez	93,62	80	97,30
		Süper obez	100	100	100
		Ortalama	95,74	90	97,30

Çizelge 5.43’de görüldüğü üzere rod yanıtından DPD’yle özellik çıkarılmasıyla oluşturulan veri setinden obezite seviyelerinin sınıflandırılmasına yönelik tasarlanan modelin ortalama doğruluk, duyarlılık ve özgüllük değerleri sağ göz için sırasıyla %94,04, %84,29 ve %96,26 iken sol göz için %95,74, %90 ve %97,30 olarak elde edilmiştir. Sağ göz için modelin sınıflandırma doğruluğu, duyarlılığı ve özgüllüğü sırasıyla normal bireyler için %95,74, %80 ve %100; fazla kilolu bireyler için her bir değer %100; obez bireyler için %91,49, %90 ve %91,89; morbid obez bireyler için %89,36, %80 ve %91,89; süper obez bireyler için ise

%93,62, %71,43 ve %97,50 olarak elde edilmiştir. Benzer şekilde sol göz için modelin doğruluğu, duyarlılığı ve özgüllüğü sırasıyla normal bireyler için %91,49, %80 ve %95,49; fazla kilolu bireyler için %97,87, %90 ve %100; obez bireyler için %95,74, %100 ve %94,59; morbid obez bireyler için %93,62, %80 ve %97,30; süper obez bireyler için ise her bir değer %100 olarak hesaplanmıştır.

Çizelge 5.44 Her iki göze ait maksimum kombine yanıtı için PSO-YSA modelin istatistiksel performansı.

	Ara katman nöron sayısı	Obezite seviyesi	Doğruluk (%)	Duyarlılık (%)	Özgüllük (%)
Sağ göz	10	Normal	95,74	90	97,30
		Fazla kilolu	89,36	80	91,89
		Obez	93,62	90	94,59
		Morbid obez	97,87	90	100
		Süper obez	97,87	85,71	100
		Ortalama	94,89	87,14	96,76
Sol göz	12	Normal	91,49	80	94,59
		Fazla kilolu	100	100	100
		Obez	97,87	90	100
		Morbid obez	89,36	70	94,59
		Süper obez	95,74	100	95
		Ortalama	94,89	88	96,84

Çizelge 5.44’de görüldüğü üzere maksimum kombine yanıtları kullanılarak tasarlanan modelin ortalama doğruluk, duyarlılık ve özgüllük değerleri sağ göz için sırasıyla %94,89, %87,14 ve %96,76 iken sol göz için %94,89, %88 ve %96,84 olarak elde edilmiştir. Sağ göz için modelin sınıflandırma doğruluğu, duyarlılığı ve özgüllüğü sırasıyla normal bireyler için %95,74, %90 ve %97,30; fazla kilolu bireyler için %89,36, %80 ve %91,89; obez bireyler için %93,62, %90 ve %94,59; morbid obez bireyler için %97,87, %90 ve %100; süper obez bireyler için ise %97,87, %85,71 ve %100 olarak elde edilmiştir. Benzer şekilde sol göz için modelin doğruluğu, duyarlılığı ve özgüllüğü sırasıyla normal bireyler için %91,49, %80 ve %94,59; fazla kilolu bireyler için her bir değer %100; obez bireyler için %97,87, %90 ve %100; morbid obez bireyler için %89,36, %70 ve %94,59; süper obez bireyler için ise %95,74, %100 ve %95 olarak hesaplanmıştır.

Çizelge 5.45 Her iki göze ait koni yanıtı için PSO-YSA modelin istatistiksel performansı.

	Ara katman nöron sayısı	Obezite seviyesi	Doğruluk (%)	Duyarlılık (%)	Özgüllük (%)
Sağ göz	16	Normal	97,87	90	100
		Fazla kilolu	91,49	70	97,30
		Obez	95,74	90	97,30
		Morbid obez	95,74	100	94,59
		Süper obez	97,87	100	97,50
		Ortalama	95,74	90	97,34
Sol göz	16	Normal	95,74	80	100
		Fazla kilolu	95,74	100	94,59
		Obez	93,62	80	97,30
		Morbid obez	93,62	90	94,59
		Süper obez	100	100	100
		Ortalama	95,74	90	97,30

Çizelge 5.45’de görüldüğü üzere koni yanıtları kullanılarak tasarlanan modelin ortalama doğruluk, duyarlılık ve özgüllük değerleri sağ göz için sırasıyla %95,74, %90 ve %97,34 iken sol göz için %95,74, %90 ve %97,30 olarak elde edilmiştir. Sağ göz için modelin sınıflandırma doğruluğu, duyarlılığı ve özgüllüğü sırasıyla normal bireyler için %97,87, %90 ve %100; fazla kilolu bireyler için %91,49, %70 ve %97,30; obez bireyler için %95,74, %90 ve %97,30; morbid obez bireyler için %95,74, %100 ve %94,59; süper obez bireyler için ise %97,87, %100 ve %97,50 olarak elde edilmiştir. Benzer şekilde sol göz için modelin doğruluğu, duyarlılığı ve özgüllüğü sırasıyla normal bireyler için %95,74, %80 ve %100; fazla kilolu bireyler için %95,74, %100 ve %94,59; obez bireyler için %93,62, %80 ve %97,30; morbid obez bireyler için %93,62, %90 ve %94,59; süper obez bireyler için ise her bir değer %100 olarak hesaplanmıştır.

Bunlara ek olarak fERG sinyallerine ait her bir yanıt için tasarlanan PSO-YSA modeline ait karmaşıklık matrisleri her iki göz için ayrı ayrı Şekil 5.26 – Şekil 5.28’de sunulmuştur. Ayrıca her bir yanıt için elde edilen ROC eğrileri (İşlem Karakteristik Eğrisi-Receiver Operating Characteristics) ve AUC (ROC eğrisi altında kalan alan- (Area Under Curve)) değerleri sağ göz için Çizelge 5.46 – Çizelge 5.48, sol göz için Çizelge 5.49 – Çizelge 5.51’de verilmiştir.

Doğruluk: 94.04%

Normal	8			2	
Fazla kilolu		10			
Obez			9		1
Morbid obez			2	8	
Süper obez			1	1	5
	Normal	Fazla kilolu	Obez	Morbid obez	Süper obez

Tahmin Edilen Sınıf

(a)

Doğruluk: 95.74%

Doğru Sınıf	Normal	8		1	1	
	Fazla kilolu	1	9			
	Obez			10		
	Morbid obez	1		1	8	
	Süper obez					7
	Normal	Fazla kilolu	Obez	Morbid obez	Süper obez	
Tahmin Edilen Sınıf						

(b)

Şekil 5.26 Obezite seviyelerinin sınıflandırılmasında fERG sinyalinin rod yanıtından DPD'yle çıkartılan özelliklerin PSO-YSA modelinde kullanılması sonucu elde edilen karmaşıklık matrisi; (a) sağ göz, (b) sol göz.

Şekil 5.26 (a) incelendiğinde sağ gözün rod yanıtında normal bireylere ait 10 verinin 8'i, fazla kilolu bireylere ait 10 verinin 10'u, obez bireylere ait 10 verinin 9'u, morbid obez bireylere ait 10 verinin 8'i ve süper obez bireylere ait 7 verinin 5'i doğru bir şekilde sınıflandırıldığı

görülmüştür. Sol göz için ise normal bireylere ait 10 verinin 8'i, fazla kilolu bireylere ait 10 verinin 9'u, obez bireylere ait 10 verinin 10'u, morbid obez bireylere ait 10 verinin 8'i ve süper obez bireylere ait 7 verinin 7'sinin doğru sınıflandırıldığı tespit edilmiştir (Şekil 5.26b).

Doğruluk: 94.89%

Doğru Sınıf	Normal	9	1			
	Fazla kilolu	1	8	1		
	Obez		1	9		
	Morbid obez			1	9	
	Süper obez		1			6
		Normal	Fazla kilolu	Obez	Morbid obez	Süper obez
		Tahmin Edilen Sınıf				

(a)

Doğruluk: 94.89%

Doğru Sınıf	Normal	8			2	
	Fazla kilolu		10			
	Obez			9		1
	Morbid obez	2			7	1
	Süper obez					7
		Normal	Fazla kilolu	Obez	Morbid obez	Süper obez
		Tahmin Edilen Sınıf				

(b)

Şekil 5.27 Obezite seviyelerinin sınıflandırılmasında fERG sinyalinin maksimum kombine yanıtından DPD'yle çıkartılan özelliklerin PSO-YSA modelinde kullanılması sonucu elde edilen karmaşıklık matrisi; (a) sağ göz, (b) sol göz.

Şekil 5.27 (a) incelendiğinde sağ gözün maksimum kombine yanıtında normal bireylere ait 10 verinin 9'u, fazla kilolu bireylere ait 10 verinin 8'i, obez bireylere ait 10 verinin 9'u, morbid obez bireylere ait 10 verinin 9'u ve süper obez bireylere ait 7 verinin 6'sı doğru bir şekilde sınıflandırıldığı görülmüştür. Sol göz için ise normal bireylere ait 10 verinin 8'i, fazla kilolu bireylere ait 10 verinin 10'u, obez bireylere ait 10 verinin 9'u, morbid obez bireylere ait 10 verinin 7'si ve süper obez bireylere ait 7 verinin 7'sinin doğru sınıflandırıldığı tespit edilmiştir (Şekil 5.27b).

Doğruluk: 95.74%

Doğru Sınıf	Normal	9	1			
	Fazla kilolu		7	1	1	1
	Obez			9	1	
	Morbid obez				10	
	Süper obez					7
		Normal	Fazla kilolu	Obez	Morbid obez	Süper obez
Tahmin Edilen Sınıf						

(a)

Doğruluk: 95.74%

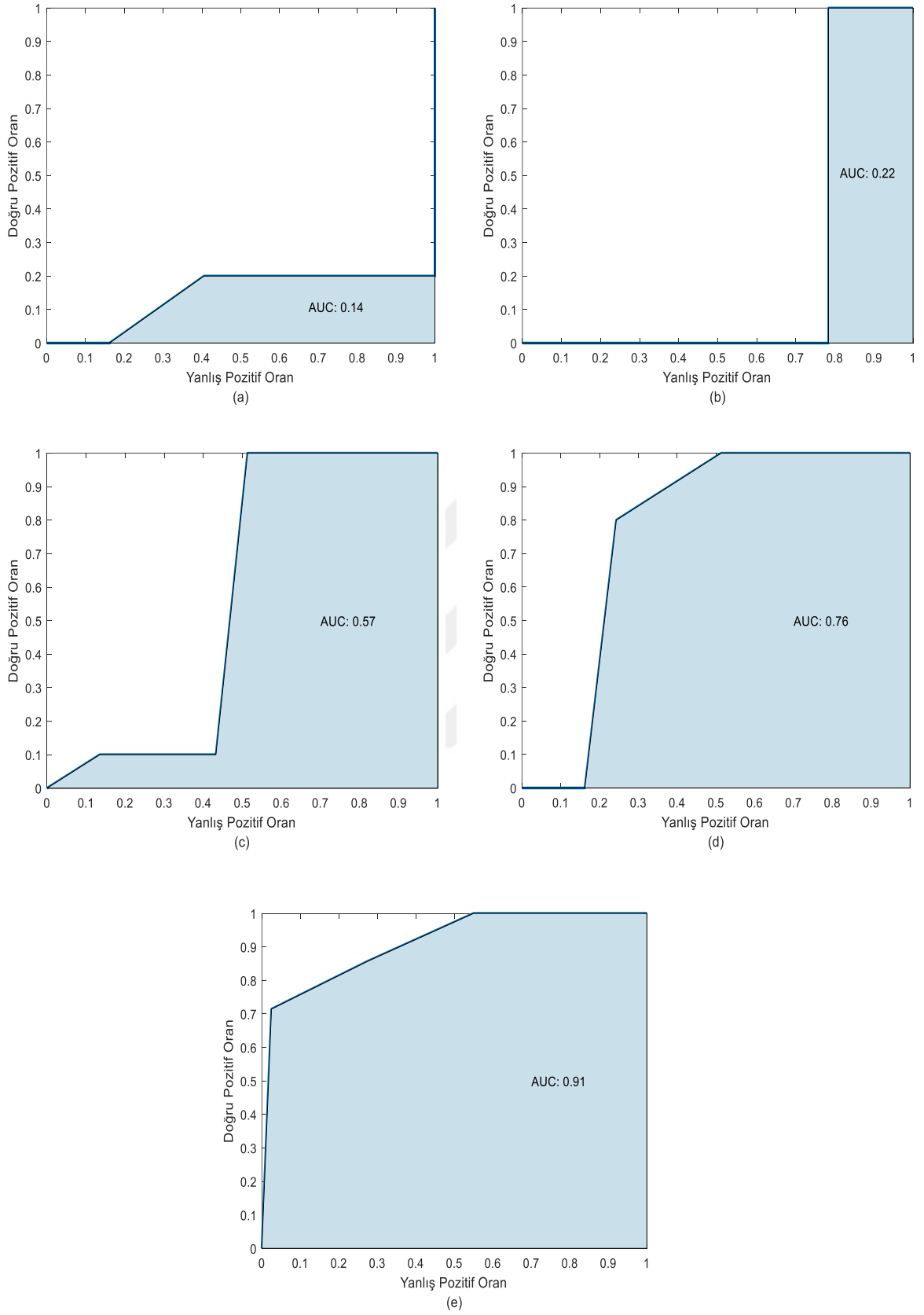
Doğru Sınıf	Normal	8		1	1	
	Fazla kilolu		10			
	Obez		1	8	1	
	Morbid obez		1		9	
	Süper obez					7
		Normal	Fazla kilolu	Obez	Morbid obez	Süper obez
Tahmin Edilen Sınıf						

(b)

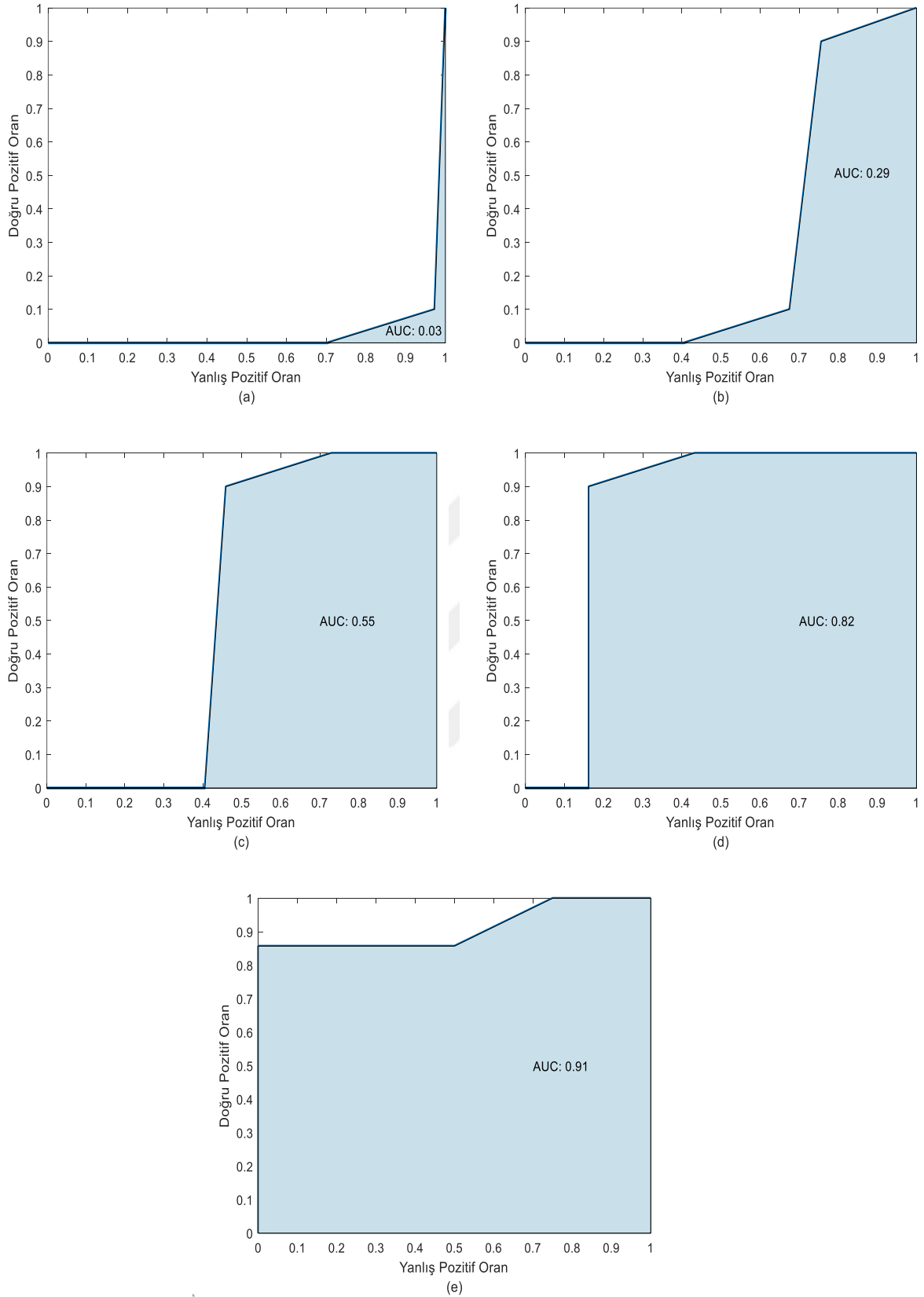
Şekil 5.28 Obezite seviyelerinin sınıflandırılmasında fERG sinyalinin koni yanıtından DPD'yle çıkartılan özelliklerin PSO-YSA modelinde kullanılması sonucu elde edilen karmaşıklık matrisi; (a) sağ göz, (b) sol göz.

Şekil 5.28 (a) incelendiğinde sağ gözün koni yanıtında normal bireylere ait 10 verinin 9'u, fazla kilolu bireylere ait 10 verinin 7'si, obez bireylere ait 10 verinin 9'u, morbid obez bireylere ait 10 verinin 10'u ve süper obez bireylere ait 7 verinin 7'si doğru bir şekilde sınıflandırıldığı görülmüştür. Sol göz için ise normal bireylere ait 10 verinin 8'i, fazla kilolu bireylere ait 10 verinin 10'u, obez bireylere ait 10 verinin 8'i, morbid obez bireylere ait 10 verinin 9'u ve süper obez bireylere ait 7 verinin 7'sinin doğru sınıflandırıldığı tespit edilmiştir (Şekil 5.28b).

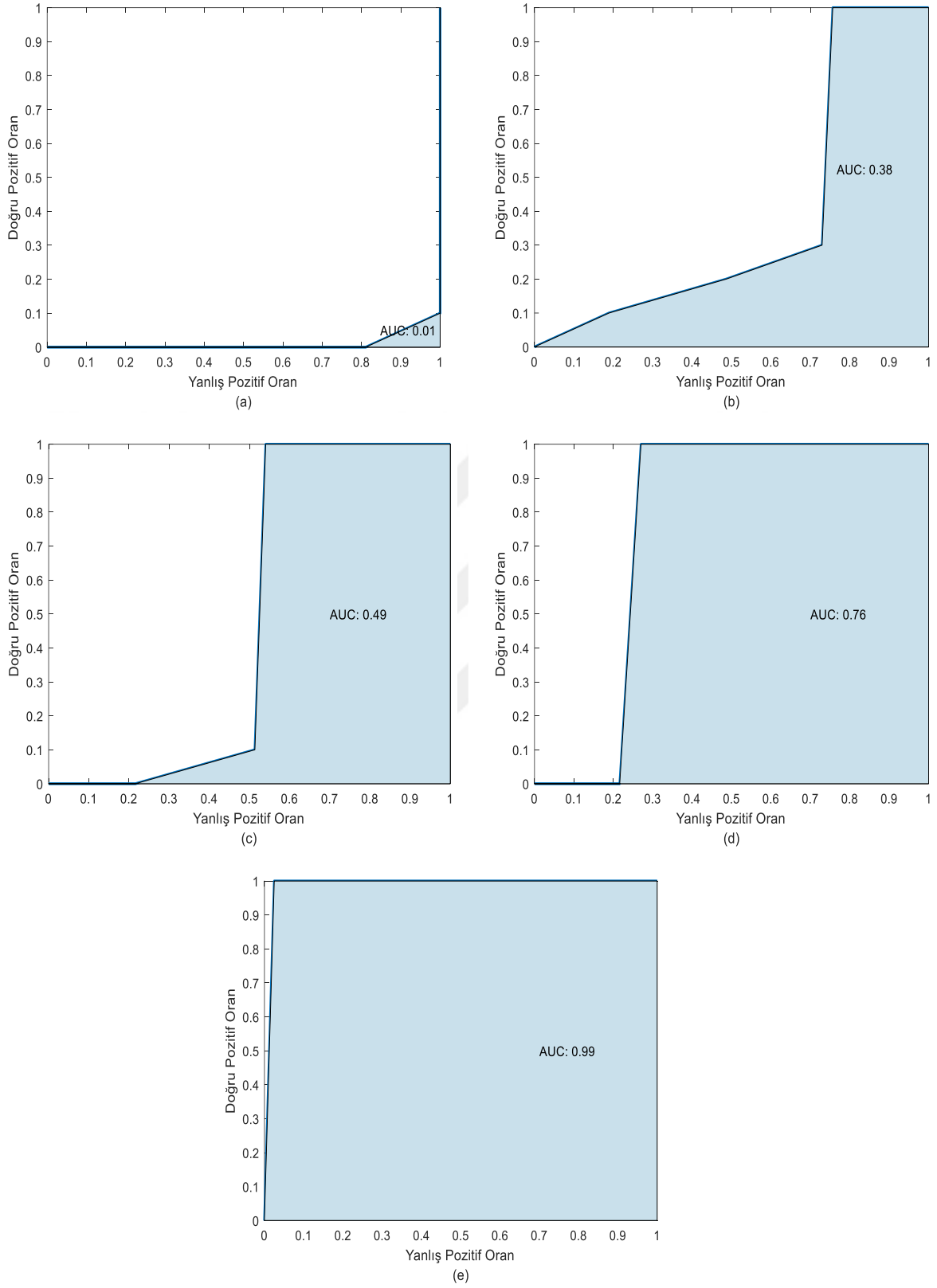




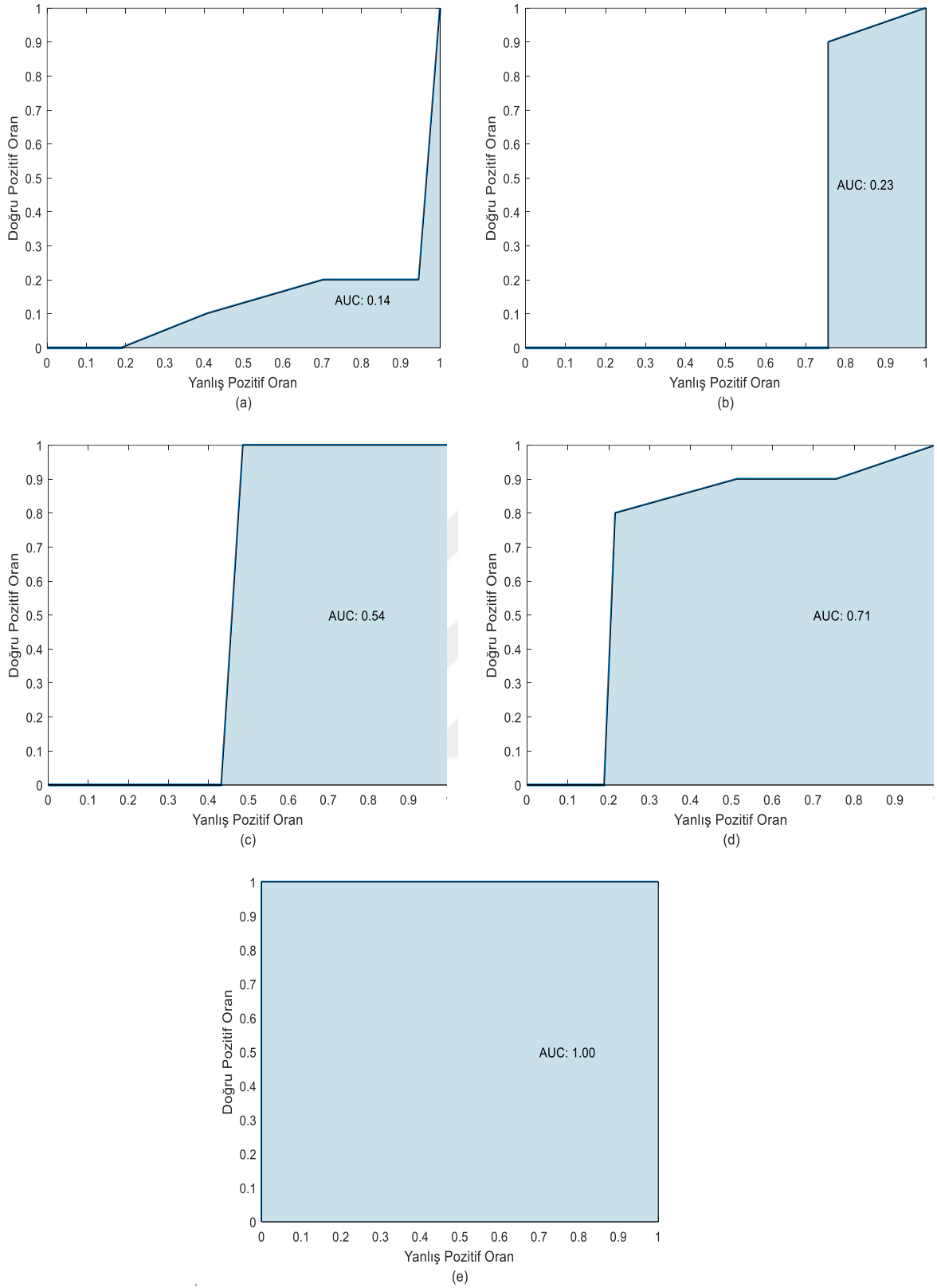
Şekil 5.29 Sağ gözün rod yanıtından DPD'yle çıkartılan özelliklerin PSO-YSA modelinde kullanılması sonucu (a) normal, (b) fazla kilolu, (c) obez, (d) morbid obez, (e) süper obez bireyler için elde edilen ROC eğrileri ve AUC değerleri.



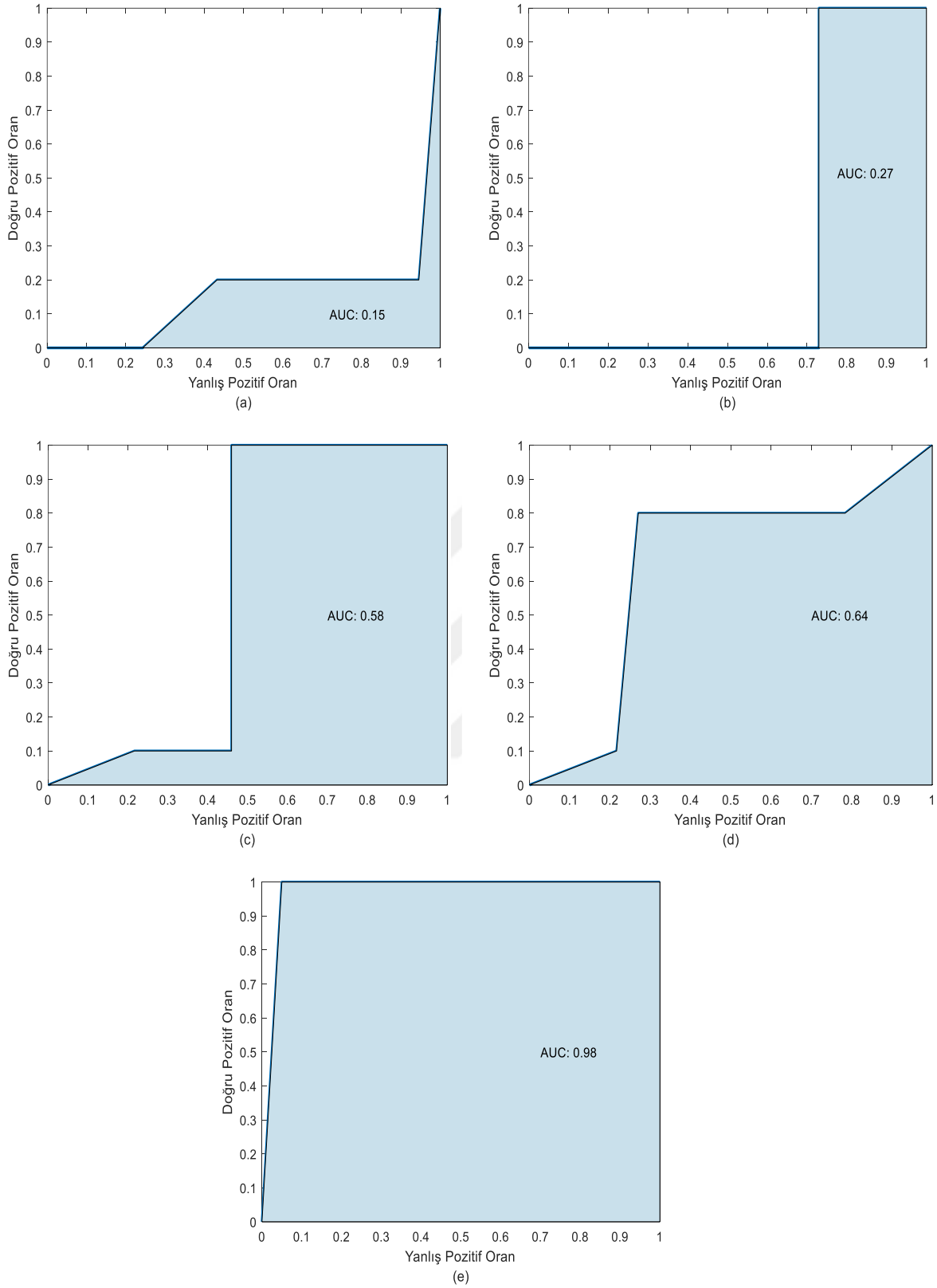
Şekil 5.30 Sağ gözün maksimum kombine yanıtından DPD'yle çıkartılan özelliklerin PSO-YSA modelinde kullanılması sonucu (a) normal, (b) fazla kilolu, (c) obez, (d) morbid obez, (e) süper obez bireyler için elde edilen ROC eğrileri ve AUC değerleri.



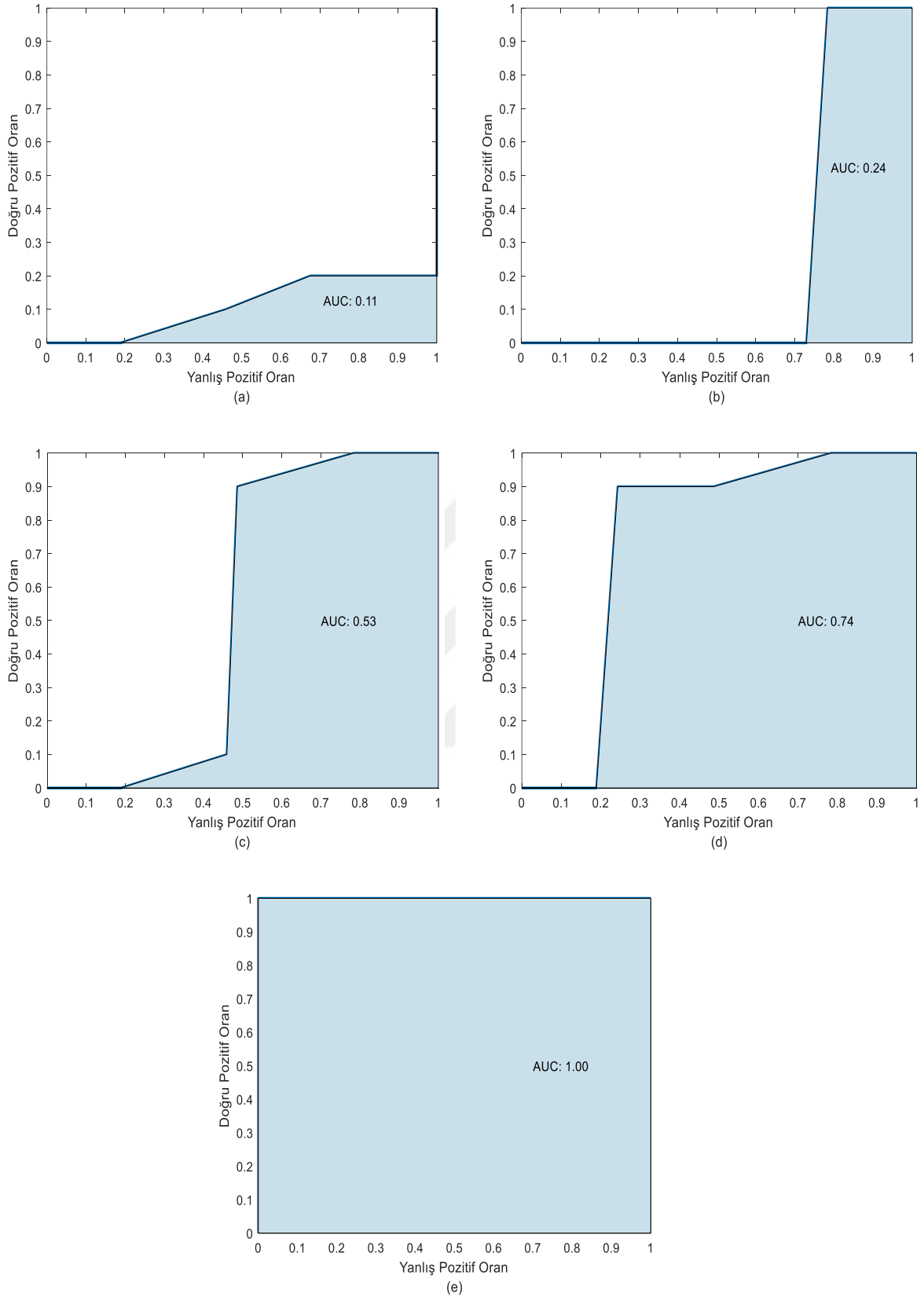
Şekil 5.31 Sağ gözün koni yanıtından DPD'yle çıkartılan özelliklerin PSO-YSA modelinde kullanılması sonucu (a) normal, (b) fazla kilolu, (c) obez, (d) morbid obez, (e) süper obez bireyler için elde edilen ROC eğrileri ve AUC değerleri.



Şekil 5.32 Sol gözün rod yanıtından DPD'yle çıkartılan özelliklerin PSO-YSA modelinde kullanılması sonucu (a) normal, (b) fazla kilolu, (c) obez, (d) morbid obez, (e) süper obez bireyler için elde edilen ROC eğrileri ve AUC değerleri.



Şekil 5.33 Sol gözün maksimum kombine yanıtından DPD'yle çıkartılan özelliklerin PSO-YSA modelinde kullanılması sonucu (a) normal, (b) fazla kilolu, (c) obez, (d) morbid obez, (e) süper obez bireyler için elde edilen ROC eğrileri ve AUC değerleri.



Şekil 5.34 Sol gözün koni yanıtından DPD'yle çıkartılan özelliklerin PSO-YSA modelinde kullanılması sonucu (a) normal, (b) fazla kilolu, (c) obez, (d) morbid obez, (e) süper obez bireyler için elde edilen ROC eğrileri ve AUC değerleri.

Sağ göz için Şekil 5.29'da yer alan ROC eğrilerine ait performanslar incelendiğinde, rod yanıtına ait verilerden obezite seviyelerinin sınıflandırılmasında elde edilen AUC değerleri normal seviye için 0,14, fazla kilolu seviyesi için 0,22, obez seviyesi için 0,57, morbid obez seviyesi için 0,76 ve süper obez seviyesi için 0,91'dir. Şekil 5.30'daki ROC eğrilerinin performansı irdelendiğinde, maksimum kombine yanıtına ait verilerin sınıflandırma için kullanılması halinde elde edilen AUC değerleri normal, fazla kilolu, obez, morbid obez ve süper obez seviyeleri için sırasıyla 0,03, 0,29, 0,55, 0,82 ve 0,91'dir. Şekil 5.31'de görüldüğü üzere koni yanıtı için elde edilen ROC eğrilerinin performansları normal seviye için 0,01, fazla kilolu için 0,38, obez için 0,49, morbid obez için 0,76 ve süper obez için ise 0,99'dur. Bu doğrultuda sağ göze ait rod ve maksimum kombine yanıtlarında AUC değerinin 0,5'in üzerinde olduğu obez, morbid obez ve süper obez seviyelerinin sınıflandırılmasında tasarlanan modelin iyi performans sergilediği tespit edilmiştir. Yanı sıra sağ gözün koni yanıtında AUC değerine bağlı olarak tasarlanan modelin morbid ve süper obez seviyelerinin sınıflandırılmasında daha başarılı olduğu belirlenmiştir.

Sol göz için Şekil 5.32'de yer alan ROC eğrilerine ait performanslar incelendiğinde, rod yanıtına ait verilerden obezite seviyelerinin sınıflandırılmasında elde edilen AUC değeri normal seviye için 0,14, fazla kilolu seviyesi için 0,23, obez seviyesi için 0,54, morbid obez seviyesi için 0,71 ve süper obez seviyesi için 1'dir. Şekil 5.33'deki ROC eğrilerinin performansı irdelendiğinde, maksimum kombine yanıtına ait verilerin sınıflandırma için kullanılması halinde elde edilen AUC değerleri normal, fazla kilolu, obez, morbid obez ve süper obez seviyeleri için sırasıyla 0,15, 0,27, 0,58, 0,64 ve 0,98'dir. Şekil 5.34'de görüldüğü üzere koni yanıtı için elde edilen ROC eğrilerinin performansları normal seviye için 0,11, fazla kilolu için 0,24, obez için 0,53, morbid obez için 0,74 ve süper obez için ise 1'dir. Bu doğrultuda sol göze ait her üç yanıt için AUC değerinin 0,5'in üzerinde olduğu obez, morbid obez ve süper obez seviyelerinin sınıflandırılmasında tasarlanan modelin iyi performans sergilediği tespit edilmiştir.

BÖLÜM 6

SONUÇ VE ÖNERİLER

Gelişmiş ve gelişmekte olan ülkeler başta olmak üzere tüm ülkelerde büyük bir sağlık sorunu haline gelen obezite dünya çapında bir epidemiye dönüşmüştür. Obezitenin bu kadar yaygınlaşmasının temel sebepleri arasında teknolojinin gelişmesine bağlı olarak yaşam standartlarının kolaylaşmasıyla birlikte beslenme alışkanlığının değişmesi ve fiziksel aktivitelerin azalması yer almaktadır. Bu değişim nedeniyle vücut, besinleri yağ hücrelerine dönüştürme eğilimine girmekte ve süreç sonucunda ciddi sağlık sorunları ortaya çıkmaktadır. Son zamanlarda, obezitenin vücut sistemleri ve bireylerin psiko-sosyal durumları üzerindeki olumsuz etkilerinin yanı sıra göz sağlığı üzerinde de farklı problemlere neden olduğu bilinmektedir. Örnek olarak göz damarlarında tıkanıklık, sarı nokta, erken yaşta katarakt ve göz tansiyonu bunların başlıcaları arasında gösterilmektedir. Bu doğrultuda, klinik araştırmalarda görme kayıplarına sebep olan hastalıkların erken tanı ve teşhisinin konulmasında oküler elektrofizyolojik testlerden sıklıkla faydalanılmaktadır. Bu testlerden Elektoretinogram (ERG), görme hücrelerini (rod, koni ve gangliyon hücreleri) yapısında bulunduran retina tabakası hakkında kitlesel bir yanıt sunmaktadır. Bu bağlamda bu tez çalışmasında obezite ve obezite seviyelerinin retina üzerindeki fizyolojik etkisi flaş ERG (fERG) sinyallerine ait rod, koni ve maksimum kombine yanıtları kullanılarak incelenmiştir.

Bunun yanı sıra, literatürde obezite ile ilgili hastalıkların değerlendirilmesinde vücut kitle indeksinin (VKİ) tek başına yeterli olmadığına ortaya koyulmuştur [53-55]. Bu doğrultuda obezite seviyelerinin sınıflandırılması fERG sinyallerinin üç farklı yanıtı kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

Çalışmada, öncelikle veri seti oluşturmak amacıyla, bir laboratuvar ortamı hazırlanmıştır. Daha sonra, 47 farklı bireyden oluşan denek grubunun hastalık özellikleri 10 normal, 10 fazla kilolu, 10 obez, 10 morbid obez, 7 süper obez olacak şekilde tespit edilmiştir. Sonraki süreçte, her bireyin sağ ve sol gözünden kaydedilen fERG sinyallerinin literatürde en sık kullanılan rod, maksimum kombine ve koni yanıtları ölçülerek veri setleri oluşturulmuştur. Yapılan ölçümlerin istatistiksel özelliklerini ortaya koymak için, oluşturulan laboratuvar ortamında normal bireylerin 20 gözünden alınan fERG sinyallerinin rod, maksimum kombine ve koni yanıtlarından ‘a’ ve ‘b’ dalgaları elde edilmiştir. Bu dalgaların oluşum zamanları ile genlik değerleri ortanca cinsinden %95 güven aralığında hesaplanarak literatüre sunulmuştur.

Çalışmanın ikinci aşamasında, obezite seviyelerinin fERG sinyali üzerindeki fizyolojik etkilerini tespit etmek için Kısa Zamanlı Fourier Dönüşümü (KZFD), Sürekli Dalgacık Dönüşümü (SDD) ve Ayrık Dalgacık Dönüşümü (ADD) yöntemleriyle analizler gerçekleştirilmiştir. Analizlerde elde edilen skalogram görüntüleri uygulanan yönteme bağlı olarak fERG dalgalarına (‘a’ ve ‘b’ dalgaları) yönelik zaman veya zaman-frekans boyutlarında bilgiler sunmaktadır.

KZFD yöntemiyle elde edilen sonuçlara göre, her bir obezite seviyesi için rod, maksimum kombine ve koni yanıtlarına ait skalogram görüntülerinin bazılarında dalgalara ait bilgiye ulaşılabilmekte iken, bazılarında ise dalgaya ya da dalgalara ait bilgilere ulaşılamadığı sonuçlarına varılmıştır. Yanı sıra bazı skalogram görüntülerinde enerji seviyesinin en yoğun olduğu bölgenin geniş bir yayılım sergilemesi, dalgaların ayrı ayrı değerlendirilememesine neden olduğu tespit edilmiştir.

SDD yönteminde yapılan analizler için öncelikle normal bireylere ait veriler kullanılarak üç farklı ana dalgacık tipinden (db10, haar ve Meksika şapkası) en uygun olanı belirlenmiştir. Bu doğrultuda her iki göz için elde edilen skalogram görüntülerinden Meksika şapkasının en uygun ana dalgacık tipi olduğu tespit edilmiştir. Diğer dalgacık türlerinin kullanılması durumunda ise dalgaların oluşum zamanlarıyla skalogram görüntülerinde enerjilerin en yoğun olduğu bölgelerin örtüşmediği belirlenmiştir. Bu nedenle, tüm obezite seviyeleri için de analizlerde Meksika şapkası ana dalgacığı kullanılmıştır. Buna göre obezite seviyelerine ait skalogram görüntülerinden faydalanılarak her iki göze ait her bir yanıt için dalgaların oluşum zamanları ve frekans bilgileri çıkarılmıştır.

Diğer yandan, ADD yönteminde de benzer olarak normal bireylere ait veriler kullanılarak, db10 ve haar ana dalgacıklarından hangisinin dalgaların analizi için en uygun olduğu araştırılmıştır. Elde edilen skalogram görüntüleri incelendiğinde her iki göze ait yanıtların ADD'yle gerçekleştirilen analizlerinde db10'un daha etkin sonuçlar verdiği tespit edilmiştir. Bu bağlamda tüm obezite seviyeleri için de analizlerde db10 kullanılmıştır. Skalogram görüntülerinden, her iki göze ait her bir yanıt için dalgaların oluşum zamanları ve frekans bilgileri her bir obezite seviyesine göre belirlenmiştir. Ancak fazla kilolu ve morbid obez seviyeleri için sağ gözün koni yanıtından ve sol gözün fazla kilolu, obez ve morbid obez seviyeleri için koni yanıtından 'a' dalgasıyla ilgili herhangi bir bilgiye ulaşamamıştır. Bu bilgi ışığında, fERG sinyalinde önem teşkil eden 'a' ve 'b' dalgalarının analizinde Meksika şapka ana dalgacığının kullanıldığı SDD yönteminin diğer analiz yöntemlerine göre daha fazla bilgi sunduğu görülmüş ve bu yöntemin sinyalin fizyolojik bilgilerinin çıkarımında en iyi yöntem olduğu ortaya konulmuştur.

Çalışmanın son aşamasında ise son yıllarda, VKİ yönteminin obezite seviyesinin belirlenmesinde tıbbi olarak yeterli görülmemesi nedeniyle, fERG sinyalleriyle obezite seviyelerinin sınıflandırma işlemi için bir karar destek sistemi tasarımı gerçekleştirilmiştir. Bu doğrultuda, fERG sinyalinin üç farklı yanıtına (rod, maksimum kombine ve koni yanıtları) ait özelliklerin belirlenmesinde öznitelik çıkarma yöntemlerinden ADD ve dalgacık paket dönüşümü (DPD) yöntemleri kullanılmıştır. Ardından her bir yanıtın elde edilen özelliklere istatistiksel yöntemler (mutlak ortalama, ortalama güç, standart sapma, çarpıklık, basıklık ve komşu alt bantlardaki sinyal katsayılarının mutlak ortalama değerlerinin oranı) uygulanarak öznitelik vektörleri elde edilmiştir. Çıkarılan özniteliklerden oluşturulan veri setleri geleneksel YSA ve Parçacık Sürü Optimizasyonu temelli Yapay Sinir Ağı (PSO-YSA) modeline uygulanarak sınıflandırma başarımları analiz edilmiştir.

Analizlerde ilk olarak ADD yöntemi ile özellik çıkarma süreci gerçekleştirilmiş ve sınıflandırıcı tasarımı gerçekleştirilmiştir. Böylece, 4. seviyeden db4 temelli ADD'yle çıkarılan öznitelikler kullanılarak 29-H-1 mimarisiyle oluşturulan geleneksel Yapay Sinir Ağları (YSA) modelinde optimum ara katman sayıları tespit edilmiştir. Belirlenen optimum ara katman sayısına göre tasarlanan YSA modeli için veri setlerinin farklı oranlardaki eğitim/test yüzdeliklerine göre sınıflandırma başarımları analiz edilmiştir. Her bir yanıtın ait sonuçlara göre veri setinin %80 - %20 oranında ayrıştırılması halinde en yüksek sınıflandırma başarımları elde edildiği gözlemlenmiştir. Test süreci sonucunda, tasarlanan YSA modelinde sağ gözün rod yanıtı için

%89,79, maksimum kombine yanıtı için %94,04, koni yanıtı için %91,49; sol gözün rod yanıtı için %91,49, maksimum kombine yanıtı için %90,64, koni yanıtı için %94,04'lük bir genel başarımlar elde edilmiştir. Oluşturulan öznelik vektörleri ve optimum ara katman sayıları değiştirilmeden 29-H-1 mimarisine göre tasarlanan PSO-YSA modeli için her bir yanıtı ait veri setlerinin %80 - %20 oranında bölünmesi halinde en yüksek sınıflandırma performansı elde edilmiştir. Modelin sınıflandırma başarımları sağ ve sol göz için sırasıyla rod yanıtında %92,34, %93,19, maksimum kombine yanıtında %94,89, %93,19 ve koni yanıtında ise %94,04, %97,30'dur. Analizler sonucunda görülmüştür ki, hem YSA modeli hem de PSO-YSA modelinden elde edilen sınıflandırma başarımlarına göre fERG sinyalinin rod, maksimum kombine ve koni yanıtlarından faydalanılarak obezite seviyelerinin başarılı bir şekilde belirlenebileceği ve diğer taraftan geleneksel YSA modeline kıyasla tasarlanan hibrit PSO-YSA modelinin en yüksek sınıflandırma başarımlarına sahip olduğu tespit edilmiştir.

Analizde ikinci olarak, yanıtlara ait özellik çıkarımı DPD yöntemi ile yapılarak, sınıflandırıcı tasarımı gerçekleştirilmiştir. 4. seviyeden db4 temelli DPD'yle çıkartılan öznelikler 176-H-1 mimariyle oluşturulan geleneksel YSA modelinde kullanılarak optimum ara katman sayıları belirlenmiştir. Tespit edilen optimum ara katman sayıları göz önüne alınarak, tasarlanan YSA modelinde veri setlerinin farklı oranlarda bölünmüş halleri için obezite seviyelerinin sınıflandırılma başarımları analiz edilmiştir. Her bir yanıtı ait veri setinin %80 - %20 oranında bölünmesi durumunda sınıflandırmada en yüksek başarımlar elde edilmiştir. Bu doğrultuda modelin genel sınıflandırma başarımları sağ gözün rod yanıtı için %89,79, maksimum kombine yanıtı için %94,04, koni yanıtı için %91,49 iken sol gözün rod yanıtı için % 91,49, maksimum kombine yanıtı için %90,64, koni yanıtı için ise %94,04'dir. Oluşturulan veri setleri ve optimum ara katman sayıları değiştirilmeden 176-H-1 mimarisine göre tasarlanan PSO-YSA modelinde veri setlerinin eğitim ve test için %80 - %20 oranında ayrıştırılmasında durumunda en yüksek sınıflandırma başarımlarına ulaşılmıştır. Modele ait sınıflandırma başarımları sağ gözün rod yanıtı için %94,04, sağ gözün maksimum kombine ve koni yanıtları ile sol gözün rod ve koni yanıtları için %95,74, sol gözün maksimum kombine yanıtı için %94,89'dur.

Elde edilen sınıflandırma başarımlarına göre hibrit PSO-YSA modelinin fERG sinyalinin rod, maksimum kombine ve koni yanıtlarından obezite seviyelerinin sınıflandırılmasında YSA modelinden daha yüksek bir başarımlar sergilediği tespit edilmiştir. Diğer taraftan, özellik çıkarma yöntemlerinden DPD'nin ADD'ye göre PSO-YSA modelinin sınıflandırma başarımlarını artırdığı görülmüştür. Tasarlanan sınıflandırıcı modeli, sağ gözün rod yanıtı için normal bireylerde

%95,74'lük, fazla kilolu bireylerde %100'lük, obez bireylerde %91,49'luk, morbid obez bireylerde %89,36'lık ve süper obez bireylerde %93,62'lik bir başarımlı sergilemiştir. Sol göze ait rod yanıtı için ise normal bireylerde %91,49'luk, fazla kilolu bireylerde %97,87'lik, obez bireylerde %95,74'lük, morbid obez bireylerde %93,62'lik ve süper obez bireylerde %100'lük başarımlı performansını göstermiştir. Model, maksimum kombine yanıtta sağ göz için normal bireylerde %95,74'lük, fazla kilolu bireylerde %89,36'lık, obez bireylerde %93,62'lik, morbid ve süper obez bireylerde ise %97,87'lik bir başarımlı sağıpken, sol göz için normal bireylerde %91,49'luk, fazla kilolu bireylerde %100'lük, obez bireylerde %97,87'lik, morbid obez bireylerde %89,36'lık, süper obez bireylerde %95,74'lük bir başarımlı sahiptir. Koni yanıtında ise modelin başarımlı sağı göz için normal ve süper obez bireylerde %97,87, fazla kilolu bireylerde %91,49, obez ve morbid obez bireylerde ise %95,74 iken, sol göz için normal ve fazla kilolu bireylerde %95,74, obez ve morbid obez bireylerde %93,62, süper obez bireylerde ise % 100 olarak elde edilmiştir. Toplamda tasarlanan model genel olarak; fERG sinyallerinden obezite seviyelerinin sınıflandırılmasında DPD temelli PSO-YSA modelinin kullanılması durumunda sağı gözün rod yanıtından ortalama %94,04, sağı gözün maksimum kombine ve koni yanıtları ile sol gözün rod ve koni yanıtlarından ortalama %95,74, sol gözün maksimum kombine yanıtından ise ortalama %94,89'lük bir genel başarımlı performansını gösterdiği belirlenmiştir.

Tüm bulgular ışığında görülmüştür ki; fERG sinyallerinin rod, maksimum kombine ve koni yanıtlarında obezite ve obezite seviyelerinin fizyolojik etkilerinin gözlemlenebileceğı ortaya koyulmuştur. Diğer yandan, obezite seviyelerinin sınıflandırılmasında fERG yanıtlarından faydalanılabileceğı gösterilmiştir. Bu çalışma ile obezite sorununun göz sinyallerinde kodlandığı ve böylece obezitenin gözde sebep olabileceğı tahribatın erken tespitiyle görme kayıplarının önüne geçilebileceğı öngörülmüştür.



KAYNAKLAR

- [1] **Yahiro A M, Wingo B C, Kunwor S, Parton J and Ellis A C** (2020) Classification of Obesity, Cardiometabolic Risk, and Metabolic Syndrome in Adults with Spinal Cord Injury. *The journal of spinal cord medicine*, 43 (4): 485-496.
- [2] **Çukur A ve Erdem İ A** (2017) Obezite Vergilerinin Obezite ile Mücadelede Yeri: Türkiye İçin Bir Değerlendirme. *Sayıştay Dergisi*, 2017 (106): 121-146.
- [3] **URL-1** < http://www.temd.org.tr/admin/uploads/tbl_gruplar/20180525144116-2018-05-25tbl_gruplar144108.pdf>, Ziyaret Tarihi: 04.08.2021.
- [4] **Doğan B ve Can Ö** (2015) Obez Bireylerde İki Farklı Yöntemle Hesaplanan Vücut Yağ Oranının Antropometrik Değerler ve Lipid Parametreleri ile İlişkisi. *İstanbul Bilim Üniversitesi Florence Nightingale Tıp Dergisi*, 1 (3): 124-128.
- [5] **Sungur Sevil A** (2021) Aile Hekimliği Polikliniğine Başvuran 18 Yaş Üstü Bireylerde Obezite Oranı, Tedaviye Hazırlık Düzeyleri, Tedaviye Engeller ve Obezite Hakkında Düşüncelerinin Değerlendirilmesi. *Uzmanlık Tezi*, Akdeniz Üniversitesi Tıp Fakültesi, Aile Hekimliği Anabilim Dalı, Antalya, 91 s.
- [6] **URL-2** <<https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Turkiye-Saglik-Arastirmasi-2019-33661>>, Ziyaret tarihi: 15.03.2021.
- [7] **Özkan I, Yıldırım İ, Yıldırım Y, Karagöz Ş, Ersöz Y ve Doğan İ** (2017) Üniversite Öğrencilerinde Farklı Ölçüm Yöntemlerine Göre Obezite Prevalansı. *İnönü Üniversitesi Beden Eğitimi ve Spor Bilimleri Dergisi*, 4 (2): 20-33.
- [8] **Age-Related Eye Disease Study Research Group** (2001) Risk Factors Associated with Age-Related Nuclear and Cortical Cataract: A Case-Control Study in the Age-Related Eye Disease Study, AREDS report no. 5. *Ophthalmology*, 108 (8): 1400-1408.
- [9] **Age-Related Eye Disease Study Research Group** (2000) Risk Factors Associated with Age-Related Macular Degeneration: a Case-Control Study in the Age-Related Eye Disease Study: Age-Related Eye Disease Study Report Number 3. *Ophthalmology*, 107 (12): 2224-2232.
- [10] **Chaturvedi N, Sjoelie A K, Porta M, Aldington S J, Fuller J H, Songini M and Kohner E M** (2001) Markers of Insulin Resistance are Strong Risk Factors for Retinopathy Incidence in Type 1 Diabetes: the EURODIAB Prospective Complications Study. *Diabetes care*, 24 (2): 284-289.

KAYNAKLAR (devam ediyor)

- [11] **Clemons T E, Milton R C, Klein R, Seddon J M, Ferris 3rd F L and Age-Related Eye Disease Study Research Group** (2005) Risk Factors for the Incidence of Advanced Age-Related Macular Degeneration in the Age-Related Eye Disease Study (AREDS) AREDS report no. 19. *Ophthalmology*, 112 (4): 533-539.
- [12] **Foster P J, Wong T Y, Machin D, Johnson G J and Seah S K L** (2003) Risk Factors for Nuclear, Cortical and Posterior Subcapsular Cataracts in the Chinese Population of Singapore: the Tanjong Pagar Survey. *British journal of ophthalmology*, 87 (9): 1112-1120.
- [13] **Henricsson M, Nyström L, Blohmé G, Östman J, Kullberg C, Svensson M, ... and Sundkvist G** (2003). The Incidence of Retinopathy 10 Years After Diagnosis in Young Adult People with Diabetes: Results from the Nationwide Population-Based Diabetes Incidence Study in Sweden (DISS). *Diabetes Care*, 26 (2): 349-354.
- [14] **Hiller R, Podgor M J, Sperduto R D, Nowroozi L, Wilson P W, D'Agostino R B, Theodore Colton ScD and The Framingham Eye Studies Group** (1998) A Longitudinal Study of Body Mass Index and Lens Opacities: the Framingham Studies. *Ophthalmology*, 105 (7): 1244-1250.
- [15] **Jacques P F, Moeller S M, Hankinson S E, Chylack Jr L T, Rogers G, Tung W, Wolfe J K, Willett W C and Taylor A** (2003) Weight Status, Abdominal Adiposity, Diabetes, and Early Age-Related Lens Opacities. *The American journal of clinical nutrition*, 78 (3): 400-405.
- [16] **Gasser P, Stümpfig D, Schötzau A, Ackermann-Liebrich U and Flammer J** (1999) Body Mass Index in Glaucoma. *Journal of glaucoma*, 8 (1): 8-11.
- [17] **Klein B E, Klein R, Lee K E and Jensen S C** (2001) Measures of Obesity and Age-Related Eye Diseases. *Ophthalmic Epidemiology*, 8 (4): 251-262.
- [18] **Kuang T M, Tsai S Y, Hsu W M, Cheng C Y, Liu J H and Chou P** (2005) Body Mass Index and Age-Related Cataract: the Shihpai Eye Study. *Archives of Ophthalmology*, 123 (8): 1109-1114.
- [19] **Schaumberg D A, Christen W G, Hankinson S E and Glynn R J** (2001) Body Mass Index and the Incidence of Visually Significant Age-Related Maculopathy in Men. *Archives of Ophthalmology*, 119 (9): 1259-1264.
- [20] **Leske M C, Connell A M S, Wu S Y, Hyman L G and Schachat A P** (1995) Risk Factors for Open-Angle Glaucoma: the Barbados Eye Study. *Archives of ophthalmology*, 113 (7): 918-924.
- [21] **Younan C, Mitchell P, Cumming R, Rochtchina E, Panchapakesan J and Tumuluri K** (2003) Cardiovascular Disease, Vascular Risk Factors and the Incidence of Cataract and Cataract Surgery: the Blue Mountains Eye Study. *Ophthalmic epidemiology*, 10 (4): 227-240.

KAYNAKLAR (devam ediyor)

- [22] **Seddon J M, Cote J, Davis N and Rosner B** (2003) Progression of Age-Related Macular Degeneration: Association with Body Mass Index, Waist Circumference, and Waist-Hip Ratio. *Archives of ophthalmology*, 121 (6): 785-792.
- [23] **Van Leiden H A, Dekker J M, Moll A C, Nijpels G, Heine R J, Bouter L M, Stehouwer C D and Polak B C** (2002) Blood Pressure, Lipids, and Obesity are Associated with Retinopathy: the Hoorn Study. *Diabetes care*, 25 (8): 1320-1325.
- [24] **Cheung N and Wong T Y** (2007) Obesity and Eye Diseases. *Survey of ophthalmology*, 52 (2): 180-195.
- [25] **Öner A Ö** (2004) Oküler Klinik Elektrofizyoloji. *Erciyes Med J.*, 26 (1):33-38.
- [26] **Heckenlively J R (Ed.) and Arden G B (Ed.)** (2006) Principles and practice of clinical electrophysiology of vision. 2nd edition, ISBN: 9780262083461, MIT press, Cambridge, 1016 pp.
- [27] **Latifoğlu F, Güven A, Durmuş U and Öner A** (2010) Denoising of electroretinogram signals using empirical mode decomposition. *In 2010 15th National Biomedical Engineering Meeting*, 21-24 Nisan 2010, Antalya, Türkiye, 1-4 pp.
- [28] **Frishman L J and Wang M H** (2011) Electroretinogram of Human. *Adler's Physiology of the Eye*, Levin L A (Ed.), 11th edition, ISBN: 9780323081160, Saunders, e-book, 480-502.
- [29] **Belusic G** (Ed.) (2011) Electroretinograms. 1st edition, ISBN: 978-953-51-6445-6, IntechOpen, eBook, 252 pp.
- [30] **Gündoğan F Ç, Erdem Ü, Hamurcu M Ş, Sobacı G ve Bayraktar M Z** (2006) Flaş elektoretinogram (FERG) normal değerlerimiz. *Gülhane Tıp Dergisi*, 48 (1): 14-18.
- [31] **Bağkesen H, Bayer A, Uysal Y ve Sobacı G** (2012) Multifokal Elektoretinogram (mfERG) Kadran ve Halka Analizi İçin Normal Değerlerimiz. *Retina-Vitreous/Journal of Retina-Vitreous*, 20 (3): 199-202.
- [32] **Gündoğan F Ç, Erdem Ü, Sobacı G ve Bayraktar M Z** (2006) Desen elektoretinogram (PERG) normal değerlerimiz. *Gülhane TD*, 48 (1): 19-21.
- [33] **Uzun Arslan R, ErKaymaz O ve Şenyer Yapıcı İ** (2020) Flaş Elektoretinogram (fERG) Testi İçin Normal Değerlerin Belirlenmesi. *Karaelmas Fen ve Mühendislik Dergisi*, 10 (2): 137-141.
- [34] **Miguel-Jiménez J M, Boquete L, Ortega S, Rodriguez-Ascariz J M and Blanco R** (2010) Glaucoma Detection by Wavelet-Based Analysis of the Global Flash Multifocal Electroretinogram. *Medical Engineering & Physics*, 32 (6): 617-622.
- [35] **Barraco R, Adorno D P and Brai M** (2011) An Approach Based On Wavelet Analysis for Feature Extraction in The A-Wave of The Electroretinogram. *Computer methods and programs in biomedicine*, 104(3), 316-324.

KAYNAKLAR (devam ediyor)

- [36] **Barraco R, Adorno D P and Brai M** (2011) ERG Signal Analysis Using Wavelet Transform. *Theory in Biosciences*, 130 (3): 155-163.
- [37] **Barraco R, Adorno D P, Brai M and Tranchina L** (2014) A Comparison Among Different Techniques for Human ERG Signals Processing and Classification. *Physica Medica*, 30 (1): 86-95.
- [38] **Gauvin M, Lina J M and Lachapelle P** (2014) Advance in ERG Analysis: From Peak Time and Amplitude to Frequency, Power and Energy. *BioMed research international*, 2014 (3): 246096.
- [39] **Nair S S and Joseph K P** (2014) Chaotic Analysis of the Electroretinographic Signal for Diagnosis. *BioMed research international*, 2014 (3): 503920.
- [40] **Alaql A** (2016) Analysis and Processing of Human Electroretinogram. *Graduate Thesis*, University of South Florida, College of Engineering, Department of Electrical Engineering, Florida Tampa, 59 pp.
- [41] **Cahan A and Cimino J J** (2017) A Learning Health Care System Using Computer-Aided Diagnosis. *Journal of medical Internet research*, 19 (3): e54.
- [42] **Masic I** (2020) The History of Medical Informatics Development-an Overview. *Medicine*, 1 (5): 1-20.
- [43] **Güven A and Kara S** (2006) Diagnosis of The Macular Diseases from Pattern Electroretinography Signals Using Artificial Neural Networks. *Expert Systems with Applications*, 30 (2): 361-366.
- [44] **Kara S, Güven A and Öner A Ö** (2006) Utilization of Artificial Neural Networks in the Diagnosis of Optic Nerve Diseases. *Computers in Biology and Medicine*, 36(4), 428-437.
- [45] **Kara S and Güven A** (2007) Training A Learning Vector Quantization Network Using the Pattern Electroretinography Signals. *Computers in biology and medicine*, 37 (1): 77-82.
- [46] **Polat K, Kara S, Güven A and Güneş S** (2007) A hybrid automated detection system based on least square support vector machine classifier and k-NN based weighted pre-processing for diagnosing of macular disease. *In International Conference on Adaptive and Natural Computing Algorithms*, 11-14 Nisan 2007, Warsaw, Poland, 338-345.
- [47] **Miguel-Jiménez J M, Ortega S, Boquete L, Rodríguez-Ascariz J M and Blanco R** (2009) Multifocal Electroretinography: Structural Pattern Analysis and Early Glaucoma Detection. *Electronics Letters*, 45 (22): 1113-1115.
- [48] **Miguel-Jiménez J M, Ortega S, Boquete L, Rodríguez-Ascariz J M and Blanco R** (2011) Multifocal ERG Wavelet Packet Decomposition Applied to Glaucoma Diagnosis. *Biomedical engineering online*, 10 (1): 1-13.

KAYNAKLAR (devam ediyor)

- [49] **Miguel-Jiménez J M, Blanco R, De-Santiago L, Fernandez A, Rodríguez-Ascariz J M, Barea R, Martín-Sánchez J L, Amo, C, Sánchez-Morla E and Boquete L** (2015) Continuous-Wavelet-Transform Analysis of the Multifocal ERG Waveform in Glaucoma Diagnosis. *Medical & biological engineering & computing*, 53 (9): 771-780.
- [50] **Boquete L, Miguel-Jiménez J M, Ortega S, Rodríguez-Ascariz J M, Pérez-Rico C and Blanco R** (2012) Multifocal Electroretinogram Diagnosis of Glaucoma Applying Neural Networks and Structural Pattern Analysis. *Expert systems with applications*, 39 (1): 234-238.
- [51] **Bagheri A, Adorno D P, Rizzo P, Barraco R and Bellomonte L** (2014) Empirical Mode Decomposition and Neural Network for The Classification of Electroretinographic Data. *Medical & biological engineering & computing*, 52 (7): 619-628.
- [52] **Javed A, Jumean M, Murad M H, Okorodudu D, Kumar S, Somers V K, Sochor O and Lopez-Jimenez F** (2015) Diagnostic Performance of Body Mass Index to Identify Obesity as Defined by Body Adiposity in Children and Adolescents: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Pediatric obesity*, 10 (3): 234-244.
- [53] **Ross R, Neeland I J, Yamashita S, Shai I, Seidell J, Magni P, Santos R D, Arsenault B, Cuevas A, Hu F B, Griffin B A, Zambon A, Barter P, Fruchart J C, Eckel R H, Matsuzawa Y and Després J P** (2020) Waist Circumference as A Vital Sign in Clinical Practice: A Consensus Statement from The IAS and ICCR Working Group On Visceral Obesity. *Nature Reviews Endocrinology*, 16(3), 177-189.
- [54] **Okorodudu D O, Jumean M F, Montori V M, Romero-Corral A, Somers V K, Erwin P J and Lopez-Jimenez F** (2010) Diagnostic Performance of Body Mass Index to Identify Obesity as Defined by Body Adiposity: A Systematic Review and Meta-Analysis. *International journal of obesity*, 34 (5): 791-799.
- [55] **Gungor A N C, Asik M, Unsal N, Seven A, Ozekinci M, Duru N K K and Ergün A** (2014) Is BMI Sufficient to Evaluate the Association between Obesity and Ovarian Reserves? *Int. J. of Gynecology, Obstetrics and Neonatal Care*, 1 (1): 14-18.
- [56] **Hurvich L M** (1981) *Color Vision*. 1st edition, ISBN: 0878933379, Sinauer Associates, Sunderland, 326 pp.
- [57] **Toprak M ve Akın S M** (1998) *Anatomi Ders Kitabı*. 1. baskı, ISBN: 9754045348, İstanbul Üniversitesi Cerrahpaşa Tıp Fakültesi Yayınları, İstanbul, 909 s.
- [58] **Malkoç İ** (2006) Göz Küresinin Tabakaları: Anatomik ve Histolojik Bir Derleme. *Eurasian J Med*, 38: 124-129.
- [59] **Lang G K** (2011) *Göz Hastalıkları El Kitabı-Atlas*. 2. baskı, ISBN: 9786054414925, Palme Yayıncılık, Ankara, 165-197 s.

KAYNAKLAR (devam ediyor)

- [60] **Güven A** (2005) Göze Ait Elektrofizyolojik Sinyaller Kullanılarak Yapay Sinir Ağları Destekli Bazı Göz Hastalıklarının Teşhisi. *Doktora Tezi*, Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı, Erciyes, 105 s.
- [61] **O'dwyer Aydın P ve Akova Y A** (2015) *Temel Göz Hastalıkları*. 3. baskı, ISBN:9789752775923, Güneş Tıp Kitapevi, Ankara, 1288 s.
- [62] **Yanoff M, Duker J S and Augsburger J J** (2019) *Ophthalmology*. 5th edition, ISBN: 9780323528214, Edinburgh: Elsevier Saunders, e-book, 1440 pp.
- [63] **URL-3** <<https://www.nkfu.com/duyu-organlarimiz-goz-7-sinif/>>, Ziyaret Tarihi: 12.10.2020
- [64] **URL-4** <<https://www.ozelhayathastanesi.com.tr/goz-anatomisi-ve-genel-goz-hastaliklari>>, Ziyaret tarihi: 13.10.2020.
- [65] **URL-5** <[http://www.biyolojiportali.com/belgeler/11DUYU%ORGANLARI%20\(G%C3%96Z\).pdf](http://www.biyolojiportali.com/belgeler/11DUYU%ORGANLARI%20(G%C3%96Z).pdf)>, Ziyaret tarihi: 14.10.2020.
- [66] **URL-6** <<http://hendekdh.saglik.gov.tr/yazdir?DC04017B819F350FC3C3D9928EC59050>>, Ziyaret tarihi: 14.10.2020.
- [67] **URL-7** <<https://www.fenokulu.net/yeni/yazdir.php?id=1629&tip=1>>, Ziyaret tarihi: 14.10.2020.
- [68] **Gündüz M K** (2011) Oftalmik Elektrofizyoloji. *Retina-Vitreus*, 19(1): 1-5.
- [69] **Robson A G, Nilsson J, Li S, Jalali S, Fulton A B, Tormene A P, Holder G E and Brodie S E** (2018) ISCEV Guide to Visual Electrodiagnostic Procedures. *Documenta Ophthalmologica*, 136 (1): 1-26.
- [70] **URL-8** <<https://www.istanbulretina.com/goz-diagnostik-testler-elektrofizyoloji.php>>, Ziyaret tarihi: 16.10.2020.
- [71] **Odom J V, Bach M, Brigell M, Holder G E, McCulloch D L, Mizota A and Tormene A P** (2016) ISCEV Standard for Clinical Visual Evoked Potentials:(2016 update). *Documenta Ophthalmologica*, 133 (1): 1-9.
- [72] **URL-9** <<http://hipokratist.com/elektrookulografi/>>, Ziyaret tarihi: 19.10.2020.
- [73] **Aksu S, Kurt A, Soyata A Z, Saçar K T, Taşdelen S ve Karamürsel S** (2019) Elektoretinografi ve Görsel Uyarılmış Potansiyel Ölçümlerinde Zenon ve LED Işık Kaynaklarının Karşılaştırılması. *Anatolian Clinic the Journal of Medical Sciences*, 24 (2): 78-86.

KAYNAKLAR (devam ediyor)

- [74] **Lavoie J, Maziade M and Hébert, M.** (2014) The Brain Through the Retina: the Flash Electroretinogram as a Tool to Investigate Psychiatric Disorders. *Progress in Neuro-Psychopharmacology and Biological Psychiatry*, 48: 129-134.
- [75] **Rolfs M** (2009) Microsaccades: Small Steps on a Long Way. *Vision research*, 49 (20): 2415-2441.
- [76] **Walsh T J** (1992) *Neuro-Ophthalmology: Clinical Signs and Symptoms*. 3rd edition, ISBN: 978-0812114621, Lea&Febiger, Philadelphia, 642 pp.
- [77] **Schomer D L (Ed.) and Lopes da Silva F H (Ed.)** (2017) *Niedermayer's Electroencephalography: Basic Principles, Clinical Applications, and Related Fields*, 7th edition, ISBN: 9780190228484, Oxford University Press, China, 1239 pp.
- [78] **Celesia G G** (2005) Visual Evoked Potentials. In *Handbook of Clinical Neurophysiology*, 5: 117-130.
- [79] **Bach M, Hawlina M, Holder G E, Marmor M F, Meigen T and Miyake Y** (2000) Standard for Pattern Electroretinography. *Documenta ophthalmologica*, 101 (1), 11-18.
- [80] **Bach M, Brigell M G, Hawlina M, Holder G E, Johnson M A, McCulloch D L, Meigen T and Viswanathan S** (2013) ISCEV Standard for Clinical Pattern Electroretinography (PERG): 2012 update. *Documenta Ophthalmologica*, 126 (1): 1-7.
- [81] **Pinter R B and Nabet B** (2018) *Nonlinear vision: Determination of Neural Receptive Fields, Function and Networks*. 1st edition, ISBN 9781351075060, CRC Press, e-book, 563 pp.
- [82] **Miyake Y** (2006). *Electrodiagnosis of Retinal Disease*. 1st edition, ISBN 978-4-431-30306-0, Springer Science & Business Media, e-book, 234 pp.
- [83] **Marmor M F, Hood D C, Keating D, Kondo M, Seeliger M W and Miyake Y** (2003) Guidelines for Basic Multifocal Electroretinography (mfERG). *Documenta Ophthalmologica*, 106 (2): 105-115.
- [84] **Nebbio M, Livani M L, Steigerwalt R D, Panetta V and Rispoli E** (2011) Retina in Rheumatic Diseases: Standard Full Field and Multifocal Electroretinography in Hydroxychloroquine Retinal Dysfunction. *Clinical and Experimental Optometry*, 94 (3): 276-283.
- [85] **Hood D C and Birch D G** (1993) Human Cone Receptor Activity: The Leading Edge of the a-wave and Models of Receptor Activity. *Visual neuroscience*, 10 (5): 857-871.
- [86] **Sieving P A, Murayama K and Naarendorp F** (1994) Push-pull Model of the Primate Photopic Electroretinogram: A Role for Hyperpolarizing Neurons in Shaping the b-wave. *Visual neuroscience*, 11 (3): 519-532.

KAYNAKLAR (devam ediyor)

- [87] **Barraco R, Adorno D P and Brai M** (2010) Wavelet Analysis of Human Photoreceptor Response. In *2010 3rd International Symposium on Applied Sciences in Biomedical and Communication Technologies (ISABEL 2010)*, 7-10 Kasım 2010, Roma, İtalya, 2010 3rd International Symposium on Applied Sciences in Biomedical and Communication Technologies, Institute of Electrical and Electronics Engineers, IEEE, e-book, 1-4.
- [89] **URL-10** <<https://hsqm.saglik.gov.tr/tr/obezite/obezite-nedir.html>>, Ziyaret tarihi: 26/10/2020.
- [90] **Gedik O** (2003) Obezite ve Çevresel Faktörler. *Turkish Journal of Endocrinology and Metabolism*, 2 (1): 1-4.
- [91] **Kalan I ve Yeşil Y** (2010) Obezite ile ilişkili Kronik Hastalıklar. *Diyabet ve obezite*, 78-81: 23-24.
- [92] **URL-11** <http://www.istanbulsaglik.gov.tr/w/sb/arsag/belge/2015_obezite_inc_rapor.pdf>, Ziyaret tarihi: 15/07/2021.
- [93] Sağlıkın Geliştirilmesi Genel Müdürlüğü, (2012) Türkiye Beden Ağırlığı Algısı Araştırması. Ankara. ISBN No: 978 - 975 - 590 - 446 – 7.
- [94] **URL-12** <<https://maltepehastanesi.com.tr/makale/tr/obezitenedir#:~:text=Obezite%20ya%20da%20halk%20aras%C4%B1nda,miktar%C4%B1n%C4%B1%20a%C5%9Ft%C4%B1%C4%9F%C4%B1%20durumda%20ortaya%20%C3%A7%C4%B1kar.>>, Ziyaret tarihi: 27/10/2020.
- [95] **Bianchini F, Kaaks R and Vainio H** (2002) Weight Control and Physical Activity in Cancer Prevention. *Obesity Reviews*, 3 (1): 5-8.
- [96] **Calle E E, Rodriguez C, Walker-Thurmond K and Thun M J** (2003) Overweight, Obesity, and Mortality from Cancer in a Prospectively Studied Cohort of US Adults. *New England Journal of Medicine*, 348 (17): 1625-1638.
- [97] **Eckel R H and Krauss R M** (1998) American Heart Association Call to Action: Obesity as a Major Risk Factor for Coronary Heart Disease. *Circulation*, 97 (21): 2099-2100.
- [98] **Grundy S M** (2000) Metabolic Complications of Obesity. *Endocrine*, 13 (2): 155-165.
- [99] **Haslam D W and James W P** (2005) Obesity. *Lancet*, 366 (9492): 1197-1209.
- [100] **Lawrence V J and Kopelman P G** (2004) Medical Consequences of Obesity. *Clinics in dermatology*, 22 (4): 296-302.
- [101] **Sunyer F X** (1993) Medical Hazard of Obesity. *Ann Intern Med*, 119 (7): 655-60.

KAYNAKLAR (devam ediyor)

- [102] **Fogagnolo P, Favuzza E, Marchina D, Cennamo M, Vignapiano R, Quisisana C, Rossetti L and Mencucci R** (2020) New Therapeutic Strategy and Innovative Lubricating Ophthalmic Solution in Minimizing Dry Eye Disease associated with cataract Surgery: A Randomized, Prospective Study. *Advances in therapy*, 37 (4): 1664.
- [103] **Weintraub J M, Willett W C, Rosner B, Colditz G A, Seddon J M and Hankinson S E** (2002) A Prospective Study of the Relationship Between Body Mass Index and Cataract Extraction among US Women and Men. *International journal of obesity*, 26 (12): 1588-1595.
- [104] **Javitt J C, Wang F and West S K** (1996) Blindness Due to Cataract: Epidemiology and Prevention. *Annual review of public health*, 17 (1): 159-177.
- [105] **Güler M, Gül F C ve Kaya M** (2017) Kuru Tip (Non-Neovasküler) Yaşa Bağlı Maküla Dejenerasyonunda Nutrisyon Dışı Medikal Tedaviler. *Güncel Retina Dergisi*, 1 (2): 145-148.
- [106] **URL-13** <Anonim (2019). *Diabetes facts & figures*. Retrieved from <https://www.idf.org/aboutdiabetes/what-is-diabetes/facts-figures.>>, Ziyaret tarihi: 24.11.2020.
- [107] **Cheung N, Mitchell P and Wong T Y** (2010) Lancet. *Diabetic retinopathy*, 376 (9735): 124-136.
- [108] **URL-14** <<https://www.todnet.org/glokom/glokom-el-kitabi.pdf>>, Ziyaret tarihi: 23/12/2020.
- [109] **Liu T Y A, Shah A R and Del Priore L V** (2013) Progression of Lesion Size in Untreated Eyes with Exudative Age-Related Macular Degeneration: A Meta-Analysis Using Lineweaver-Burk Plots. *JAMA Ophthalmology*, 131 (3): 335-340.
- [110] **Wong W L, Su X, Li X, Cheung C M G, Klein R, Cheng C Y and Wong T Y** (2014) Global Prevalence of Age-Related Macular Degeneration and Disease Burden Projection for 2020 and 2040: A Systematic Review and Meta-Analysis. *The Lancet Global Health*, 2 (2): e106-e116.
- [111] **Kantar T** (2017) Uyku Bozukluklarına Ait Eeg Verilerindeki Geçici Eeg Dalga Formlarının Analizi. *Yüksek Lisans Tezi*, Başkent Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Biyomedikal Mühendisliği Anabilim Dalı, Ankara, 62 s.
- [112] **Altınbaş A** (2007) EMG Sinyallerinin Kısa Zamanlı Fourier Dönüşümü ve Dalgacık Dönüşümü Kullanarak Analiz Edilmesi. *Yüksek Lisans Tezi*, Gazi Üniversitesi, Bilişim Enstitüsü, Elektronik-Bilgisayar Eğitimi Ana Bilim Dalı Ankara, 73 s.
- [113] **Duran K** (2013) Rüzgâr Karakteristiklerinin Dalgacık Dönüşümü İle Ortaya Konması. *Yüksek Lisans Tezi*, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Meteoroloji Mühendisliği Ana Bilim Dalı, 170 s.

KAYNAKLAR (devam ediyor)

- [114] **Flandrin P** (1998) *Time-Frequency/Time-Scale Analysis*. 1st edition, ISBN: 978-0122598708, Academic press, e-book, 386 pp.
- [115] **Cohen L** (1995) *Time-Frequency Analysis*. 1st edition, ISBN: 978-0135945322, Prentice hall, New Jersey, 320p.
- [116] **Cohen L** (1989) Time-Frequency Distributions-A Review. *Proceedings of the IEEE*, 77 (7): 941-981.
- [117] **Xiangtan C P** (2010) Wavelet Time-Frequency Analysis of Electro-Encephalogram (EEG) Processing. *(IJACSA) International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, Kasım 2010, New York, USA, 1 (5): 11-15.
- [118] **Saymaz A** (2020) Mutluluk Eğitiminin EEG Sinyalleri Üzerine Etkisinin Makine Öğrenmesi Yöntemleriyle Değerlendirilmesi. *Yüksek Lisans Tezi*, İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Biyomedikal Mühendisliği Ana Bilim Dalı, İstanbul, 73 s.
- [119] **Kiliç E and Erdamar A** (2018) Automatic Classification of Respiratory Sounds During Sleep, *In 2018 26th Signal Processing and Communications Applications Conference (SIU)*, 2-5 Mayıs 2018, İzmir, Türkiye, 1-4.
- [120] **Oltu B** (2020) Sağlıklı, Hafif Bilişsel Bozukluk Ve Alzheimer Hastalığı Elektroensefalografi Sinyallerinin Sınıflandırılması, *Yüksek Lisans Tezi*, Başkent Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Biyomedikal Mühendisliği Anabilim Dalı, Ankara, 111 s.
- [121] **Diker A** (2019) Uç Öğrenme Makineleri Kullanarak EKG İşaretlerinin Sınıflandırma Başarımlarının İyileştirilmesi, *Doktora Tezi*, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yazılım Mühendisliği Anabilim Dalı, Elazığ, 192 s.
- [122] **Çağlar M F ve Toprak İ B** (2008) Epilepsi Teşhisinde Yapay Sinir Ağlarının Performansının ROC Analizi İle Değerlendirilmesi. *ASYU Akıllı Sistemlerde Yenilikler ve Uygulamaları Sempozyumu*, 19-20 Nisan 2008, Isparta, Türkiye, 1-5 s.
- [123] **Yumurtacı M** (2014) Yüksek Gerilim Enerji İletim Hattındaki Arızaların Dalgacık Paket Dönüşümü ve Ortak Vektör Yaklaşımıyla Sınıflandırılması. *Doktora Tezi*, Marmara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik Eğitimi Anabilim Dalı, İstanbul, 158 s.
- [124] **Tepe C ve Sezgin H** (2007) EKG Sinyallerinde Gürültü Gidermede Ayrık Dalgacık Dönüşümünde Farklı Ana Dalgacıkların ve Ayrıştırma Seviyelerinin Karşılaştırılması. *12. Elektrik, Elektronik, Bilgisayar ve Biyomedikal Mühendisliği Ulusal Kongresi ve Fuarı*, 14-18 Kasım 2007, Eskişehir, Türkiye, 383-387.
- [125] **Lu Q and Liang Zhu J** (2010) Wavelet Packet Based De-Noising Algorithm for UWB GPR Data. *In 18-Th International Conference on Microwaves, Radar and Wireless Communications*, 14-16 Haziran 2010, Vilnius, Litvanya, 1-3 pp.

KAYNAKLAR (devam ediyor)

- [126] **Tripathy D, Barik A K, Rao S B and Rout R** (2013) A Virtual Instrument for Electrical Power Quality Analysis Using Wavelet Technology in Real-Time. *International Journal of Power System Operation and Energy Management*, 3 (2): 54-59.
- [127] **Çalışkan A** (2019) EMG Sinyalleri İçin Hibrid Öznitelik Çıkarma Yöntemi Geliştirilmesi. *Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 8 (2): 652-664.
- [128] **Koçyiğit M** (2020) Zihinsel Aritmetik ve Motor Görüntü Tabanlı Fizyolojik Sinyallerin Değerlendirilmesi. *Yüksek Lisans Tezi*, Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Biyomedikal Mühendisliği Anabilim Dalı, 77 s.
- [129] **Ghani F, Gaur B, Varshney S, Farooq O and Khan Y U** (2013) Detection of Wrist Movement Using EEG Signal for Brain Machine Interface. In *2013 International Conference on Technology, Informatics, Management, Engineering and Environment*, 23-26 Haziran 2013, Bandung, Endonezya, 5-8 pp.
- [130] **Akkurt İ ve Arabacı H** (2019) Sürücülerden Beslenen Asenkron Motorlarda Rulman Arızalarının Stator Akımı Kullanarak Tespiti. *Uluslararası Doğu Anadolu Fen Mühendislik ve Tasarım Dergisi*, 1 (2): 122-134.
- [131] **Erkaymaz O, Ozer M and Perc M** (2017) Performance of Small-World Feedforward Neural Networks for The Diagnosis of Diabetes. *Applied Mathematics and Computation*, 311: 22-28.
- [132] **Dikici B and Tuntas R** (2021) An Artificial Neural Network (ANN) Solution to The Prediction of Age-Hardening and Corrosion Behavior of an Al/TiC Functional Gradient Material (FGM). *Journal of Composite Materials*, 55 (2): 303-317.
- [133] **Elmas Ç** (2018) *Yapay Zekâ Uygulamaları*. 4 üncü baskı, ISBN:9789750248979, Seçkin Yayıncılık, Ankara, 479 s.
- [134] **Budak H ve Erpolat S** (2012) Kredi Riski Tahmininde Yapay Sinir Ağları ve Lojistik Regresyon Analizi Karşılaştırılması. *AJIT-e: Bilişim Teknolojileri Online Dergisi*, 3 (9): 23-30.
- [135] **Aydemir E** (2018) *Weka ile Yapay Zekâ*. 1inci baskı, ISBN: 9789750249150, Seçkin Yayınevi, Ankara, 216s.
- [136] **Saikia A, Kakoty N M, Phukan N, Balakrishnan M, Sahai N, Paul S and Bhatia D** (2018) Combination of EMG Features and Stability Index for Finger Movements Recognition. *Procedia computer science*, 133: 92-98.
- [137] **Erkaymaz H, Ozer M and Orak İ M** (2015) Detection of Directional Eye Movements Based On the Electrooculogram Signals Through an Artificial Neural Network. *Chaos, Solitons & Fractals*, 77: 225-229.
- [138] **Doğru F** (2015) Güncel Optimizasyon Yöntemleri Kullanılarak Rezidüel Gravite Anomalilerinden Parametre Kestirimi. *Yerbilimleri*, 36 (1): 31-44.

KAYNAKLAR (devam ediyor)

- [139] **Yıldıran A ve Kandemir S Y** (2018) Yağış Miktarının Yapay Sinir Ağları ile Tahmini. *Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 5 (2): 97-104.
- [140] **Çevik K ve Koçer H** (2013) Parçacık Sürü Optimizasyonu ile Yapay Sinir Ağları Eğitimine Dayalı Bir Esnek Hesaplama Uygulaması. *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 17 (2): 39-45.
- [141] **Ratnaweera A, Halgamuge S K and Watson H C** (2004) Self-Organizing Hierarchical Particle Swarm Optimizer with Time-Varying Acceleration Coefficients. *IEEE Transactions on evolutionary computation*, 8 (3): 240-255.
- [142] **Melgani F and Bazi Y** (2008) Classification of Electrocardiogram Signals with Support Vector Machines and Particle Swarm Optimization. *IEEE transactions on information technology in biomedicine*, 12 (5): 667-677.
- [143] **Shirvany Y, Edelvik F, Jakobsson S, Hedström A and Persson M** (2013) Application of Particle Swarm Optimization in Epileptic Spike EEG Source Localization. *Applied Soft Computing*, 13 (5): 2515-2525.
- [144] **Ahirwal M K, Kumar A and Singh G K** (2014) Adaptive Filtering of EEG/ERP Through Noise Cancellers Using an Improved PSO Algorithm. *Swarm and Evolutionary Computation*, 14: 76-91.
- [145] **Atyabi A, Luerssen M H and Powers D M** (2013) PSO-Based Dimension Reduction of EEG Recordings: Implications for Subject Transfer in BCI. *Neurocomputing*, 119: 319-331.
- [146] **Mirvaziri H and Mobarakeh Z S** (2017) Improvement of EEG-Based Motor İmagery Classification Using Ring Topology-Based Particle Swarm Optimization. *Biomedical Signal Processing and Control*, 32: 69-75.
- [147] **Kapukaya O ve Güneş M** (2019) Adaptif Parçacık Sürü (APSO) ve Karınca Kolonisi Optimizasyonu (Kka) Kullanarak Öz Ayarlamalı PID Kontrolör Tasarımı. *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 22 (4): 257-270.
- [148] **Fan S K S and Chiu Y Y** (2007) A Decreasing Inertia Weight Particle Swarm Optimizer. *Engineering Optimization*, 39 (2): 203-228.
- [149] **Koklu M and Ozkan I A** (2020) Multiclass Classification of Dry Beans Using Computer Vision and Machine Learning Techniques. *Computers and Electronics in Agriculture*, 174: 105507.
- [150] **Türkçetin A Ö** (2019) Akciğer Kanserinin Tespit Edilmesinde Derin Öğrenme Algoritmalarının Kullanılması. *Yüksek lisans Tezi*, Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Mekatronik Mühendisliği Anabilim Dalı, Isparta, 60 s.

KAYNAKLAR (devam ediyor)

- [151] **Abdullah A ve Karabatak M** (2020) Veri Seti-Sınıflandırma İlişkisinde Performansa Etki Eden Faktörlerin Değerlendirilmesi. *Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 32 (2): 531-540.





ÖZGEÇMİŞ

İrem ŞENYER YAPICI, İlköğrenimini, orta öğrenimini ve lise öğrenimini Zonguldak' da tamamladı. 2008 yılında girdiği Bülent Ecevit Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümünden 2012 yılında mezun oldu. 2012-2016 yılında Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik-Elektronik Mühendisliği Ana Bilim Dalı'nda yüksek lisans eğitimini tamamladı. 2016 yılında Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik-Elektronik Mühendisliği Ana Bilim Dalı'nda doktora eğitimine başladı ve çalışmalarını sürdürmektedir. 2014 yılından itibaren Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü Elektronik Anabilim Dalı'nda araştırma görevlisi olarak çalışmaktadır.