

**BÜLENT ECEVİT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**PAROKSİSMAL ATRİYAL FİBRİLASYON BAŞLANGIÇ ZAMANININ KALP HIZI
DEĞİŞKENLİĞİ ANALİZİ VE YAPAY ZEKA YÖNTEMLERİYLE ÖNCEDEN
KESTİRİMİ**

ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

DOKTORA TEZİ

ALİ NARİN

OCAK 2018

BÜLENT ECEVİT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**PAROKSİSMAL ATRİYAL FİBRİLASYON BAŞLANGIÇ ZAMANININ KALP HIZI
DEĞİŞKENLİĞİ ANALİZİ VE YAPAY ZEKA YÖNTEMLERİYLE ÖNCEDEN
KESTİRİMİ**

ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDSİLİĞİ ANABİLİM DALI

DOKTORA TEZİ

Ali NARİN

DANIŞMAN: Prof. Dr. Mahmut ÖZER

İKİNCİ DANIŞMAN: Yrd. Doç. Dr. Yalçın İŞLER

ZONGULDAK

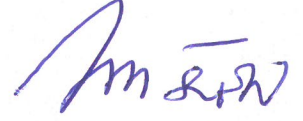
Ocak 2018

KABUL:

Ali NARİN tarafından hazırlanan “Paroksizmal Atriyal Fibrilasyon Başlangıç Zamanının Kalp Hızı Değişkenliği Analizi ve Yapay Zekâ Yöntemleriyle Önceden Kestirimi” başlıklı bu çalışma jürimiz tarafından değerlendirilerek Bülent Ecevit Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalında Doktora Tezi olarak oybirliğiyle kabul edilmiştir. 26/01/2018

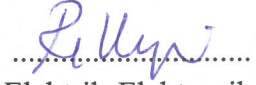
Danışman: Prof. Dr. Mahmut ÖZER

Bülent Ecevit Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü



Üye: Yrd. Doç. Dr. Rukiye UZUN

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



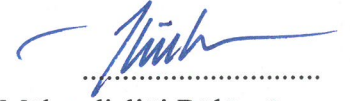
Üye: Yrd. Doç. Dr. Okan ERKAYMAZ

Bülent Ecevit Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü



Üye: Yrd. Doç. Dr. İlker TÜRKER

Karabük Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü



Üye: Yrd. Doç. Dr. Yusuf ALTUN

Düzce Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü



ONAY:

Yukarıdaki imzaların, adı geçen öğretim üyelerine ait olduğunu onaylarım./...../2018



Doç. 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.”


AYNARIN

ÖZET

Doktora Tezi

PAROKSİSMAL ATRİYAL FİBRİLASYON BAŞLANGIÇ ZAMANININ KALP HIZI DEĞİŞKENLİĞİ ANALİZİ VE YAPAY ZEKA YÖNTEMLERİYLE ÖNCEDEN KESTİRİMİ

Ali NARİN

Bülent Ecevit Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Mahmut ÖZER

İkinci Danışman: Yrd. Doç. Dr. Yalçın İŞLER

Ocak 2018, 135 sayfa

Bu çalışmada, Paroksizmal Atriyal Fibrilasyon (PAF) atağı gerçekleşmeden kaç dakika öncesinden atağın tespit edilebileceği ve en iyi örüntü tanıma ve kestirim yöntemlerinin belirlenmesi üzerine bir çalışma sunulmuştur. PAF, Atriyal Fibrilasyon (AF) türleri içerisinde en çok karşılaşılan ve en temel aşamadır. Bu aşamada hastalığın fark edilip önlem alınması ve sonraki aşamalara geçmesinin önlenmesi çok önemlidir. Bu doğrultuda, 49 adet Normal, 25 adet PAF rahatsızlığına sahip ama hemen PAF atağı geçirmeyen ve 25 adet PAF rahatsızlığına sahip ve verinin bitiminde PAF atağı geçiren 30 dk'lık veriler %50 örtüşmeye sahip 10 parçaya ayrılmıştır. Bu parçaların her biri üzerinde kalp hızı değişkenliği (KHD) zaman alanı ölçümleri ve frekans alanı ölçümlerinden hızlı Fourier dönüşümü, Lomb-Scargle yöntemi, dalgacık dönüşüm yöntemleri ve doğrusal olmayan ölçümlerden Poincare çizim ölçümleri ile öznitelikler elde edilmiştir. Bu öznitelikler kullanılarak, filtre yöntemi ve sarmal yöntem

ÖZET (devam ediyor)

ile belirleyici öznitelikler tespit edilip PAF atağı erken kestirim performansları analiz edilmiştir. Bununla birlikte öznitelik normalizasyon işlemlerinin PAF atağı kestirimindeki rolü de incelenmiştir. 0-5 dakika zaman aralığında KNN sınıflandırma algoritması ile %92 genel doğrulukla kestirim performansı elde edilmiştir. PAF atağını daha erken ve daha yüksek bir başarıyla tespit için üç katlı sınıflandırıcı sistemi önerilmiştir. Bu sistemde atak gerçekleşmeden en az 10 dakika öncesindeki veriler kullanılarak 20-25 dakika zaman aralığında en yüksek %98 genel başarımla elde edilmiştir. Literatürdeki benzer çalışmalara göre oldukça yüksek sonuçlar elde edilmiştir. Sonuç olarak, 5 dakikalık parçalar üzerinden gerçekleştirilen bu çalışmanın yeni bir otomatik PAF atağı erken uyarı ve tanıma sistemi olarak kullanılması önerilmektedir.

Anahtar Kelimeler: Paroksizmal Atriyal Fibrilasyon, Kalp Hızı Değişkenliği, Dalgacık Paket Dönüşümü, Öznitelik Seçimi, Normalizasyon, Erken Kestirim

Bilim Kodu: 608.03.00

ABSTRACT

Ph.D. Thesis

PREDICTION OF INITIAL TIME OF PAROXYSMAL ATRIAL FIBRILLATION USING HEART RATE VARIABILITY ANALYSIS AND ARTIFICIAL INTELLIGENCE METHODS

Ali NARİN

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

Thesis Advisor: Prof. Dr. Mahmut ÖZER

Co-Advisor: Asst. Prof. Yalçın İŞLER

January 2018, 135 pages

In this study, we present a study of how many minutes before the Paroxysmal Atrial Fibrillation (PAF) event occurred and the best pattern recognition and prediction methods were determined. PAF is the most common and most basic stage of Atrial Fibrillation (AF). At this stage, it is very important to be aware of the disease and to prevent it and prevent it from going to the next stage. In this regard, The data from 49 non-patient subjects, 25 PAF patients with no attack during the recording and 25 patients with a PAF attack just end of the 30-minute recording. These data were recorded for 30 minutes and divided into 10 segments with 50% overlap. On each of these parts, heart rate variability (HRV) time domain measurements and fast Fourier transforms, Lomb-Scargle method, wavelet transform methods from frequency domain measurements and Poincare plot measurements from non-linear measurements were obtained. By using these features, the filter method and the wrapper method were used to determine the predictive features and then early prediction performance of PAF attack have been analyzed.

ABSTRACT (continued)

However, the role of feature normalization in PAF estimation has also been examined. Prediction performance of 92% general accuracy was obtained with the KNN classification algorithm at 0-5 minute time interval. A three-fold classifier system has been proposed to detect PAF at an earlier and higher performance. In this system, the highest 98% overall performance was achieved in 20-25 minutes time interval using the data at least 10 minutes before the PAF attack occurred. Compared to similar works in the literature, very high results were obtained. As a result, it is suggested that this study, performed over 5 minutes of data, be used as a new automatic early warning of PAF attack and recognition system.

Keywords: Paroxysmal Atrial Fibrillation, Heart Rate Variability, Wavelet Packet Transform, Feature Selection, Normalization, Early Prediction.

Science Code: 608.03.00

TEŞEKKÜR

Tez alıŐmamın Danışmanı olan Prof. Dr. Mahmut ÖZER'e çalıŐmamın her anında bana verdiği katkılardan ve desteklerden ötürü teşekkür ederim. Ayrıca çalıŐmalarımda bana yön gösteren, her konuda bana yardımcı olan tez çalıŐmamın İkinci Danışmanı Yrd. Doç. Dr. Yalçın İŞLER'e verdiği katkı ve desteklerinden dolayı teŐekkürü bir borç bilirim.

Ayrıca, bana olan maddi ve manevi desteklerinden dolayı EŐime ve biricik oğlum'a teşekkür ederim.

Son olarak, beni yetiŐtiren, hayatım boyunca yanımda olan, sabırla eğiten ve büyüten anneme ve babama teşekkür ederim.



İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL	ii
ÖZET.....	iii
ABSTRACT	v
TEŞEKKÜR.....	vii
İÇİNDEKİLER.....	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xiii
ÇİZELGELER DİZİNİ	xvii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	xxi
BÖLÜM 1 GİRİŞ.....	1
BÖLÜM 2 KARDİYOVASKÜLER SİSTEM	5
2.1 KALP ANATOMİSİ VE DOLAŞIM SİSTEMİ	5
2.2 KALBİN ELEKTRİKSEL İLETİMİ.....	7
2.2.1 Elektrokardiyografi	9
2.3 ARİTMİ.....	10
2.3.1 Aritmi Türleri.....	11
2.3.2 Atriyal Fibrilasyon Türleri	13
BÖLÜM 3 LİTERATÜR	15
3.1 “COMPUTERS IN CARDIOLOGY CHALLENGE 2001” YARIŞMASI.....	15
3.2 LİTERATÜRDEKİ DİĞER PAF ERKEN KESTİRİM ÇALIŞMALARI	18
BÖLÜM 4 ÖRÜNTÜ TANIMA YÖNTEMLERİ.....	21
4.1 KALP HIZI DEĞİŞKENLİĞİ ANALİZİ VERİLERİNİN ELDE EDİLİŞİ	22

İÇİNDEKİLER (devam ediyor)

	<u>Sayfa</u>
4.2 KHD VERİLERİNDE ÖNİŞLEMLER.....	24
4.2.1 Ektopik Vuruların Kaldırılması	24
4.2.2 İnterpolasyon.....	26
4.2.3 Eğilim Yok Etme	27
4.3 ÖZİNİTELİK ÇIKARIMI	29
4.3.1 KHD Zaman Alanı Ölçümleri.....	29
4.3.2 KHD Frekans Alanı Ölçümleri	30
4.3.2.1 Hızlı Fourier Dönüşümü.....	31
4.3.2.2 Lomb-Scargle Periyodogram Yöntemi	32
4.3.3 KHD Zaman-Frekans Alanı Ölçümleri.....	32
4.3.3.1 Dalgacık Dönüşümü	33
4.3.3.2 Dalgacık Entropisi.....	36
4.3.4 KHD Doğrusal Olmayan Ölçümleri	37
4.3.4.1 Poincare Ölçümü	37
4.3.5 Verilerin Normalize Edilmesi	38
4.3.5.1 Min-Max Normalizasyon	38
4.3.5.2 Z-Skoru Normalizasyon	38
4.3.5.3 Medyan Normalizasyonu	39
4.3.5.4 Düzeltilmiş Min-Max Normalizasyonu	39
4.4 ÖZİNİTELİK SEÇİMİ.....	39
4.4.1 t-Testi ile Öznelik Seçimi	40
4.4.2 Genetik Algoritma ile Öznelik Seçimi	41
4.5 SINIFLANDIRMA ALGORİTMALARI	43
4.5.1 Algılayıcı Ağlar (Perceptron)	44
4.5.2 K-En Yakın Komşu (KNN)	45
4.5.3 Destek Vektör Makinaları.....	47
4.5.4 Doğrusal Ayraç Analizi	47
4.5.5 Radyal Tabanlı Fonksiyon Ağlar	48
4.8.6 Çok Katmanlı Algılayıcı Ağlar	49
4.6 PERFORMANS ÖLÇÜTLERİ	50

İÇİNDEKİLER (devam ediyor)

Sayfa

BÖLÜM 5 PAF ATAK BAŞLANGICININ ERKEN TAHMİNİ	53
5.1 VERİLERİN ELDE EDİLMESİ	55
5.2 PAF DATALARINA ÖN İŞLEM	57
5.2.1 Ektopikli ve Ektopiksiz Veriler	57
5.2.2 İnterpolasyonlu ve İnterpolasyonsuz Veriler	58
5.2.3 Eğilimli ve Eğilimi Yok Edilmiş Veriler	58
5.3 ÖZİNİTELİK ÇIKARIMI	60
BÖLÜM 6 SONUÇLAR	73
6.1 ZAMAN ALANI ÖLÇÜMLERİNİN PAF ATAĞI TESPİTİNE ETKİSİ	73
6.1.1 Filtre Yöntemi ile KHD Zaman Alanı Özniteliklerinin Seçilmesi ve Başarımların Kıyaslanması	74
6.2 FREKANS ALANI ÖLÇÜMLERİNİN PAF ATAĞI TESPİTİNE ETKİSİ	78
6.2.1 Filtre Yöntemi ile Özniteliklerin Seçilmesi ve Başarımların Kıyaslanması	79
6.3 EKTOPIK VURULARIN PAF ATAĞI TESPİTİNE ETKİSİ	83
6.4 POİNCARE ÖLÇÜMLERİNİN PAF ATAĞI TESPİTİNE ETKİSİ	86
6.5 ZAMAN VE FREKANS ALANI ÖLÇÜM KOMBİNASYONLARININ PAF ATAĞI TESPİTİNE ETKİSİ	87
6.5.1 Genetik Algoritma ile Öznitelik Seçiminin Başarıma Etkisi	87
6.5.2 İstatistiksel Anlamlılık Testi ile Öznitelik Seçiminin Başarıma Etkisi	91
6.6 TÜM ÖZİNİTELİKELERİN BAŞARIMA ETKİSİ	93
6.6.1 GA ile Öznitelik Seçiminin Başarıma Etkisi	94
6.7 ÜÇ AŞAMALI OTOMATİK TESPİT ALGORİTMALARI İLE PAF ATAĞI TESPİTİ	95
6.8 VERİ SEGMENTLERİNİN İSTATİKSEL ANALİZİ (TEKRAR EDİLEBİLİRLİK TESTİ)	102
6.9 FARKLI NORMALİZASYON YÖNTEMLERİNİN ETKİSİ	105
6.10 FARKLI NORMALİZASYON YÖNTEMLERİ İLE GENETİK ALGORİTMANIN PAF ATAĞI TESPİT BAŞARIMI	108

İÇİNDEKİLER (devam ediyor)

	<u>Sayfa</u>
BÖLÜM 7 TARTIŞMA	119
KAYNAKÇA	125
ÖZGEÇMİŞ	135



ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>No</u>	<u>Sayfa</u>
Şekil 2.1 Kalbin yapısı ve kan akış gösterimi	5
Şekil 2.2 İnsanın kan dolaşım sistemi	6
Şekil 2.3 İstirahat halindeki sağlıklı bir kişinin vücudundaki çeşitli yerlerdeki yaklaşık kan ihtiyaç yüzdeleri	7
Şekil 2.4 Kalbin uyarı ve ileti sistemi	8
Şekil 2.5 Kalbin çeşitli yerlerinden gelen elektriksel aktivite ve tipik bir EKG	10
Şekil 2.6 Prematüre ventriküler kompleks atımlı kalbin EKG işareti	11
Şekil 2.7 Atriyal fibrilasyon	11
Şekil 2.8 Atriyal Flutter	12
Şekil 2.9 Ventriküler taşikardi	12
Şekil 2.10 Ventriküler fibrilasyon	13
Şekil 2.11 Atriyal fibrilasyon türleri	14
Şekil 4.1 Genel bir örüntü tanıma sistemi akış şeması	21
Şekil 4.2 EKG işaretindeki QRS yapısı.	22
Şekil 4.3 a) EKG işaretinden KHD işaretinin gösterimi, b) KHD işaretinin takogram gösterimi, c) KHD işaretinin fonksiyonel gösterimi ve interpolasyonu	23
Şekil 4.4 EKG ve KHD verileri (RR) üzerinde ektopik vuru örneği.	24
Şekil 4.5 Ektopik vuruların tespiti ve türünün belirlenmesi akış şeması	25
Şekil 4.6 RR verileri üzerinde ektopik vuru tespiti örneği	25
Şekil 4.7 Dalgacık dönüşümünde frekans-zaman çizimi ve bant aralıklarının elde edilmesi .	34
Şekil 4.8 Yedi seviyeli dalgacık paket dönüşümü gösterimi.	35
Şekil 4.9 (i) Coiflets dalgacık (ii) Daubechies dalgacık (iii) Meyer dalgacık (iv) Symlets dalgacık (v) Morlet dalgacık (vi) Mexican dalgacık	36
Şekil 4.10 SD1 ve SD2 ölçüleriyle birlikte örnek bir Poincare çizimi	37

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam ediyor)

<u>No</u>	<u>Sayfa</u>
Şekil 4.11 Öznitelik seçme yöntemlerini gösterimi. a) Filtre yöntemi, b) Sarmal yöntem, c) Gömülü yöntem.....	40
Şekil 4.12 Çaprazlama işlemi ve mutasyon.	42
Şekil 4.13 Genetik algoritma ile öznitelik seçimi	43
Şekil 4.14 Bir sinir hücresi ve algılayıcı ağ yapısının gösterimi.....	44
Şekil 4.15 KNN sınıflandırıcısının k=3 en yakın değeri için örnek gösterimi.....	46
Şekil 4.16 SVM destek vektörleri ve aşırı düzlem.....	47
Şekil 4.17 RBF ağ yapısı.....	48
Şekil 4.18 Çok katmanlı yapay sinir ağı yapısı.....	49
Şekil 5.1 Tüm çalışmanın genel akış şeması.....	54
Şekil 5.2 Verilerin sınıflandırılması A) Normal KHD verisi B) PAF atağından uzak KHD verisi C) PAF atağına yakın KHD verisi.....	55
Şekil 5.3 30 dakikalık verinin %50 örtüşecek şekilde 10 parçaya ayrılması.	56
Şekil 5.4 5 dakikalık 10 parçaya ayrılan KHD verilerinin gösterimi: A) 0-5 dakika verisi B) 2,5-7,5 dakika verisi C) 5-10 dakika verisi D) 7,5-12,5 dakika verisi E) 10-15 dakika verisi F) 12,5-17,5 dakika verisi G) 15-20 dakika verisi H) 17,5-22,5 dakika verisi I) 20-25 dakika verisi J) 22,5-27,5 dakika verisi.	56
Şekil 5.5 Orijinal PAF KHD verisi ve aynı verinin ektopik vurularının kaldırılmış hali.	58
Şekil 5.6 Hemen PAF atağı geçirecek veri için: a) Orjinal KHD sinyali b) Kübik spline yöntemi uygulanmış işaret, c) Eğilimi yok edilmiş işaret.	59
Şekil 5.7 PAF hastası olup PAF geçirmeyecek veri için: a) Orjinal KHD sinyali b) Kübik spline yöntemi uygulanmış işaret, c) Eğilimi yok edilmiş işaret.	59
Şekil 5.8 Normal veri için a) Orjinal KHD sinyali b) Kübik spline yöntemi uygulanmış işaret, c) Eğilimi yok edilmiş işaret.....	60
Şekil 5.9 Elde edilen tüm özniteliklerin gösterimi.....	61
Şekil 6.1 1. Çalışma Grubu ve 2. Çalışma Grubu için her bir segmentteki ortalama SDNN değerleri.....	76
Şekil 6.2 1. Çalışma Grubu ve 2. Çalışma Grubu için her bir segmentteki ortalama RMSSD değerleri.....	76

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam ediyor)

<u>No</u>	<u>Sayfa</u>
Şekil 6.3 1. Çalışma Grubu ve 2. Çalışma Grubu için her bir segmentteki ortalama pNN50 değerleri.....	77
Şekil 6.4 PAF atağından 10 dk önceki veri ve PAF atağının gerçekleşmesi.	95
Şekil 6.5 Çok katlı sınıflandırıcı sistemi akış diyagramı.	97
Şekil 6.6 Farklı normalizasyon yöntemleri ve GA ile öznitelik seçimi ile gerçekleştirilen tüm çalışmanın akış diyagramı.....	109
Şekil 6.7 Her bir segmentte normalizasyon yöntemlerinin 1. Çalışma Grubu için ACC başarımları.....	114
Şekil 6.8 Herbir segmentte normalizasyon yöntemlerinin 1. Çalışma grubu için GA'lı ACC başarımları.....	114
Şekil 6.9 Herbir segmentte normalizasyon yöntemlerinin 2. Çalışma grubu için ACC başarımları.....	115
Şekil 6.10 Herbir segmentte normalizasyon yöntemlerinin 2. Çalışma grubu için GA'lı ACC başarımları.....	115
Şekil 6.11 Herbir segmentte normalizasyon yöntemlerinin 1. Çalışma grubu için SEN başarımları.....	116
Şekil 6.12 Herbir segmentte normalizasyon yöntemlerinin 1. Çalışma grubu için GA'lı SEN başarımları.....	116
Şekil 6.13 Herbir segmentte normalizasyon yöntemlerinin 2. Çalışma grubu için SEN başarımları.....	117
Şekil 6.14 Herbir segmentte normalizasyon yöntemlerinin 2. Çalışma grubu için GA'lı ACC başarımları.....	118



ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>No</u>	<u>Sayfa</u>
Çizelge 3.1 CinC 2001 yarışma kapsamındaki PAF olan ile olmayanın ayrılmasındaki en yüksek sonuçlar.	16
Çizelge 3.2 CinC 2001 yarışma kapsamındaki PAF atağı tahmini için en yüksek sonuçlar. ..	16
Çizelge 4.1 KHD (RR aralığı) gerçek değerler üzerinden takogram ve fonksiyonel gösterimi.	23
Çizelge 4.2 En sık kullanılan KHD-frekans alanı ölçümleri ve tanımları.	31
Çizelge 4.3 Hata Matrisi.	50
Çizelge 5.1 Verilerin çalışma gruplarına ayrılması.	57
Çizelge 5.2 0-5 dakika arasındaki tüm öznitelikler için ortalama \pm standart sapma değerleri ve p istatistiksel anlamlılık değerlerinin gösterimi.	62
Çizelge 5.3 2.5-7.5 dakika arasındaki tüm öznitelikler için ortalama \pm standart sapma değerleri ve p istatistiksel anlamlılık değerlerinin gösterimi.	63
Çizelge 5.4 5-10 dakika arasındaki tüm öznitelikler için ortalama \pm standart sapma değerleri ve p istatistiksel anlamlılık değerlerinin gösterimi.	64
Çizelge 5.5 7.5-12.5 dakika arasındaki tüm öznitelikler için ortalama \pm standart sapma değerleri ve p istatistiksel anlamlılık değerlerinin gösterimi.	65
Çizelge 5.6 10-15 dakika arasındaki tüm öznitelikler için ortalama \pm standart sapma değerleri ve p istatistiksel anlamlılık değerlerinin gösterimi.	66
Çizelge 5.7 12.5-17.5 dakika arasındaki tüm öznitelikler için ortalama \pm standart sapma değerleri ve p istatistiksel anlamlılık değerlerinin gösterimi.	67
Çizelge 5.8 15-20 dakika arasındaki tüm öznitelikler için ortalama \pm standart sapma değerleri ve p istatistiksel anlamlılık değerlerinin gösterimi.	68
Çizelge 5.9 17.5-22.5 dakika arasındaki tüm öznitelikler için ortalama \pm standart sapma değerleri ve p istatistiksel anlamlılık değerlerinin gösterimi.	69
Çizelge 5.10 20-25 dakika arasındaki tüm öznitelikler için ortalama \pm standart sapma değerleri ve p istatistiksel anlamlılık değerlerinin gösterimi.	70
Çizelge 5.11 22.5-27.5 dakika arasındaki tüm öznitelikler için ortalama \pm standart sapma değerleri ve p istatistiksel anlamlılık değerlerinin gösterimi.	71

ÇİZELGELER DİZİNİ (devam ediyor)

<u>No</u>	<u>Sayfa</u>
Çizelge 6.1 KHD-zaman alanı ölçümlerinin her bir segment ve çalışma grubundaki başarımları.	74
Çizelge 6.2 1. Çalışma Grubu için istatistiksel anlamlılık değerlerinin her bir segment ve KHD zaman alanı ölçümleri için elde edilmesi. İstatistiksel olarak anlamlı olan değerler koyu biçimde verilmiştir ($p \leq 0,05$).	75
Çizelge 6.3 2. Çalışma Grubu için istatistiksel anlamlılık değerlerinin her bir segment ve KHD zaman alanı ölçümleri için elde edilmesi. İstatistiksel olarak anlamlı olan değerler koyu biçimde verilmiştir ($p \leq 0,05$).	75
Çizelge 6.4 1. Çalışma grubu ve 2. Çalışma Grubu verileri için uygulanan filtre yaklaşımıyla her bir segmentteki seçilen öznelikler. (yok: herhangi bir öznelik seçilmedi). 76	
Çizelge 6.5 Filtre yöntemi ile seçilen SDNN, RMSSD ve pNN50 özneliklerinin KNN başarımları.	77
Çizelge 6.6 KHD-frekans alanı ölçümlerinin her bir segment ve çalışma grubundaki başarımları.	78
Çizelge 6.7 1. Çalışma Grubu için istatistiksel anlamlılık değerlerinin her bir segment ve KHD frekans alanı ölçümleri için elde edilmesi. İstatistiksel olarak anlamlı olan değerler koyu biçimde verilmiştir ($p \leq 0,05$).	79
Çizelge 6.8 2. Çalışma Grubu için istatistiksel anlamlılık değerlerinin her bir segment ve KHD frekans alanı ölçümleri için elde edilmesi. İstatistiksel olarak anlamlı olan değerler koyu biçimde verilmiştir ($p \leq 0,05$).	80
Çizelge 6.9 1. Çalışma grubu ve 2. Çalışma grubu için uygulanan filtre yaklaşımıyla her bir segmentteki seçilen öznelikler. (Yok: herhangi bir öznelik seçilmedi).	81
Çizelge 6.10 Filtre yöntemi ile seçilen FFT_HF, FFT_TOTAL ve Wave_LF/HF özneliklerinin KNN başarımları. (NaN: Herhangi bir sonuç üretilmedi).	82
Çizelge 6.11 1. Çalışma grubu için ektopik vuruya sahip veriler üzerinden elde edilen her bir segmentin istatistiksel anlamlılık değerleri. İstatistiksel olarak anlamlı olan değerler koyu biçimde verilmiştir ($p \leq 0,05$).	83
Çizelge 6.12 2. Çalışma grubu için ektopik vuruya sahip veriler üzerinden elde edilen her bir segmentin istatistiksel anlamlılık değerleri. İstatistiksel olarak anlamlı olan değerler koyu biçimde verilmiştir ($p \leq 0,05$).	83
Çizelge 6.13 1. Çalışma grubu için ektopik virusuz veriler üzerinden elde edilen her bir segmentin istatistiksel anlamlılık değerleri.	84
Çizelge 6.14 2. Çalışma grubu için ektopik virusuz veriler üzerinden elde edilen her bir segmentin istatistiksel anlamlılık değerleri.	84

ÇİZELGELER DİZİNİ (devam ediyor)

<u>No</u>	<u>Sayfa</u>
Çizelge 6.15 Ektopik vurulu veriler üzerinde her bir segmentin KNN algoritma başarımları.	85
Çizelge 6.16 Ektopik vurusuz veriler üzerinde her bir segmentin KNN algoritma başarımları.....	85
Çizelge 6.17 Poincare çizim ölçümlerinin her bir segment için KNN algoritma başarımları.	86
Çizelge 6.18 Zaman alanı ve Poincare çizim ölçümlerinin her bir segment için KNN algoritma başarımları.	86
Çizelge 6.19 Zaman+FFT ölçümleri için KNN başarımlar sonuçları.	88
Çizelge 6.20 Zaman+FFT+GA için KNN başarımlar sonuçları	88
Çizelge 6.21 Zaman+Lomb ölçümleri için KNN başarımlar sonuçları (NaN: Herhangi bir sonuç üretilmedi).	89
Çizelge 6.22 Zaman+LOMB+GA için KNN başarımlar sonuçları.....	89
Çizelge 6.23 Zaman+Dalgacık ölçümleri için KNN başarımlar sonuçları.....	90
Çizelge 6.24 Zaman+Dalgacık+GA için KNN başarımlar sonuçları.....	90
Çizelge 6.25 Zaman+FFT+İstatistiksel yaklaşım için KNN başarımlar sonuçları.	91
Çizelge 6.26 Zaman+LOMB+ İstatistiksel yaklaşım için KNN başarımlar sonuçları (NaN: Değer üretilmedi).	92
Çizelge 6.27 Zaman+Dalgacık+ İstatistiksel yaklaşım için KNN başarımlar sonuçları.	92
Çizelge 6.28 Doğrusal ve doğrusal olmayan tüm öznitelikler için KNN başarımlar sonuçları. ..	93
Çizelge 6.29 Tüm özniteliklere GA ile öznitelik seçiminin performans başarımlarına etkileri... ..	94
Çizelge 6.30 Ön sınıflandırma aşaması sonuçları.	98
Çizelge 6.31 Son sınıflandırma aşamasındaki KNN başarımlar sonuçları.....	99
Çizelge 6.32 Son sınıflandırma aşamasındaki SVM başarımlar sonuçları.....	99
Çizelge 6.33 Son sınıflandırma aşamasındaki LDA başarımlar sonuçları.	100
Çizelge 6.34 Son sınıflandırma aşamasındaki RBF başarımlar sonuçları.....	101
Çizelge 6.35 Son sınıflandırma aşamasındaki MLP başarımlar sonuçları.	101
Çizelge 6.36 Zaman alanı ölçümlerinin segmentler arası anlamlılık değerleri.....	102
Çizelge 6.37 Frekans alanı ölçümlerinin segmentler arası anlamlılık değerleri.	103

ÇİZELGELER DİZİNİ (devam ediyor)

<u>No</u>	<u>Sayfa</u>
Çizelge 6.38 PAF atağı geçirecek veriler üzerinden SDNN ölçümü için segmentler arası ayırım.	104
Çizelge 6.39 PAF atağı geçirecek veriler üzerinden FFT_LF ölçümü için segmentler arası ayırım	104
Çizelge 6.40 PAF atağı geçirmeyecek veriler üzerinden FFT_LF ölçümü için segmentler arası ayırım.....	104
Çizelge 6.41 Min-Max normalizasyon yöntemi için KNN başarımları.....	105
Çizelge 6.42 Z-skoru normalizasyon yöntemi için KNN başarımları. (NaN: Herhangi bir sonuç üretilmedi).	106
Çizelge 6.43 Medyan normalizasyon yöntemi için KNN başarımları.	107
Çizelge 6.44 D-Min-Max normalizasyon yöntemi için KNN başarımları (NaN: Herhangi bir sonuç üretilmedi).	107
Çizelge 6.45 Min-Max normalizasyon yöntemi ve GA ile seçilen özneliklerin başarımları.....	110
Çizelge 6.46 Z-skoru normalizasyon yöntemi ve GA ile seçilen özneliklerin başarımları.	111
Çizelge 6.47 Medyan normalizasyon yöntemi ve GA ile seçilen özneliklerin başarımları.	112
Çizelge 6.48 D-min-max normalizasyon yöntemi ve GA ile seçilen özneliklerin başarımları.....	113
Çizelge 7.1 Literatürde yapılmış çalışmalar ile karşılaştırma.	123

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

SİMGELER

RR	: Her bir arka arkaya gelen kalp vurusu arasındaki zaman farkı
RR(k)	: k. RR değeri
t(k)	: k. R dalgasının zaman değeri
RR _{ort}	: Ortalama RR aralığı değeri
S(x)	: 3. Dereceden polinomsal ifade
h	: Adım büyüklüğü
Z	: RR işaretini oluşturan durağan ve eğilimli işaret
N	: RR aralıklarının toplam sayısı
Z _e	: Düşük frekanslı periyodik olmayan eğilim bileşeni
v	: Gözlem hatası
H	: Gözlem matrisi
$\hat{\theta}_\lambda$: Regresyon parametresi
RR _i	: RR değerinin i. değeri
X(k)	: Ayrık Fourier dönüşümü alınmış işaret
P	: Güç spektral yoğunluğu
τ	: Ofset değeri
ψ	: Ana dalgacık fonksiyonu işareti
C	: Ayrık dalgacık dönüşümü katsayıları
A	: Dalgacık dönüşümü yaklaşık katsayıları
D	: Dalgacık dönüşümü detay katsayıları
SD ₁	: Poincare çizimindeki elipsin genişliği
SD ₂	: Poincare çizimindeki elipsin uzunluğu
X _k ^{yeni}	: Normalize edilmiş veri değeri
t	: İstatistik değeri
df	: Özgürlük parametresi
E	: Çıkış hata değeri
w	: Yapay sinir ağının ağırlık değeri

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ (devam ediyor)

θ	: Yapay sinir ağının eşik değeri,
$F_{\text{ç}}$: Yapay sinir ağının genel çıktısı
$D(x,y)$: Uzaklık ölçümleri
S_W	: Doğrusal ayraç analizinde sınıf içi dağılım ifadesi
S_B	: Doğrusal ayraç analizinde sınıflar arası dağılım ifadesi

KISALTMALAR

ACC	: Genel başarımlar
AF	: Atriyal fibrilasyon
AFD	: Ayrı Fourier dönüşümü
AGF	: Alçak geçiren filtre
AV	: Atriyovenriküler
EKG	: Elektrokardiyografi
FFT	: Hızlı Fourier dönüşümü
GA	: Genetik algoritma
HF	: Yüksek frekans
KHD	: Kalp hızı değişkenliği
KNN	: K- en yakın komşu
LF	: Düşük frekans
LDA	: Doğrusal ayraç analizi
MLP	: Çok katmanlı algılayıcı ağ
NEG	: Negatif seçicilik
OSS	: Otonom sinir sistemi
PAC	: Prematüre atriyal kompleks (Erken atriyal vuru)
PAF	: Paroksizmal atriyal fibrilasyon
POS	: Pozitif seçicilik
PVC	: Prematüre ventriküler kompleks (Erken ventriküler vuru)
QRS	: EKG dalgasındaki en yüksek genlikli dalga formu
RBF	: Radyal tabanlı fonksiyon
SA	: Sinoatriyal
SEN	: Hassaslık
SPE	: Seçicilik

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ (devam ediyor)

SVM	: Destek vektör makinaları
SVT	: Supraventriküler taşikardi
VLf	: Çok düşük frekans
YGF	: Yüksek geçiren filtre





BÖLÜM 1

GİRİŞ

Vücudun en önemli organlarında biri olan kalp, sağlıklı bir yetişkin insanda dakikada 60–80 arasında kalp atımı gerçekleştirir [1]. Kalbin uyarı sisteminin başlangıcı olan sinoatriyal (SA) düğümünden çıkan elektriksel uyarımlar düzenli bir şekilde yayılarak kulakçıkları (atriyumları) uyarır ve kasılma başlar. Fakat kalpte oluşan bazı rahatsızlıklardan ötürü kalpteki elektriksel iletim sağlıklı bir şekilde gerçekleşmez. Bu rahatsızlıklar içerisinde en önemlilerinden biri atriyal fibrilasyondur (AF). AF'ye sahip kişilerde SA düğümünden çıkan uyarımların haricinde kulakçıklarda rastgele ve çok sayıda uyarım üretilir [2]. SA dışında oluşan bu uyarımlar kulakçıkların sağlıklı bir şekilde kasılması yerine fibrilasyona (titreşim) neden olur. AF genel nüfusun %1-%2'inde görülme oranıyla en çok karşılaşılan kalp rahatsızlıklarından biridir. Yaklaşık 2,7-6,1 milyon Amerikalı ve 6 milyondan fazla Avrupalı bireyde AF olduğu tahmin edilmektedir [3, 4]. Ülkemiz için, kronik AF sayısı yaklaşık olarak 300 bin civarındadır [5].

Bunun yanısıra, AF'nin görülme oranı 50'li yaşlarda %0,5'den düşük iken, 80'li yaşlara doğru bu oran %5-15 dolaylarında olmaktadır. Bu nedenle, ilerleyen yıllarda genel nüfusun daha da yaşlanacağı düşünüldüğünde bu rahatsızlığın artacağı öngörülmektedir [4]. Yaşlılığın verdiği zorlukların yanında AF'den kaynaklı nefes darlığı, göğüs ağrısı, aşırı yorgunluk hissi, baş dönmesi gibi yaşam kalitesini düşüren etkiler de baş göstermektedir [6, 7]. Dahası AF hastalarında inme riskinin beş kat, inmeye bağlı ölüm riskinin iki kat, buna bağlı olarak hasta bakım maliyetlerinin ise 1,5 kat arttığı bilinmektedir [4].

Atriyal Fibrilasyonun genel kabul gören üç aşaması bulunmaktadır: Paroksizmal AF (PAF), Israrcı AF ve Kalıcı AF. PAF aşamasında iken gerekli tedbirler alınmadığı sürece, ısrarcı AF ve kalıcı AF hastaların çoğunda önlenemez olarak görülmektedir [4]. Bu sebeple PAF'ın erken teşhis edilmesi ve hastalığın daha zorlu olan sonraki aşamalarına geçmeden tedavi edilmesi oldukça önemlidir.

Bununla birlikte, günümüzde yapılan AF ablasyonu başta olmak üzere çoğu tedavi yönteminde başarı oranının düşük olmasının yanısıra, hem komplikasyon ve yeniden görülme riskinin yüksek olması hem de yüksek tedavi maliyetleri nedeniyle alternatif yaklaşımlara ihtiyaç duyulmaktadır. Bu yaklaşımların başında, prematüre vuruya sebep olan odakların uyarı oluşturma potansiyellerinin baskılanması ve böylece PAF ataklarının oluşma sıklığının azaltılması yer almaktadır [8]. Bu varsayımın gerçekleştirilebilmesi için belgelenmiş PAF atakları bulunan hastalara bir DDDR (dual-chamber, rate-modulated) kalp pili (pacemaker) takılmasıyla PAF atağı sıklığının azaltılması sağlanmaktadır [9]. Bu tür cihazların ise tam doğru bir şekilde çalışabilmesi için PAF ataklarının oluşum zamanının önceden kestirilebilmesine ihtiyaç duyulmaktadır.

PAF atağının önceden tespit edilmesi ile ilgili son 15-20 yıldır literatürde birçok çalışma bulunmaktadır [10-22]. Zong ve arkadaşları 30 dk'lık elektrokardiyografi (EKG) işaretindeki prematüre atriyal komplekslerinin (PAC) sayısına ve zamanlamasına bakarak çalışma gerçekleştirmişlerdir. Çalışmada özellikle PAC vurularındaki sıklık bilgisinin PAF atağı gerçekleşmeden önce vurgulayıcı bir özellik olduğu ifade edilmiştir [10]. Langley ve arkadaşları da 30 dk'lık kalp hızı değişkenliği (KHD, yani RR serisi) verilerini kullanarak PAC ve ventriküler prematüre komplekslerinin (PVC) sayılarına bakarak PAF tahmininde bulunmuşlardır. Burada, PAF atağından önce PAC sayısında kayda değer bir artış olduğu ifade edilmiştir [11]. Chazal ve Henegham çalışmasında 1 dk, 5dk, 10dk ve 30 dk'lık KHD verileri kullanılarak 1.-6. korelasyon katsayıları, NN50, pNN50, RMSSD, ve SDDSD zaman alanı ölçümlerini, hızlı Fourier dönüşümü (FFT) tabanlı frekans alanı ölçümleri, P dalga şekli ve spektral yoğunluklarını kullanarak PAF atağının erken tahmininde bulunmuşlardır. Sonuç olarak, RR aralıklarının güç spektral yoğunlukları ve P dalga özelliklerinin ayırt edici özelliğe sahip olduğu tespit edilmiştir [12]. Bir başka çalışmada ise, Chesnokov KHD verilerinden spektral bileşenlerini, kompleks analiz ölçümlerinden örneklemeli entropi (sample entropy) ve yaklaşık entropi (approximate entropy) ölçümlerinin yanında çok ölçekli entropi (multi scale entropy) yöntemlerini öznitelik olarak kullanmıştır. Neticede, istatistiksel olarak PAF atağı öncesinde spektral bileşenlerin arttığı ve örneklemeli entropi ile yaklaşık entropi değerlerinde ise azalmalar olduğu ortaya konmuştur [13]. Mohebbi ve Ghassemian ise 30 dk'lık KHD verilerinden elde ettikleri spektral, bispektral ve doğrusal olmayan ölçümleri kullanmışlardır. Bu çalışmada, araştırmacılar LF ve HF bantlarındaki spektral güçlerin PAF atağından önce arttığını ifade etmişlerdir. Bispektral ölçümlerde ise PAF atağından uzak olan verilerde faz eşleşmeleri gözlemlenirken PAF atağı yaklaştıkça bu faz eşleşmeleri azalmaktadır. Bununla

beraber Poincare ölçümlerinin de etkili bir PAF atağı uyarıcısı olduğunu belirtmişlerdir [14]. Başka bir çalışmada, Boon ve arkadaşları ektopik verilerden arındırılmış 5dk, 10dk, 15dk, 20dk ve 30 dk'lık veriler üzerinden çalışma gerçekleyip PAF atağından önceki bu zaman dilimlerindeki farklılıkları not etmişlerdir. KHD zaman alanı ölçümlerini, frekans alanı ölçümlerini, doğrusal olmayan ölçümleri ve bispektrum yöntemlerini öznitelik olarak kullanmışlardır. Genetik Algoritma (GA) kullanarak sınıflandırıcı parametlerini belirlemişlerdir. Sonuç olarak, 30 dk'lık verilerden daha kısa verilere doğru başarımın azaldığı fakat 30 dk'dan daha kısa verilerinde kabul edilebilir başarımlara ulaşılabildiği belirtilmiştir [15]. Boon ve arkadaşları tarafından yapılan başka bir çalışmada ise, 5 dakikalık veriler üzerinden KHD zaman alanı, frekans alanı ve doğrusal olmayan ölçümler kullanılarak öznitelikler çıkartılmış ve yine GA ile öznitelik seçimi yapılmıştır [16]. Son olarak, Xin ve Zhao 5 dakikalık veriler kullanarak KHD çok ölçekli entropi ölçümleri ile çalışma gerçekleştirmişlerdir [17].

Literatürde PAF atağının önceden kestirimi ile ilgili çok kullanılan bir diğer yöntem EKG üzerindeki P-dalgası üzerine yapılan çalışmalardır [18-22]. Bu çalışmalarda P-dalgasının süresi, genliği, değişkenliği, değişkenliğinin spektral güç yoğunlukları ve doğrusal olmayan ölçümleri gibi farklı öznitelikler kullanmıştır. Özellikle Alcaraz ve arkadaşları ile Arturo Martinez ve arkadaşlarının 1 saatlik veriler üzerinden yaptıkları çalışmalarda P dalgasının PAF atağının önceden tespitinde etkili bir yöntem olduğunu göstermişlerdir. Dimitri ve arkadaşları da P dalga morfolojisini öznitelik olarak kullanımı ile literatürde yer almışlardır [22].

Literatürde çok sayıda çalışma olmasına rağmen, PAF başlangıcını öngörmek için güvenilir ve geçerli bir yöntem henüz bulunmamaktadır. Günümüzde yoğun kullanıma sahip örüntü tanıma ve yapay zeka yeknikleri kullanılarak,

1. PAF rahatsızlığı olduğu bilinen hastalar arasından muhtemel bir PAF atağının ne kadar süre önce kestirilebileceğinin,
2. PAF rahatsızlığı olduğu bilinen hastalar ile normal bireyler birlikte değerlendirildiğinde muhtemel bir PAF atağının ne kadar süre önce kestirilebileceğinin ve
3. PAF atağı kestirimine etki eden özniteliklerin en uygun kombinasyonunun ne olduğunun bulunması bu tezin amaçları arasında yer almaktadır. Böylece gerçekleştirilebilecek bir erken uyarı sistemi ile PAF rahatsızlığının hasta yaşam kalitesini etkilemesini engellemek ve

mümkünse ilaç kullanımı gibi sağlık tedbirleri alması veya araba sürüyorsa aracı kenara çekmek gibi emniyet tedbirleri alması konusunda zaman sağlamak hedeflenmektedir.

Bu amaçlara ulaşmak için aşağıdaki çalışmalar gerçekleştirilmiştir:

1. Literatürdeki çalışmaların çoğunda PAF atağının hemen öncesindeki 5 dk, 10 dk ve 15dk gibi veri uzunlukları kullanılırken, tez çalışmasında kullanılan veriler PAF atağı gerçekleşmesinden önceki 0-5 dk, 2.5-7.5 dk, 5-10 dk, 7.5-12.5 dk, ..., 22.5-27.5 dk gibi beşer dakikalık zaman aralıklarının tamamı incelenmiştir. Böylece PAF atağı oluşum zamanının ne kadar süre önce tahmin edilebileceği daha gerçekçi olarak tespit edilmiştir.
2. Literatürdeki çalışmaların tamamında sadece PAF hastası olduğu zaten bilinen hastalar üzerinden çalışma yapılmıştır. Bu çalışmada henüz bilinen kalp rahatsızlığı olmayan kişiler de dahil edilerek, ailesinde PAF rahatsızlığı geçmişi olanlar da dahil edilirse PAF atağının erken tahminine etkisi incelenmiştir.
3. Kalp hızı değişkenliği analizi (KHD) ölçümleri olarak diğer rahatsızlarda kullanıldığı halde PAF tespitinde daha önce kullanılmamış olan yeni özniteliklerin etkisi incelenmiştir. Bunlar arasında Lomb-Scargle algoritması tabanlı frekans alanı ölçümleri ve dalgacık entopisi sayılabilir.
4. Farklı veri normalizasyon yöntemleri arasından PAF erken tespitine yönelik KHD ölçümlerine en uygun normalizasyon yöntemi araştırılmıştır.
5. KHD ölçümlerinin elde edilmesinde genellikle önerilen ektopik vuruların yok edilmesi ön işleminin PAF atağı tespitine olan etkisi incelenmiştir.
6. Literatürde 3 katlı sınıflandırıcılar ile EEG ve aritmi tespiti çalışmaları mevcut iken PAF atağının erken tespitine yönelik olarak ilk defa denenmiştir.

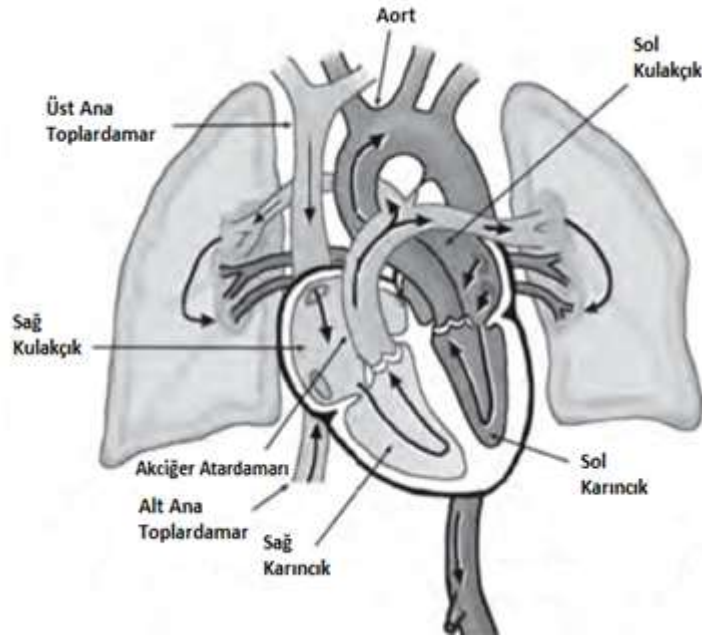
Bu tez kapsamında, takip eden bölümlerde, kardiyovasküler sistemden, kapsamlı literatür taramasından, örüntü tanıma yöntemlerinden, PAF verilerini kullanarak örüntü tanıma yöntemlerinin uygulamalarından, elde edilen sonuçlar ve tartışma kısımları ele alınmıştır.

BÖLÜM 2

KARDİYOVASKÜLER SİSTEM

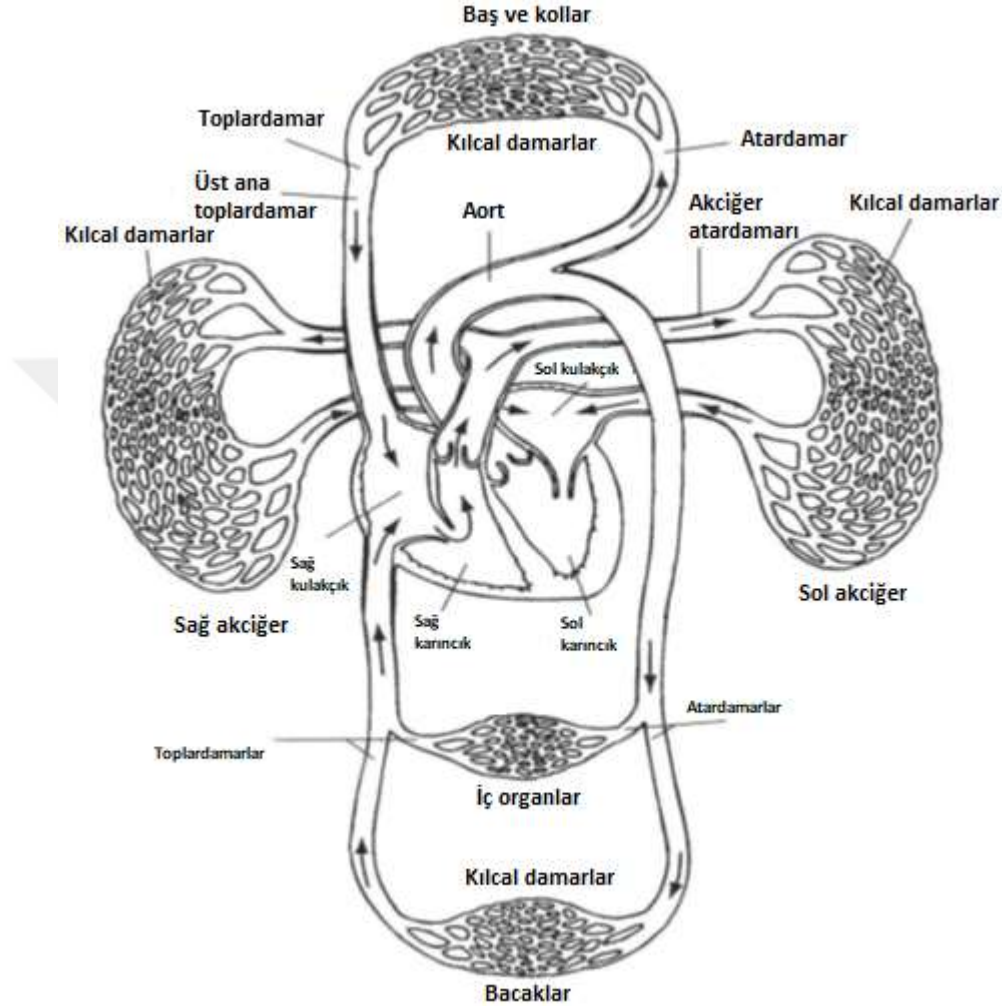
2.1 KALP ANATOMİSİ VE DOLAŞIM SİSTEMİ

Canlıların hayatta kalabilmesi için besin ihtiyaçlarını karşılamaları gerekmektedir. İnsan vücudunun hayatta kalması da vücudun her yerinde hiç durmadan dolaşan kan ile sağlanmaktadır. Kalp, kanın tüm vücuda sağlıklı bir şekilde dağıtılması için pompa görevi görmektedir. Şekil 2.1’de görüldüğü gibi, kalp dört kısımdan oluşmaktadır. Bunlar, sağ kulakçık (atrium), sol kulakçık, sağ karıncık (ventrikül) ve sol karıncıktır [23]. Karıncıklar ile kulakçıklar arasında kanın tek yönlü hareketini sağlanması için, sağ kulakçık ile sağ karıncık arasında trikuspit diye adlandırılan kapak bulunurken sol kulakçık ile sol karıncık arasında ise mitral kapak bulunmaktadır. Bunların yanısıra, kapakların dışında kalpten temiz kanın pompalandığı sol karıncıktan çıkan aort atardamarının girişinde aort kapağı, sağ karıncık ile kanı akciğere taşıyan damar arasında ise pulmoner kapak adı verilen kapaklar bulunmaktadır.



Şekil 2.1 Kalbin yapısı ve kan akış gösterimi [24].

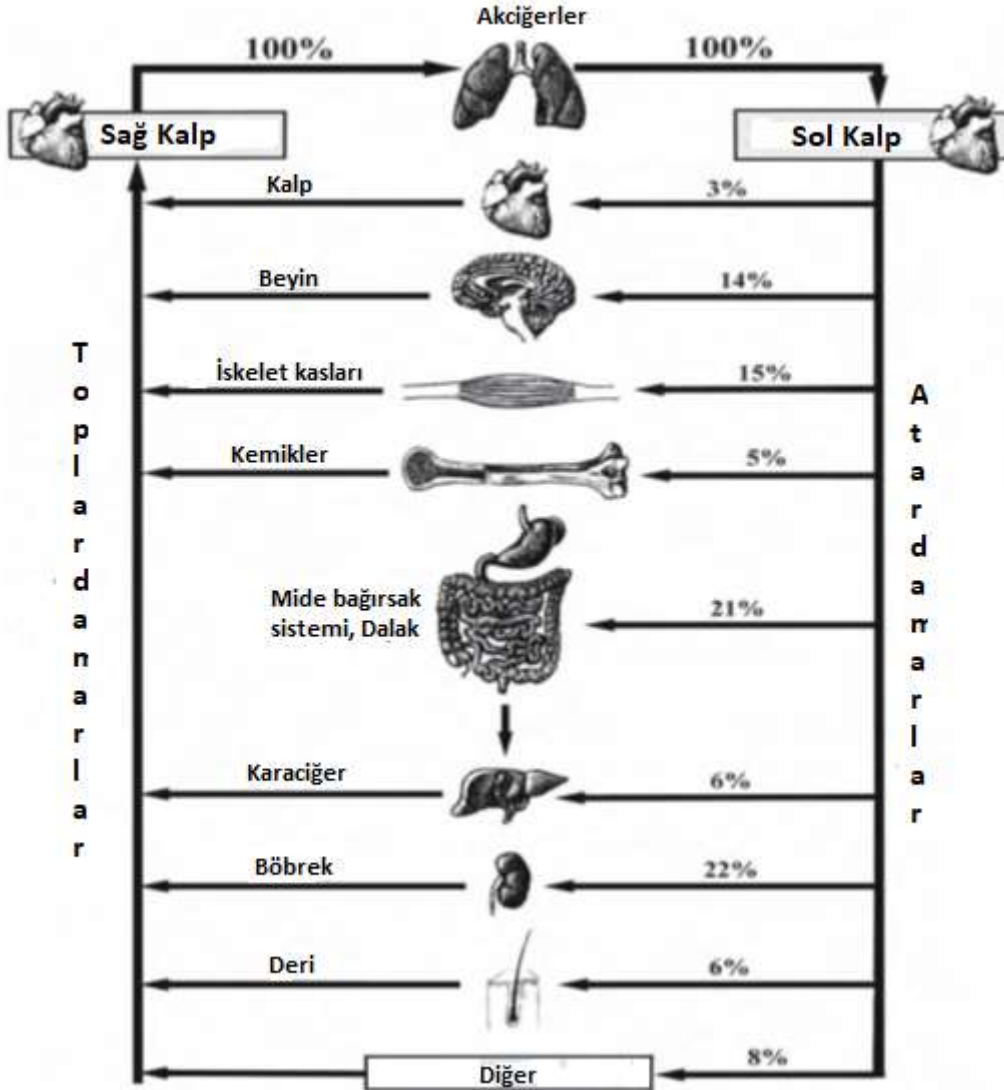
Kanı karbondioksitten arındırma, oksijenle zenginleştirme faaliyeti ve oksijenle temizlenmiş temiz kanında hem kalbi beslemesi hem de vücudun tüm hücrelerine kadar dağıtım faaliyetine kanın dolaşımı denilmektedir. Bu faaliyetin genel adına da dolaşım sistemi denilmektedir ve merkezinde de kalp bulunmaktadır (Şekil 2.2).



Şekil 2.2 İnsanın kan dolaşım sistemi [25].

Dolaşım sistemi genel olarak şu şekilde çalışmaktadır: Vücudun metabolizma artıkları ve CO₂ ile kirlenmiş venöz kan kalbin sağ kulakçığına gelir. SA'dan uyarım alan kulakçıkların kasılmaya başlamasıyla venöz kan trikuspid kapak vasıtasıyla sağ karıncığa iner. Kulakçıkların gevşeyip karıncıkların kasılmaya başlamasıyla venöz kan sağ karıncıktan akciğere gönderilir. Burada temizlenen kan kalbin sol kulakçığına geri döner. Kulakçıkların kasılmasıyla temiz kan mitral kapaktan geçerek sol karıncığa dolar. Karıncıkların kasılmaya başlamasıyla birlikte ise kuvvetli bir basınçla temiz kan vücudun diğer organlarına dağılır. Böylece bir kan dolaşımı gerçekleşmiş olur. Tüm vücuda dağılan yaklaşık kan değerleri şekil 2.3'de verilmiştir. Tüm bu

süreç eşzamanlı olarak gerçekleşmektedir. Yani, kulakçıkların kasılmasıyla aynı anda hem temiz kan hem kirli kan karıncıklara dolar ve karıncıkların kasılmasıyla da sol karıncıktaki temiz kan vücuda sağ taraftaki kirli kanda akciğerlere gönderilir. Karıncıklar aynı anda kasılırken (sistol), kulakçıklarda aynı anda gevşeme durumundadır. Karıncıkların gevşemeye (diastol) başlamasıyla birlikte kulakçıklarda aynı anda tekrar kasılmaya başlar [24].

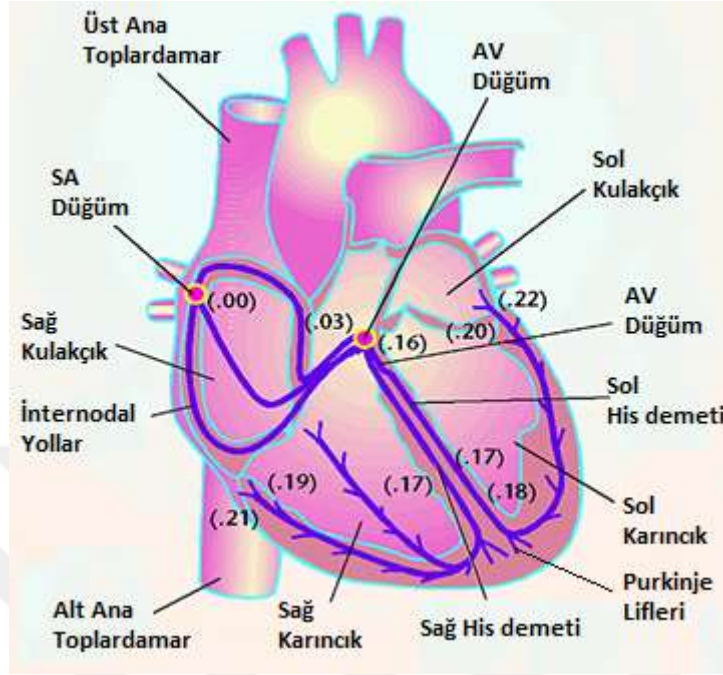


Şekil 2.3 İstirahat halindeki sağlıklı bir kişinin vücudundaki çeşitli yerlerdeki yaklaşık kan ihtiyaç yüzdeleri [24].

2.2 KALBİN ELEKTRİKSEL İLETİMİ

Kalp kendi uyarımlarını kendi oluşturabilen özel bir yapıdadır. Oluşan bu uyarımları özel bir iletim sistemi üzerinden tüm kalbe yayarak kalbin kasılıp gevşemesi sağlanmaktadır.

Sinoatriyal düğüm, internodal yollar, atriyoventriküler düğüm, his demetleri ve purkinje liflerinden oluşan bir uyarı ve iletim sistemi bulunmaktadır (Şekil 2.4).



Şekil 2.4 Kalbin uyarı ve ileti sistemi [26].

Sinoatriyal (SA) düğüm: Uyarının başlangıcı olan bu düğüm sağ kulakçığın üst tarafında ana toplardamarların sağ kulakçığa açıldığı yerde bulunmaktadır. SA düğüm kalbin ritmini kontrol eder ve buradan çıkan uyarımlar ile kalp kasılmaya başlar. SA düğümünden çıkan uyarımlar, ilk olarak kulakçıkların kasılmasını sağlar. Kalp SA ile uyarıldığı zaman diğer uyarı çıkarma yeteneği olan yapılar uyarı çıkartmazlar. SA düğümünden çıkan uyarımlar internodal yollar aracılığıyla kulakçıklara yayılır.

İnternodal yollar: SA düğümünden çıkan uyarımlar bu yollar ile kulakçıklarda yayılır. Buradan atriyoventriküler düğümüne ulaşır. Ön, orta ve arka internodallar olmak üzere üç kısımdan oluşmaktadır.

Atriyoventriküler (AV) düğüm: AV düğüm SA düğümünden sonra ikincil uyarı merkezidir. Triküspid kapağın arkasında sağ kulakçığın arka kısmında yer alan AV düğüm, SA düğümünden gelen uyarımları üzerinden toplar. Kanın tam dolmasını veya boşalmasını sağlayacak kadar (yaklaşık 0.1 saniyelik) bir gecikmeden sonra uyarımlar his demetine geçer.

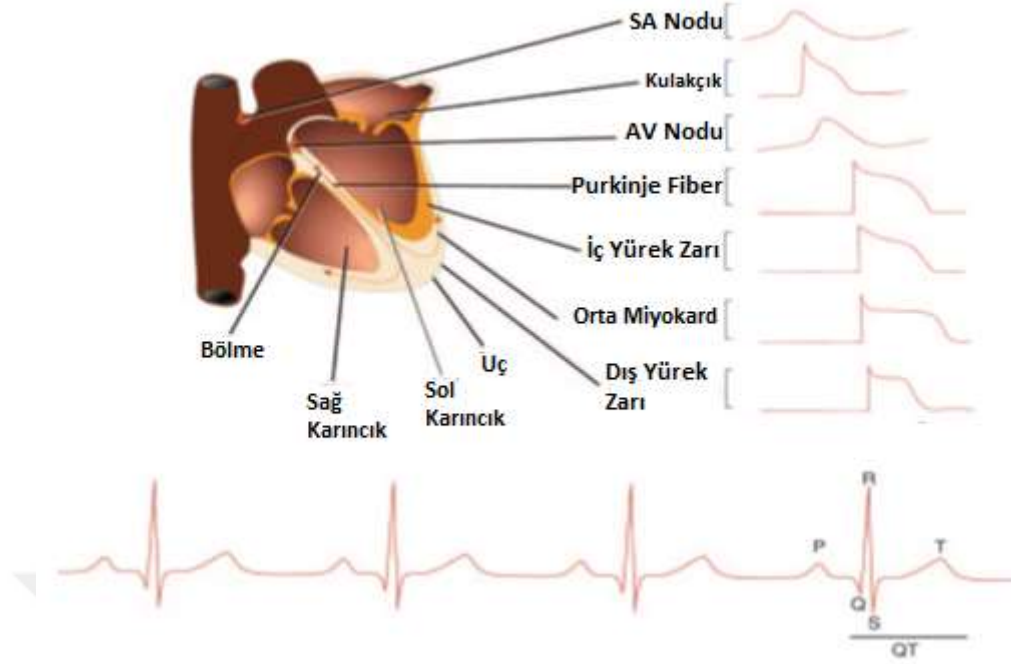
His demeti (Atriyoventriküler demet): AV düğüme bağlı olan his demeti, kulakçıklardan karıncıklara girişte iki dala ayrılmaktadır. Bu dallar sayesinde sağ ve sol karıncıklar uyarımın punkinje liflerine ulaşmasını sağlar.

Purkinje lifleri: Bu lifler çok ince ve sayı olarak oldukça fazladır. Karıncıklara doğru yayılan bir yapısı vardır. Bu lifler gelen uyarımın karıncıklara yayılmasını sağlar ve karıncıkların kasılmasında etkilidir.

Yukarıda bahsedilen uyarı ve iletim sisteminin tam ve eksiksiz bir şekilde çalışmasıyla kalp, faaliyetlerini yerine getirmiş olur. Bu sistemdeki herhangi bir problem hem kalbi hem de diğer tüm organları etkilemektedir.

2.2.1 Elektrokardiyografi

Kalbin uyarı ve ileti sisteminin sonucunda uyarımların buldukları her bir hücrede o hücreye özel aksiyon potansiyelleri oluşmaktadır. Bu aksiyon potansiyellerin toplamından elektrokardiyografi (EKG) sinyali oluşmaktadır (Şekil 2.5). Oluşan bu EKG işareti P, QRS, T dalga formları oluşmaktadır. Genel olarak, P dalga formu kulakçıkların kasılmasıyla oluşan dalga şeklindedir. QRS dalga formu, genlik olarak diğer iki dalga formundan daha yüksektir. Karıncıkların kasılmaya başlamasıyla oluşan dalgadır. Son olarak oluşan T dalga formu, karıncıkların gevşemesiyle oluşan dalgadır. P-R arasındaki zaman dilimi AV düğümde gerçekleşen gecikmeyi temsil etmektedir. Bu dalga formlarının haricinde karıncıklardaki bazı kasların geç gevşemesi ile U dalgası adı verilen bir dalga formu da oluşabilmektedir.



Şekil 2.5 Kalbin çeşitli yerlerinden gelen elektrikselsel aktivite ve tipik bir EKG [27].

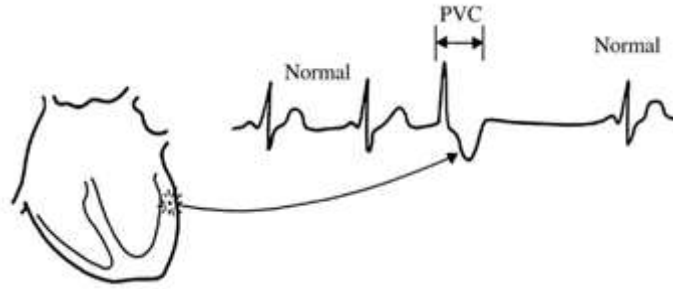
2.3 ARİTMİ

Kalp hastalıklarının dünya genelinde en önde gelen ölüm nedenlerinden biri olduğu ifade edilmektedir. [28]. Aynı durum ülkemiz içinde geçerlidir. TÜİK 2015 verilerine göre 162.876 kişi kalp dolaşım sistemi hastalıklarından ölmüştür. Bu sayı yaklaşık tüm ölümler içerisinde %39,8 oranına karşılık gelmektedir. Bunun sonucunda kalp hastalıkları üzerine yapılan çalışmalar gün geçtikçe artmaktadır. Hastaneye yatışların artmasının en önemli sebeplerinden birinin aritmiler olduğu ve aritmiler içerisinde de atriyal fibrilasyonun önemli bir yer kapladığı söylenmektedir [29].

Aritmi, tanım olarak düzensiz kalp atımı (yani, ritim bozukluğu) demektir. Kalp atımlarının hızlı ya da yavaş olması, düzensiz olması, dalga şeklinde bozukluklar olması şeklinde gözlenmektedir. Aritmiler, yavaş veya hızlı kalp atışı gibi düzensiz ritmlere neden olan kalp hızını etkileyebilir. Üstelik solunuma bağlı ortaya çıkan solunum sinüs aritmisi gibi aritmilerin sağlıklı bir kişide de gözükülebilmektedir. En önemlisi, aritmiler hastanın sadece yaşam kalitesini etkileyebileceği gibi ani ölümlere de neden olabilmektedir. Aritmilerin yaygın olması nedeniyle gerçek zamanlı otomatik tespit sistemleri üzerine de çalışmalar önem kazanmaktadır [30].

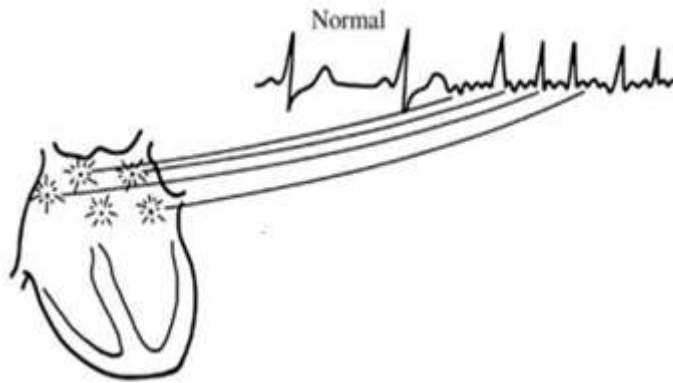
2.3.1 Aritmi Türleri

Tezin bu bölümünde sık karşılaşılan aritmi türlerine yer verilmiştir. Ektopik vurular, kalbin atması gerekenden önce atması halidir. Göğüste çarpıntı olarak hissedilir. Kulakçıklarda gerçekleşen erken atımlara PAC denir. Benzer şekilde karıncıklarda gerçekleşen erken atımlara da PVC denilmektedir (Şekil 2.6). Bu atımlar genel olarak zararsız atımlardır.



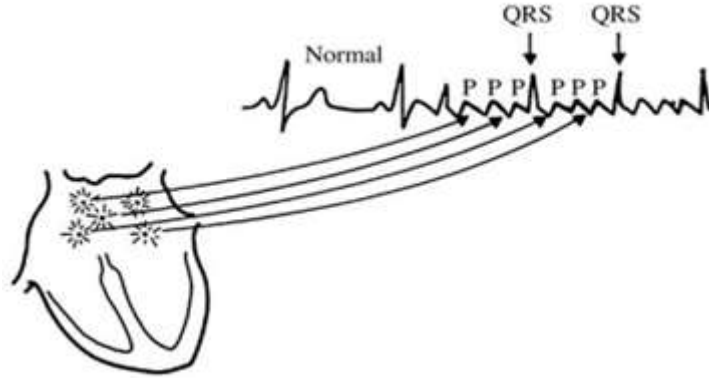
Şekil 2.6 Prematüre ventriküler kompleks atımlı kalbin EKG işareti [31].

Supraventriküler aritmiler, kulakçıklar ve AV düğüm ile ilgili aritmilerdir. Bu aritmi arasında, atriyal fibrilasyon (AF), atriyal çarpıntı (flutter), supraventriküler taşikardi ve Wolff-Parkinson-White yer almaktadır. AF, aritmi türleri içerisinde en çok karşılaşılanıdır. SA düğümün dışında kulakçıklarda oluşan uyarımlar AF'ye yol açmaktadır (Şekil 2.7). Yani, elektriksel uyarının geçmesi gereken yollar dışında düzensiz yollarla kulakçık içerisinde yayılmasıyla oluşur. Böylece kalp sağlıklı bir şekilde kasılmaz ve gerekli miktarda kan karıncıklara geçmez. Bu durum ciddi sorunlara yol açabilmektedir. Özellikle hareketsiz kalan kanın pıhtı oluşturup beyindeki damarlardan kan geçişini engellemesi ile inme (felç) olayı gerçekleşebilir.



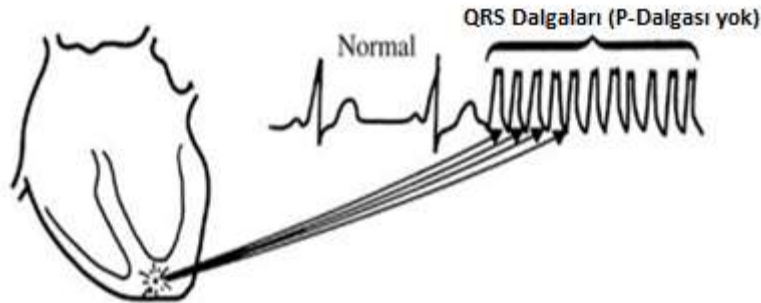
Şekil 2.7 Atriyal fibrilasyon [31].

Atriyal çarpıntı (Flutter), burada AF'ye nazaran daha düzenli ve hızlı bir ritim söz konusudur. AF belirtileri ile aynıdır. EKG işaretinde testere dişi şeklinde gözükmektedir (Şekil 2.8).



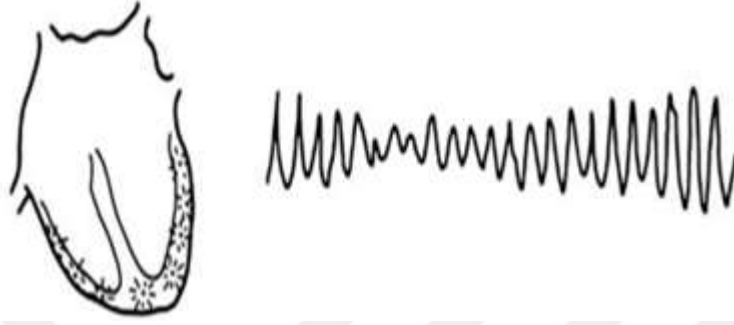
Şekil 2.8 Atriyal Flutter [31].

Paroksizmal supraventriküler taşikardi, kulakçıklardan karıncığa geçen elektriksel uyarıların tekrardan kulakçıklara geçiş yapmasıyla oluşan kalp atımlarıdır. Wolff-Parkinson-White sendromu, elektriksel uyarımların kulakçıktan karıncığa geçerken farklı bir yol izlemesi sonucu oluşur. Bu durum etkili bir kalp atımını engelleyip karıncıkların hızlı bir şekilde atımına yol açar. Ventriküler aritmiler, karıncıklarda gerçekleşen ritim bozukluklarıdır. Doğrudan karıncıklardan pompalanan kan akciğere ve vücuda gittiği için karıncıklarda gerçekleşen aritmiler tehlikeli olabilmektedir. Ventriküler taşikardi, ani ölümlerin çoğunun gerçekleştiği, karıncıklardaki elektriksel uyarılardan kaynaklı problemden dolayı meydana gelen hızlı kalp atımlarından oluşur. Kalp atımları dakikada yaklaşık 120-200 dolaylarındadır. Geniş QRS dalga formuna sahiptir (Şekil 2.9).



Şekil 2.9 Ventriküler taşikardi [31].

Ventriküler fibrilasyon, karıncıkların etkin bir kasılma yerine titreşmesi olayıdır (Şekil 2.10). Dakikada 500'ü bulan kasılmalar görülebilmektedir. Sonuçta kalp kasılıp gevşeyen bir organ olmaktan çıkıp sadece titreşen bir organ haline gelebilir. Bu durumu ortadan kaldırmak için genellikle elektro şok (defibrilatör) cihaz kullanımı gibi acil tıbbi müdahalede bulunmak gerekmektedir.



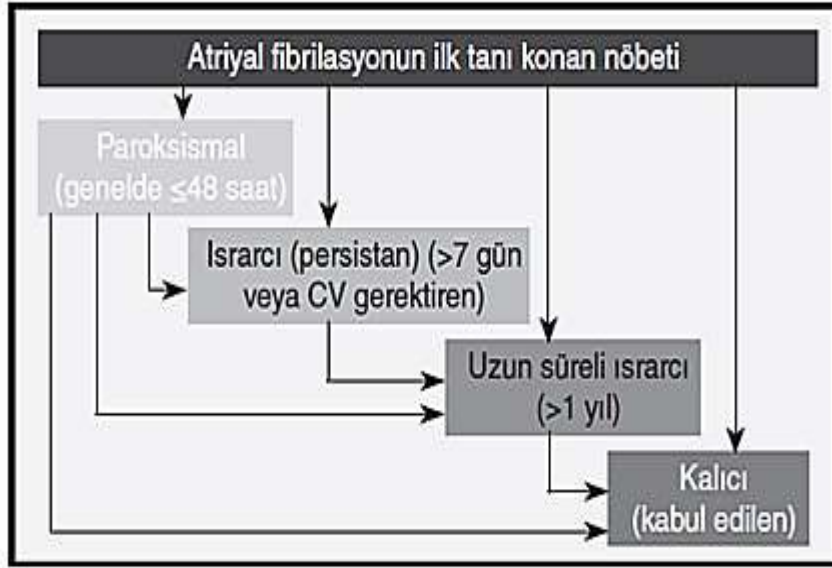
Şekil 2.10 Ventriküler fibrilasyon [31].

Bradi aritmiler ise kalbin gereğinden yavaş kasılıp gevşemesi olarak ortaya çıkmaktadır. En büyük problem yavaş atan kalbin beynin ve vücudun ihtiyaç duyduğu besini karşılayamamasıdır. Kalbin uyarı ve iletim sisteminde gerçekleşen zayıflıklardan kaynaklıdır.

2.3.2 Atriyal Fibrilasyon Türleri

AF türleri, Paroksizmal AF (PAF), Israrcı AF ve Kalıcı AF olmak üzere temelde 3 gruba ayrılmaktadır. Fakat Avrupa Kalp Derneği tarafından 5 gruba ayrılmıştır [4]. Bunlar:

1. İlk tanı konulan AF: Derecesi ne olursa olsun ilk defa AF şüphesi ile başvuran her hasta ilk tanı konan kısmında değerlendirilir.
2. Paroksizmal AF: çoğunlukla 48 saat içinde kendi kendine sonlanan ve AF atakları 7 güne kadar devam edebilen bir türdür.
3. Israrcı AF: bir AF nöbeti 7 günden uzun sürdüğünde veya ilaçlar veya doğrudan akım kardiyoversiyon (DCC) ile sonlandırma gerektiğinde mevcuttur.
4. Uzun süreli israrcı AF: 1 yıldan fazla süren
5. Kalıcı AF: normal sinüs ritmine dönüşün olmadığı türdür.



Şekil 2.11 Atriyal fibrilasyon türleri [4].

BÖLÜM 3

LİTERATÜR

PAF rahatsızlığını teşhis etmek için uygulanan geleneksel yöntemde hastaya taşınabilir bir EKG makinesi (Holter) giydirilerek AF ataklarının görülmesine yetecek kadar bir süre için EKG kaydı alınması ve uzman hekim tarafından daha sonra bu kayıtların incelenmesi şeklindedir [32]. Eğer ataklar sık görülüyorsa, hasta tarafından aktif hale getirilen olay kaydedicileri tarafından düzensiz kalp atışları hissedildiğinden itibaren cihaz aktif hale getirilip kayıt alınabilir. Her iki durumda da kayıtlar daha sonra bir tıp doktoru tarafından analiz edilir. Doktorun ilk baktığı bulgular, P dalgaları ve QRS dalga oranlarındaki düzenliliklerdir. Karıncıklardaki kompleksler, iletimde bir problem olmadığı sürece normal görünür [33].

Yukarıda bahsi geçen tespit yöntemi aslında PAF atağı gerçekleştikten sonraki aşamadır. Bir kalp uzmanının gerçek zamanlı olarak EKG'ye bakması, mevcut ve geçmiş EKG sonuçlarına göre yaklaşan bir PAF atağını tahmin etmesi beklenemez. Bu, hastadan gelen çevrimiçi verileri analiz edebilecek ve bir bölümün başlangıcını tahmin edebilecek otomatik bir hesaplama yöntemi için bir potansiyel göstermektedir. Bu konuda literatürde araştırmalar yapılmış ve 2001 yılında "Atriyal Fibrilasyon / Flutter'ı Öngörmesi" üzerine olan "Computers in Cardiology Challenge" [34] adlı bir yarışma düzenlenmiştir. Bu yarışma, kimlerin atak geçireceğini tespit etmek ve bir bölümün başlangıcını tahmin etmek için en iyi yöntemi kimlerin geliştirebileceğini görmek için yapılan bir yarışmadır.

3.1 "COMPUTERS IN CARDIOLOGY CHALLENGE 2001" YARIŞMASI

Yarışmanın amacı, PhysioNet'in kendi verilerini kullanarak EKG tabanlı PAF başlangıcını tahmin etmek için tam otomatik bir yöntemin geliştirilmesidir [34]. Herhangi bir kalp rahatsızlığı olmayan normal bireyler, PAF rahatsızlığına sahip ama PAF atağı geçirmeyen hastalar ve 30 dakikalık verinin bitiminde PAF atağı geçiren hastalar olmak üzere üç farklı gruba ait EKG verileri sağlandı. Yarışmanın genel olarak iki amacı mevcuttu:

- PAF olan ile olmayanın ayırt edilmesi (Screening) ve
- PAF rahatsızlığı olduğu bilinen hastaların, PAF atağına yakın olan ve olmayanların ayırt edilmesi (Prediction).

Her iki yarışmanın sonuçları Çizelge 3.1 ve Çizelge 3.2'de verilmiştir. Çizelgelerde verilen her bir çalışma kapsamlı bir şekilde aşağıdaki paragraflarda ele alınacaktır. Özellikle Çizelge 3.2'de verilen sonuçlar yarışmanın ikinci maddesi kapsamındaki çalışmalardır. Burada yapılanlar bu tezle doğrudan ilgili olduğu için kullanılan yöntemler ve elde edilen sonuçlara tek tek bakacağız.

Çizelge 3.1 CinC 2001 yarışma kapsamındaki PAF olan ile olmayanın ayrılmasındaki en yüksek sonuçlar.

Sıra	Yarışmacılar	Sonuç	Sonuç(%)
1	G. Schrier, P.Kastner and W. Marko	41/50	82
2	W. Zong and R.G. Mark	40/50	80
3	R. Sweeney and Colleagues	37/50	74
4	C. Maier, M. Bauch and H. Dickhaus	36/50	72
5	C. Marchesi and M. Paoletti	35/50	70
6	K.S. Lynn and H.D. Chiang	34/50	68
7	C.C. Yang	33/50	66
8	J.A. Kors	33/50	66
9	P de Chazal and C. Heneghan	32/50	64
10	R. Loesch	32/50	64

Çizelge 3.2 CinC 2001 yarışma kapsamındaki PAF atağı tahmini için en yüksek sonuçlar.

Sıra	Yarışmacılar	Sonuç	Sonuç(%)
1	W. Zong and R.G. Mark	22/28	79
2	G. Schrier, P.Kastner and W. Marko	20/28	71
3	P de Chazal and C. Heneghan	19/28	68
4	C. Maier, M. Bauch and H. Dickhaus	19/28	68
5	K.S. Lynn and H.D. Chiang	18/28	64
6	P. Langley, D di Bernardo, J. Allen and et. al.	17/28	61
7	D. Gamberger and T. Smuc	17/28	61
8	C.C. Yang	16/28	57
9	R. Sweeney and Colleagues	16/28	57
10	L. Almarro	15/28	54

Yarışmanın tahmin kısmındaki en yüksek puana sahip çalışma Zong ve Mark tarafından gerçekleştirilmiştir [10]. 30 dk'lık EKG işaretindeki PAC sayısına ve zamanlamasına bakarak çalışmayı gerçekleştirmişlerdir. Atağa yol açan olayların belirlenmesine yardımcı olacak özellikleri bulmak için tüm verileri görsel olarak incelemişler. Daha sonra, daha önce geliştirilen bir aritmi algılama algoritması kullanarak aritmik vuruları tanımlamışlar. Çalışmada, özellikle PAC vurularındaki sıklık PAF atağı gerçekleşmeden önce, vurgulayıcı bir özellik olduğu ifade edilmiştir. Onların hipotezi, çok sayıda PAC'nin vuku bulması arkasından muhtemel bir PAF atağı olacağı yönündedir.

Schrier, Kastner ve Marko [35] tarafından gerçekleştirilen çalışmada, geleneksel ön işleme tekniklerine ve istatistiksel karar mekanizmasıyla P dalgası değişkenliğinin korelasyonunu ölçmeye dayanıyordu. Bu yaklaşımda, 60 saniyelik veri aralıkları analiz edilip, düzenli aralıklarla kalp atışlarını sınıflandırıp ve P dalgalarının ortalaması alınıp temsili bir şablon oluşturulur. Bu şablona bakarak yeni kalp atımlarını karşılaştırıp olasılık dağılımı tespit edilir. PAF tarama parametresi olarak olasılık yoğunluğunun logaritması kullanılır. Sınıflandırma işlemi de, daha sonra test verisinin belirli bir eşik değerin altında olup olmadığına dayanır.

Chazal ve Henegham çalışmasında 1 dk, 5 dk, 10 dk ve 30 dk'lık KHD verileri kullanılarak 1.-6. korelasyon katsayılarını, NN50, pNN50, RMSSD ve SDDSD zaman alanı ölçümlerini, FFT frekans alanı ölçümlerini, P dalga şeklini ve spektral yoğunluklarını kullanarak PAF atağının erken tahmininde bulunmuşlardır. Sonuç olarak, RR aralıklarının güç spektral yoğunlukları ve P dalga özelliklerinin ayırt edici özelliğe sahip olduğu tespit edilmiştir [12].

Maier, Bauch ve Dickhaus'un [36] ise, EKG işaretini kübik spline interpolasyon yöntemiyle yeniden örnekleyerek 1 dakika, 5 dakika ve 30 dakika zaman dilimlerinde KHD parametrelerini hesapladılar. Ayrıca RR serisindeki erken vurularla bozulan aralıkları kaldırmak için bir filtre oluşturdu. ROC analizi yardımıyla KHD parametrelerinin tahmin ediciliği tespit edilmiştir.

Lynn ve Chiang [37] tarafından gerçekleştirilen çalışmada, PAF atağına yakın ve uzak olan kayıtlar KHD parametreleri kullanılarak iki aşamalı bir sınıflandırıcı yardımıyla sınıflandırıldı.

Langley ve arkadaşları [11] yöntemlerinde, atriyal ektojik atımların varlığını ve sayısını kullandılar. SA düğümü dürtüsü dışında bir dürtüden dolayı karıncık kasılması olduğu zaman

ektopik atımların sayısında artış olmaktadır [38]. Burada muhtemel ektopik vuruların ortalama RR aralığı değerinden %20 daha az olduğu yerler olarak ifade edilmişler [39].

PhysioNet Toolkit [40] araçlarını kullanan Gamberger ve Smuc [41] tarafından 400 ms'den daha kısa süreli KHD verileri üzerinden hızlı Fourier dönüşümü ile frekans analizi kullanıldı. Üst yarı frekans spektrumunda yüksek tepe genlik değeri de bir PAF belirleyicisi olarak kabul edilmiştir.

Yarışmada sekizinci sırada olan Yang [42] ise, RR aralıklarındaki verinin azalması (1: daha hızlı) veya artması (0: daha yavaş) şeklinde ikili bir kod atayan ayak izi analizi tekniğini kullandı. Bu şekilde, kalp atış hızı değişimine özgü üretilen 16 bitlik ikili sayı dizileri üzerinden PAF atağını tahmin etmeye çalışmışlardır.

3.2 LİTERATÜRDEKİ DİĞER PAF ERKEN KESTİRİM ÇALIŞMALARI

Yarışma haricindeki literatüre bakıldığında, Chesnokov KHD verilerinden spektral bileşenlerini, kompleks analiz ölçümlerinden örneklemeli entropi (sample entropy) ve yaklaşık entropi (approximate entropy) ölçümlerinin yanında çok ölçekli entropi (multi scale entropy) yöntemlerini öznitelik çıkarımında kullanmıştır. Sonuç olarak, istatistiksel olarak PAF atağı öncesinde spektral bileşenlerin arttığını ve örneklemeli entropi ile yaklaşık entropi değerlerinde azalmaların olduğu ifade edilmiştir [13].

Mohebbi ve Ghassemian 30 dk'lık KHD verilerinden elde ettikleri spektral, bispektral ve doğrusal olmayan ölçümleri öznitelik olarak kullanmışlardır. Bu çalışmada, araştırmacılar LF ve HF bantlarındaki spektral güçlerin PAF atağından önce arttığını ifade etmişlerdir. Bispektral ölçümlerde ise PAF atağından uzak olan verilerde faz eşleşmeleri gözlemlenirken PAF atağı yaklaştıkça bu faz eşleşmeleri azalmaktadır. Bununla beraber Poincare ölçümlerinin de etkili bir PAF atağı uyarıcısı olduğunu belirtmişlerdir [14].

Başka bir çalışmada, Boon ve arkadaşları ektopik verilerden arındırılmış 5dk, 10dk, 15dk, 20dk ve 30 dk verileri üzerinden çalışma gerçekleştirilip PAF atağından önceki bu zaman dilimlerindeki farklılıkları not etmişlerdir. KHD zaman alanı ölçümlerini, frekans alanı ölçümlerini, doğrusal olmayan ölçümlerini ve bispektrum yöntemlerini öznitelik çıkarmada kullanmışlardır. GA kullanarak sınıflandırıcı parametrelerini belirlemişlerdir. Sonuç olarak, 30 dk'lık verilerden

daha kısa verilere doğru başarımın azaldığı fakat yine de kabul edilebilir başarımlara sahip olduğunu belirtmişlerdir [15].

Boon ve arkadaşlarının yaptıkları başka bir çalışmada ektopik verilerden arındırılmış 5dk'lık PAF rahatsızlığına sahip olup PAF atağı geçiren ve geçirmeyen KHD verileri kullanılmıştır. KHD zaman alanı ölçümleri, frekans alanı ölçümleri (FFT, AR model ve bispektrum tabanlı), doğrusal olmayan ölçümlerden örneklemeli entropi ve Poincare çizim ölçümleri öznitelik olarak kullanılmıştır. GA yardımıyla öznitelik seçimi yapılarak PAF erken tespiti için model belirlenmiştir [16].

Thong ve arkadaşları tarafından, yarışmadaki verisetleri kullanılarak, veriler içindeki PAC vuru sayısı ve paroksizmal atriyal taşikardi bulunup bulunmadığı üzerinden tahmin etmeye çalışmışlardır [43].

Pourbabaee ve arkadaşları yarışmadaki verileri kullanarak P dalgası ve QRS yapısının özelliklerini, T dalga süresini ve hem Lomb hem FFT tabanlı frekans alanı ölçümlerini öznitelik olarak kullanmışlardır. Temel Bileşen Analizi ve Normalleştirme (whitening) ile öznitelik seçimi yapıldıktan sonra KNN, Bayes, MLP sınıflandırıcıları kullanmışlardır [44].

Pourbabaee ve Lucas'ın başka bir çalışmasında, yarışmadaki verisetleri kullanarak P dalgasının ve QRS yapısının özelliklerinden öznitelikler elde edilmiştir. Burada AR model ve dalgacık dönüşümü tabanlı frekans alanı ölçümleri ile doğrusal olmayan enerji gibi öznitelikler hesaplanmıştır. Daha sonra, Temel Bileşen Analizi ve sıralı ileri yönlü seçim ile öznitelik seçimi yapılarak KNN, Bayes ve MLP sınıflandırıcıları kullanılmıştır [18].

Ros ve arkadaşlarının gerçekleştirdiği çalışmada, yarışmadaki verisetleri kullanılarak P dalga morfolojisi ve EKG izi ölçümleri üzerinden k yakın komşu (KNN) sınıflandırıcısı kullanılmıştır [21].

Costin ve arkadaşları da yarışmadaki verisetlerinin sadece 5 dk'lık kısmını kullanmışlardır. KHD ölçümlerinden SDANN ve LF/HF hesaplanmış olup ayrıca QRS yapısının morfolojik değişimi için de SDANN ve LF/HF ölçümleri hesaplanmıştır. İstatistiksel testlerden t testi uygulanmıştır. KHD ve morfolojik değişim parametrelerinin birlikte kullanımı halinde daha başarılı sonuç verdiği ortaya konulmuştur [45].

Martinez ve arkadaşları kendi kayıt ettikleri 2 saatlik verileri, PAF atağına yakın ve uzak olarak birer saatlik iki kısma ayırıp çalışmayı gerçekleştirmişlerdir. P dalga süresini, genliğini, değişkenliğini, değişkenliğinin spektral güç yoğunluklarını ve doğrusal olmayan ölçümlerini öznitelik olarak kullanmışlardır. Özellikle PAF atağına yaklaştıkça P dalgasının doğrusal olmayan dinamiklerinden merkezi eğilim ölçüsünün (Central Tendency Measures, CTM) başarılı bir belirteç olduğunu vurgulamışlardır [19].

Alcaraz ve arkadaşlarının EKG üzerindeki P dalgası spektral değişimlerini kullanarak çalışmalarını gerçekleştirmişlerdir. P dalgası otoregresif spektrum tahmininden çıkarılan özniteliklerin PAF atağına yaklaştıkça artan bir değişkenlik eğilimi gösterdiğini belirtmişlerdir [20].



BÖLÜM 4

ÖRÜNTÜ TANIMA YÖNTEMLERİ

Genel bir örüntü tanıma yöntemi sırasıyla (1) verilerin elde edilmesi, (2) verilerdeki istenmeyen girişimlerin yok edilmesini içeren ön işlem yapılması, (3) probleme özgü öznitelik çıkarılması, (4) problemi çözmeye yönelik anlamlı özniteliklerin seçilmesi, (5) sınıflandırma ve (6) sınıflandırma performansının değerlendirilmesi adımlarından oluşmaktadır (Şekil 4.1). Bu bölümde, KHD analizi çalışmalarına yönelik olarak özelleştirilmiş örüntü tanıma yöntemleri kısaca tanıtılmaktadır.



Şekil 4.1 Genel bir örüntü tanıma sistemi akış şeması.

4.1 KALP HIZI DEĞİŞKENLİĞİ ANALİZİ VERİLERİNİN ELDE EDİLİŞİ

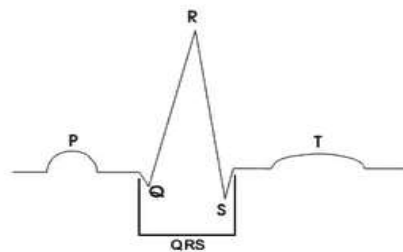
KHD analizinin kullanımı son 50 yılda oldukça popüler hale gelmiştir. KHD otonom sinir sisteminin (OSS) bir göstergesi olarak kabul edilmektedir. OSS'deki parasempatik bölümü kalp atımlarını yavaşlatırken, sempatik bölüm kalp atım hızlarını arttırmaktadır [46]. Sonuç olarak KHD'nin kaynağının bu değişimler olduğu ifade edilmektedir [47-49].

KHD'nin varlığı ilk olarak 1965 yılında anne karnında olan bir bebeğin stres altında kalp hızındaki değişmelerin fark edilmesiyle ortaya çıkmış [50] ve sonrasında çalışmalar hız kazanmıştır [51-54]. Ewing ve arkadaşları 1970'li yıllarda diyabet hastalarında otonomik nöropati tespiti ile ilgili çalışmalarında KHD'nin etkili bir gösterge olduğunu göstermişlerdir [55]. KHD ile ilgili yapılan diğer çalışmalarda, kalp krizi geçiren hastalarda KHD değerinin düşük çıkması tespitinin ardından kalp krizine bağlı ölüm oranlarının tespitinde KHD ön plana çıkmıştır [56-61].

1996 yılında ESC/NASPE Task Force adlı bir grup bilim adamınının KHD ile ilgili standartları belirlemeleri, KHD'nin klinik kullanımı yönünden oldukça önemlidir [62]. Bu çalışmada, KHD analizi ve yapılacak ön işlemlerin ne olması gerektiği ve dikkat edilmesi gereken hususlar ve standart KHD ölçümleri ifade edilmiştir.

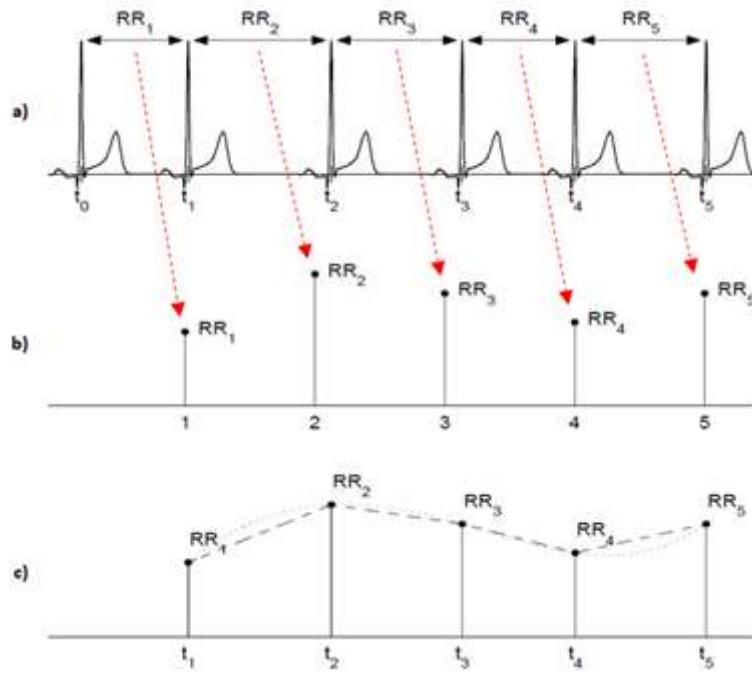
KHD, özellikle OSS ve kardiovasküler sistemlerinin bir ifade edicisi olması yönüyle birçok hastalığın teşhis edilmesinde de kullanılmaktadır [63-68]. EKG işaretine göre daha az veri boyutuna sahip olması gerçek zamanlı uygulamalar için araştırmacılara daha fazla fayda sağlamaktadır.

KHD verilerinin elde edilmesi EKG işaretindeki en yüksek genlik değerine sahip dalga formu olan QRS dalga formundaki R noktalarının tespit edilmesiyle mümkündür (Şekil 4.2).



Şekil 4.2 EKG işaretindeki QRS yapısı.

QRS tespit edildikten sonra ardışık gelen RR zaman aralıkları arasındaki zaman farkı bize KHD işaretini verir. Şekil 4.3’de gösterildiği gibi, yani, $RR(k) = t(k) - t(k - 1)$ olarak ifade edilir. Şekil 4.3a’da EKG işareti üzerindeki RR zaman aralıkları gösterilmektedir. Şekil 4.3b’de belirlenen RR aralıklarının sırayla ardışık sayılarla ifade edilen takogram gösterimi bulunmaktadır. Şekil 4.3c’de her bir KHD verisinin hangi zamanda oluştuğu gösterilmektedir. Son kullanım zaman bilgisini içermesi ve daha anlamlı olması sebebiyle daha çok tercih edilmektedir [62]. Çizelge 4.1’de KHD verilerinin takogram ve fonksiyonel gösterimi sayısal ifadelerle verilmiştir.



Şekil 4.3 a) EKG işaretinden KHD işaretinin gösterimi, b) KHD işaretinin takogram gösterimi, c) KHD işaretinin fonksiyonel gösterimi ve interpolasyonu [69].

Çizelge 4.1 KHD (RR aralığı) gerçek değerler üzerinden takogram ve fonksiyonel gösterimi.

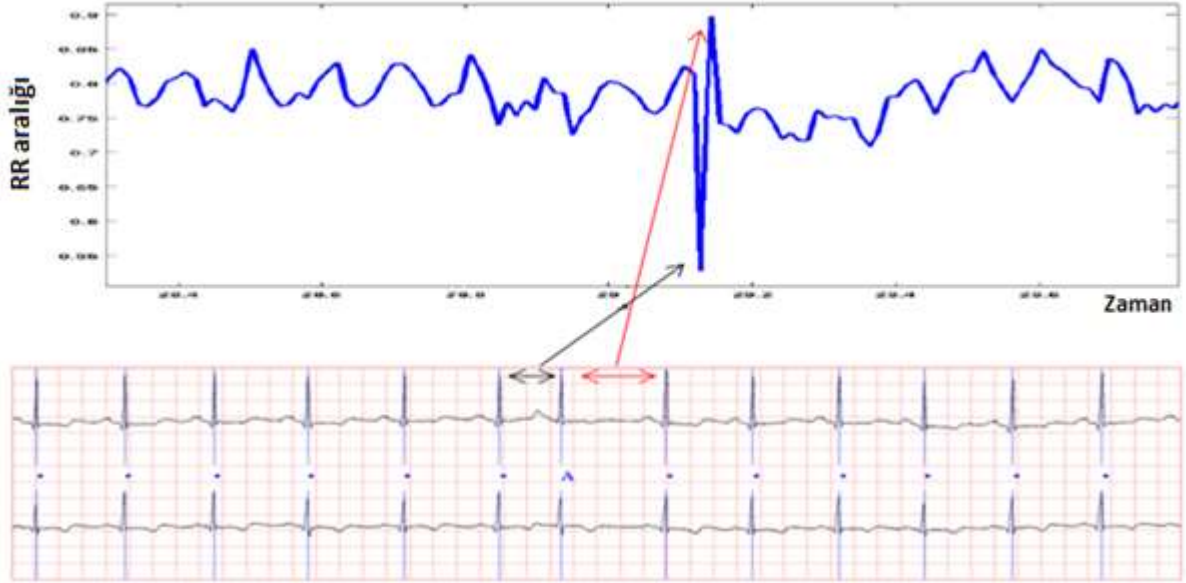
RR aralık gösterimi	Ardışık Vurular	Takogram Gösterimi		Fonksiyonel Gösterim	
		KHD Verisi (ms)	Zaman	KHD Verisi (ms)	Zaman (sn)
RR ₁	R ₁ -R ₀	785	1	785	0.785
RR ₂	R ₂ -R ₁	920	2	920	1.705
RR ₃	R ₃ -R ₂	828	3	828	2.533
RR ₄	R ₄ -R ₃	798	4	798	3.331
RR ₅	R ₅ -R ₄	885	5	885	4.216

4.2 KHD VERİLERİNDE ÖNİŞLEMLER

Biyomedikal veriler başta olmak üzere üzerinde çalışılan tüm sinyallerin toplanırken bozulabileceği ve istenmeyen işaretlerin içerisinde olabileceği göz önünde bulundurulmalıdır. Cihazlardan, ortamda kullanılan aparatlardan biyomedikal işaretler hemen etkilenmektedir. Bu etkilerden KHD verilerini arındırmak için gereken ön işlem adımları aşağıdaki bölümlerde tanıtılacaktır.

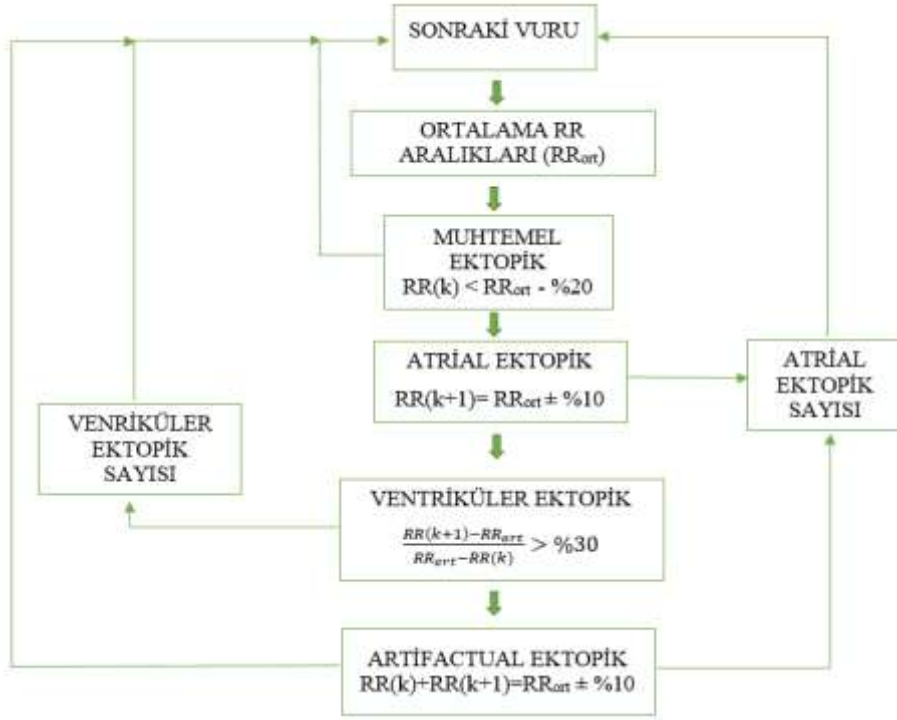
4.2.1 Ektopik Vuruların Kaldırılması

KHD verileri kullanılarak yapılan birçok çalışmada ektopik vuruların kaldırılması yönünde görüşler bulunmaktadır. Ektopik vurular kalbin SA düğümü kaynaklı normal vurusu dışında gerçekleşen kulakçık ya da karıncık menşeli vurulardır. Şekil 4.4’de ektopik vuru örneği gösterilmiştir.



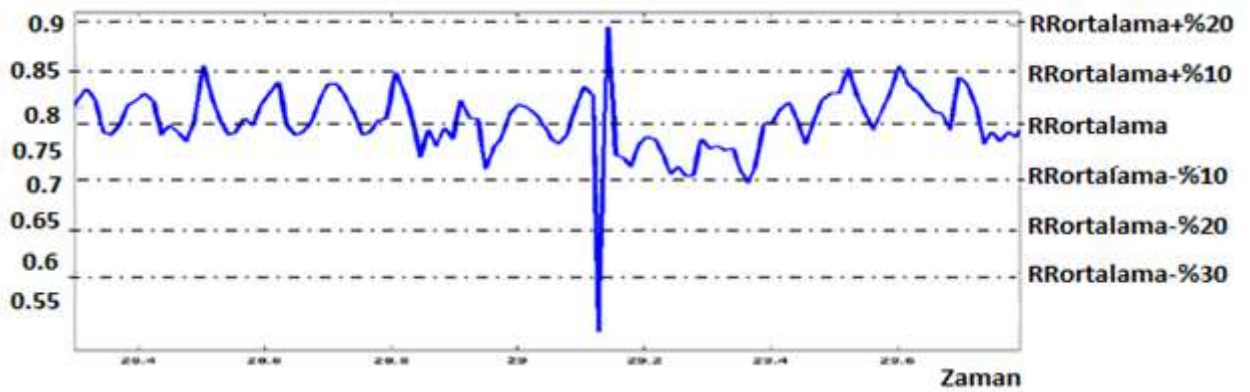
Şekil 4.4 EKG ve KHD verileri (RR) üzerinde ektopik vuru örneği.

Ektopik vuruların kaldırılması KHD ölçüm sonuçlarına etki yaptığı literatürde ifade edilmektedir [69-71]. Ektopik vuruların tespit edilmesi ile ilgili yöntem Şekil 4.5’de gösterilen akış diyagramında gösterilmiştir.



Şekil 4.5 Ektopik vuruların tespiti ve türünün belirlenmesi akış şeması [11].

Langlely ve arkadaşlarının önerdiği algoritmada KHD verilerindeki muhtemel ektopik vurular, ortalama RR değerinin %20'den fazla aşağı düşen vuruları için tanımlanmaktadır [11]. Bu çalışmaya göre ektopik vurulardan sonra gelen vuru ortalama RR süresinden $\pm 10\%$ içinde olursa kulakçık kökenli PAC vurusu ve $\pm 30\%$ 'dan daha uzun sürede olursa karıncık kökenli PVC vurusu olduğu sonucuna ulaşılır (Şekil 4.6).



Şekil 4.6 RR verileri üzerinde ektopik vuru tespiti örneği.

4.2.2 İnterpolasyon

Bilinen değerlerden yararlanılarak, bu değerler arasında bilinmeyen bir noktadaki değer yada değerlerin tespit edilmesine interpolasyon denir. Eşit aralıklarla örneklenmemiş veriler için eşit aralıklardaki değerlerin tahmin edilmesinde kullanılmaktadır. İki'den fazla noktası belli olan bir veri için iki nokta arasındaki üçüncü dereceden denklem şu şekilde ifade edilir:

$$S_i(x) = a_i(x - x_i)^3 + b(x - x_i)^2 + c_i(x - x_i) + d_i \quad i=1,2,\dots, n-1 \text{ için} \quad (4.1)$$

Birden fazla nokta arasındaki tüm denklemler:

$$S(x) = \begin{cases} S_1(x) & \text{eğer } x_1 \leq x < x_2 \\ S_2(x) & \text{eğer } x_2 \leq x < x_3 \\ \vdots & \vdots \\ S_{n-1}(x) & \text{eğer } x_{n-1} \leq x < x_n \end{cases} \quad (4.2)$$

olarak ifade edilmektedir. $S_i(x)$ olarak ifade edilen fonksiyonların birinci ve ikinci dereceden türevleri:

$$S'_i(x) = 3a_i(x - x_i)^2 + 2b_i(x - x_i) + c_i \quad (4.3)$$

$$S''_i(x) = 6a_i(x - x_i) + b_i \quad i=1,2, \dots n-1 \text{ için} \quad (4.4)$$

Kübik spline interpolasyon yönteminin 3 temel özelliği vardır. Bu özellikler sağlanırsa S fonksiyonuna interpolasyon işlemi yapılabilir.

- 1) $S(x)$ denklemi $[x_1, x_n]$ aralığında sürekli olmalı.
- 2) $S'(x)$ birinci türev ifadesi $[x_1, x_n]$ aralığında sürekli olmalı.
- 3) $S''(x)$ ikinci türev ifadesi $[x_1, x_n]$ aralığında sürekli olmalı.

Doğal kübik spline yöntemi kullanılarak genel formüller şu şekildedir:

$$S_i(X) = \frac{a_i}{6h_i}(x_{i+1} - x)^3 + \frac{a_{i+1}}{6h_i}(x - x_i)^3 + \left[\frac{y_i}{h_i} - \frac{a_i h_i}{6} \right] (x_{i+1} - x) + \left[\frac{y_{i+1}}{h_i} - \frac{a_{i+1} h_i}{6} \right] (x - x_i) \quad (4.5)$$

$$x_1 \leq x \leq x_2, \quad i = 1, 2, 3, \dots, n - 1$$

Burada, y değeri bilinen noktanın değeridir. h adım büyüklüğü parametresi şu şekilde ifade edilir:

$$h_i = x_{i+1} - x_i \quad (4.6)$$

Burada $a_0 = 0$ ve $a_n = 0$ alınırsa geriye kalan a değerlerinin çözümü:

$$h_i a_i + 2(h_i + h_{i+1})a_{i+1} + h_{i+1}a_{i+2} = 6 \left(\frac{y_{i+2} - y_{i+1}}{h_{i+1}} - \frac{y_{i+1} - y_i}{h_i} \right), \quad (4.7)$$

$$i = 1, 2, 3, \dots, n-2$$

denklemlerle bulunmaktadır [72].

4.2.3 Eğilim Yok Etme

KHD verileri durağan olmayan eğilimli işaretlerdir. KHD ölçümleri elde edileceği zaman bu eğilimin yok edilerek işaret durağan hale getirilir [73-75]. Tarvenin ve arkadaşlarının önerdiği eğilim yok etme yöntemi Smoothness Priors yöntemidir:

RR zaman aralıkları $Z \in R^N$ olmak üzere

$$Z = (RR_1, RR_2, \dots, RR_N) \quad (4.8)$$

olarak yazılabilir. N değeri RR aralıklarının toplam sayısıdır. RR işaretini oluşturan Z ifadesi,

$$Z = Z_{DURAGAN} + Z_E \quad (4.9)$$

olarak iki ayrı bileşen olarak yazılır. $Z_{DURAĞAN}$, durağan olan işareti ifade ederken; Z_E , düşük frekanslı periyodik olmayan eğilim bileşenini ifade etmektedir. Eğilim bileşeni doğrusal gözlem ile şu şekilde modellenebilir:

$$Z_E = H\Theta + v \quad (4.10)$$

Burada H, gözlem matrisi olarak ifade edilmektedir. Θ , regresyon parametresi ve v ifadesi gözlem hatasıdır. Bu parametreleri tespit etmek için bazı uyarılama yöntemleri kullanılabilir ($\hat{z}_E = H\hat{\Theta}$). Tahminler, temel vektörlerin özelliklerine bağlıdır. Regresyon parametresinin tahmini yaygın olarak kullanılan en küçük kareler yöntemidir. Genel bir yaklaşımla, düzenleştirilmiş en küçük kareler çözümü ile

$$\hat{\theta}_\lambda = \operatorname{argmin}\{\|H\Theta - z\|^2 + \lambda^2 \|D_d(H\Theta)\|^2\} \quad (4.11)$$

yazılabilir. Burada λ , düzenlilik parametresidir. D_d , d -inci mertebeden türev operatörünün ayrık yaklaşımını ifade eder. Bu, standart en küçük kareler çözümünün yan norm $\|D_d(H\Theta)\|^2$ şeklindeki daha küçük hale geldiği modifikasyonudur. Bu şekilde, tahmin edilen eğilim $H\Theta$ hakkında önceden bilgi elde edilebilir. Tekrardan bir önceki denklem yazılırsa:

$$\hat{\theta}_\lambda = (H^T H + \lambda^2 H^T D_d^T D_d H)^{-1} H^T z \quad (4.12)$$

$$\hat{z}_E = H\hat{\theta}_\lambda \quad (4.13)$$

Burada, \hat{z}_E yok edilmesi hedeflenen tahmin edilen eğilim değeridir. KHD çalışmalarında genellikle ikinci mertebeden türev operatörü yeterli olduğundan, eğilimi kaldırılmış veri

$$z_{DURAĞAN} = z - H\hat{\theta}_\lambda = (I - (I + \lambda D_2^T D_2)^{-1})z \quad (4.14)$$

olarak ifade edilmektedir. Daha detaylı bilgi için ilgili referanslara başvurulabilir [75-77].

4.3 ÖZİNİTELİK ÇIKARIMI

Biyomedikal sinyallerden elde edilen verilerin artmasıyla bu veriler üzerinden elde edilecek özneliklerde de çeşitliğe ve artışa neden olmuştur. Otomatik teşhis sistemlerinde verilerin üzerinden elde edilen ölçümler çok önemlidir. Çünkü teşhisin sağlıklı ve tam olması için analiz edilecek verileri iyi temsil eden özneliklerin tercih edilmesi gerekmektedir. Gelecek kısımlarda KHD zaman alanı ölçümleri, KHD frekans alanı ölçümleri (hızlı Fourier dönüşümü (FFT), Lomb-Scargle yöntemi ve Dalgacık dönüşümü tabanlı) ve KHD doğrusal olmayan ölçümlerinden olan Poincare çiziminden bahsedilecektir. Son olarak ise verilerin ölçeklenmesi işlemi olan normalizasyon yöntemleri el alınacaktır.

4.3.1 KHD Zaman Alanı Ölçümleri

KHD verilerinin zaman boyutundaki istatistiksel değerlerinin ifadesi olarak tanımlanır. KHD ölçümleri içerisinde en pratik ve en az zaman alan ölçümlerdir [75, 78]. KHD verisi çalışmalarında ölçülen genel zaman alanı ölçümleri şu şekilde ifade edilmektedir.

$$AVNN = \overline{RR} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N RR_i \quad (4.15)$$

$$SDNN = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (RR_i - \overline{RR})^2} \quad (4.16)$$

$$RMSSD = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^{N-1} (RR_{i+1} - RR_i)^2} \quad (4.17)$$

$$SDSD = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^{N-1} (|RR_{i+1} - RR_i| - \overline{RR})^2} \quad (4.18)$$

$$NN50 = \sum_{i=1}^{N-1} \{ |RR_{i+1} - RR_i| > 50ms \} \quad (4.19)$$

$$pNN50 = \frac{NN50}{N} \times 100 \quad (4.20)$$

$$NN20 = \sum_{i=1}^{N-1} \{|RR_{i+1} - RR_i| > 20ms\} \quad (4.21)$$

$$pNN20 = \frac{NN20}{N} \times 100 \quad (4.22)$$

Burada, RR_i : i. KHD verisini, N : KHD verisi sayısını, $AVNN$ (yada \overline{RR}) :ortalama KHD değerini, $SDNN$: KHD verisinin standart sapmasını, $SDSD$: birbirini takip eden KHD verilerinin farklarının standart sapmasını, $RMSSD$: birbirini takip eden KHD verilerinin karekök ortalama (RMS) değerini, $NN50$: birbirini takip eden KHD verilerinin farkları 50 ms'den büyük olanların sayısını, $NN20$: birbirini takip eden KHD verilerinin farkları 20 ms'den büyük olanların sayısını, $pNN50$: $NN50$ değerinin oranını, $pNN20$: $NN20$ değerinin oranını ifade etmektedir [62].

4.3.2 KHD Frekans Alanı Ölçümleri

Zaman alanı ölçümlerinde işaretin zaman ekseninde nasıl değiştiği zaman-genlik ekseninde gözlemlenebilir. Fakat zaman ekseni vücuttaki sempatik ve parasempatik değişimleri tam olarak göstermez. OSS'nin göstergesi olduğu ifade edilen frekans alanı ölçümleri üzerine birçok çalışma bulunmaktadır. Frekans alanında işaretin frekans bantlarındaki değerleri bulunarak hangi frekans değerlerinde nasıl değiştikleri gözlemlenebilmektedir. KHD verilerindeki frekans değişimleri ilk defa 1981 yıllarında uygulanmıştır [79]. Frekans alanı ölçümleri kapsamında üç farklı frekans bandı vardır. Bunlar Task Force adlı bir grubun 1996 yılında yayınladıkları çalışmada şu şekilde ifade edilmektedir: Çok düşük frekans (VLF) bandı, bu bantta frekans değerleri 0-0.04 Hz arasındadır. İkinci bant ise düşük frekans (LF) bandıdır. Bu bantta frekans aralığı 0.04-0.15 Hz arasındadır ve son bantta yüksek frekans (HF) bandı bulunmaktadır. Bu bandın frekans aralığı 0.15-0.40 Hz olarak ifade edilmiştir [62].

Bu bantların fizyolojik karşılıkları literatürde ifade edilmiştir. Çok düşük frekans bileşenleri (VLF) gündelik yaşam içindeki vücut için gerekli faaliyet düzeninin göstergesidir [80, 81] ve aynı zamanda vücut ısısı ile hormonal dengenin göstergesidir [81]. Düşük frekans bileşeni (LF) ise, sempatik ve parasempatik aktivitenin göstergesinde kullanılırken [82] ve yüksek frekans (HF) bileşeni de parasempatik aktivite ve solunumla ilgili oluşan sinüs aritmisi rahatsızlıklarının göstergesinde [83,84] kullanılmaktadır. Çizelge 4.2’de verilen frekans bileşenleri KHD frekans ölçümleri içerinden en çok kullanılan ölçümlerdir.

Çizelge 4.2 En sık kullanılan KHD-frekans alanı ölçümleri ve tanımları.

VLF	VLF frekans bandı gücü
LF	LF frekans bandı gücü
HF	HF frekans bandı gücü
TOPLAM GÜÇ	Toplam güç (VLF+LF+HF)
LF/HF	LF/HF oranı

4.3.2.1 Hızlı Fourier Dönüşümü

Hızlı Fourier dönüşümü, ayrık Fourier dönüşümün hızlı ve etkili bir algoritmasıdır. N adet eşit zaman aralıklarıyla örneklenmiş ve zaman alanında ortalama ve varyans değeri değişmeyen x işaretinin Ayrık Fourier Dönüşümü (AFD) şu şekilde bulunabilir:

$$X(k) = \sum_{n=0}^{N-1} (x(n)e^{-j2\pi kn/N}) \quad (4.23)$$

burada $k = 0, \mp 1, \mp 2, \dots, \mp(N - 1)$.

Denklemdaki N dizi uzunluğunun yüksek olması durumunda AFD’nin doğrudan hesaplanması işlem miktarını çok fazla arttırmaktadır. Yani, N sayısının artması işlem sayısını kabul edilemez bir seviyeye doğru gitmesine neden olmaktadır. Bu soruna çözüm olarak, hesaplamayı daha hızlı bir şekilde yapan ve aynı sonucu veren Hızlı Fourier Dönüşümü (FFT) yöntemi kullanılmaktadır [83]. Güç spektral yoğunluğu:

$$P_x = \frac{1}{N} \sum_{k=0}^{N-1} |X(k)|^2 = \frac{1}{N} \sum_{k=0}^{N-1} \left| \sum_{n=0}^{N-1} (x(n) e^{-j2\pi kn/N}) \right|^2 \quad (4.24)$$

şeklinde bulunur.

4.3.2.2 Lomb-Scargle Periyodogram Yöntemi

Lomb-Scargle Periyodogram Yöntemi (LS), yeniden örnelemeye ve eğilim yok etmeye gerek kalmadan güç spektral yoğunluğu hesabının yapıldığı yöntemdir [70,85-87]. Lomb algoritması, veriye doğrudan sinüs dalgaları uydurarak spektrumu hesaplamak için doğrusal olmayan en küçük kareler tekniğini kullanmaktadır. Bu algoritma Lomb (1976) tarafından bulunmuş ve Scargle (1982) tarafından geliştirilmiştir. Bu yöntemde kullanılan matematiksel formül:

$$P(w) = \frac{1}{2\sigma^2} \left\{ \frac{[\sum_{i=0}^{N-1} (x_i - \hat{x}) \cos(w(t_i - \tau))]^2}{\sum_{i=0}^{N-1} \cos^2(w(t_i - \tau))} + \frac{[\sum_{i=0}^{N-1} (x_i - \hat{x}) \sin(w(t_i - \tau))]^2}{\sum_{i=0}^{N-1} \sin^2(w(t_i - \tau))} \right\} \quad (4.25)$$

Burada

$$\tau \equiv \frac{1}{2w} \tan^{-1} \left(\frac{\sum_{i=1}^N \sin(wt_i)}{\sum_{i=1}^N \cos(wt_i)} \right) \quad (4.26)$$

ifadesi ile bulunur. Burada, $w = 2\pi f$ olmak üzere, τ değeri ofset değerini, x yöntemin uygulandığı işareti, \hat{x} işaretin ortalama değerini, t_i i. örnek zamanını, σ^2 örneklerin varyans değerini ifade etmektedir.

Scargle (1982), sonuç periodogram değerlerinin eşit dağılımlı veri ile aynı olasılık dağılımına sahip olduğunu ispatlamıştır. Gerek sayısal testlerle gerekse teorik olarak incelendiğinde Fourier Dönüşümü ve Lomb algoritmasının benzer sonuçları verdiği görülmektedir [86].

4.3.3 KHD Zaman-Frekans Alanı Ölçümleri

Bir işaretin hangi zamanda hangi frekans bilgisine sahip olduğu zaman – frekans dönüşümleri ile tespit edilebilir. Sadece frekans alanında yapılan ölçümlerde işaretin tümünün üzerinden frekans bileşenleri bulunur. Dolayısıyla tüm işaret hakkında frekans bilgisi elde edilmiş olur.

Belli bir zaman diliminde anlık değişimlerin izlenebilmesi zaman-frekans ölçümleri ile mümkündür. Takip eden başlıklarda zaman–frekans ölçümlerinde kullanılan dalgacık dönüşüm ölçümleri ve dalgacık entropi ölçümlerinden bahsedilecektir.

4.3.3.1 Dalgacık Dönüşümü

Dalgacık dönüşümü, spektrumdaki ani değişimlerin analizini sağlar ve durağan olmayan sinyaller için de uygun bir yöntemdir. Dönüşümü yapılacak sinyal ile ana dalgacık fonksiyonu arasındaki ilişkinin bir ölçüsüdür. Dalgacık dönüşümünde kullanılan temel fonksiyon aşağıdaki gibidir:

$$W(k, \tau) = \int x(t) \frac{1}{\sqrt{k}} \psi\left(\frac{t-\tau}{k}\right) dt \quad (4.27)$$

Burada $\psi(\cdot)$, ana dalgacık fonksiyonu iken, $x(t)$, dalgacık dönüşümü alınacak işarettir. $W(k, \tau)$ ise sinyal ve seçilen ana dalgacık fonksiyonu arasındaki ilişkiyi farklı ölçeklerde temsil eden dalgacık katsayılarıdır. τ , ana dalgacık sinyalinin kaydırma parametresi iken k değeri de ölçekleme parametresidir.

Ayrık dalgacık dönüşümü, ayrık zamandaki işaretin kaydırma ve ölçekleme parametreleri ile elde edilebilir. Ayrık dalgacık fonksiyonu şu şekilde yazılabilir:

$$\Psi_{j,k}(X) = 2^{-\frac{j}{2}} \Psi(2^{-j}x - k) \quad (4.28)$$

Yukarıdaki denklemde j ölçekleme parametresi ve k kaydırma parametresidir. Ayrık dalgacık dönüşüm katsayıları:

$$C_{l,k} = 2^{\frac{j}{2}} \int f(x) \Psi(2^j x - k) dx \quad (4.29)$$

Fonksiyonu ile elde edilir. İşaret ayrıştığında, ölçekleme fonksiyonu ve dalgacık fonksiyonu olarak şu şekilde gösterilir:

$$\Phi(x) = \frac{1}{\sqrt{2}} \sum_k h(k) \Phi(2x - k) \quad (4.30)$$

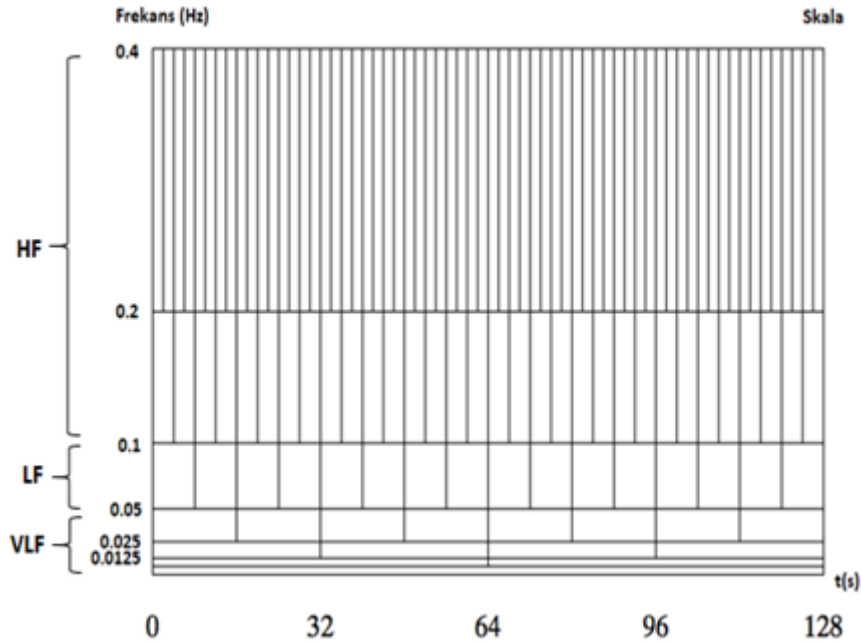
$$\Psi(x) = \frac{1}{\sqrt{2}} \sum_k g(k) \Phi(2x - k) \quad (4.31)$$

Burada $g(k)$ ve $h(k)$ filtre katsayılarıdır. j . seviyedeki detay ve yaklaşık katsayılarını elde etmek için $(j-1)$. Seviyedeki katsayılar alçak ve yüksek geçiren filtrelere giriş olarak uygulanır. Sonuç olarak, yaklaşık katsayıları ve ayrıntı katsayıları şu şekilde bulunur:

$$A_{j,n} = \sum_k c_{j-1,k} h(k - 2n) \quad (4.32)$$

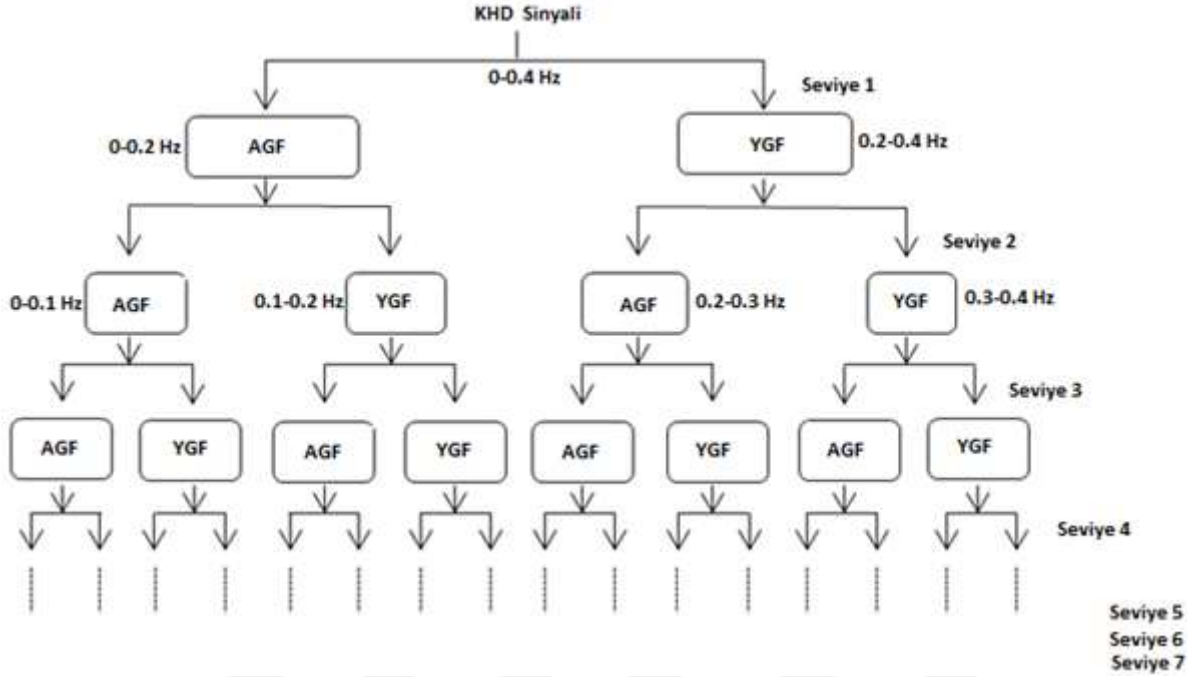
$$D_{j,n} = \sum_k c_{j-1,k} g(k - 2n) \quad (4.33)$$

Elde edilen datayı ve yaklaşık katsayıları ile frekans bant bilgileri Şekil 4.7’de gösterildiği gibi elde edilir.



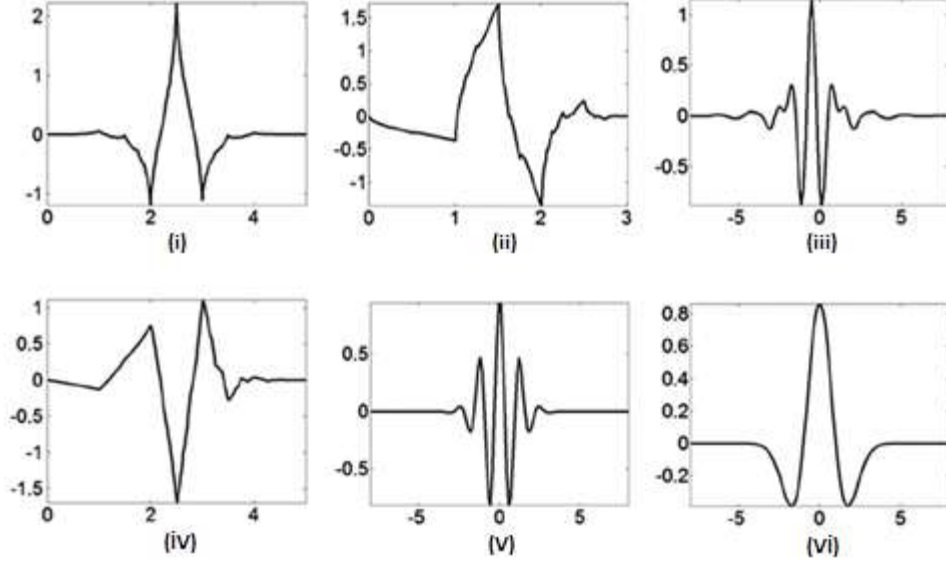
Şekil 4.7 Dalgacık dönüşümünde frekans-zaman çizimi ve bant aralıklarının elde edilmesi [88].

Dalgacık paketi dönüşümü, ayrık dalgacık dönüşümünün genelleştirilmiş versiyonundan başka bir şey değildir. Dalgacık paket dönüşümünde, dönüştürülecek sinyal bir dalgacık fonksiyonu yardımıyla yüksek ve alçak filtrelerden geçirilir ve ayrıntılı olarak alt bileşenlere ayrılır Şekil 4.8.



Şekil 4.8 Yedi seviyeli dalgacık paket dönüşümü gösterimi.

Dalgacık dönüşümünde en önemli parçalardan biri ana dalgacık fonksiyonunun seçimidir. Ana dalgacık fonksiyonları olan Coiflets, Daubechies, Meyer, Symlets, Morlet, Mexican hat dalgacık fonksiyonları Şekil 4.9’da gösterilmiştir [89].



Şekil 4.9 (i) Coiflets dalgacık (ii) Daubechies dalgacık (iii) Meyer dalgacık (iv) Symlets dalgacık (v) Morlet dalgacık (vi) Mexican dalgacık.

4.3.3.2 Dalgacık Entropisi

Rasgele bir değişkenin entropisi, değişkenin sahip olduğu düzenliliğin derecesini yansıtır. Değişken ne kadar belirsiz olursa, entropisi de o kadar büyük olur [90]. Bu sebeple dinamik sinyallerde yararlı bilgiler elde edilebilir [91, 92]. Yani, çok düzenli olan bir işaretin dalgacık entropisi sıfıra yakın çok düşük bir değer olarak elde edilirken Tamamen rastgele bir işaretin ise dalgacık entropi değerleri yüksek çıkabilir [93].

Bu yönüyle Dalgacık Entropisi, Dalgacık dönüşüm yöntemleri içerisinde oldukça sık kullanılan bir ölçümdür [63, 91-93].

Dalgacık entropisinin genel formülü şu şekildedir:

$$W_{ENTROPİ} = - \sum_{j \in f} \left(\frac{C_j^2}{\sum_{j=1}^N C_j^2} \log_2 \left(\frac{C_j^2}{\sum_{j=1}^N C_j^2} \right) \right) \quad (4.34)$$

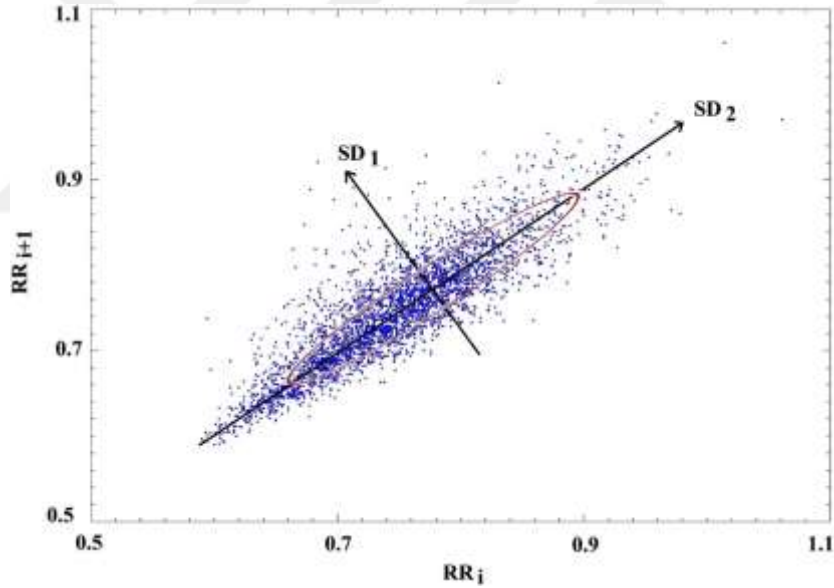
Burada, C_j son dalgacık seviyesinin j-inci katsayısını göstermektedir. C_j^2 ise j-inci katsayısını enerjisini ifade etmekte ve bazı kaynaklarda E_j olarak gösterilmektedir.

4.3.4 KHD Doğrusal Olmayan Ölçümleri

Biyomedikal işaretlerin ihtiva ettikleri bileşenlerin analiz edilip işaretin doğrusal olmayan bileşenlerinin tespit edilmesi hedeflenmektedir. Özellikle kalbin düzensiz olarak vurular sergilemesi KHD gibi işaretlerde doğrusal olmayan bileşenlerin var olacağı düşünülmektedir. KHD üzerine yapılan birçok doğrusal olmayan ölçümler bulunmaktadır. Bunlar içerisinde en çok kullanılanı Poincare çizimidir [94].

4.3.4.1 Poincare Ölçümü

Poincare çizim gösterimi her bir veri noktasının bir sonraki veri noktasına göre nasıl değiştiğinin görsel ifadesidir. Kalbin çalışması ile ilgili kapsamlı nicel bilgilerin var olduğu yöntemdir [94].



Şekil 4.10 SD1 ve SD2 ölçümleriyle birlikte örnek bir Poincare çizimi [64].

Örnek bir biyomedikal işaret üzerinden alınan Poincare çiziminden elde edilen yukarıdaki Şekil 4.10'da elips uydurularak SD_1 ve SD_2 ifadeleri gösterilmiştir. Noktalar arasındaki mesafenin standart sapmaları ile elipsin genişliği (SD_1) ve uzunluğu (SD_2) bulunmaktadır [95]. SD_1 genişliği ve SD_2 uzunluğu şu şekilde hesaplanmaktadır:

$$SD_1 = \sqrt{\frac{1}{2}(SDSD)^2} \quad (4.35)$$

$$SD_2 = \sqrt{2(SD)^2 - \frac{1}{2}(SDSD)^2} \quad (4.36)$$

burada SD verilerin standart sapmasını ve $SDSD$ ise ardışık gelen verilerin farkının standart sapmasını ifade etmektedir.

İki hesaplama dışında bu iki değeri kullanarak $SD_1 \times SD_2$ çarpımı ile $\frac{SD_1}{SD_2}$ oranı sempatik ve parasempatik aktivitelerin bir göstergesi olarak kabul edilmektedir [96].

4.3.5 Verilerin Normalize Edilmesi

Elde edilen özniteliklerin farklı boyutlarda olması sınıflandırıcı başarımlarını kötü etkilemektedir. Bu problemi aşmak için verilerin aynı boyuta indirgenmesi gerekmektedir. Bu sebeple normalizasyon yöntemleri ortaya konmuştur.

4.3.5.1 Min-Max Normalizasyon

Veri setindeki en küçük ve en büyük değerlere göre yapılan Min-Max normalizasyon yöntemi, verileri [0,1] aralığına indirger. Genel ifadesi şu şekildedir:

$$X_k^{\text{yeni}} = \frac{X_k - \text{Min}\{X_k\}}{\text{Max}\{X_k\} - \text{Min}\{X_k\}} \quad (4.39)$$

Burada, X_k k-inci öznitelik olmak üzere $\text{Min}\{X_k\}$ ve $\text{Max}\{X_k\}$ sırasıyla bu özneliğe ait en küçük ve en büyük değerleri göstermektedir.

4.3.5.2 Z-Skoru Normalizasyon

Z-skoru normalizasyon, bir veri noktasının ortalamasından gelen standart sapmaların sayısı olarak karşımıza çıkar. Z-skore değeri bulunacak veriden veri setinin ortalama değeri çıkartılıp veri setinin standart sapmasına bölünür. Genel formül şu şekildedir:

$$X_k^{\text{yeni}} = \frac{X_k - \mu_k}{STD_k} \quad (4.40)$$

Formülde verilen X_k , k-inci öznitelik normalize edilecek girdi verisi olmak üzere μ_k ve STD_k sırasıyla bu özneliğin ortalama ve standart sapmasını ifade etmektedir.

4.3.5.3 Medyan Normalizasyonu

Girdi verisinin medyan (ortanca) değerine bölünmesiyle gerçekleştirilen normalize yöntemidir. Genel formülü şu şekildedir:

$$X_k^{\text{yeni}} = \frac{X_k}{\text{Medyan}(X_k)} \quad (4.41)$$

Formülde verilen X_k , normalize edilecek girdi verisini; $\text{Medyan}(X_k)$, normalize edilecek girdi veri setinin medyan değerini ifade etmektedir.

4.3.5.4 Düzeltilmiş Min-Max Normalizasyonu

Min-max yönteminde öznitelikler 0-1 aralığına ölçeklenirken, bu yöntemde istenilen iki değer arasında ölçeklenir. Örnek olarak, aşağıda 0,2 - 0,7 arasında normalize eden formül verilmiştir:

$$X_k^{\text{yeni}} = 0,5 \cdot \frac{X_k - \text{Min}\{X_k\}}{\text{Max}\{X_k\} - \text{Min}\{X_k\}} + 0,2 \quad (4.42)$$

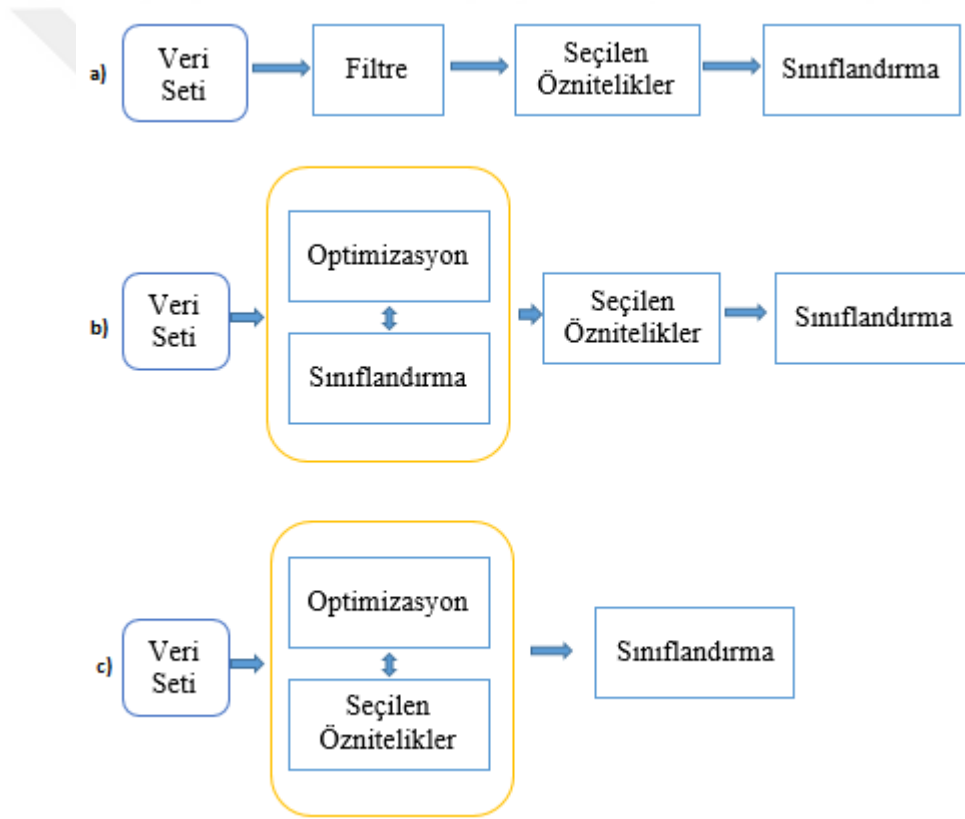
Burada, X_k k-inci öznitelik olmak üzere $\text{Min}\{X_k\}$ ve $\text{Max}\{X_k\}$ sırasıyla bu özneliğe ait en küçük ve en büyük değerleri göstermektedir.

4.4 ÖZNETELİK SEÇİMİ

Biyomedikal işaretlerin artması beraberinde özniteliklerinde artmasına sebep olmuştur. Dolayısıyla hesaplama maliyetleri artmakta ve çok fazla zaman harcanmaktadır. Elde edilen her öznitelik işaretin sınıfını tam olarak karşılamayabilir ve hatta diğer öznitelikler içerisinde performansı düşürebilir. Buna boyutluluğun laneti (curse of dimensionality) de denilmektedir [97]. Bunun sonucunda kararlı ve doğru bir otomatik tespit sistemi geliştirilmez. Hem

performans artışını sağlamak hem sınıfları en iyi ifade eden öznitelikleri belirlemek önem arz etmektedir. Bunun için öznitelik seçme yöntemleri önerilmektedir. Genel olarak öznitelik seçme yöntemleri (Şekil 4.11):

- 1) Filtre yöntemi (Filter): doğrudan veriden elde edilen, herhangi bir öğrenme aşaması olmayan yöntemdir (Örneğin, X^2 istatistiği, t testi, Relief F yöntemi).
- 2) Sarmal yöntem (Wrapper): Seçim için öğrenme algoritmalarını kullanan yöntemdir (Örneğin, GA).
- 3) Gömülü yöntem (Embedded): Hem öznitelik seçimini hem sınıflandırıcı barındıran yöntemdir (Örneğin, ID3, C4.5).



Şekil 4.11 Öznitelik seçme yöntemlerini gösterimi. a) Filtre yöntemi, b) Sarmal yöntem, c) Gömülü yöntem.

4.4.1 t-Testi ile Öznitelik Seçimi

Birbirinden bağımsız iki sınıf arasında ortalama açısından fark olup olmadığının test edildiği yöntemdir. Öncesinde anlamlılık parametresi olan referans p olasılık değeri belirlenir. Genelde 0.05 olarak alınır. İsteğe bağlı olarak bu değer 0.01 veya 0.10 ve 0.20 gibi değerler olarak

seçilebilir. Bu 0.05 değerinin anlamı “aynı evrenden alınan aynı deney benzer verilerle 100 kere tekrarlanırsa elde edilen sonuç yüzde 95 oranında benzer olacaktır ve yüzde 5 oranında tamamen anlamsız bir sonuç anlamlı gibi görünebilir” demektir [98]. p olasılık değerinin bulunması için iki parametrenin bulunması gerekmektedir. Bunlardan birincisi:

$$t = \frac{\mu_1 - \mu_2}{\sqrt{\frac{S_1^2}{n_1} + \frac{S_2^2}{n_2}}} \quad (4.37)$$

Burada, μ_1 ve μ_2 örneklerin ortalamalarını, n_1 ve n_2 örneklerin boyutlarını, S_1^2 ve S_2^2 örneklerin varyansını ifade etmektedir. İkincisi:

$$df = \frac{\left(\frac{S_1^2}{n_1} - \frac{S_2^2}{n_2}\right)^2}{\frac{\left(\frac{S_1^2}{n_1}\right)^2}{n_1-1} + \frac{\left(\frac{S_2^2}{n_2}\right)^2}{n_2-1}} \quad (4.38)$$

olarak ifade edilmektedir. df değeri bir tam sayı olmalıdır.

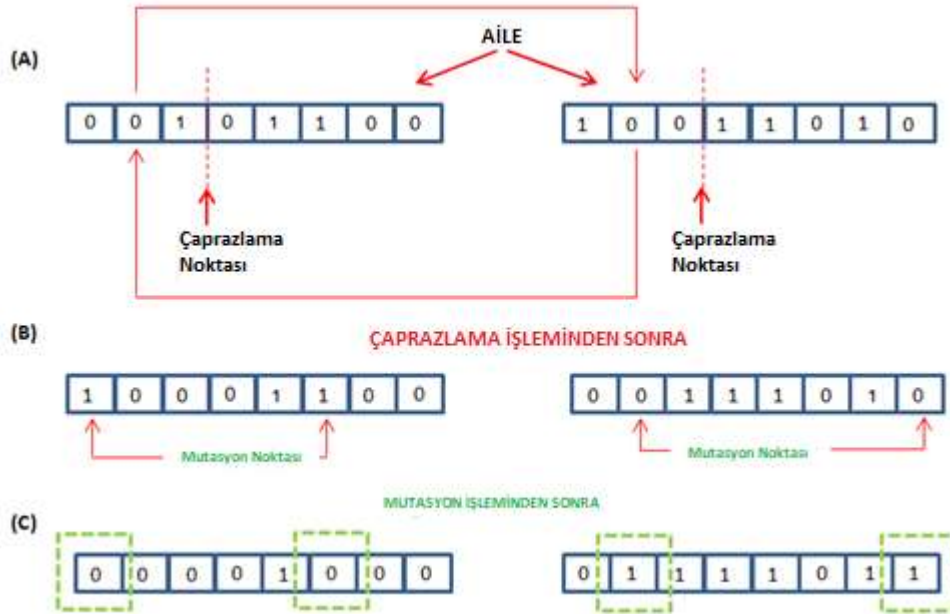
Elde edilen bu iki değer ve belirlenen p değeri referans alınarak t-tablosunda karşılık gelen t değerine bakılır. Elde edilen t değeri ile tablodaki t değerinden mutlak değer olarak büyükse ilgili öznitelik çalışmanın dışında tutulur. Elde edilen t değeri ile tablodaki t değerinden mutlak değer olarak küçükse ilgili öznitelik çalışmaya dahil edilir ve seçilmiş olur.

4.4.2 Genetik Algoritma ile Öznitelik Seçimi

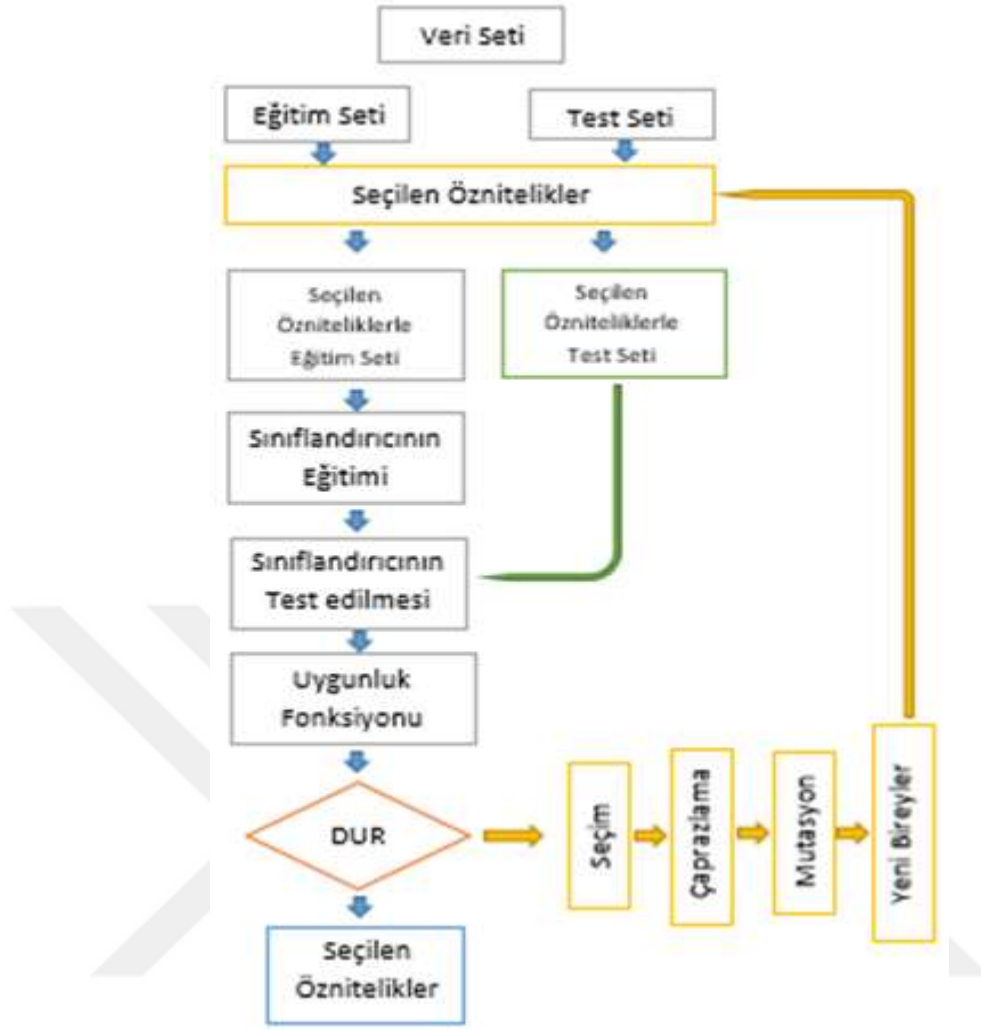
Genetik Algoritma nesillerin devam etmesi ve bireylerin ayakta kalabilmesi temeline dayanan bir optimizasyon yöntemidir [99]. Tek bir çözüm ile değil çözüm kümesi ile çalışması, belirlenen bir uygunluk fonksiyonu üzerinden değer üretmesi ve deterministik yaklaşım değilde rastlantısal yaklaşımla arama gerçekleştirilmesi diğer öznitelik seçim yöntemlerinden ayıran en önemli özelliğidir.

GA’da değişkenler ikili dizi kodlama metodu ile belli uzunlukta bir diziye dönüştürülür. GA da her bit bir öznitelik karşılık gelecek şekilde ifade edilir. Örneğin k . bitin karşılığında “1” varsa o öznitelik çalışmaya dahil edilmiştir. “0” varsa çalışmaya dahil edilmemiş demektir. Elde

edilen bireylerin ne kadar iyi oldukları uygunluk fonksiyonu sayesinde test edilir. Uygunluk fonksiyonu GA içerisinde en önemli kısımdır [100]. Çünkü Uygunluk fonksiyonu değerlerinin en küçük olması istenir dolayısıyla sınıflandırıcı performansı en iyi çıkacaktır. Sonuç olarak uygunluk fonksiyon değerinin en küçük olması için GA çalışacaktır. İstenen değere ve iterasyona kadar tekrar ve tekrar seçim, çaprazlama ve mutasyon aşamalarından geçirilir. Seçim aşamasında, uygunluk fonksiyonu (fitness function) değeri ve seçim yöntemine göre en iyi ve kaliteli nesil seçilir. Burada, genel olarak rulet tekerleği yöntemi tercih ediliyor. Çaprazlama aşamasında, seçilen iki bireyden yeni bireyler türetilir. Tek noktadan çaprazlama yöntemi kullanılarak bu aşama gerçekleştirilmiştir (Şekil 4.12-(B)). Mutasyon aşamasında ise yerel minimuma takılmasını önlemek ve nesilde çeşitliliğin sağlanması amaçlanmaktadır. Seçilen bit ya da bitlerin 1 ise 0, 0 ise 1 e dönüşümünden ibarettir (Şekil 4.12-(C)). Tüm bu aşamalar sonucunda tekrardan uygunluk fonksiyonundan geçirilen yeni bireyler istenen sonuç alınana kadar tüm bu aşamalara tekrardan tabi tutulur. Özetle seçiminin akış şeması Şekil 4.13’de verilmiştir.



Şekil 4.12 Çaprazlama işlemi ve mutasyon.



Şekil 4.13 Genetik algoritma ile öznitelik seçimi [101].

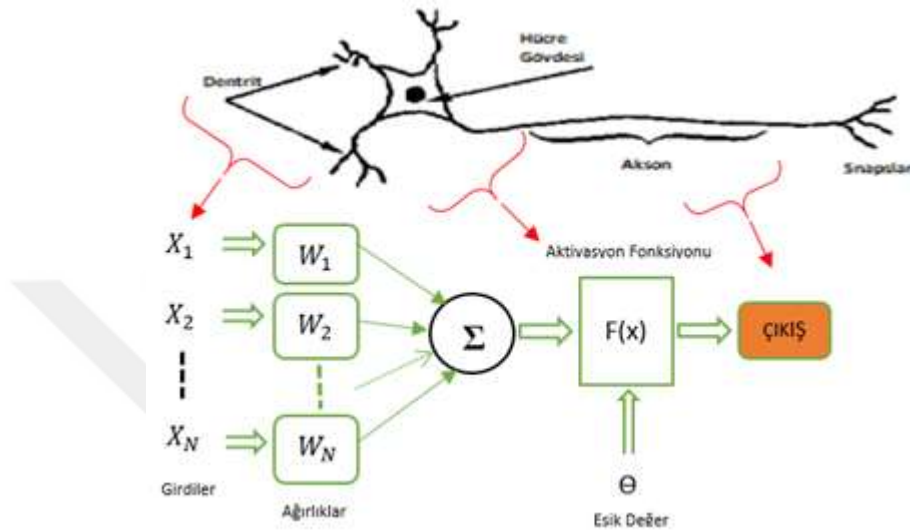
4.5 SINIFLANDIRMA ALGORİTMALARI

Sınıflandırma aşamasında elde edilen öznitelikler denetimli öğrenme ya da denetimsiz öğrenme algoritmaları ile eğitim ve test süreçlerine tabi tutulur. Önce eğitilen bir sınıflandırıcının performansı test verileri ile ne kadar iyi öğrendiği tespit edilir.

Denetimli öğrenme yöntemlerinde sınıf bilgileri bilinirken denetimsiz öğrenmede sınıf bilgileri olmadan sınıflandırma yapılır. Bu tez çalışmasında kullanılan sınıflandırıcı algoritmaları takip eden alt başlıklarda bahsedilmiştir.

4.5.1 Algılayıcı Ağlar (Perceptron)

Bir sinir hücresinin çalışma sisteminden esinlenerek ortaya çıkan tek sinir hücresi modelinin matematiksel ifadelerle oluşturulduğu modele algılayıcı ağ modeli denir. Şekil 4.14'de gösterildiği gibi birden çok giriş için çıkış üreten basit bir yapıdır.



Şekil 4.14 Bir sinir hücresi ve algılayıcı ağ yapısının gösterimi.

Çıkış değeri şu ifadelerle bulunur:

$$Net = (\theta + x_1w_1 + x_2w_2 + \dots + x_nw_n) \quad (4.43)$$

x değerleri ağa giren verileri, w değerleri girdi verileri ile ağ arasındaki ağırlıkları ve θ değeri eşik değerini ifade etmektedir. Buradan genel çıkış:

$$F_c = \begin{cases} 1 & \text{eğer } Net > 0 \\ 0 & \text{eğer } Net < 0 \end{cases} \quad (4.44)$$

olarak bulunur. Elde edilen çıkış (F_c) ile beklenen çıkış (F_B) arasındaki hata değeri:

$$E = F_B - F_c \quad (4.45)$$

Ağın öğrenme fonksiyonu ise:

$$w_k = w_k + L_r E X_i \quad (4.46)$$

w değeri ağın ağırlık değeri, L_r , öğrenme katsayısı, E , hata değeri ve X_i , girdi değeridir. Eşik değeri güncelleme formülü:

$$\theta_N = \theta_0 + L_r E \quad (4.47)$$

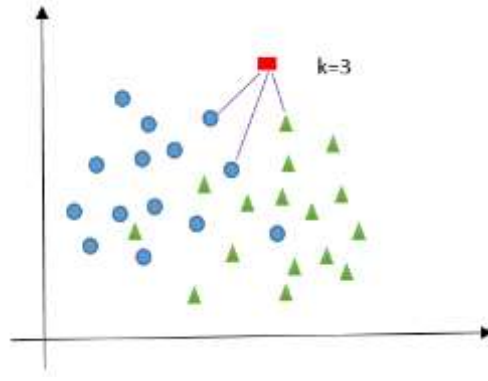
θ_N , yeni eşik değeri, θ_0 , bir önceki eşik değerini göstermektedir.

Yukarıda verilen matematiksel ifadelerle algılayıcı ağ öğrenme aşamasını gerçekleştirir. Ağın öğrenmesi w ağırlık değerleri ile olmaktadır. Beklenen çıktı ile elde edilen çıktı aynı olana kadar bu süreç devam eder. Şayet, elde edilen çıktı ile beklenen çıktı aynı olursa ağırlıklar ve eşik değeri herhangi bir değişiklik yapılmaz ve ağ öğrenme işlemini tamamlamış olur.

Eğitimi tamamlanan ağa test verileri geldiğinde belirlenen ağırlık ve eşik değerlerine göre çıktı oluşturur. Böylece sınıflandırma işlemi tamamlanmış olur.

4.5.2 K-En Yakın Komşu (KNN)

Sınıflandırma algoritmaları içinde hem matematiksel olarak hem uygulanabilirliği açısından basit ama etkili bir sınıflandırıcıdır. KNN sınıflandırıcı algoritması ayrıca bir eğitim aşamasına ihtiyaç duymayan tembel algoritmalarındandır. Yani, veri seti eğitim ve test diye ayrıldıktan sonra, eğitim için ayrılan veriler üzerinde ayrıca matematiksel bir model uygulamadan sadece eğitim veri setindeki öz niteliklere karşılık gelen sınıf bilgilerinin tutulmasından ibarettir. Tüm öznitelik vektörleri d boyutlu bir uzayda gösterilir. d boyutlu bu uzayda tüm örnekler bir noktaya karşı düşürülerek sınıflandırma işlemi gerçekleştirilir. Sınıf bilgisi bulunacak veri, d boyutlu uzayda k tane en yakın komşusuna bakılarak karar verilir (Şekil 4.15).



Şekil 4.15 KNN sınıflandırıcısının $k=3$ en yakın değeri için örnek gösterimi.

Şekil 4.15’de gösterilen test verisi olan kırmızı renkli dikdörtgen verinin en yakınekomşularının bulunması için bazı uzaklık ölçütleri kullanılır. Bunlar Öklid uzaklığı, Mahalanobis uzaklığı, Manhattan uzaklığı ve Minkowski uzaklık ölçütleridir. Bu uzaklık ölçütlerinin sırasıyla matematiksel ifadeleri şu şekildedir:

$$D(x, y) = \sqrt{\sum_{k=1}^n (x_k - y_k)^2} \quad (4.48)$$

$$D(x, y) = \sqrt{(x_k - y_k)^T V^{-1} (x_k - y_k)} \quad (4.49)$$

$$D(x, y) = \sum_{k=1}^n |x_k - y_k| \quad (4.50)$$

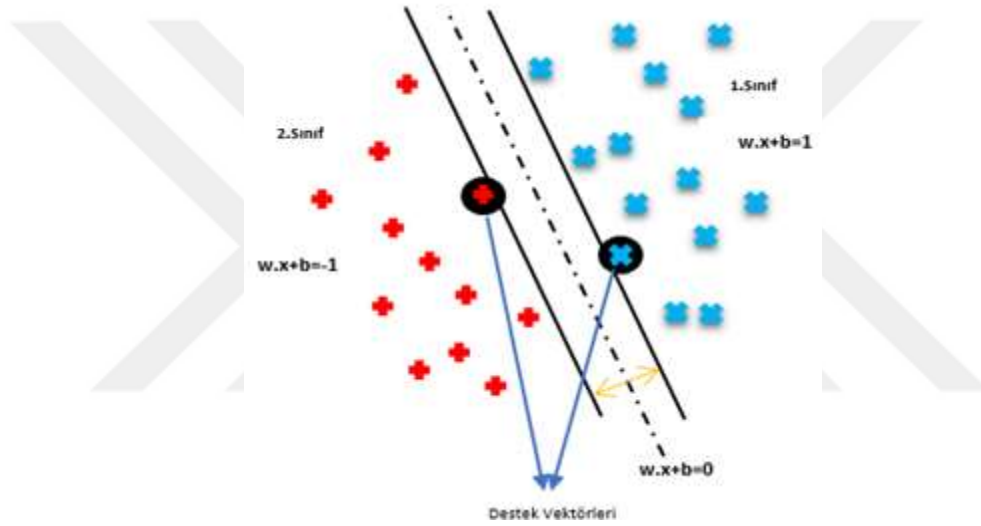
$$D(x, y) = \left(\sum_{k=1}^n (x_k - y_k)^z \right)^{\frac{1}{z}} \quad (4.51)$$

Denklemlerde kullanılan D , uzaklığı, V , kovaryans matrisini, z , ölçekleme parametresini, n ölçüm sayısını, x ve y örnekleri göstermektedir.

KNN sınıflandırıcısında k adet en yakın komşu değeri genellikle tek sayı olarak seçilmektedir. k sayısının çift olması durumunda test edilecek verinin eşit uzaklığa sahip farklı sınıfların bulunması halinde algoritmanın atanacak sınıf bilgisine karar verememesi durumu ortaya çıkabilir.

4.5.3 Destek Vektör Makinaları

Destek vektör makinaları (SVM) istatistiksel öğrenme teorisine dayalı bir yöntemdir [102]. SVM sınıflandırma ve regresyon amaçlı hem doğrusal hem de doğrusal olmayan veri gruplarında kullanılmaktadır [103]. Bu yöntemde amaç iki grubu bir birinden ayıran en iyi düzlemin bulunmasıdır. Bunun için iki gruba da yakın ve birbirine paralel iki sınır çizgisi belirlenir. Bu sınır çizgilerine destek vektörleri denmektedir. Bu sınıflandırıcı iki sınır çizgisinden yola çıkarak ortak bir düzlemin belirlenmesi işlemine dayanmaktadır (Şekil 3.5). SVM’de bazı veriler doğrusal bir şekilde ayıramamaktadır. Bu durumda ise çekirdek fonksiyonları kullanılarak veriler başka bir boyuta doğrusal olmayan formüller ile de taşınabilir.



Şekil 4.16 SVM destek vektörleri ve aşırı düzlem.

4.5.4 Doğrusal Ayraç Analizi

Doğrusal Ayraç Analizi (LDA), aynı anda iki ya da daha fazla grubun ayraç fonksiyonları yardımıyla istatistiksel olarak ayrılması işlemidir. LDA özellikle sınıflandırma ve verilerin boyutlarının azaltılmasın çok kullanılır [104]. LDA’da sınıfları ayırmak için sınıf içi ve sınıflar arası dağılım denklemleri şu şekilde ifade edilir:

$$S_w = \sum_{j=1}^C \sum_{i=1}^{N_j} (x_i - \mu_j)(x_i - \mu_j)^T \quad (4.52)$$

$$S_B = \sum_{i=1}^C (\mu_i - \mu)(\mu_i - \mu)^T \quad (4.53)$$

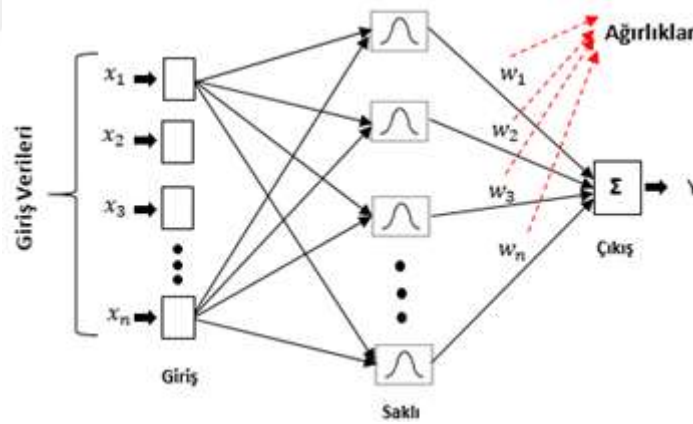
Burada c , sınıfların sayısını, N_j sınıflardaki örnek veri sayısını, X_i sınıftaki örnekleri, μ_i ilgili sınıftaki ortalama değeri ve μ , tüm sınıfların ortalama değerini ifade etmektedir. LDA dönüşüm matrisi:

$$W_{LDA} = \arg \max \frac{W^T S_B W}{W^T S_W W} \quad (4.54)$$

Dönüşüm tamamlandıktan sonra test edilecek veri belirlenen uzaklık ölçütü ile en yakın uzaklığa sahip olduğu sınıfa dahil edilir [105].

4.5.5 Radyal Tabanlı Fonksiyon Ağlar

Radyal Tabanlı Fonksiyon (RBF) tabanlı yapay sinir ağları girdi katmanı, saklı katman ve çıktı katmanı olmak üzere üç katmandan oluşmaktadır (Şekil 4.17).



Şekil 4.17 RBF ağ yapısı.

MLP ağlarına oranla daha hızlı çalışırlar [97]. Gauss aktivasyon fonksiyonlu çıkış ifadesi:

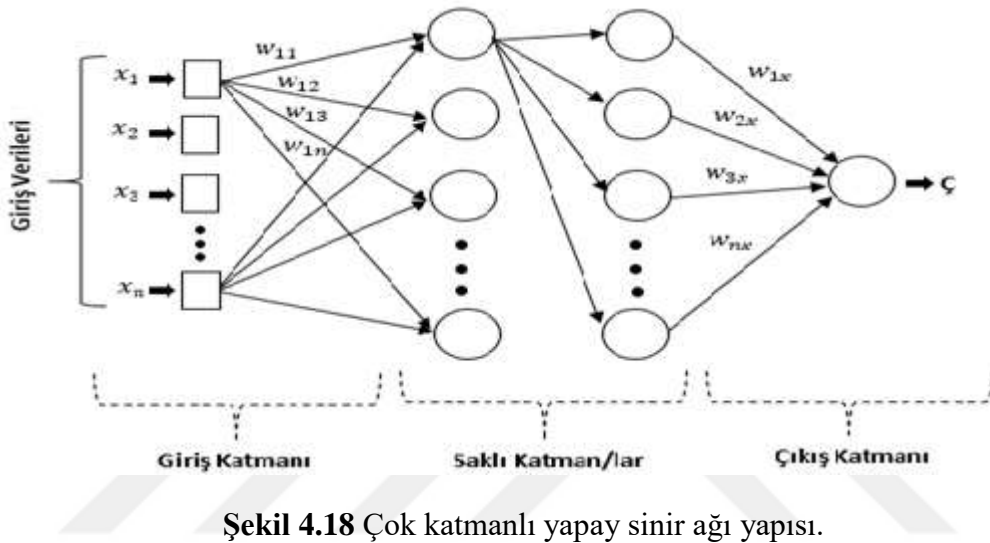
$$y_i(x) = \sum_{j=1}^k w_{ji} \exp\left(-\frac{\|x - \mu_j\|}{2\sigma_j^2}\right) \quad (4.55)$$

ile elde edilir. Burada w_{ji} ağırlıkları, k gizli katmandaki nöron sayısı, x girdi verisi, μ_j j'inci nöron merkezi, σ_j j. dağılım parametresi olmak üzere y_i ağın çıktısını vermektedir. Ağın çıktısı

saklı katman çıkışlarının w_{ji} ağırlıkla çarpımı sonucu elde edilir ve amaç optimum ağırlık değerlerinin bulunmasıdır.

4.8.6 Çok Katmanlı Algılayıcı Ağlar

Bir çok katmanlı algılayıcı (MLP) ağının her bir katmanında birçok sinir hücresi bulunmaktadır. Bu sinir hücreleri birbirlerine çeşitli şekillerde ve ağırlıklarla bağlıdır (Şekil 4.18).



Şekil 4.18 Çok katmanlı yapay sinir ağı yapısı.

Beklenen çıktı ile ağın çıktısı arasındaki hatanın minimum olana kadarki süreç ağın eğitim sürecidir. Tek sinir hücresinin çıkışı:

$$y_i = f\left(\sum_{i=1}^n w_i x_i + b\right) \quad (4.56)$$

Burada x_i girdi verisi, w_i ağın ağırlığı, $f(.)$ aktivasyon fonksiyonu, y_i ağın çıktısıdır. En çok kullanılan aktivasyon fonksiyonları $f(.)$; Doğrusal, Adım, Sigmoid, Tanjant Hiperbolik, Eşik Değer Aktivasyon fonksiyonlarıdır. Sigmoid aktivasyon fonksiyonunun ifadesi:

$$f(x) = \frac{1}{1 + e^{-x}} \quad (4.57)$$

Geriye doğru yayılım algoritmasını kullanan MLP, çıkıştaki hatayı geriye doğru yayar. Çıkıştaki hata fonksiyonu:

$$h = y(1 - y)(y_d - y) \quad (4.58)$$

Burada, h çıkış katmanındaki hatayı, y sinir hücresi çıkışı ve y_d ise beklenen çıkışı vermektedir. Saklı katmandaki hata değeri:

$$h_s = y_0 (1 - y_0) \sum_{i=1}^N w_i h \quad (4.59)$$

ifadesiyle bulunur. Burada, h_s saklı katmandaki hata, y_0 saklı katman sinir hücresi çıkışı, h bir önceki sinir hücresinden gelen hata, w_i ise aradaki ağırlık değerini göstermektedir. Ağırlıkların değişimi:

$$dw_i = ((1 - a)\lambda h + adw_{i-1}) \quad (4.60)$$

Burada, λ öğrenme kuralı, a momentum değeri, h sinir hücresi çıkışı hatası, dw_{i-1} bir önceki ağırlık değişimi değerini göstermektedir.

4.6 PERFORMANS ÖLÇÜTLERİ

Performans ölçütü, kullanılan sınıflandırıcı sisteminin sınıfları ne kadar doğru ayırabildiğinin genel ifadesidir. Burada, en önemli hususlardan biri üzerinde çalışılan verilerin eğitim ve test kümelerine nasıl ayrıldığıdır. Çünkü eğitim ve test verilerinin başarıyı etkilediği bilinmektedir. Literatürde veriler, “hold-out” çapraz doğrulama, “k-fold” çapraz doğrulama ve “leave-one-out” çapraz doğrulama yöntemleriyle test ve eğitim kümelerine ayrılmaktadır. Bunlar içerisinde, k- fold çapraz doğrulama yöntemi en çok tercih edilen yöntemdir. K-fold yönteminde verileri k parçaya ayrılır. Ayrılan k parçanın 1 parçası test için saklanırken kalan k-1 adet parçada eğitim için kullanılır. Bu işlem k defa tekrarlanıp TP, TN, FP ve FN değerleri de tespit edilir (Çizelge 4.3).

Çizelge 4.3 Hata Matrisi.

		Gerçekte olması gereken sınıf	
		Pozitif	Negatif
Tahmin edilen sınıf	Pozitif	TP Doğru Pozitif	FP Yanlış Pozitif
	Negatif	FN Yanlış Negatif	TN Doğru Negatif

Burada gerçekte hasta olup sınıflandırıcının hasta olarak tespit ettiklerinin sayısını TP, yanlışlık yaparak sağlam dediklerinin sayısı FN, gerçekte sağlam olup sınıflandırıcının da sağlam olarak tespit ettiklerinin sayısı TN, yanlışlıkla hasta olarak tespit ettiklerinin sayısını da FP ifade etmektedir [106]. Bu değerlerden yola çıkarak Hassaslık (Sensitivity, SEN), Özgünlük (Specificity, SPE), Pozitif Seçicilik (Positive Predictivity, POS), Negatif Seçicilik (Negatif Predictivity, NEG) ve Genel Başarım (Accuracy, ACC) hesaplanmaktadır:

$$SEN = \frac{TP}{TP + FN} \quad (4.61)$$

$$SPE = \frac{TN}{TN + FP} \quad (4.62)$$

$$NEG = \frac{TN}{TN + FN} \quad (4.63)$$

$$POS = \frac{TP}{TP + FP} \quad (4.64)$$

$$ACC = \frac{TP + TN}{TP + FN + FP + TN} \quad (4.65)$$



BÖLÜM 5

PAF ATAK BAŞLANGICININ ERKEN TAHMİNİ

AF'nin gerçekleşmesiyle kalp, hızlı, yetersiz ve geliş güzel bir şekilde kasılıp gevşemektedir. Bu durum sonucunda kan akışının yavaş olması ile oluşan kan pıhtılaşması ani ölümlerin ve inme gibi durumların ortaya çıkmasına neden olur. Özellikle bu durum yaşın ilerlemesi ile arttığı ve gün geçtikçe bu rahatsızlıktan doğan şikayetlerin hem ulusal hem uluslararası arenada fazlaştığı istatistiksel verilerden bilinmektedir.

AF'nin ilk aşaması olan Paroksizmal AF'nin önceden bilinip hastalığın ciddiyetine göre tedavi edilmesi AF'nin sonraki seviyeleri olan Israrcı ve Kalıcı AF'ye dönüşmemesini sağlar. Bunun yanında PAF atağı geçirmeden belli bir süre önce hastanın uyarılması çok önemlidir. Hastanın atak geçireceğini bilmesi ya da ne kadar sıklıkla atak geçirdiğini bilmesi hastalığın önlem alınmasına ve dahi hafif atlatılmasına yardımcı olabilmektedir. Bu konuda geçmişte yapılmış birçok çalışma vardır. Bunlardan, atriyal prematüre vuruların frekansları, P-dalga değişimleri ve güç spektral değişimleri, atriyal ektopik ve ventriküler ektopik sayıları, kalp hızı değişkenliği verileri kullanılarak zaman alanı, frekans alanı ve doğrusal olmayan ölçümleri, ayak izi analizleri gibi yöntemler kullanılarak PAF atağının erken tahmini ve sınıflandırılması yapılmıştır.

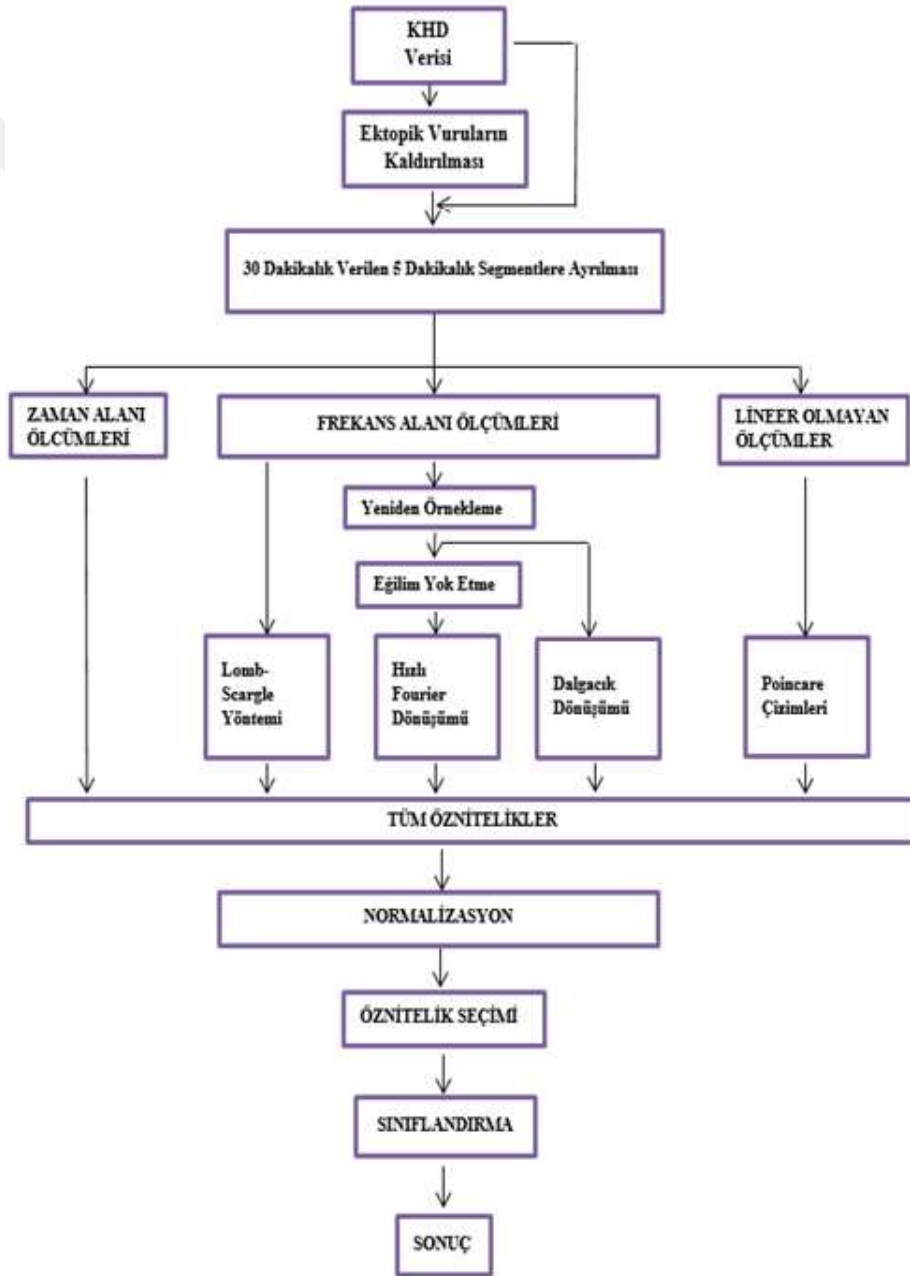
Bu çalışmada, PAF atağının KHD zaman alanı ölçümleri, Frekans alanı ölçümlerinden verilerin yeniden örneklendirilerek ve eğilimi yok edilmesine ihtiyaç duyulan FFT, verilerin sadece yeniden örneklendirmesine ihtiyaç duyulan ve veri hakkında frekans-zaman bilgisi veren dalgacık dönüşümleri ve dalgacık entropi dönüşümleri, verilerin ne yeniden örneklendirmeye ne eğiliminin yok edilmesine ihtiyaç duyulmayan Lomb-Scargle yöntemi kullanılarak öznelilikler çıkartılmıştır.

PAF atağının tahmin edilmesi için çalışmalar içerisinde k-en yakın komşu sınıflandırıcısı en temel kullanılan algoritmadır. Bu algoritma dışında, 3 katlı sınıflandırıcı tasarımında algılayıcı

ağ, doğrusal ayraç analizi, destek vektör makinaları, radyal tabanlı fonksiyon ağlar ve çok katlı algılayıcı ağ algoritmaları kullanılmıştır.

Çalışma içerisinde veri setini en iyi temsil eden özneliklerin bulunması için istatistiksel test ve genetik algoritma kullanılarak öznelik seçimi yapılmıştır.

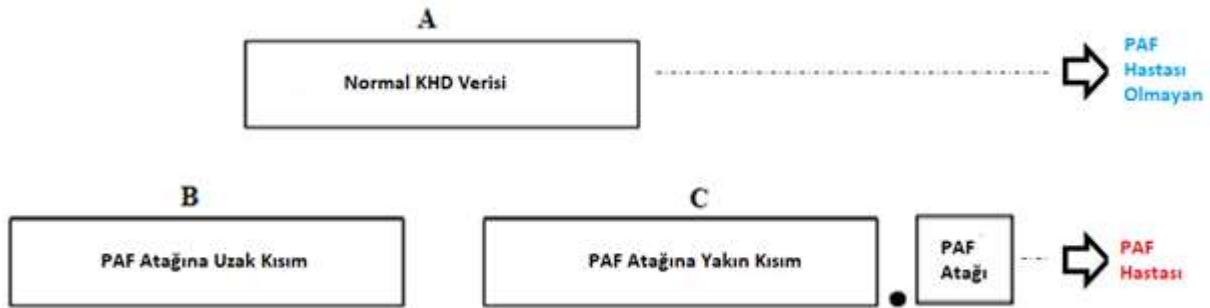
Performans ölçütleri içerisinde k-katlı çapraz değerlendirme kullanılmıştır. Çalışmanın genel akış diyagramı Şekil 5.1’de verilmiştir.



Şekil 5.1 Tüm çalışmanın genel akış şeması.

5.1 VERİLERİN ELDE EDİLMESİ

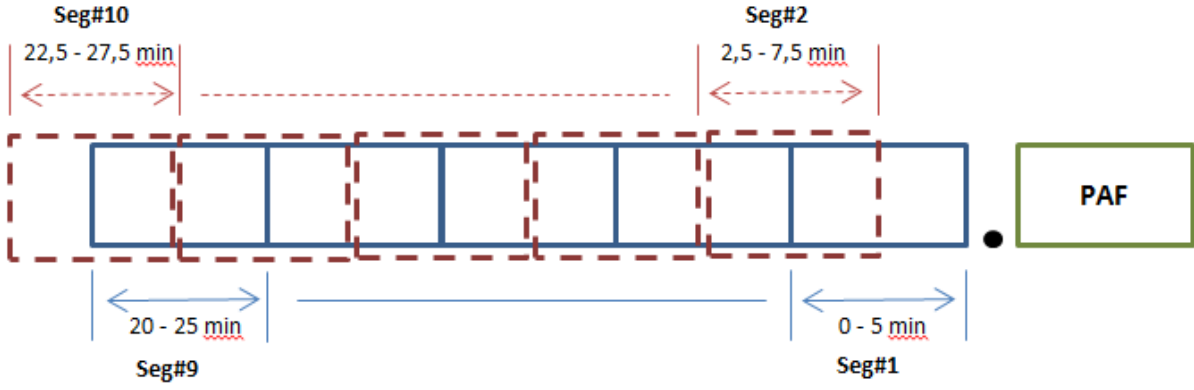
Bu tezde, web üzerinden ücretsiz erişimi olan ve birçok fizyolojik işaretin yer aldığı Physionet.org sitesindeki veriler kullanılmıştır. PhysioNet.org web sitesi, Ulusal Genel Tıp Bilimleri Enstitüsü (NIGMS) ve Ulusal Biyomedikal Görüntüleme ve Biyomühendislik Enstitüsü (NIBIB) tarafından finanse edilmektedir. MIT'nin Hesaplamalı Fizyoloji Laboratuvarı üyeleri tarafından yönetilmektedir. Physionet.org internet sitesindeki “The Computer in Cardiology Challenge 2001” kapsamında kullanılan “Atrial Fibrillation Prediction Database (AFPDB)” kullanılmıştır [107]. Tüm veriler 128 Hz örnekleme frekansı ile 12 bit çözünürlüğe sahip EKG verisidir. Veri seti 50 adet Normal veri (n1, n11, ... n50 gibi) ve 50 adet PAF rahatsızlığına sahip verilerden olmak üzere genel olarak iki kısımdan oluşmaktadır. 50 adet PAF rahatsızlığına sahip veriler de iki kısma ayrılmaktadır. Bunlar: 25 adet PAF atağından hemen önceki 30 dk’lık veriler (Çift olan sayılar bu gruba aittir. Örneğin; p2, p16... p50 gibi.) ve 45 dk öncesinde yada sonrasında PAF atağı bulunmayan 25 adet 30 dk’lık verilerden oluşur (Tek olan sayılar bu gruba aittir. Örneğin; p1, p17... 49 gibi) oluşmaktadır. Verilerin genel gösterimi Şekil 5.2’de verilmiştir.



Şekil 5.2 Verilerin sınıflandırılması A) Normal KHD verisi B) PAF atağından uzak KHD verisi C) PAF atağına yakın KHD verisi.

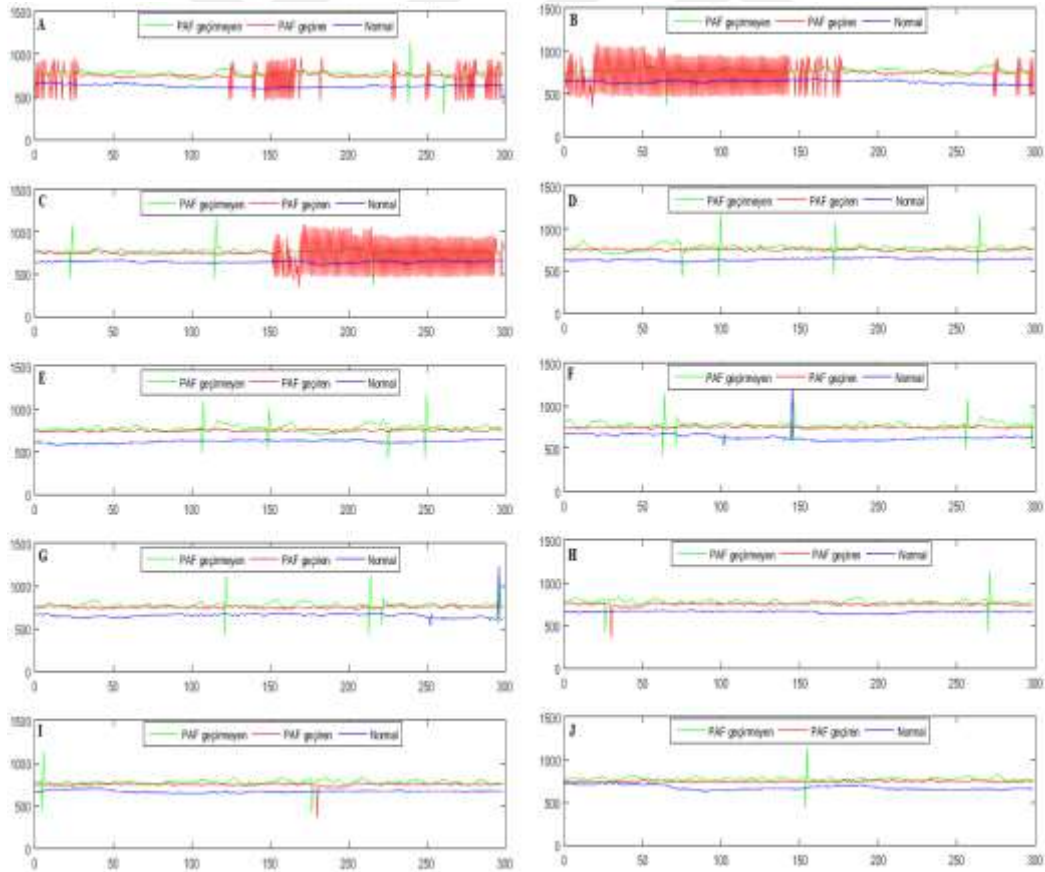
Çalışmalar içerisinde aşırı gürültüye sahip olması ve sağlıklı KHD ölçümleri alınmadığı için Normal veriler içerisindeki ‘n27’ data numarasına sahip veri, çalışmadan çıkarılmıştır. Bu durum başka makalelerde de göz önünde bulundurulmuştur [108].

Veri setindeki 30 dakikalık veriler, PAF atağı gerçekleşmeden önce hangi dakika aralıklarında fark edilip tahmin edilebilmesi araştırılacağı için veriler 5 dakikalık %50 örtüşme olacak şekilde 10 parçaya ayrılmıştır. 30 dakikalık verinin 10 parçaya ayrılma örneği Şekil 5.3’de gösterilmiştir.



Şekil 5.3 30 dakikalık verinin %50 örtüşecek şekilde 10 parçaya ayrılması.

Şekil 5.2’de gösterilen PAF atağı geçirecek veri üzerinden 10 adet segment gösterilmiştir. Gösterilen bu 10 segmentin 3 farklı veri grubu için 5 dakikalık verileri Şekil 5.4’de gösterilmektedir.



Şekil 5.4 5 dakikalık 10 parçaya ayrılan KHD verilerinin gösterimi: A) 0-5 dakika verisi B) 2,5-7,5 dakika verisi C) 5-10 dakika verisi D) 7,5-12,5 dakika verisi E) 10-15 dakika verisi F) 12,5-17,5 dakika verisi G) 15-20 dakika verisi H) 17,5-22,5 dakika verisi I) 20-25 dakika verisi J) 22,5-27,5 dakika verisi.

Bu tezde, yukarıda anlatılan veri seti Çizelge 5.1’de gösterildiği gibi 2 ayrı çalışma grubuna ayrılmıştır. 1. Çalışma grubunda yer alan veriler, verinin bitiminden hemen sonra PAF atağı geçirenler “Pozitif” sınıfta yer alırken, Normal ve verinin hemen bitiminde PAF geçirmeyenler veriler “Negatif” sınıfta yer almaktadır. 2. çalışma grubunda yer alan veriler için, verinin bitiminden hemen sonra PAF atağı geçirenler “Pozitif” sınıfta yer alırken, verinin hemen bitiminde PAF geçirmeyenler veriler “Negatif” sınıfta yer almaktadır. Özellikle, PAF atağının erken kestirimi, PAF hastası olan kişilerde bakılması gerekir. Fakat PAF hastalığı teşhisi konulamayıp atak geçirebilenlerin olacağı düşünülerek Normal veriler ile PAF atağı geçirmeyen veriler 1. Çalışma grubunda aynı sınıfta yer verilmiştir. Bu sayede Normal veriler ile PAF atağı geçirmeyen verilerin aynı sınıfta yer alıp alamayacağı sorusuna da aydınlık kazandırılmıştır. Aynı zamanda Normal verilerin PAF atağı kestirimine nasıl etki yapacağı incelenmiştir.

Çizelge 5.1 Verilerin çalışma gruplarına ayrılması.

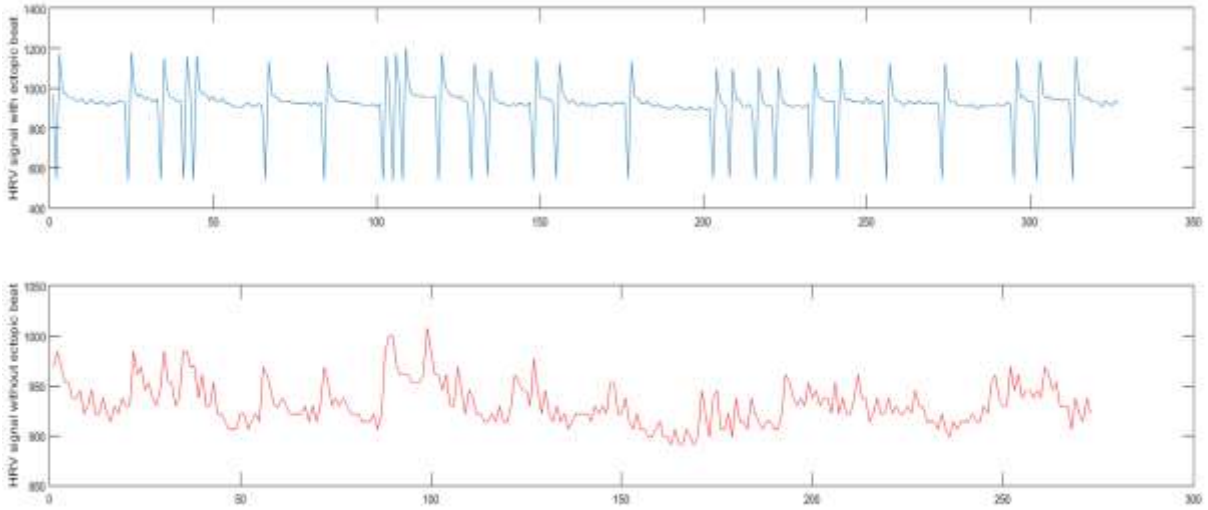
Sınıf	1. Çalışma Grubu	2. Çalışma Grubu
Pozitif	PAF Atağı Geçiren	PAF Atağı Geçiren
Negatif	Normal + PAF Atağı Geçirmeyen	PAF Atağı Geçirmeyen

5.2 PAF DATALARINA ÖN İŞLEM

PAF verileri üzerinden ölçümler alınmadan önce bazı ön işlem basamaklarına tabi tutuldular. Bunlar: Ektopik vuruların kaldırılması verilerin yeniden örnekleme ve eğilimin yok edilmesi ön işlemleridir.

5.2.1 Ektopikli ve Ektopiksiz Veriler

KHD verileri kullanılarak yapılan birçok çalışmada ektopik vuruların kaldırılması yönünde görüşler bulunmaktadır. Bu görüşler doğrultusunda KHD verileri üzerinden Langley ve arkadaşlarının önerdiği algoritmanın kodları Matlab 2015a platformunda yazılarak veriler ektopik vurulardan arındırılmıştır. Bu algorithmada muhtemel ektopik vurular, ortalama RR değerinin %20’den fazla aşağı düşen vuruları için tanımlanmaktadır [11]. Bu yöntem kullanılarak, 5 dakikalık PAF KHD verisi üzerinden ektopik vuruların kaldırıldığı veri örneği Şekil 5.5’de gösterilmektedir.



Şekil 5.5 Orijinal PAF KHD verisi ve aynı verinin ektopik vurularının kaldırılmış hali.

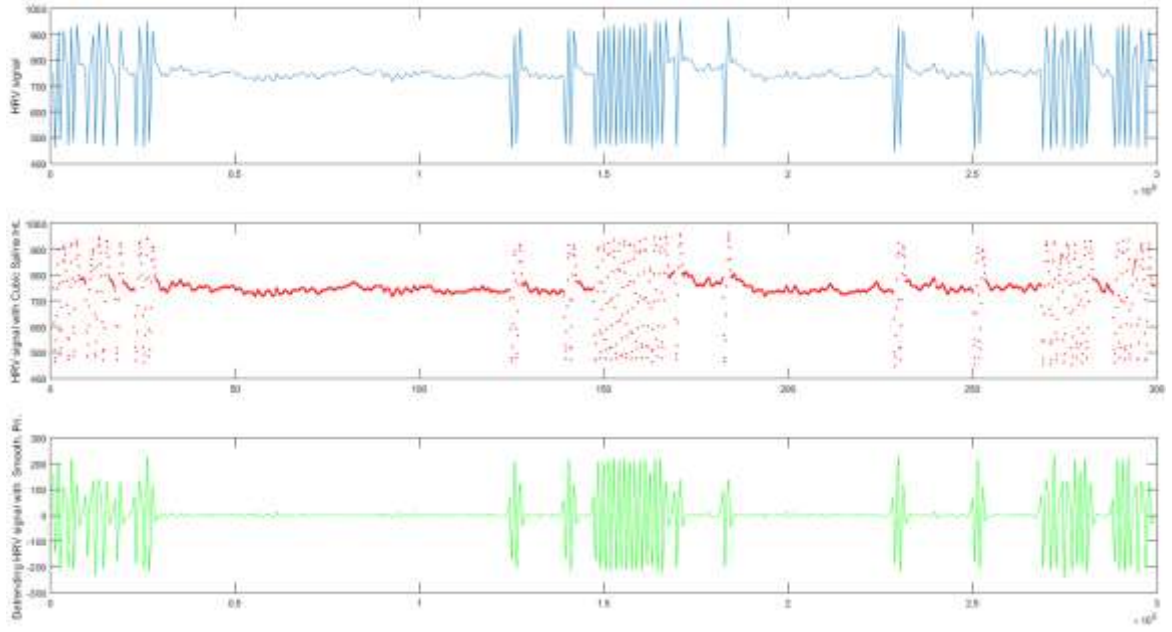
5.2.2 İnterpolasyonlu ve İnterpolasyonsuz Veriler

KHD işaretlerinin zamanda eşit aralıklara sahip olmaması sebebiyle yeniden örneklenmeye ihtiyaçları vardır. Bu sayede yeniden örneklemeyle dönüşüm yapabilen yöntemler kullanılabilir hale getirilecektir. Literatürde KHD işareti için en yüksek frekans değeri 0.5 Hz olarak ifade edilmektedir. Örnekleme frekansının 1-10 Hz arasında olması gerektiği literatürde ifade edilmiştir. Bu çalışmada, yüksek frekanslı bileşenlerin varlığı olabilmesi gerekçesi ile olumsuzluk yaşanmaması için örnekleme frekansı 7 Hz tercih edilmiştir.

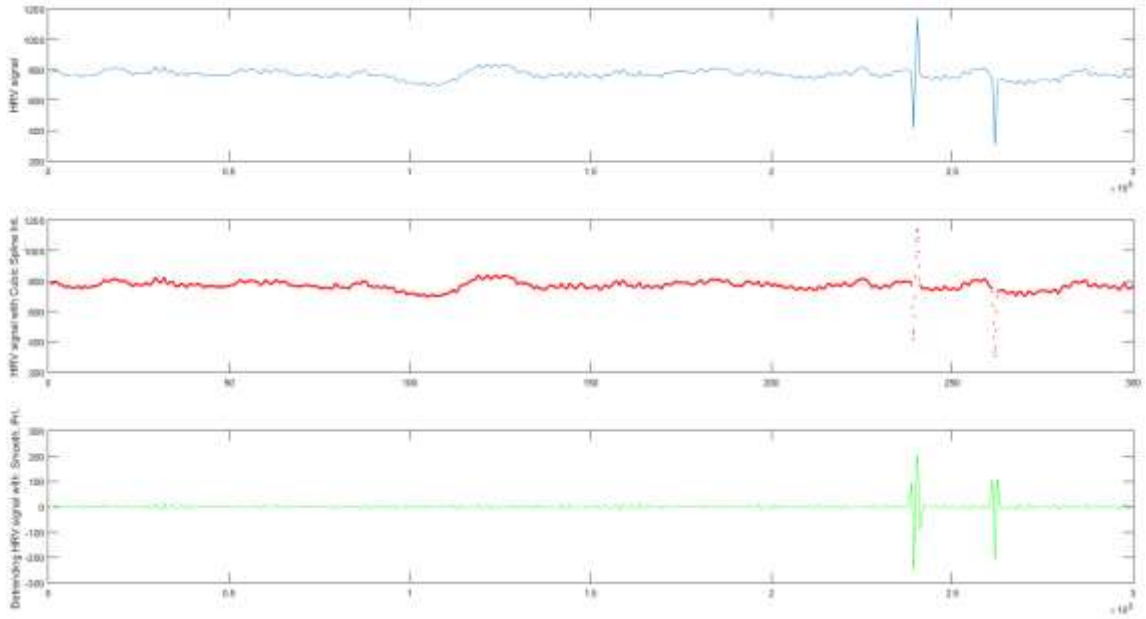
Ara değerlendirme yöntemleri arasında parçalar arası sürekliliğin ve doğrusal ara değerlendirmeye göre geçişlerinin keskin olmaması nedeniyle çalışmada kübik spline yöntemi tercih edilmiştir. Şekil 5.6'de kübik spline yöntemi uygulanmış işaret görülmektedir

5.2.3 Eğilimli ve Eğilimi Yok Edilmiş Veriler

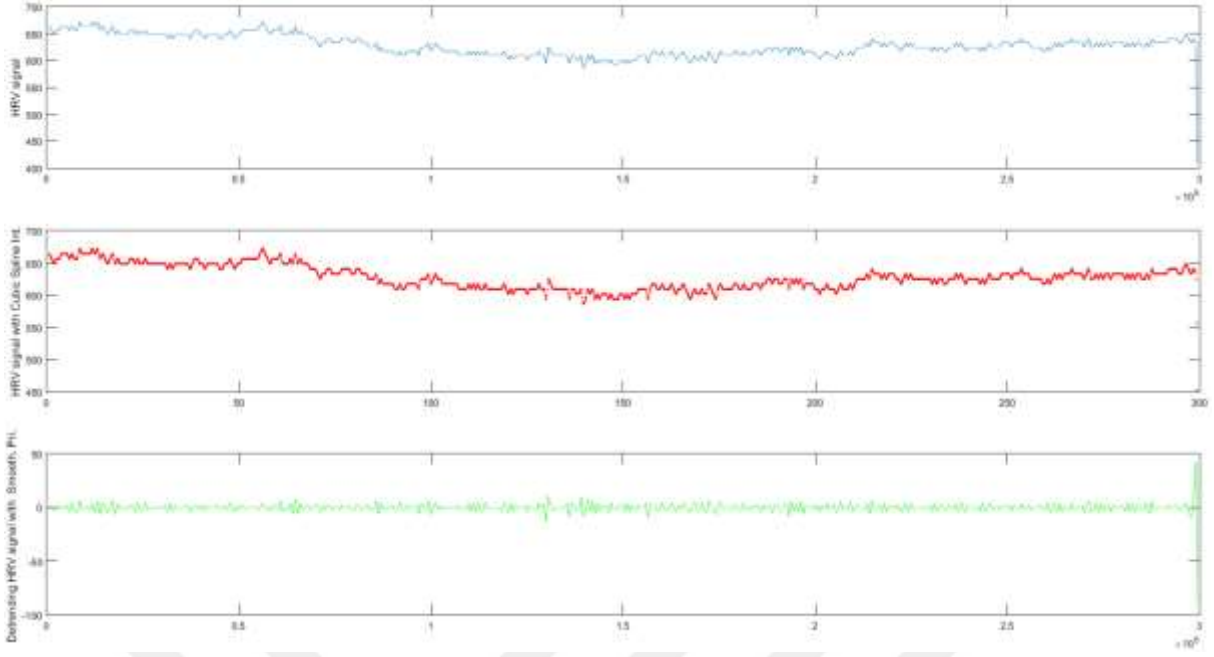
KHD yapısı gereği durağan olmayan işaretlerdendir. Bu sebeple bu durağansızlık ortadan kaldırılmalıdır. Smoothness Priors yönteminin KHD verleri üzerine uygulanması ve Matlab kodlarının olması KHD alanında çalışanları bu yönetime yöneltmiştir. Dolayısıyla çalışmada Smoothness Priors yöntemi tercih edilmiştir. Düzenleme parametresi için $\lambda=10$ değeri kullanılarak gerçekleştirilmiş ektopik vurulu veriler üzerinden tüm veri grupları için örnekler Şekil 5.6, Şekil 5.7 ve Şekil 5.8'de gösterilmektedir.



Şekil 5.6 Hemen PAF atağı geçirecek veri için: a) Orjinal KHD sinyali b) Kübik spline yöntemi uygulanmış işaret, c) Eğilimi yok edilmiş işaret.



Şekil 5.7 PAF hastası olup PAF geçirmeyecek veri için: a) Orjinal KHD sinyali b) Kübik spline yöntemi uygulanmış işaret, c) Eğilimi yok edilmiş işaret.



Şekil 5.8 Normal veri için a) Orjinal KHD sinyali b) Kübik spline yöntemi uygulanmış işaret, c) Eğilimi yok edilmiş işaret.

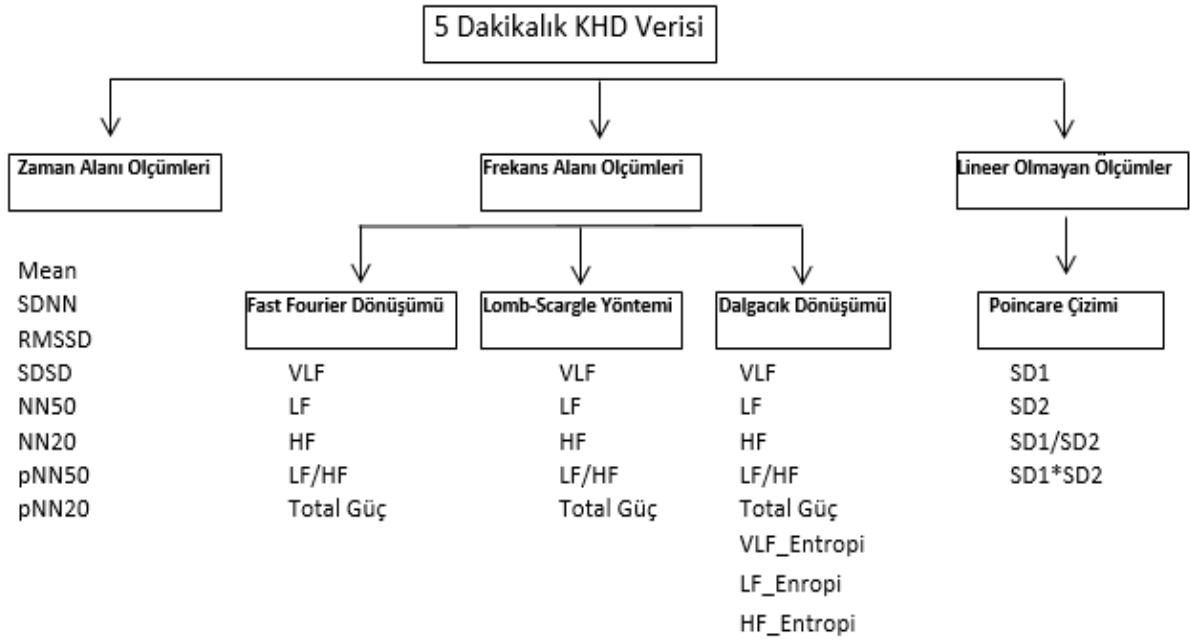
5.3 ÖZNETELİK ÇIKARIMI

Öznitelik çıkarımı kapsamında çıkarılan tüm öznitelikler Şekil 5.9’de gösterilmiştir. Burada, ektopik vuruların kaldırılmasından (yada kaldırılmamasından) sonra herhangi bir işlem yapılmadan KHD zaman alanı ölçümlerinden MEAN, SDNN (yada SDRR), SDSD, RMSSD, NN50, NN20, pNN50 ve pNN20 olmak üzere 8 adet elde edilmişken frekans alanı ölçümlerinden olan LOMB-SCARGLE yöntemiyle LOMB_VLF, LOMB_LF, LOMB_HF, LOMB_LF/HF ve LOMB_TOTAL olmak üzere 5 adet elde edilmiştir. Doğrusal olmayan ölçümler içerisinde de Poincare çizim ölçümlerinden SD_1 , SD_2 , $SD_1 \times SD_2$, ve SD_1/SD_2 olmak üzere 4 adet elde edilmiştir.

KHD verilerinin yeniden örneklenmesiyle frekans–zaman bilgisi veren Dalgacık dönüşümü yöntemiyle WAVE_VLF, WAVE_LF, WAVE_HF, WAVE_LF/HF ve WAVE_TOTAL olmak üzere 5 adet elde edilmişken ve dalgacık entropi ölçümleri ile ENT_VLF, ENT_LF ve ENT_HF olmak üzere 3 adet elde edilmiştir.

KHD verilerinin yeniden örneklenip sonrasında eğilimi yok edilmiş veriler üzerinden FFT ölçümü ile FFT_VLF, FFT_LF, FFT_HF, FFT_LF/HF ve FFT_TOTAL olmak üzere 5 adet elde edilmiştir.

Toplamda 30 adet öznelik çıkartılarak bu öznelikler ile çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Tüm özneliklerin 1. Çalışma grubu ve 2. Çalışma grubu için tüm veri segmentleri için ortalama \pm standart sapma değerleri Çizelge 5.2, Çizelge 5.3, Çizelge 5.4, Çizelge 5.5, Çizelge 5.6, Çizelge 5.7, Çizelge 5.8, Çizelge 5.9, Çizelge 5.10, Çizelge 5.10'da verilmektedir. Çizelgelerdeki 1. Çalışma grubu ve 2. Çalışma grubu içerik bilgileri Çizelge 5.1'de daha önce verilmişti. Bunun yanında çizelgelerde istatistiksel p değerleri verilmiştir. P değerlerinin 0.05'den küçük olanları için iki sınıf arasında istatistiksel fark olduğu sonucuna varılır.



Şekil 5.9 Elde edilen tüm özneliklerin gösterimi.

Çizelge 5.2 0-5 dakika arasındaki tüm öznitelikler için ortalama \pm standart sapma değerleri ve p istatistiksel anlamlılık değerlerinin gösterimi.

Öznitelikler	1. Çalışma Grubu			2. Çalışma Grubu		
	Kontrol	PAF	p	Kontrol	PAF	p
Mean	807,55 \pm 183,51	782,17 \pm 159,53	0,54	788,70 \pm 155,59	782,17 \pm 157,18	0,88
SDNN	70,37 \pm 55,61	122,59 \pm 109,63	0,00	60,66 \pm 45,21	122,59 \pm 110,01	0,01
RMSSD	80,74 \pm 92,23	174,22 \pm 157,22	0,00	83,75 \pm 73,75	174,22 \pm 157,96	0,01
SDSD	815,83 \pm 188,43	814,53 \pm 167,59	0,98	797,10 \pm 152,50	814,53 \pm 167,19	0,70
NN50	55,14 \pm 80,65	110,88 \pm 121,37	0,01	52,92 \pm 86,63	110,88 \pm 122,01	0,06
NN20	118,24 \pm 98,40	163,96 \pm 121,64	0,06	113,44 \pm 102,17	163,96 \pm 122,25	0,12
pNN50	14,94 \pm 21,62	26,48 \pm 26,52	0,03	12,05 \pm 17,57	26,48 \pm 26,59	0,03
pNN20	32,26 \pm 26,98	40,97 \pm 27,09	0,17	28,66 \pm 22,47	40,97 \pm 27,29	0,09
FFT_VLF	0,00 \pm 0,00	0,00 \pm 0,00	0,06	0,00 \pm 0,00	0,00 \pm 0,00	0,15
FFT_LF	0,06 \pm 0,07	0,13 \pm 0,15	0,01	0,06 \pm 0,03	0,13 \pm 0,16	0,03
FFT_HF	0,79 \pm 0,80	1,80 \pm 1,34	0,00	0,91 \pm 0,70	1,80 \pm 1,34	0,00
FFT_LF_HF	0,10 \pm 0,07	0,07 \pm 0,03	0,03	0,07 \pm 0,03	0,07 \pm 0,03	0,94
FFT_TOTAL	0,86 \pm 0,85	1,93 \pm 1,47	0,00	0,96 \pm 0,73	1,93 \pm 1,47	0,00
LOMB_VLF	0,14 \pm 0,36	0,14 \pm 0,23	0,96	0,05 \pm 0,10	0,14 \pm 0,24	0,07
LOMB_LF	0,14 \pm 0,21	0,43 \pm 0,95	0,02	0,06 \pm 0,05	0,43 \pm 0,96	0,06
LOMB_HF	0,13 \pm 0,20	0,61 \pm 1,51	0,01	0,06 \pm 0,07	0,61 \pm 1,53	0,08
LOMB_LF_HF	1,78 \pm 1,96	0,79 \pm 0,48	0,02	1,93 \pm 2,32	0,79 \pm 0,49	0,02
LOMB_TOTAL	0,41 \pm 0,64	1,17 \pm 2,64	0,02	0,17 \pm 0,16	1,17 \pm 2,68	0,07
Wave_VLF	0,01 \pm 0,03	0,01 \pm 0,01	0,22	0,01 \pm 0,04	0,01 \pm 0,01	0,92
Wave_LF	0,04 \pm 0,05	0,10 \pm 0,08	0,00	0,05 \pm 0,07	0,10 \pm 0,08	0,02
Wave_HF	0,22 \pm 0,33	0,54 \pm 0,45	0,00	0,29 \pm 0,45	0,54 \pm 0,45	0,05
Wave_LF_HF	0,22 \pm 0,06	0,20 \pm 0,05	0,05	0,22 \pm 0,06	0,20 \pm 0,05	0,16
Wave_TOTAL	0,26 \pm 0,40	0,66 \pm 0,54	0,00	0,35 \pm 0,55	0,66 \pm 0,54	0,05
Ent_VLF	0,00 \pm 0,02	0,00 \pm 0,00	0,96	0,01 \pm 0,03	0,00 \pm 0,00	0,53
Ent_LF	0,02 \pm 0,03	0,05 \pm 0,06	0,00	0,02 \pm 0,05	0,05 \pm 0,06	0,05
Ent_HF	0,00 \pm 0,64	0,04 \pm 0,69	0,77	0,16 \pm 1,07	0,04 \pm 0,71	0,66
SD1	57,17 \pm 65,34	123,35 \pm 111,32	0,00	59,30 \pm 52,21	123,35 \pm 11,84	0,01
SD2	75,40 \pm 53,68	117,36 \pm 112,60	0,01	59,14 \pm 41,47	117,36 \pm 113,16	0,02
SD1SD2	6482,50 \pm 13237,23	25472,62 \pm 61761,76	0,02	4963,46 \pm 7266,47	25472,62 \pm 62835,32	0,11
SD1/SD2	0,78 \pm 0,54	1,13 \pm 0,54	0,01	0,98 \pm 0,45	1,13 \pm 0,55	0,32

Çizelge 5.3 2.5-7.5 dakika arasındaki tüm öznitelikler için ortalama \pm standart sapma değerleri ve p istatistiksel anlamlılık değerlerinin gösterimi.

Öznitelikler	1. Çalışma Grubu			2. Çalışma Grubu		
	Kontrol	PAF	p	Kontrol	PAF	p
Mean	814,34 \pm 186,05	4 \pm 165,47	0,49	792,47 \pm 147,79	785,14 \pm 163,62	0,87
SDNN	68,54 \pm 55,99	125,01 \pm 111,60	0,00	58,55 \pm 42,66	125,01 \pm 111,66	0,01
RMSSD	79,33 \pm 91,41	183,69 \pm 166,36	0,00	77,43 \pm 66,95	183,69 \pm 166,62	0,00
SDSD	822,14 \pm 191,39	821,48 \pm 169,51	0,99	799,07 \pm 147,13	821,48 \pm 169,51	0,62
NN50	52,92 \pm 76,12	110,28 \pm 131,06	0,01	42,64 \pm 71,39	110,28 \pm 132,06	0,03
NN20	118,07 \pm 93,98	161,12 \pm 133,03	0,08	107,28 \pm 90,00	161,12 \pm 134,46	0,10
pNN50	14,74 \pm 21,32	25,92 \pm 27,55	0,04	10,33 \pm 15,81	25,92 \pm 27,68	0,02
pNN20	32,67 \pm 26,64	40,22 \pm 28,31	0,23	27,88 \pm 21,24	40,22 \pm 28,68	0,09
FFT_VLF	0,00 \pm 0,00	0,00 \pm 0,00	0,01	0,00 \pm 0,00	0,00 \pm 0,00	0,09
FFT_LF	0,07 \pm 0,07	0,14 \pm 0,15	0,00	0,06 \pm 0,05	0,14 \pm 0,15	0,02
FFT_HF	0,81 \pm 0,79	1,86 \pm 1,41	0,00	0,88 \pm 0,65	1,86 \pm 1,40	0,00
FFT_LF/HF	0,10 \pm 0,07	0,08 \pm 0,04	0,24	0,07 \pm 0,03	0,08 \pm 0,04	0,48
FFT_TOTAL	0,87 \pm 0,84	2,00 \pm 1,53	0,00	0,95 \pm 0,70	2,00 \pm 1,52	0,00
LOMB_VLF	0,11 \pm 0,25	0,18 \pm 0,38	0,30	0,04 \pm 0,06	0,18 \pm 0,39	0,08
LOMB_LF	0,15 \pm 0,23	0,42 \pm 0,89	0,02	0,11 \pm 0,23	0,42 \pm 0,91	0,10
LOMB_HF	0,14 \pm 0,22	0,57 \pm 1,68	0,03	0,09 \pm 0,13	0,57 \pm 1,71	0,17
LOMB_LF/HF	2,15 \pm 2,85	1,67 \pm 2,58	0,46	1,82 \pm 2,06	1,67 \pm 2,63	0,82
LOMB_TOTAL	0,39 \pm 0,57	1,17 \pm 2,79	0,03	0,24 \pm 0,38	1,17 \pm 2,84	0,11
Wave_VLF	0,00 \pm 0,01	0,02 \pm 0,04	0,02	0,00 \pm 0,01	0,02 \pm 0,04	0,20
Wave_LF	0,04 \pm 0,05	0,10 \pm 0,13	0,00	0,04 \pm 0,05	0,10 \pm 0,13	0,05
Wave_HF	0,19 \pm 0,27	0,55 \pm 0,65	0,00	0,21 \pm 0,29	0,55 \pm 0,66	0,02
Wave_LF/HF	0,22 \pm 0,05	0,18 \pm 0,05	0,00	0,22 \pm 0,06	0,18 \pm 0,04	0,01
Wave_TOTAL	0,23 \pm 0,33	0,66 \pm 0,81	0,00	0,26 \pm 0,35	0,66 \pm 0,82	0,03
Ent_VLF	0,00 \pm 0,00	0,01 \pm 0,03	0,06	0,00 \pm 0,00	0,01 \pm 0,03	0,28
Ent_LF	0,01 \pm 0,03	0,05 \pm 0,08	0,00	0,02 \pm 0,04	0,05 \pm 0,08	0,05
Ent_HF	0,06 \pm 0,18	0,74 \pm 3,84	0,08	0,06 \pm 0,17	0,74 \pm 3,91	0,32
SD1	56,18 \pm 64,75	130,06 \pm 117,79	0,00	54,83 \pm 47,40	130,06 \pm 117,97	0,00
SD2	73,13 \pm 54,59	113,95 \pm 111,09	0,02	59,47 \pm 41,47	113,95 \pm 111,49	0,03
SD1SD2	6309,31 \pm 12966,34	25678,31 \pm 59409,80	0,01	4607,56 \pm 6407,90	25678,31 \pm 60419,30	0,09
SD1/SD2	0,80 \pm 0,53	1,19 \pm 0,72	0,00	0,93 \pm 0,44	1,19 \pm 0,73	0,13

Çizelge 5.4 5-10 dakika arasındaki tüm öznitelikler için ortalama \pm standart sapma değerleri ve p istatistiksel anlamlılık değerlerinin gösterimi.

Öznitelikler	1. Çalışma Grubu			2. Çalışma Grubu		
	Kontrol	PAF	p	Kontrol	PAF	p
Mean	821,08 \pm 189,37	781,02 \pm 166,74	0,35	793,26 \pm 150,17	781,02 \pm 164,68	0,78
SDNN	68,76 \pm 55,75	105,93 \pm 56,12	0,00	66,71 \pm 54,36	105,93 \pm 54,16	0,01
RMSSD	81,80 \pm 91,55	159,42 \pm 101,55	0,00	90,60 \pm 81,95	159,42 \pm 99,85	0,01
SDSD	829,25 \pm 193,56	804,50 \pm 158,01	0,56	802,57 \pm 149,49	804,50 \pm 156,67	0,96
NN50	54,23 \pm 77,82	101,40 \pm 124,70	0,03	44,80 \pm 73,03	101,40 \pm 125,74	0,06
NN20	121,59 \pm 95,87	151,80 \pm 131,01	0,22	110,24 \pm 92,86	151,80 \pm 132,56	0,21
pNN50	15,20 \pm 22,04	23,38 \pm 25,38	0,13	10,83 \pm 16,46	23,38 \pm 25,52	0,04
pNN20	33,91 \pm 27,19	37,30 \pm 27,44	0,59	28,49 \pm 21,37	37,30 \pm 27,83	0,22
FFT_VLF	0,00 \pm 0,00	0,00 \pm 0,00	0,01	0,00 \pm 0,00	0,00 \pm 0,00	0,06
FFT_LF	0,07 \pm 0,08	0,11 \pm 0,08	0,04	0,08 \pm 0,07	0,11 \pm 0,08	0,13
FFT_HF	0,84 \pm 0,84	1,70 \pm 0,97	0,00	1,03 \pm 0,84	1,70 \pm 0,94	0,01
FFT_LF/HF	0,10 \pm 0,06	0,07 \pm 0,04	0,07	0,07 \pm 0,03	0,07 \pm 0,04	0,87
FFT_TOTAL	0,91 \pm 0,90	1,81 \pm 1,02	0,00	1,11 \pm 0,91	1,81 \pm 0,99	0,01
LOMB_VLF	0,09 \pm 0,17	0,10 \pm 0,25	0,94	0,06 \pm 0,09	0,10 \pm 0,25	0,49
LOMB_LF	0,15 \pm 0,25	0,17 \pm 0,23	0,71	0,16 \pm 0,35	0,17 \pm 0,23	0,86
LOMB_HF	0,16 \pm 0,25	0,16 \pm 0,18	0,94	0,13 \pm 0,22	0,16 \pm 0,18	0,61
LOMB_LF/HF	1,79 \pm 2,24	1,93 \pm 2,82	0,80	1,41 \pm 1,10	1,93 \pm 2,88	0,40
LOMB_TOTAL	0,40 \pm 0,57	0,43 \pm 0,54	0,82	0,35 \pm 0,64	0,43 \pm 0,54	0,63
Wave_VLF	0,00 \pm 0,01	0,02 \pm 0,05	0,02	0,01 \pm 0,01	0,02 \pm 0,05	0,22
Wave_LF	0,03 \pm 0,04	0,10 \pm 0,13	0,00	0,05 \pm 0,06	0,10 \pm 0,13	0,07
Wave_HF	0,18 \pm 0,26	0,55 \pm 0,71	0,00	0,24 \pm 0,31	0,55 \pm 0,72	0,05
Wave_LF/HF	0,22 \pm 0,06	0,19 \pm 0,05	0,02	0,23 \pm 0,07	0,19 \pm 0,04	0,05
Wave_TOTAL	0,22 \pm 0,30	0,67 \pm 0,89	0,00	0,29 \pm 0,37	0,67 \pm 0,90	0,06
Ent_VLF	0,00 \pm 0,00	0,01 \pm 0,04	0,06	0,00 \pm 0,00	0,01 \pm 0,04	0,29
Ent_LF	0,01 \pm 0,03	0,05 \pm 0,08	0,00	0,02 \pm 0,04	0,05 \pm 0,08	0,09
Ent_HF	0,06 \pm 0,15	1,10 \pm 5,46	0,07	0,07 \pm 0,18	1,10 \pm 5,56	0,30
SD1	57,93 \pm 64,84	112,87 \pm 71,89	0,00	64,15 \pm 58,02	112,87 \pm 70,68	0,01
SD2	72,79 \pm 53,13	91,61 \pm 48,97	0,12	66,76 \pm 53,72	91,61 \pm 47,29	0,09
SD1SD2	6585,95 \pm 12473,15	11919,11 \pm 10245,41	0,06	6797,89 \pm 10801,57	11919,11 \pm 10188,18	0,09
SD1/SD2	0,80 \pm 0,49	1,29 \pm 0,84	0,00	0,96 \pm 0,39	1,29 \pm 0,85	0,09

Çizelge 5.5 7.5-12.5 dakika arasındaki tüm öznitelikler için ortalama ± standart sapma değerleri ve p istatistiksel anlamlılık değerlerinin gösterimi.

Öznitelikler	1. Çalışma Grubu			2. Çalışma Grubu		
	Kontrol	PAF	p	Kontrol	PAF	p
Mean	819,87±188,84	86,38±161,81	0,43	796,75±155,78	786,38±159,93	0,82
SDNN	68,70±55,58	76,84±55,49	0,53	68,33±58,90	76,84±55,10	0,60
RMSSD	77,94±90,37	108,15±90,27	0,15	92,21±90,78	108,15±90,26	0,54
SDSD	827,51±192,84	799,20±158,65	0,51	807,04±155,53	799,20±157,24	0,86
NN50	51,66±72,24	75,84±117,40	0,23	50,76±76,90	75,84±118,85	0,38
NN20	120,80±94,58	127,32±128,31	0,79	117,68±97,78	127,32±130,39	0,77
pNN50	14,53±21,24	17,78±24,69	0,53	12,31±17,60	17,78±24,95	0,38
pNN20	33,64±26,83	31,86±28,50	0,78	30,51±22,40	31,86±29,02	0,86
FFT_VLF	0,00±0,00	0,00±0,00	0,85	0,00±0,00	0,00±0,00	0,71
FFT_LF	0,07±0,08	0,08±0,06	0,56	0,07±0,09	0,08±0,06	0,85
FFT_HF	0,77±0,84	1,25±1,02	0,02	0,98±0,94	1,25±1,01	0,33
FFT_LF/HF	0,10±0,07	0,07±0,03	0,02	0,09±0,05	0,07±0,04	0,17
FFT_TOTAL	0,84±0,91	1,33±1,07	0,03	1,05±1,01	1,33±1,07	0,35
LOMB_VLF	0,12±0,23	0,08±0,18	0,40	0,12±0,25	0,08±0,18	0,55
LOMB_LF	0,15±0,24	0,12±0,20	0,49	0,14±0,31	0,12±0,20	0,72
LOMB_HF	0,15±0,24	0,14±0,22	0,86	0,12±0,25	0,14±0,22	0,79
LOMB_LF/HF	1,94±1,90	1,92±3,33	0,97	1,58±0,96	1,92±3,39	0,63
LOMB_TOTAL	0,42±0,61	0,33±0,53	0,52	0,38±0,75	0,33±0,54	0,81
Wave_VLF	0,00±0,01	0,01±0,03	0,07	0,01±0,01	0,01±0,03	0,60
Wave_LF	0,03±0,05	0,07±0,09	0,02	0,05±0,07	0,07±0,09	0,38
Wave_HF	0,17±0,26	0,39±0,54	0,01	0,26±0,34	0,39±0,54	0,33
Wave_LF/HF	0,22±0,06	0,19±0,04	0,03	0,21±0,07	0,19±0,04	0,47
Wave_TOTAL	0,21±0,31	0,46±0,65	0,01	0,31±0,41	0,46±0,66	0,34
Ent_VLF	0,00±0,00	0,00±0,02	0,10	0,00±0,00	0,00±0,02	0,52
Ent_LF	0,01±0,03	0,03±0,07	0,03	0,02±0,04	0,03±0,07	0,45
Ent_HF	0,06±0,11	0,33±1,72	0,06	0,07±0,13	0,33±1,75	0,26
SD1	55,19±64,01	76,58±63,91	0,15	65,29±64,28	76,58±63,91	0,54
SD2	74,22±54,58	73,69±50,71	0,97	68,50±56,61	73,69±50,24	0,73
SD1SD2	6401,27±13096,12	8134,12±9392,61	0,54	7523,91±14024,49	8134,12±9451,49	0,86
SD1/SD2	0,75±0,50	1,00±0,49	0,04	0,92±0,40	1,00±0,50	0,52

Çizelge 5.6 10-15 dakika arasındaki tüm öznitelikler için ortalama \pm standart sapma değerleri ve p istatistiksel anlamlılık değerlerinin gösterimi.

Öznitelikler	1. Çalışma Grubu			2. Çalışma Grubu		
	Kontrol	PAF	p	Kontrol	PAF	p
Mean	812,84 \pm 193,43	786,30 \pm 163,80	0,54	790,94 \pm 170,02	786,30 \pm 161,99	0,92
SDNN	70,85 \pm 58,00	81,23 \pm 60,64	0,45	66,51 \pm 56,09	81,23 \pm 60,36	0,38
RMSSD	79,94 \pm 91,67	115,75 \pm 95,47	0,10	91,55 \pm 85,41	115,75 \pm 95,32	0,35
SDSD	820,85 \pm 196,77	801,11 \pm 157,87	0,65	801,77 \pm 163,83	801,11 \pm 156,48	0,99
NN50	56,76 \pm 91,39	88,32 \pm 142,00	0,20	72,56 \pm 133,42	88,32 \pm 143,85	0,69
NN20	125,69 \pm 109,25	138,92 \pm 146,26	0,63	135,84 \pm 143,65	138,92 \pm 148,24	0,94
pNN50	14,85 \pm 21,12	19,90 \pm 27,00	0,34	15,24 \pm 22,54	19,90 \pm 27,27	0,51
pNN20	33,64 \pm 26,67	33,82 \pm 29,26	0,98	32,45 \pm 25,61	33,82 \pm 29,67	0,86
FFT_VLF	0,00 \pm 0,00	0,00 \pm 0,00	0,16	0,00 \pm 0,00	0,00 \pm 0,00	0,07
FFT_LF	0,07 \pm 0,08	0,09 \pm 0,07	0,23	0,07 \pm 0,07	0,09 \pm 0,07	0,34
FFT_HF	0,78 \pm 0,80	1,28 \pm 1,06	0,01	0,94 \pm 0,84	1,28 \pm 1,06	0,21
FFT_LF/HF	0,10 \pm 0,06	0,08 \pm 0,04	0,09	0,08 \pm 0,04	0,08 \pm 0,04	0,64
FFT_TOTAL	0,84 \pm 0,87	1,37 \pm 1,11	0,02	1,01 \pm 0,90	1,37 \pm 1,11	0,21
LOMB_VLF	0,15 \pm 0,25	0,06 \pm 0,13	0,11	0,10 \pm 0,18	0,06 \pm 0,13	0,43
LOMB_LF	0,17 \pm 0,24	0,14 \pm 0,24	0,62	0,10 \pm 0,18	0,14 \pm 0,25	0,59
LOMB_HF	0,15 \pm 0,25	0,19 \pm 0,29	0,56	0,10 \pm 0,22	0,19 \pm 0,29	0,26
LOMB_LF/HF	2,19 \pm 2,03	1,23 \pm 1,41	0,03	2,10 \pm 2,13	1,23 \pm 1,22	0,08
LOMB_TOTAL	0,46 \pm 0,65	0,39 \pm 0,57	0,60	0,31 \pm 0,52	0,39 \pm 0,58	0,60
Wave_VLF	0,01 \pm 0,05	0,02 \pm 0,05	0,61	0,02 \pm 0,08	0,02 \pm 0,05	0,75
Wave_LF	0,04 \pm 0,05	0,08 \pm 0,16	0,04	0,05 \pm 0,07	0,08 \pm 0,16	0,43
Wave_HF	0,21 \pm 0,42	0,45 \pm 0,85	0,07	0,34 \pm 0,66	0,45 \pm 0,86	0,62
Wave_LF/HF	0,23 \pm 0,06	0,19 \pm 0,05	0,01	0,22 \pm 0,06	0,19 \pm 0,04	0,07
Wave_TOTAL	0,25 \pm 0,51	0,54 \pm 1,06	0,07	0,41 \pm 0,80	0,54 \pm 1,08	0,63
Ent_VLF	0,00 \pm 0,03	0,01 \pm 0,04	0,68	0,01 \pm 0,06	0,01 \pm 0,04	0,74
Ent_LF	0,01 \pm 0,03	0,03 \pm 0,06	0,08	0,03 \pm 0,05	0,03 \pm 0,06	0,69
Ent_HF	0,24 \pm 2,71	2,05 \pm 10,46	0,18	0,85 \pm 4,66	2,05 \pm 10,66	0,61
SD1	56,61 \pm 64,93	81,96 \pm 67,59	0,10	64,82 \pm 60,47	81,96 \pm 67,48	0,35
SD2	76,89 \pm 58,71	77,76 \pm 56,66	0,95	65,90 \pm 54,33	77,76 \pm 56,44	0,45
SD1SD2	6907,36 \pm 13789,78	9450,52 \pm 10287,92	0,40	7101,69 \pm 11552,58	9450,52 \pm 10333,89	0,45
SD1/SD2	0,75 \pm 0,51	0,98 \pm 0,42	0,05	0,92 \pm 0,43	0,98 \pm 0,43	0,67

Çizelge 5.7 12.5-17.5 dakika arasındaki tüm öznitelikler için ortalama \pm standart sapma değerleri ve p istatistiksel anlamlılık değerlerinin gösterimi.

Öznitelikler	1. Çalışma Grubu			2. Çalışma Grubu		
	Kontrol	PAF	p	Kontrol	PAF	p
Mean	809,41 \pm 195,49	783,70 \pm 172,07	0,56	787,38 \pm 176,41	783,70 \pm 170,51	0,94
SDNN	70,68 \pm 60,16	77,31 \pm 56,91	0,63	67,72 \pm 42,64	77,31 \pm 56,61	0,50
RMSSD	80,88 \pm 91,28	111,89 \pm 98,77	0,15	96,79 \pm 73,03	111,89 \pm 98,94	0,54
SDSD	817,97 \pm 197,66	799,50 \pm 162,13	0,67	798,78 \pm 165,03	799,50 \pm 160,82	0,99
NN50	60,42 \pm 127,45	103,56 \pm 203,11	0,22	86,48 \pm 203,22	103,56 \pm 206,26	0,77
NN20	127,57 \pm 136,15	155,08 \pm 199,69	0,45	145,12 \pm 202,16	155,08 \pm 202,88	0,86
pNN50	14,64 \pm 21,13	20,69 \pm 29,64	0,27	15,56 \pm 23,48	20,69 \pm 29,97	0,50
pNN20	33,13 \pm 26,54	35,19 \pm 30,93	0,75	31,82 \pm 26,24	35,19 \pm 31,41	0,68
FFT_VLF	0,00 \pm 0,00	0,00 \pm 0,00	0,37	0,00 \pm 0,00	0,00 \pm 0,00	0,71
FFT_LF	0,07 \pm 0,07	0,08 \pm 0,07	0,43	0,07 \pm 0,05	0,08 \pm 0,07	0,64
FFT_HF	0,80 \pm 0,80	1,21 \pm 1,03	0,04	1,00 \pm 0,67	1,21 \pm 1,03	0,41
FFT_LF/HF	0,10 \pm 0,06	0,08 \pm 0,05	0,10	0,08 \pm 0,03	0,08 \pm 0,05	0,93
FFT_TOTAL	0,87 \pm 0,86	1,29 \pm 1,08	0,05	1,07 \pm 0,71	1,29 \pm 1,08	0,41
LOMB_VLF	0,14 \pm 0,33	0,04 \pm 0,06	0,13	0,06 \pm 0,11	0,04 \pm 0,06	0,54
LOMB_LF	0,15 \pm 0,27	0,10 \pm 0,15	0,35	0,08 \pm 0,10	0,10 \pm 0,16	0,65
LOMB_HF	0,14 \pm 0,19	0,14 \pm 0,21	0,95	0,12 \pm 0,15	0,14 \pm 0,21	0,62
LOMB_LF/HF	1,66 \pm 1,68	1,76 \pm 2,16	0,81	1,38 \pm 1,56	1,76 \pm 2,08	0,48
LOMB_TOTAL	0,44 \pm 0,72	0,28 \pm 0,37	0,31	0,25 \pm 0,33	0,28 \pm 0,38	0,78
Wave_VLF	0,01 \pm 0,09	0,02 \pm 0,05	0,89	0,03 \pm 0,15	0,02 \pm 0,06	0,57
Wave_LF	0,04 \pm 0,08	0,08 \pm 0,15	0,11	0,06 \pm 0,13	0,08 \pm 0,16	0,72
Wave_HF	0,24 \pm 0,66	0,47 \pm 1,01	0,19	0,44 \pm 1,10	0,47 \pm 1,03	0,92
Wave_LF/HF	0,22 \pm 0,05	0,21 \pm 0,06	0,66	0,19 \pm 0,05	0,21 \pm 0,06	0,29
Wave_TOTAL	0,29 \pm 0,83	0,57 \pm 1,22	0,21	0,54 \pm 1,37	0,57 \pm 1,24	0,94
Ent_VLF	0,00 \pm 0,04	0,01 \pm 0,04	0,67	0,01 \pm 0,07	0,01 \pm 0,04	0,75
Ent_LF	0,02 \pm 0,05	0,03 \pm 0,07	0,14	0,03 \pm 0,07	0,03 \pm 0,07	0,80
Ent_HF	1,36 \pm 12,49	3,41 \pm 17,00	0,52	4,18 \pm 21,50	3,41 \pm 17,33	0,89
SD1	57,27 \pm 64,66	79,22 \pm 69,93	0,15	68,53 \pm 51,69	79,22 \pm 70,05	0,54
SD2	75,40 \pm 64,01	71,44 \pm 46,30	0,78	63,11 \pm 38,43	71,44 \pm 45,82	0,49
SD1SD2	6681,61 \pm 14701,63	8121,36 \pm 8963,88	0,65	5527,86 \pm 5901,80	8121,36 \pm 9008,49	0,23
SD1/SD2	0,84 \pm 0,78	0,97 \pm 0,50	0,41	1,16 \pm 1,09	0,97 \pm 0,51	0,45

Çizelge 5.8 15-20 dakika arasındaki tüm öznitelikler için ortalama \pm standart sapma değerleri ve p istatistiksel anlamlılık değerlerinin gösterimi.

Öznitelikler	1. Çalışma Grubu			2. Çalışma Grubu		
	Kontrol	PAF	p	Kontrol	PAF	p
Mean	810,99 \pm 197,89	784,15 \pm 177,17	0,55	781,03 \pm 173,74	784,15 \pm 176,01	0,95
SDNN	66,57 \pm 54,11	71,53 \pm 67,25	0,71	66,91 \pm 44,47	71,53 \pm 67,54	0,78
RMSSD	80,62 \pm 95,40	103,44 \pm 108,90	0,32	94,46 \pm 80,09	103,44 \pm 109,75	0,74
SDSD	820,14 \pm 199,24	800,48 \pm 165,98	0,66	792,76 \pm 163,03	800,48 \pm 165,04	0,87
NN50	61,66 \pm 130,82	104,40 \pm 217,64	0,25	86,52 \pm 206,85	104,40 \pm 221,14	0,77
NN20	127,18 \pm 136,62	157,60 \pm 212,64	0,41	143,36 \pm 203,16	157,60 \pm 216,29	0,81
pNN50	14,79 \pm 22,21	19,89 \pm 29,82	0,37	15,53 \pm 25,10	19,89 \pm 30,17	0,58
pNN20	33,09 \pm 26,93	35,02 \pm 31,09	0,77	31,35 \pm 27,14	35,02 \pm 31,64	0,66
FFT_VLF	0,00 \pm 0,00	0,00 \pm 0,00	0,43	0,00 \pm 0,00	0,00 \pm 0,00	0,34
FFT_LF	0,07 \pm 0,07	0,07 \pm 0,09	0,68	0,07 \pm 0,04	0,07 \pm 0,09	0,69
FFT_HF	0,80 \pm 0,84	1,07 \pm 1,08	0,20	0,97 \pm 0,72	1,07 \pm 1,09	0,70
FFT_LF/HF	0,10 \pm 0,06	0,07 \pm 0,04	0,06	0,08 \pm 0,03	0,07 \pm 0,04	0,97
FFT_TOTAL	0,86 \pm 0,90	1,14 \pm 1,16	0,22	1,03 \pm 0,74	1,14 \pm 1,17	0,70
LOMB_VLF	0,09 \pm 0,23	0,04 \pm 0,09	0,34	0,03 \pm 0,04	0,04 \pm 0,10	0,57
LOMB_LF	0,10 \pm 0,13	0,11 \pm 0,30	0,85	0,07 \pm 0,09	0,11 \pm 0,31	0,54
LOMB_HF	0,11 \pm 0,14	0,17 \pm 0,46	0,31	0,10 \pm 0,11	0,17 \pm 0,46	0,45
LOMB_LF/HF	1,35 \pm 1,29	1,94 \pm 2,38	0,13	0,97 \pm 0,83	1,94 \pm 2,42	0,07
LOMB_TOTAL	0,31 \pm 0,43	0,33 \pm 0,84	0,86	0,21 \pm 0,22	0,33 \pm 0,85	0,48
Wave_VLF	0,01 \pm 0,09	0,01 \pm 0,04	0,95	0,04 \pm 0,16	0,01 \pm 0,04	0,48
Wave_LF	0,04 \pm 0,07	0,06 \pm 0,09	0,22	0,06 \pm 0,11	0,06 \pm 0,09	0,99
Wave_HF	0,24 \pm 0,68	0,40 \pm 0,76	0,33	0,44 \pm 1,12	0,40 \pm 0,77	0,88
Wave_LF/HF	0,22 \pm 0,06	0,20 \pm 0,06	0,15	0,21 \pm 0,07	0,20 \pm 0,04	0,59
Wave_TOTAL	0,29 \pm 0,84	0,47 \pm 0,89	0,37	0,54 \pm 1,39	0,47 \pm 0,91	0,85
Ent_VLF	0,00 \pm 0,03	0,01 \pm 0,03	0,77	0,01 \pm 0,05	0,01 \pm 0,03	0,67
Ent_LF	0,02 \pm 0,04	0,03 \pm 0,07	0,16	0,03 \pm 0,07	0,03 \pm 0,07	0,83
Ent_HF	1,44 \pm 13,09	1,40 \pm 7,00	0,99	4,40 \pm 22,53	1,40 \pm 7,14	0,53
SD1	57,09 \pm 67,57	73,24 \pm 77,09	0,32	66,88 \pm 56,69	73,24 \pm 77,70	0,74
SD2	68,28 \pm 47,40	65,66 \pm 60,33	0,82	62,05 \pm 37,41	65,66 \pm 60,56	0,80
SD1SD2	5887,88 \pm 13901,91	8550,41 \pm 16627,67	0,44	5292,77 \pm 7933,79	8550,41 \pm 16886,27	0,39
SD1/SD2	0,93 \pm 1,18	1,00 \pm 0,73	0,77	1,32 \pm 1,85	1,00 \pm 0,75	0,43

Çizelge 5.9 17.5-22.5 dakika arasındaki tüm öznitelikler için ortalama \pm standart sapma değerleri ve p istatistiksel anlamlılık değerlerinin gösterimi.

Öznitelikler	1. Çalışma Grubu			2. Çalışma Grubu		
	Kontrol	PAF	p	Kontrol	PAF	p
Mean	813,50 \pm 196,95	785,27 \pm 171,22	0,52	775,16 \pm 171,42	785,27 \pm 169,53	0,83
SDNN	70,52 \pm 68,80	76,32 \pm 66,20	0,71	64,01 \pm 51,10	76,32 \pm 66,29	0,47
RMSSD	87,42 \pm 110,90	106,73 \pm 102,06	0,45	92,12 \pm 86,21	106,73 \pm 102,51	0,59
SDSD	825,44 \pm 197,73	800,42 \pm 163,13	0,57	787,46 \pm 159,90	800,42 \pm 161,77	0,78
NN50	67,36 \pm 138,27	90,40 \pm 166,68	0,50	87,40 \pm 208,70	90,40 \pm 169,15	0,96
NN20	133,47 \pm 143,10	144,76 \pm 170,06	0,75	144,40 \pm 205,11	144,76 \pm 172,55	0,99
pNN50	15,98 \pm 23,96	18,94 \pm 27,51	0,61	15,65 \pm 26,79	18,94 \pm 27,82	0,67
pNN20	34,59 \pm 28,40	34,07 \pm 29,87	0,94	31,34 \pm 28,40	34,07 \pm 30,30	0,74
FFT_VLF	0,00 \pm 0,00	0,00 \pm 0,00	0,86	0,00 \pm 0,00	0,00 \pm 0,00	0,52
FFT_LF	0,07 \pm 0,09	0,08 \pm 0,09	0,57	0,06 \pm 0,04	0,08 \pm 0,09	0,39
FFT_HF	0,85 \pm 0,95	1,20 \pm 1,05	0,12	0,97 \pm 0,87	1,20 \pm 1,05	0,41
FFT_LF/HF	0,10 \pm 0,06	0,08 \pm 0,05	0,14	0,08 \pm 0,05	0,08 \pm 0,05	0,74
FFT_TOTAL	0,92 \pm 1,02	1,28 \pm 1,13	0,14	1,04 \pm 0,90	1,28 \pm 1,13	0,40
LOMB_VLF	0,10 \pm 0,22	0,07 \pm 0,13	0,49	0,04 \pm 0,09	0,07 \pm 0,13	0,48
LOMB_LF	0,14 \pm 0,31	0,15 \pm 0,33	0,89	0,07 \pm 0,13	0,15 \pm 0,34	0,26
LOMB_HF	0,19 \pm 0,61	0,18 \pm 0,45	0,91	0,13 \pm 0,32	0,18 \pm 0,46	0,66
LOMB_LF/HF	1,45 \pm 1,47	1,22 \pm 1,39	0,48	1,31 \pm 1,16	1,22 \pm 1,37	0,81
LOMB_TOTAL	0,43 \pm 1,02	0,40 \pm 0,87	0,87	0,24 \pm 0,50	0,40 \pm 0,88	0,45
Wave_VLF	0,01 \pm 0,09	0,01 \pm 0,04	0,96	0,04 \pm 0,16	0,01 \pm 0,04	0,49
Wave_LF	0,04 \pm 0,08	0,07 \pm 0,13	0,20	0,06 \pm 0,12	0,07 \pm 0,14	0,81
Wave_HF	0,25 \pm 0,69	0,39 \pm 0,72	0,38	0,43 \pm 1,13	0,39 \pm 0,73	0,89
Wave_LF/HF	0,22 \pm 0,06	0,19 \pm 0,05	0,01	0,21 \pm 0,06	0,19 \pm 0,05	0,14
Wave_TOTAL	0,30 \pm 0,85	0,48 \pm 0,89	0,39	0,53 \pm 1,41	0,48 \pm 0,90	0,88
Ent_VLF	0,00 \pm 0,03	0,01 \pm 0,03	0,84	0,01 \pm 0,06	0,01 \pm 0,03	0,63
Ent_LF	0,02 \pm 0,05	0,03 \pm 0,08	0,27	0,03 \pm 0,08	0,03 \pm 0,08	0,88
Ent_HF	1,47 \pm 13,21	1,18 \pm 6,01	0,92	4,47 \pm 22,72	1,18 \pm 6,13	0,49
SD1	61,90 \pm 78,53	75,57 \pm 72,25	0,45	65,22 \pm 61,02	75,57 \pm 72,57	0,59
SD2	71,88 \pm 65,28	74,26 \pm 62,88	0,87	59,34 \pm 43,98	74,26 \pm 62,95	0,34
SD1SD2	8289,97 \pm 24120,91	9492,41 \pm 17093,09	0,82	5856,17 \pm 10627,39	9492,41 \pm 17344,36	0,38
SD1/SD2	0,89 \pm 0,77	0,94 \pm 0,43	0,72	1,14 \pm 1,05	0,94 \pm 0,44	0,40

Çizelge 5.10 20-25 dakika arasındaki tüm öznitelikler için ortalama \pm standart sapma değerleri ve p istatistiksel anlamlılık değerlerinin gösterimi.

Öznitelikler	1. Çalışma Grubu			2. Çalışma Grubu		
	Kontrol	PAF	p	Kontrol	PAF	p
Mean	813,54 \pm 194,72	793,82 \pm 154,65	0,65	777,70 \pm 166,76	793,82 \pm 152,30	0,72
SDNN	74,29 \pm 77,55	73,63 \pm 54,74	0,97	70,87 \pm 81,15	73,63 \pm 54,33	0,89
RMSSD	89,79 \pm 118,56	101,90 \pm 86,69	0,64	102,58 \pm 119,82	101,90 \pm 86,69	0,98
SDSD	826,71 \pm 195,45	805,28 \pm 151,59	0,62	795,12 \pm 156,62	805,28 \pm 149,67	0,82
NN50	64,22 \pm 127,40	66,16 \pm 106,06	0,95	75,64 \pm 184,22	66,16 \pm 107,44	0,83
NN20	128,39 \pm 134,53	121,88 \pm 120,11	0,83	131,88 \pm 184,41	121,88 \pm 121,67	0,82
pNN50	15,32 \pm 22,70	16,05 \pm 22,76	0,89	13,44 \pm 23,80	16,05 \pm 23,00	0,70
pNN20	33,48 \pm 27,77	31,49 \pm 27,34	0,76	28,92 \pm 26,24	31,49 \pm 27,72	0,74
FFT_VLF	0,00 \pm 0,00	0,00 \pm 0,00	0,44	0,00 \pm 0,00	0,00 \pm 0,00	0,42
FFT_LF	0,07 \pm 0,11	0,07 \pm 0,05	0,98	0,09 \pm 0,14	0,07 \pm 0,05	0,68
FFT_HF	0,86 \pm 0,98	1,21 \pm 1,05	0,13	1,05 \pm 1,05	1,21 \pm 1,05	0,58
FFT_LF/HF	0,10 \pm 0,07	0,07 \pm 0,04	0,12	0,08 \pm 0,05	0,07 \pm 0,04	0,56
FFT_TOTAL	0,93 \pm 1,07	1,29 \pm 1,09	0,16	1,14 \pm 1,17	1,29 \pm 1,09	0,64
LOMB_VLF	0,15 \pm 0,50	0,07 \pm 0,14	0,43	0,06 \pm 0,10	0,07 \pm 0,14	0,73
LOMB_LF	0,17 \pm 0,34	0,14 \pm 0,26	0,64	0,11 \pm 0,22	0,14 \pm 0,26	0,70
LOMB_HF	0,25 \pm 0,74	0,11 \pm 0,15	0,36	0,27 \pm 0,78	0,11 \pm 0,15	0,34
LOMB_LF/HF	1,56 \pm 1,53	1,22 \pm 1,07	0,31	1,51 \pm 1,65	1,22 \pm 1,09	0,47
LOMB_TOTAL	0,57 \pm 1,29	0,32 \pm 0,52	0,34	0,44 \pm 1,05	0,32 \pm 0,52	0,63
Wave_VLF	0,01 \pm 0,08	0,01 \pm 0,02	0,84	0,03 \pm 0,14	0,01 \pm 0,02	0,44
Wave_LF	0,04 \pm 0,07	0,06 \pm 0,09	0,17	0,05 \pm 0,10	0,06 \pm 0,09	0,76
Wave_HF	0,24 \pm 0,63	0,32 \pm 0,50	0,53	0,39 \pm 1,03	0,32 \pm 0,50	0,76
Wave_LF/HF	0,23 \pm 0,07	0,21 \pm 0,07	0,25	0,22 \pm 0,08	0,21 \pm 0,06	0,68
Wave_TOTAL	0,29 \pm 0,77	0,39 \pm 0,61	0,53	0,48 \pm 1,26	0,39 \pm 0,61	0,77
Ent_VLF	0,00 \pm 0,04	0,00 \pm 0,01	0,80	0,01 \pm 0,07	0,00 \pm 0,01	0,43
Ent_LF	0,02 \pm 0,05	0,03 \pm 0,07	0,25	0,03 \pm 0,07	0,03 \pm 0,07	0,86
Ent_HF	1,10 \pm 10,10	0,30 \pm 1,76	0,69	3,40 \pm 17,37	0,30 \pm 1,79	0,38
SD1	63,58 \pm 83,95	72,16 \pm 61,38	0,64	72,63 \pm 84,82	72,16 \pm 61,38	0,98
SD2	77,88 \pm 76,95	72,03 \pm 51,56	0,72	68,01 \pm 78,28	72,03 \pm 51,00	0,83
SD1SD2	10089,85 \pm 28692,77	7626,09 \pm 11078,27	0,68	11149,46 \pm 29864,63	7626,09 \pm 11205,12	0,58
SD1/SD2	0,82 \pm 0,50	0,95 \pm 0,44	0,25	1,03 \pm 0,35	0,95 \pm 0,44	0,48

Çizelge 5.11 22.5-27.5 dakika arasındaki tüm öznitelikler için ortalama \pm standart sapma değerleri ve p istatistiksel anlamlılık değerlerinin gösterimi.

Öznitelikler	1. Çalışma Grubu			2. Çalışma Grubu		
	Kontrol	PAF	p	Kontrol	PAF	p
Mean	814,86 \pm 190,58	798,78 \pm 150,51	0,70	778,10 \pm 153,26	798,78 \pm 148,53	0,63
SDNN	66,34 \pm 65,13	65,56 \pm 53,59	0,96	68,71 \pm 79,55	65,56 \pm 54,30	0,87
RMSSD	77,66 \pm 100,20	93,03 \pm 89,39	0,50	95,02 \pm 113,78	93,03 \pm 90,89	0,95
SDSD	824,11 \pm 192,61	809,15 \pm 149,64	0,72	792,24 \pm 150,31	809,15 \pm 148,07	0,69
NN50	54,95 \pm 92,18	54,80 \pm 91,09	1,00	54,72 \pm 104,74	54,80 \pm 92,44	1,00
NN20	118,32 \pm 106,24	109,92 \pm 108,86	0,74	108,64 \pm 117,08	109,92 \pm 110,41	0,97
pNN50	14,11 \pm 20,75	13,88 \pm 20,26	0,96	11,67 \pm 18,72	13,88 \pm 20,53	0,69
pNN20	32,13 \pm 26,75	29,42 \pm 26,18	0,66	26,35 \pm 22,90	29,42 \pm 26,59	0,66
FFT_VLF	0,00 \pm 0,00	0,00 \pm 0,00	0,98	0,00 \pm 0,00	0,00 \pm 0,00	0,59
FFT_LF	0,06 \pm 0,10	0,06 \pm 0,06	0,97	0,08 \pm 0,13	0,06 \pm 0,06	0,62
FFT_HF	0,76 \pm 0,86	1,08 \pm 1,05	0,13	0,97 \pm 0,98	1,08 \pm 1,07	0,70
FFT_LF/HF	0,10 \pm 0,07	0,07 \pm 0,04	0,06	0,08 \pm 0,05	0,07 \pm 0,04	0,52
FFT_TOTAL	0,82 \pm 0,94	1,15 \pm 1,10	0,16	1,05 \pm 1,10	1,15 \pm 1,12	0,76
LOMB_VLF	0,12 \pm 0,46	0,04 \pm 0,06	0,37	0,05 \pm 0,09	0,04 \pm 0,06	0,59
LOMB_LF	0,12 \pm 0,19	0,08 \pm 0,13	0,35	0,10 \pm 0,23	0,08 \pm 0,13	0,76
LOMB_HF	0,16 \pm 0,44	0,11 \pm 0,17	0,60	0,22 \pm 0,71	0,11 \pm 0,17	0,48
LOMB_LF/HF	1,52 \pm 1,35	1,30 \pm 1,33	0,49	1,43 \pm 1,28	1,30 \pm 1,34	0,73
LOMB_TOTAL	0,41 \pm 0,86	0,24 \pm 0,32	0,33	0,37 \pm 0,97	0,24 \pm 0,32	0,53
Wave_VLF	0,01 \pm 0,04	0,00 \pm 0,01	0,68	0,02 \pm 0,07	0,00 \pm 0,01	0,35
Wave_LF	0,04 \pm 0,05	0,04 \pm 0,05	0,45	0,05 \pm 0,08	0,04 \pm 0,06	0,85
Wave_HF	0,19 \pm 0,37	0,24 \pm 0,32	0,56	0,28 \pm 0,55	0,24 \pm 0,32	0,72
Wave_LF/HF	0,23 \pm 0,06	0,21 \pm 0,05	0,31	0,21 \pm 0,06	0,21 \pm 0,05	0,88
Wave_TOTAL	0,23 \pm 0,45	0,29 \pm 0,38	0,59	0,35 \pm 0,68	0,29 \pm 0,38	0,69
Ent_VLF	0,00 \pm 0,03	0,00 \pm 0,00	0,58	0,01 \pm 0,05	0,00 \pm 0,00	0,33
Ent_LF	0,01 \pm 0,04	0,02 \pm 0,04	0,60	0,02 \pm 0,05	0,02 \pm 0,04	0,74
Ent_HF	0,11 \pm 1,55	0,05 \pm 0,18	0,61	0,45 \pm 2,66	0,05 \pm 0,19	0,35
SD1	54,99 \pm 70,96	65,87 \pm 63,29	0,50	67,28 \pm 80,55	65,87 \pm 64,35	0,95
SD2	71,19 \pm 64,56	62,49 \pm 45,68	0,54	68,83 \pm 79,71	62,49 \pm 46,10	0,73
SD1SD2	7466,45 \pm 20687,84	6554,34 \pm 9064,49	0,83	10615,22 \pm 29238,32	6554,34 \pm 9185,43	0,51
SD1/SD2	0,77 \pm 0,46	0,95 \pm 0,45	0,09	0,94 \pm 0,35	0,95 \pm 0,45	0,94



BÖLÜM 6

SONUÇLAR

Tez çalışması kapsamında veri seti, 2 çalışma grubuna ayrılarak araştırmalar yapılmıştır.

1. Çalışma Grubunun amacı: Tüm insanlar arasından PAF atağı geçirmek üzere olanların tespit edilebilmesi. Bu amaçla PAF rahatsızlığı bulunmayan normal bireyler ile PAF atağı geçirmek üzere olmayan fakat PAF rahatsızlığı bulunan hastaları Negatif grubu olarak ve PAF rahatsızlığı bulunan ve atak geçirmek üzere olan hastaları ise Pozitif grubu olarak nitelendirilerek örüntü tanıma çalışmaları yürütülmüştür. Böylece PAF teşhisinin konulması ön koşul olmadan PAF kestirimi yapılıp yapılamayacağı araştırılmıştır.

2. Çalışma grubunun amacı: Zaten PAF hastası olduğu tespit edilen bireyler arasından PAF atağı geçirmek üzere olanların tespit edilebilmesi. Bu amaçla PAF rahatsızlığı bulunmayan normal bireyler çalışma dışı bırakılmıştır. PAF atağı geçirmek üzere olmayan fakat PAF rahatsızlığı bulunan hastaları Negatif grubu olarak ve PAF rahatsızlığı bulunan ve atak geçirmek üzere olan hastaları ise Pozitif grubu olarak nitelendirilerek örüntü tanıma çalışmaları yürütülmüştür. Böylece PAF atağının kestirimi üzerinde daha önce teşhis konulmuş hasta olması ön koşulunun etkisi araştırılmıştır.

Bu kapsamda takip eden başlıklarda araştırmalar kapsamlı bir şekilde sunulmakla birlikte yapılan bazı çalışmalar ilgili referanslarda bulunmaktadır [109-112].

6.1 ZAMAN ALANI ÖLÇÜMLERİNİN PAF ATAĞI TESPİTİNE ETKİSİ

KHD analizinin en temel yöntemlerinden olan zaman alanı ölçümleri MEAN, SDNN, RMSSD, SDSD, NN50, NN20, pNN50, pNN20 her bir 5 dakikalık veri üzerinden hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlar Çizelge 6.1'de verilmiştir. Sadece 8 adet zaman alanı ölçümüyle gerçekleştirilen sonuçlara baktığımızda, özellikle PAF atağının erken teşhis edilebileği kanısı

daha önceki çalışmaları da desteklemesiyle beraber bizlere umut ışığı olmuştur. Normal verilerin çalışmaya eklendiği 1. Çalışma grubu verisinde genel başarıım PAF atağına yaklaştıkça bir miktar artmaktadır. 2.5-7.5 dakika aralığında KNN algoritması ile en yüksek % 82,82 olan ACC başarıımında SEN değeri %40 iken SPE değeri %97,29 elde edilmiştir. Normal verilerin ayrı tutulduğu 2. Çalışma grubu verisinde PAF atağına yaklaştıkça başarıımın daha fazla artış gösterdiği görülmektedir. 0-5 dakika aralığında %72 olan ACC değeri, aynı zaman aralığında %56 SEN ve % 88 SPE değerlerine sahiptir. Fakat bu kısımda başarıım istenildiği kadar yüksek çıkmamıştır.

Çizelge 6.1 KHD-zaman alanı ölçümlerinin her bir segment ve çalışma grubundaki başarımları.

Segmentler (dakika)	1. Çalışma Grubu				2. Çalışma Grubu			
	k	SEN	SPE	ACC	k	SEN	SPE	ACC
0.0- 5.0	5	32,0	94,6	78,8	5	56,0	88,0	72,0
2.5- 7.5	5	40,0	97,3	82,8	5	52,0	88,0	70,0
5.0-10.0	5	44,0	90,5	78,8	11	64,0	72,0	68,0
7.5-12.5	5	32,0	95,9	79,8	3	56,0	60,0	58,0
10.0-15.0	5	28,0	91,9	75,8	3	68,0	56,0	62,0
12.5-17.5	15	4,0	100	75,8	5	48,0	72,0	60,0
15.0-20.0	9	24,0	94,6	76,8	5	60,0	68,0	64,0
17.5-22.5	13	8,0	98,6	75,8	1	60,0	64,0	62,0
20.0-25.0	5	28,0	90,5	74,7	3	60,0	52,0	56,0
22.5-27.5	5	20,0	94,6	75,8	19	72,0	36,0	54,0

6.1.1 Filtre Yöntemi ile KHD Zaman Alanı Özniteliklerinin Seçilmesi ve Başarımların Kıyaslanması

Zaman alanı ölçüm hesaplamaları ile elde edilen MEAN, SDNN, RMSSD, SDSD, NN50, NN20, pNN50, pNN20 8 adet öznitelik, filtre yöntemlerinden olan istatistiksel analizden geçirilip sınıflar arası ayrımın en yüksek olduğu öznitelikler belirlenmiştir. SPSS paket programında yer alan bağımsız örneklem t-testi kullanarak gerçekleştirilen bu çalışmada, PAF atağına en yakın 0-5 dakika arasındaki veriden 22.5-27.5 dakika arasındaki en uzak veriye kadar istatistiksel anlamlılık değerleri tespit edilmiştir. 1. Çalışma grubu verisi için istatistiksel p değerleri Çizelge 6.2’de verilirken 2. Çalışma grubu verisi için istatistiksel p değerleri Çizelge 6.3’de verilmiştir.

Çizelge 6.2 1. Çalışma Grubu için istatistiksel anlamlılık değerlerinin her bir segment ve KHD zaman alanı ölçümleri için elde edilmesi. İstatistiksel olarak anlamlı olan değerler koyu biçimde verilmiştir ($p \leq 0,05$).

Öznitelikler	0-5 dk	2.5-7.5 dk	5-10 dk	7.5-12.5 dk	10-15 dk	12.5-17.5 dk	15-20 dk	17.5-22.5 dk	20-25 dk	22.5-27.5 dk
AVNN	0,54	0,49	0,35	0,43	0,54	0,56	0,55	0,52	0,65	0,70
SDNN	0,00	0,00	0,01	0,53	0,45	0,63	0,71	0,71	0,97	0,96
RMSSD	0,00	0,00	0,00	0,15	0,10	0,15	0,32	0,45	0,64	0,50
SDSD	0,98	0,99	0,57	0,51	0,65	0,67	0,66	0,57	0,62	0,72
NN50	0,01	0,01	0,03	0,23	0,20	0,22	0,25	0,50	0,95	1,00
NN20	0,06	0,08	0,22	0,79	0,64	0,45	0,41	0,75	0,83	0,74
pNN50	0,03	0,04	0,13	0,53	0,34	0,27	0,37	0,61	0,89	0,96
pNN20	0,17	0,23	0,59	0,78	0,98	0,75	0,77	0,94	0,76	0,66

Çizelge 6.3 2. Çalışma Grubu için istatistiksel anlamlılık değerlerinin her bir segment ve KHD zaman alanı ölçümleri için elde edilmesi. İstatistiksel olarak anlamlı olan değerler koyu biçimde verilmiştir ($p \leq 0,05$).

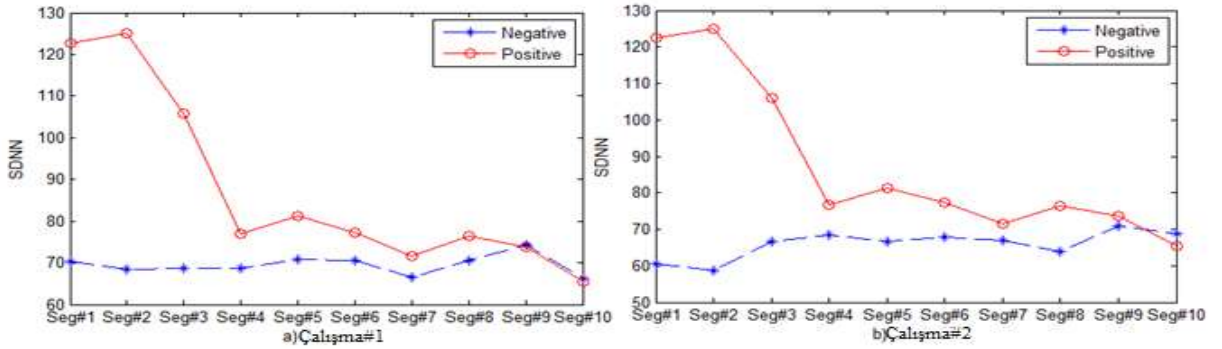
Öznitelikler	0-5 dk	2.5-7.5 dk	5-10 dk	7.5-12.5 dk	10-15 dk	12.5-17.5 dk	15-20 dk	17.5-22.5 dk	20-25 dk	22.5-27.5 dk
AVNN	0,88	0,87	0,79	0,82	0,92	0,94	0,95	0,84	0,72	0,63
SDNN	0,01	0,01	0,01	0,60	0,38	0,50	0,78	0,47	0,89	0,87
RMSSD	0,01	0,01	0,01	0,54	0,35	0,54	0,74	0,59	0,98	0,95
SDSD	0,70	0,62	0,97	0,86	0,99	0,99	0,87	0,78	0,82	0,69
NN50	0,06	0,03	0,06	0,38	0,69	0,77	0,77	0,96	0,83	1,00
NN20	0,12	0,10	0,21	0,77	0,94	0,86	0,81	1,00	0,82	0,97
pNN50	0,03	0,02	0,04	0,38	0,51	0,50	0,58	0,67	0,70	0,69
pNN20	0,09	0,09	0,22	0,86	0,86	0,68	0,66	0,74	0,74	0,66

Çizelge 6.2 ve Çizelge 6.3'deki sonuçlara bakıldığında, 0-5 dk, 2.5-7.5 dk ve 5-10 dk segmentlerindeki zaman aralıklarının p anlamlılık değerleri $< 0,05$ olup, sınıflar arasında ayırımın en yüksek olduğu segmentlerdir. Bu segmentlerde iki çalışma için sınıflar arası ayırımın en fazla olduğunu ölçümler SDNN, RMSSD, NN50 ve pNN50 değerleridir. Tüm segmentler için filtre yöntemi ile elde edilen öznitelikler Çizelge 6.4'de verilmiştir.

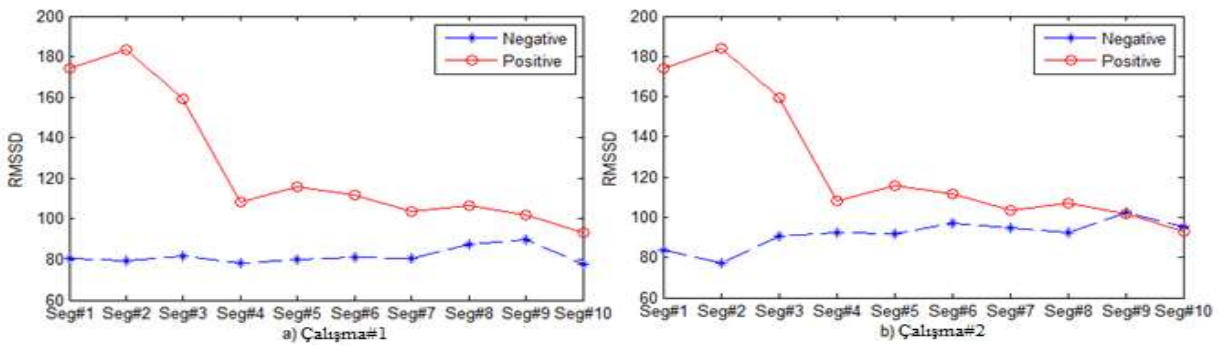
Çizelge 6.4 1. Çalışma grubu ve 2. Çalışma Grubu verileri için uygulanan filtre yaklaşımıyla her bir segmentteki seçilen öznelikler. (yok: herhangi bir öznelik seçilmedi).

Segmentler (dakika)	1.Çalışma Grubu	2.Çalışma Grubu
0.0- 5.0	SDNN,RMSSD,NN50,pNN50	SDNN,RMSSD,pNN50
2.5- 7.5	SDNN,RMSSD,NN50,pNN50	SDNN,RMSSD,NN50,pNN50
5.0-10.0	SDNN,RMSSD,pNN50	SDNN,RMSSD,pNN50
7.5-12.5	yok	yok
10.0-15.0	yok	yok
12.5-17.5	yok	yok
15.0-20.0	yok	yok
17.5-22.5	yok	yok
20.0-25.0	yok	yok
22.5-27.5	yok	yok

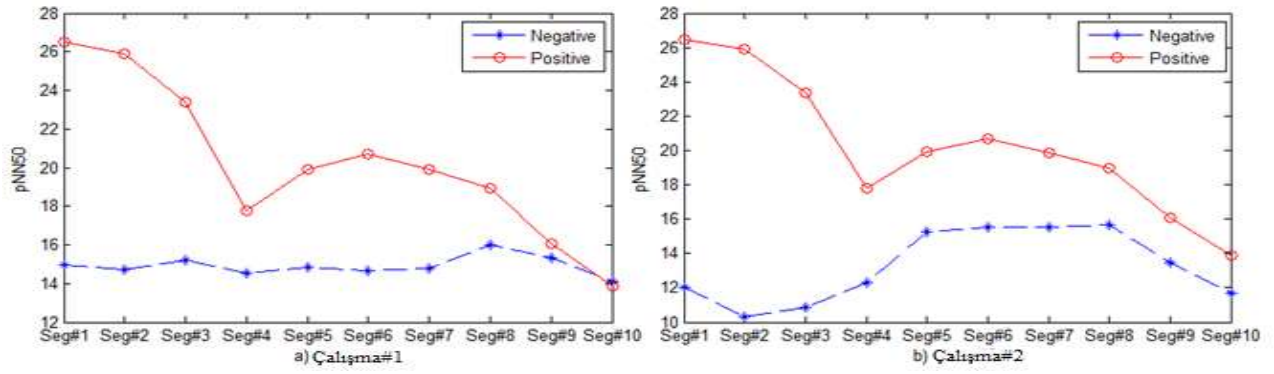
Şekil 6.1, Şekil 6.2 ve Şekil 6.3’de her iki çalışma ve her 5 dk’lık segment için SDNN, RMSSD ve pNN50 KHD zaman alanı ölçümlerine ait ortalama değerleri verilmiştir. Bu ölçümler 0-5 dk, 2.5-7.5 dk ve 5-10 dk ait segmentlerde ortalama değerlerinde sınıflar arası farkın oldukça yüksek olduğu görülürken, 7.5-12.5 dk zaman aralığından geriye doğru olan segmentlerde aradaki fark azalmaktadır.



Şekil 6.1 1.Çalışma Grubu ve 2. Çalışma Grubu için her bir segmentteki ortalama SDNN değerleri.



Şekil 6.2 1. Çalışma Grubu ve 2. Çalışma Grubu için her bir segmentteki ortalama RMSSD değerleri.



Şekil 6.3 1. Çalışma Grubu ve 2. Çalışma Grubu için her bir segmentteki ortalama pNN50 değerleri.

Uygulamada, KNN algoritması k değerleri 1-19 arasındaki tek sayılar için denenmiştir. Her k değeri için algoritma 100 defa çalıştırılmıştır. Başarımlar 10 parçalı çapraz doğrulama yöntemi kullanılarak elde edilmiştir. Her iki çalışma ve segmentler için sınıflandırma başarımları Çizelge 6.5’de verilmiştir.

Çizelge 6.5 Filtre yöntemi ile seçilen SDNN, RMSSD ve pNN50 özniteliklerinin KNN başarımları.

Segmentler (dakika)	1. Çalışma Grubu				2. Çalışma Grubu			
	k	SEN	SPE	ACC	k	SEN	SPE	ACC
0.0- 5.0	5	40,0	90,0	77,0	5	88,0	72,0	80,0
2.5- 7.5	5	36,0	94,0	79,0	11	64,0	80,0	72,0
5.0-10.0	9	44,0	89,0	77,0	9	76,0	68,0	72,0
7.5-12.5	13	4,0	100	75,0	11	60,0	56,0	58,0
10.0-15.0	9	24,0	94,0	76,0	5	72,0	64,0	68,0
12.5-17.5	11	4,0	100	75,0	11	84,0	48,0	66,0
15.0-20.0	11	8,0	98,0	75,0	9	76,0	64,0	70,0
17.5-22.5	11	4,0	100,0	75,0	3	52,0	68,0	60,0
20.0-25.0	11	20,0	98,0	78,0	5	64,0	64,0	64,0
22.5-27.5	13	8,0	98,0	75,0	11	76,0	44,0	60,0

Çizelge 6.5’deki performans değerlerine bakıldığında 1. Çalışma grubu için SEN değerleri oldukça düşük iken SPE değerleri yüksektir. 2. Çalışma grubu için PAF olayından 0-5 dk, 2.5-7.5 dk ve 5-10 dk öncesindeki SEN, SPE ve ACC değerleri diğer segmentlere göre oldukça yüksek sonuçlar vermiştir. Burada, 0-5 dk zaman aralığında %80 ACC başarımına ulaşılmışken %88 SEN ve %72 SPE değerleri elde edilmiştir. Öznitelik seçimi için kullanılan filtre yaklaşımı

içerisinde kullanılan bağımsız örneklem t-testinin hem başarımın artması hemde PAF atağının daha erken tespit edilebileceği hususlarında faydalı olduğu görülmüştür.

6.2 FREKANS ALANI ÖLÇÜMLERİNİN PAF ATAĞI TESPİTİNE ETKİSİ

Bu çalışmada, KHD frekans alanı ölçümlerinin PAF atağının erken kestirimine nasıl etki edeceği incelenmiştir. Her bir 5 dakikalık segment için FFT_VLF, FFT_LF, FFT_HF, FFT_LF/HF, FFT_TOTAL, LOMB_VLF, LOMB_LF, LOMB_HF, LOMB_LF/HF, LOMB_TOTAL, Wave_VLF, Wave_LF, Wave_HF, Wave_LF/HF, Wave_TOTAL, Ent_VLF, Ent_LF, Ent_HF olmak üzere 18 adet KHD frekans alanı ölçümü elde edilmiştir. Her iki çalışma grubu için elde edilen bu ölçümler kullanılarak her bir segmentte KNN başarımları elde edilmiştir. KNN algoritması k değerleri 1-19 arasındaki tek sayılar için denenmiştir. Her k değeri için algoritma 100 defa çalıştırılmıştır. Başarımlar 10 parçalı çapraz doğrulama yöntemi kullanılarak elde edilmiştir. Her iki çalışma ve segmentler için sınıflandırma başarımları Çizelge 6.6'de verilmiştir.

Çizelge 6.6 KHD-frekans alanı ölçümlerinin her bir segment ve çalışma grubundaki başarımları.

Segmentler (dakika)	1. Çalışma Grubu				2. Çalışma Grubu			
	k	SEN	SPE	ACC	k	SEN	SPE	ACC
0.0- 5.0	1	72,0	86,5	82,8	19	60,0	84,0	72,0
2.5- 7.5	5	40,0	93,2	80,8	5	68,0	76,0	72,0
5.0-10.0	13	40,0	93,2	79,8	9	68,0	80,0	74,0
7.5-12.5	15	4,0	100	75,8	1	64,0	72,0	68,0
10.0-15.0	3	44,0	89,2	77,8	1	76,0	60,0	68,0
12.5-17.5	7	6,0	100	77,8	13	36,0	84,0	60,0
15.0-20.0	7	12,0	95,9	74,7	7	64,0	64,0	64,0
17.5-22.5	7	20,0	98,6	78,8	3	48,0	64,0	56,0
20.0-25.0	3	36,0	91,9	77,8	15	64,0	52,0	58,0
22.5-27.5	7	16,0	95,9	75,8	5	64,0	48,0	56,0

Çizelge 6.6'daki başarımların değerlendirildiğinde, 1. Çalışma grubu için PAF atağına yaklaştıkça ACC başarımlarında ve SEN değerinde kaydedeğer bir artış görülmektedir. PAF atağının gerçekleşeceği kısımdan uzaklaştıkça başarımlar fark edilebilir derecede düşmektedir. Özellikle burada, 0-5 dk ve 2.5-7.5 dk zaman aralıklarında %80 den fazla olan performans sonucu bu çalışma için en yüksek sonuçtur. 2. Çalışma grubu için ise 0-5 dk, 2.5-

7.5 dk ve 5-10 dk arasındaki segmentlerde %72-%74 arasında ACC değerine sahipken özellikle PAF atağına en yakın üç segmentteki başarımlar, diğer segmentlerden ayrılmaktadır.

6.2.1 Filtre Yöntemi ile Özniteliklerin Seçilmesi ve Başarımların Kıyaslanması

Frekans alanı ölçümleri FFT_VLF, FFT_LF, FFT_HF, FFT_LF/HF, FFT_TOTAL, LOMB_VLF, LOMB_LF, LOMB_HF, LOMB_LF/HF, LOMB_TOTAL, Wave_VLF, Wave_LF, Wave_HF, Wave_LF/HF, Wave_TOTAL, Ent_VLF, Ent_LF, Ent_HF kullanılarak filtre yöntemlerinden olan istatistiksel yaklaşım ile sınıflar ararası ayrımın en yüksek olduğu öznitelikler tespit edilmiştir. PAF atağına en yakın 0-5 dakika arasındaki veriden 22.5-27.5 dakika arasındaki en uzak veriye kadar istatistiksel anlamlılık değerleri (p) tespit edilmiştir. 1. Çalışma grubu için istatistiksel p değerleri Çizelge 6.7’de verilirken 2. Çalışma grubu verisi için istatistiksel p değerleri Çizelge 6.8’de verilmiştir.

Çizelge 6.7 1. Çalışma Grubu için istatistiksel anlamlılık değerlerinin her bir segment ve KHD frekans alanı ölçümleri için elde edilmesi. İstatistiksel olarak anlamlı olan değerler koyu biçimde verilmiştir ($p \leq 0,05$).

	0-5 dk	2.5-7.5 dk	5-10 dk	7.5-12.5 dk	10-15 dk	12.5-17.5 dk	15-20 dk	17.5-22.5 dk	20-25 dk	22.5-27.5 dk
FFT_VLF	0,06	0,01	0,01	0,85	0,16	0,38	0,43	0,86	0,44	0,98
FFT_LF	0,01	0,00	0,04	0,56	0,23	0,43	0,68	0,57	0,98	0,97
FFT_HF	0,00	0,00	0,00	0,02	0,01	0,04	0,20	0,12	0,13	0,13
FFT_LF/HF	0,04	0,24	0,07	0,02	0,09	0,10	0,06	0,14	0,12	0,06
FFT_TOTAL	0,00	0,00	0,00	0,03	0,02	0,05	0,22	0,14	0,16	0,16
LOMB_VLF	0,96	0,30	0,94	0,40	0,11	0,13	0,34	0,49	0,43	0,37
LOMB_LF	0,02	0,02	0,71	0,49	0,62	0,35	0,85	0,89	0,64	0,35
LOMB_HF	0,01	0,03	0,94	0,86	0,56	0,95	0,31	0,91	0,36	0,60
LOMB_LF/HF	0,02	0,46	0,80	0,97	0,03	0,82	0,13	0,48	0,31	0,49
LOMB_TOTAL	0,02	0,03	0,82	0,52	0,60	0,31	0,86	0,87	0,34	0,33
Wave_VLF	0,22	0,02	0,02	0,07	0,61	0,89	0,95	0,96	0,84	0,68
Wave_LF	0,00	0,00	0,00	0,02	0,04	0,11	0,22	0,20	0,17	0,45
Wave_HF	0,00	0,00	0,00	0,01	0,07	0,19	0,34	0,38	0,53	0,56
Wave_LF/HF	0,05	0,00	0,02	0,03	0,01	0,66	0,15	0,01	0,25	0,31
Wave_TOTAL	0,00	0,00	0,00	0,01	0,07	0,21	0,37	0,39	0,53	0,59
Ent_VLF	0,96	0,06	0,06	0,10	0,68	0,67	0,77	0,84	0,80	0,58
Ent_LF	0,00	0,00	0,00	0,03	0,08	0,14	0,17	0,27	0,25	0,60
Ent_HF	0,77	0,08	0,07	0,06	0,18	0,53	0,99	0,92	0,69	0,61

Çizelge 6.8 2. Çalışma Grubu için istatistiksel anlamlılık değerlerinin her bir segment ve KHD frekans alanı ölçümleri için elde edilmesi. İstatistiksel olarak anlamlı olan değerler koyu biçimde verilmiştir ($p \leq 0,05$).

	0-5 dk	2.5-7.5 dk	5-10 dk	7.5-12.5 dk	10-15 dk	12.5-17.5 dk	15-20 dk	17.5-22.5 dk	20-25 dk	22.5-27.5 dk
FFT_VLF	0,15	0,09	0,06	0,71	0,07	0,71	0,34	0,52	0,42	0,59
FFT_LF	0,03	0,02	0,13	0,85	0,34	0,64	0,69	0,39	0,68	0,62
FFT_HF	0,01	0,00	0,01	0,33	0,21	0,41	0,70	0,41	0,59	0,71
FFT_LF/HF	0,94	0,48	0,87	0,17	0,64	0,94	0,97	0,74	0,56	0,53
FFT_TOTAL	0,01	0,00	0,01	0,35	0,21	0,41	0,70	0,40	0,64	0,76
LOMB_VLF	0,07	0,08	0,49	0,55	0,43	0,54	0,57	0,48	0,73	0,59
LOMB_LF	0,06	0,10	0,86	0,72	0,59	0,65	0,54	0,26	0,70	0,76
LOMB_HF	0,08	0,17	0,61	0,79	0,26	0,62	0,45	0,66	0,34	0,48
LOMB_LF/HF	0,02	0,82	0,40	0,63	0,09	0,48	0,07	0,81	0,47	0,73
LOMB_TOTAL	0,07	0,11	0,63	0,81	0,60	0,78	0,48	0,45	0,63	0,53
Wave_VLF	0,92	0,20	0,22	0,60	0,75	0,57	0,48	0,49	0,44	0,35
Wave_LF	0,02	0,05	0,07	0,38	0,43	0,72	0,99	0,81	0,76	0,85
Wave_HF	0,05	0,02	0,05	0,33	0,62	0,92	0,88	0,89	0,76	0,72
Wave_LF/HF	0,16	0,01	0,05	0,47	0,07	0,29	0,59	0,14	0,68	0,88
Wave_TOTAL	0,05	0,03	0,06	0,34	0,63	0,94	0,85	0,88	0,77	0,69
Ent_VLF	0,53	0,28	0,29	0,52	0,74	0,75	0,67	0,63	0,43	0,33
Ent_LF	0,05	0,05	0,09	0,45	0,69	0,80	0,83	0,88	0,86	0,74
Ent_HF	0,66	0,32	0,30	0,26	0,61	0,89	0,53	0,49	0,38	0,35

1. Çalışma grubu için Tablo 6.7'deki sonuçlara bakıldığında, FFT ölçümleri için Segment#1: 0-5 dk, Segment #2: 2.5-7.5 dk, Segment#3: 5-10 dk, Segment#4: 7.5-12.5 dk, Segment #5: 10-15 dk, Segment#6: 12.5-17.5 dk aralığındaki segmentlerin anlamlılık değerleri FFT_HF ve FFT_TOTAL için 0,05 değerinden küçüktür. Diğer zaman aralıklarında istatistiksel olarak veri sınıfları birbirinden ayıramamıştır.

LOMB ölçümleri için Segment#1: 0-5 dk, Segment #2: 2.5-7.5 dk aralığındaki segmentlerin anlamlılık değerleri, sınıflar arasında ayırımın en yüksek olduğu segmentlerdir ($p < 0,05$). VLF ölçüm değerleri için hiçbir zaman aralığındaki veriler istatistiksel olarak ayıramamıştır.

Dalgacık ölçümleri için Segment#1: 0-5 dk, Segment #2: 2.5-7.5 dk, Segment#3: 5-10 dk, Segment#4: 7.5-12.5 dk, Segment #5: 10-15 dk aralığındaki segmentlerin anlamlılık değerleri Wave_LF ve Wave_LF/HF sınıflar arasında ayırımın en yüksek olduğu segmentlerdir. Bununla beraber, Wave_HF, Wave_TOTAL ve Ent_LF ölçümleri PAF atağından önceki 7.5-12.5

dakika zaman aralığına kadar istatistiksel olarak ayrılabilir. Özellikle Ent_VLF ve Ent_HF ölçümleri için hiçbir zaman aralığında p değeri 0,05 değerinin altına düşmemektedir.

1. Çalışma grubu verisi için yukarıda bahsedilenlerin aynısını normal verilerin dahil edilmedikleri 2. Çalışma grubu için söyleyemeyeceğiz. 2. Çalışma grubu için Çizelge 6.8'deki sonuçlara bakıldığında, FFT_HF ve FFT_TOTAL ölçümleri için Segment#1: 0-5 dk, Segment #2: 2.5-7.5 dk, Segment#3: 5-10 dk zaman aralığına kadar sınıflararası ayırım mümkün iken LOMB periodgram ölçümleri için sade ve sadece 0-5 dk zaman aralığı ve LOMB_LF/HF değeri için ayırım mümkün olmaktadır. Son olarak dalgacık dönüşümleri için bir kaç ölçüm için sınıflararası ayırım mümkün olmakla birlikte 5-10 dk zaman aralığından öteye gitmemiştir.

KHD frekans alanı ölçümlerinin filtrelenerek istatistiksel anlamda ayrılabilirdiği tüm öznelikler Çizelge 6.9'da verilmiştir.

Çizelge 6.9 1. Çalışma grubu ve 2. Çalışma grubu için uygulanan filtre yaklaşımıyla her bir segmentteki seçilen öznelikler. (Yok: herhangi bir öznelik seçilmedi).

Segmentler (dakika)	1. Çalışma Grubu	2. Çalışma Grubu
0.0- 5.0	FFT_LF,FFT_HF,FFT_LF/HF,FFT_TOTAL, LOMB_LF,LOMB_HF,LOMB_LF/HF,LOMB_TOTAL,Wave_LF,Wave_HF, Wave_TOTAL,Ent_LF	FFT_LF,FFT_HF, FFT_TOTAL, LOMB_LF/HF, Wave_LF
2.5- 7.5	FFT_VLF,FFT_LF,FFT_HF,FFT_TOTAL,LOMB_LF,LOMB_HF,LOMB_TOTAL, Wave_VLF, Wave_LF,Wave_HF, Wave_LF/HF, Wave_TOTAL,Ent_LF	FFT_LF,FFT_HF, FFT_TOTAL, Wave_LF,Wave_HF, Wave_LF/HF, Wave_TOTAL, Ent_LF
5.0-10.0	FFT_VLF,FFT_LF,FFT_HF,FFT_TOTAL,Wave_VLF, Wave_LF,Wave_HF, Wave_LF/HF, Wave_TOTAL,Ent_LF	FFT_HF, FFT_TOTAL, Wave_LF/HF
7.5-12.5	FFT_HF,FFT_LF/HF,FFT_TOTAL, Wave_LF,Wave_HF, Wave_LF/HF, Wave_TOTAL,Ent_LF	Yok
10.0-15.0	FFT_HF, FFT_TOTAL, LOMB_LF/HF, Wave_LF, Wave_LF/HF	Yok
12.5-17.5	FFT_HF,FFT_TOTAL	Yok
15.0-20.0	Yok	Yok
17.5-22.5	Yok	Yok
20.0-25.0	Yok	Yok
22.5-27.5	Yok	Yok

Çizelge 6.9’da 1. Çalışma grubu için PAF atağında 12.5-17.5 dakika zaman aralığı öncesine kadar KHD ölçümleri faydalı görünürken, 2. Çalışma grubu için PAF atağında 5-10 dakika zaman aralığı öncesine kadar KHD frekans alanı ölçümleri faydalı görülmektedir. Çizelge 6.9’daki belirlenen özneliklerden sınıflararası ayırmada en çok etkisi olan FFT_HF, FFT_TOTAL ve Ent_LF kullanılarak KNN sınıflandırıcı performansı tespit edilmiştir. 18 adetten 3’e düşürülen özneliklerden elde edilen sonuçlar Çizelge 6.10’de verilmiştir. KNN sınıflandırıcısının k değeri 1-19 arasındaki tek sayılar için çalıştırılmış olup 100 kez tekrarlanıp en yüksek başarımla not edilmiştir.

Çizelge 6.10 Filtre yöntemi ile seçilen FFT_HF, FFT_TOTAL ve Wave_LF/HF özneliklerinin KNN başarımları. (NaN: Herhangi bir sonuç üretilmedi).

Segmentler (dakika)	1. Çalışma Grubu						2. Çalışma Grubu					
	k	SEN	SPE	NEG	POS	ACC	k	SEN	SPE	NEG	POS	ACC
0.0- 5.0	5	64,0	91,9	88,3	72,7	84,8	5	84,0	80,0	83,8	80,8	82,0
2.5- 7.5	11	44,0	91,9	82,9	64,7	79,8	1	84,0	64,0	80,0	70,0	74,0
5.0-10.0	19	48,0	89,1	83,5	60,0	78,8	9	72,0	76,0	73,1	75,0	74,0
7.5-12.5	11	12,0	97,3	76,6	60,0	75,8	5	68,0	72,0	69,2	70,8	70,0
10.0-15.0	15	16,0	97,3	77,4	66,7	76,8	3	76,0	72,0	75,0	73,1	74,0
12.5-17.5	1	48,0	86,5	83,1	54,5	76,8	13	68,0	64,0	66,7	65,4	66,0
15.0-20.0	13	4,0	100	75,5	100	75,8	11	52,0	84,0	63,6	76,5	68,0
17.5-22.5	15	4,0	100	75,5	100	75,8	1	56,0	60,0	57,7	58,3	58,0
20.0-25.0	3	16,0	94,6	76,9	50,0	74,7	9	68,0	60,0	65,2	62,6	64,0
22.5-27.5	9	0,0	100	74,7	NaN	74,7	3	60,0	56,0	58,3	57,7	58,0

Filtre yöntemi ile seçilen FFT_HF, FFT_TOTAL ve Wave_LF/HF özneliklerinin KNN başarımları incelendiğinde, filtre yöntemi kullanılarak elde edilen sonuçlarda artış gözlemlenmektedir. 0-5 dk zaman aralığında %84,84 ACC, %64 SEN ve %91,89 SPE değerleri elde edilmiştir. Burada “Normal” verilerin dahil edilmesi PAF atağı tespitinde özellikle atak geçirecek kişileri tespitinde (SEN değeri) çok iyi sonuç vermemiştir. Fakat aynı ifade normal verilerin çıkarıldığı 2. Çalışma grubu için söylenmez. Genel başarımlar 0-5 dk zaman aralığında %82'lere ulaşırken SEN değeri %84 ve SPE değeri %80 dolaylarındadır. PAF atağı gerçekleşmeden önceki 10-15 dk zaman aralığından itibaren başarımlar %70'in üzerinde seyretmektedir ve nihayetinde PAF atağına en çok 5 dakika kala başarımlar %82'ye ulaşmıştır.

6.3 EKTOPIK VURULARIN PAF ATAĞI TESPİTİNE ETKİSİ

Ektopik vuruların analiz adilecek veri içerisinde olması ya da yok edilmesinin PAF atağı tespitinde ne gibi bir etkiye sahip olacağı araştırılmıştır. Analiz sadece KHD zaman alanı ölçümleri üzerinden gerçekleştirilmiştir. Ektopik vurulu veriler üzerinden elde edilmiş istatistiksel p değerleri 1. Çalışma grubu için Çizelge 6.11 ve 2. Çalışma grubu için Çizelge 6.12’de gösterilmişken ektopik vurulu verilerin yok edildiği veriler üzerinden elde edilmiş istatistiksel p değerleri 1. Çalışma grubu için Çizelge 6.13 ve 2. Çalışma grubu için Çizelge 6.14’de gösterilmiştir.

Çizelge 6.11 1. Çalışma grubu için ektopik vuruya sahip veriler üzerinden elde edilen her bir segmentin istatistiksel anlamlılık değerleri. İstatistiksel olarak anlamlı olan değerler koyu biçimde verilmiştir ($p \leq 0,05$).

	0-5 dk	2.5-7.5 dk	5-10 dk	7.5-12.5 dk	10-15 dk	12.5-17.5 dk	15-20 dk	17.5-22.5 dk	20-25 dk	22.5-27.5 dk
AVNN	0,54	0,49	0,35	0,43	0,54	0,56	0,55	0,52	0,65	0,70
SDNN	0,00	0,00	0,01	0,53	0,45	0,63	0,71	0,71	0,97	0,96
RMSSD	0,00	0,00	0,00	0,15	0,10	0,15	0,32	0,45	0,64	0,50
SDSD	0,98	0,99	0,57	0,51	0,65	0,67	0,66	0,57	0,62	0,72
NN50	0,01	0,01	0,03	0,23	0,20	0,22	0,25	0,50	0,95	1,00
NN20	0,06	0,08	0,22	0,79	0,64	0,45	0,41	0,75	0,83	0,74
pNN50	0,03	0,04	0,13	0,53	0,34	0,27	0,37	0,61	0,89	0,96
pNN20	0,17	0,23	0,59	0,78	0,98	0,75	0,77	0,94	0,76	0,66

Çizelge 6.12 2. Çalışma grubu için ektopik vuruya sahip veriler üzerinden elde edilen her bir segmentin istatistiksel anlamlılık değerleri. İstatistiksel olarak anlamlı olan değerler koyu biçimde verilmiştir ($p \leq 0,05$).

	0-5 dk	2.5-7.5 dk	5-10 dk	7.5-12.5 dk	10-15 dk	12.5-17.5 dk	15-20 dk	17.5-22.5 dk	20-25 dk	22.5-27.5 dk
AVNN	0,88	0,87	0,79	0,82	0,92	0,94	0,95	0,84	0,72	0,63
SDNN	0,01	0,01	0,01	0,60	0,38	0,50	0,78	0,47	0,89	0,87
RMSSD	0,01	0,01	0,01	0,54	0,35	0,54	0,74	0,59	0,98	0,95
SDSD	0,70	0,62	0,97	0,86	0,99	0,99	0,87	0,78	0,82	0,69
NN50	0,06	0,03	0,06	0,38	0,69	0,77	0,77	0,96	0,83	1,00
NN20	0,12	0,10	0,21	0,77	0,94	0,86	0,81	1,00	0,82	0,97
pNN50	0,03	0,02	0,04	0,38	0,51	0,50	0,58	0,67	0,70	0,69
pNN20	0,09	0,09	0,22	0,86	0,86	0,68	0,66	0,74	0,74	0,66

Çizelge 6.13 1. Çalışma grubu için ektopik vurusuz veriler üzerinden elde edilen her bir segmentin istatistiksel anlamlılık değerleri.

	0-5 dk	2.5-7.5 dk	5-10 dk	7.5-12.5 dk	10-15 dk	12.5-17.5 dk	15-20 dk	17.5-22.5 dk	20-25 dk	22.5-27.5 dk
AVNN	0,71	0,65	0,46	0,55	0,68	0,75	0,54	0,66	0,78	0,78
SDNN	0,29	0,21	0,39	0,18	0,13	0,09	0,05	0,09	0,24	0,08
RMSSD	0,56	0,76	0,87	0,91	1,00	0,93	0,90	0,95	0,97	0,88
SDSD	0,71	0,65	0,46	0,55	0,69	0,76	0,54	0,66	0,78	0,78
NN50	0,89	0,55	0,29	0,32	0,83	0,72	0,93	0,83	0,93	0,86
NN20	0,58	0,30	0,11	0,11	0,26	0,27	0,44	0,43	0,73	0,70
pNN50	0,82	0,86	0,59	0,53	0,83	0,75	0,97	0,73	0,62	0,67
pNN20	0,95	0,76	0,41	0,30	0,37	0,71	0,44	0,47	0,54	0,59

Çizelge 6.14 2. Çalışma grubu için ektopik vurusuz veriler üzerinden elde edilen her bir segmentin istatistiksel anlamlılık değerleri.

	0-5 dk	2.5-7.5 dk	5-10 dk	7.5-12.5 dk	10-15 dk	12.5-17.5 dk	15-20 dk	17.5-22.5 dk	20-25 dk	22.5-27.5 dk
AVNN	0,97	0,93	0,85	0,82	0,96	0,99	0,94	0,78	0,64	0,61
SDNN	0,34	0,45	0,23	0,44	0,49	0,58	0,90	0,98	0,32	0,85
RMSSD	0,16	0,28	0,20	0,31	0,52	0,70	0,51	0,43	0,55	0,58
SDSD	0,97	0,93	0,86	0,83	0,96	0,97	0,94	0,76	0,64	0,61
NN50	0,54	0,87	0,77	0,91	0,76	0,99	0,80	0,73	0,75	0,92
NN20	0,94	0,51	0,38	0,30	0,50	0,56	0,96	0,95	0,85	0,86
pNN50	0,18	0,29	0,22	0,33	0,52	0,59	0,48	0,73	0,95	0,74
pNN20	0,35	0,59	0,77	0,90	0,82	0,96	0,90	0,96	0,91	0,63

Çizelge 6.11 ve Çizelge 6.12'deki ektopik vurulu verilerin olduğu sonuçlara bakıldığında, Segment1: 0-5 dk, Segment2: 2.5-7.5 dk ve Segment3: 5-10 dk aralığındaki segmentlerin diğer segmentlerden istatistiksel olarak ayrıldığı görülmektedir. Her iki çalışma grubu ve her 5 dk'lık segment için sınıflar arası ayrımın en fazla olduğu zaman alanı ölçümleri; RMSSD, SDNN ve pNN50'dir.

Ektopik vuruların yok edildiği verilerin p değerlerinin gösterildiği Çizelge 6.13 ve Çizelge 6.14'deki sonuçlara bakıldığında, hiçbir segmentte istatistiksel anlamlılık değeri 0.05 değerinin altına düşmediği görülmektedir. İstatistiksel analizde ektopik vurulu verilerin PAF atağından önce sınıflarının ayrılabilirdiği görülmektedir.

Ektopik vurulu ve ektopik vurusuz verilerin KNN sınıflandırıcı performansları Çizelge 6.15 ve Çizelge 6.16'de verilmiştir. KNN sınıflandırıcı algoritması 1-19 arasındaki tek k değerleri için

denenmiştir. Her k değeri için algoritma 100 defa çalıştırılmıştır. Başarımlar 10 parçalı çapraz doğrulama yöntemi ile bulunmuştur.

Çizelge 6.15 Ektopik vurulu veriler üzerinde her bir segmentin KNN algoritma başarımları.

Segmentler (dakika)	1. Çalışma Grubu				2. Çalışma Grubu			
	k	SEN	SPE	ACC	k	SEN	SPE	ACC
0.0- 5.0	5	36,0	93,2	78,8	5	64,0	80,0	72,0
2.5- 7.5	5	36,0	97,3	81,8	5	48,0	92,0	70,0
5.0-10.0	5	40,0	91,9	78,8	9	68,0	72,0	70,0
7.5-12.5	5	40,0	94,6	80,8	19	56,0	64,0	60,0
10.0-15.0	9	8,0	98,6	75,8	3	64,0	56,0	60,0
12.5-17.5	9	12,0	95,9	74,7	5	48,0	72,0	60,0
15.0-20.0	13	20,0	95,9	76,8	5	56,0	72,0	64,0
17.5-22.5	15	8,0	100,0	76,8	3	60,0	64,0	62,0
20.0-25.0	5	28,0	90,5	74,7	13	72,0	40,0	56,0
22.5-27.5	5	20,0	95,9	76,8	19	76,0	32,0	54,0

Çizelge 6.16 Ektopik vurusuz veriler üzerinde her bir segmentin KNN algoritma başarımları.

Segmentler (dakika)	1. Çalışma Grubu				2. Çalışma Grubu			
	k	SEN	SPE	ACC	k	SEN	SPE	ACC
0.0- 5.0	13	4,0	100	75,8	1	56,0	72,0	64,0
2.5- 7.5	7	12,0	98,6	76,8	1	48,0	76,0	62,0
5.0-10.0	9	16,0	100	78,8	19	56,0	64,0	60,0
7.5-12.5	5	24,0	93,2	75,8	13	48,0	60,0	54,0
10.0-15.0	15	4,0	100	75,8	13	52,0	60,0	56,0
12.5-17.5	3	12,0	98,6	75,8	1	48,0	68,0	58,0
15.0-20.0	7	20,0	95,9	76,8	5	64,0	60,0	62,0
17.5-22.5	11	4,0	100	75,8	1	64,0	60,0	62,0
20.0-25.0	15	4,0	100	75,8	9	56,0	52,0	54,0
22.5-27.5	5	20,0	94,6	75,8	5	48,0	60,0	54,0

Çizelge 6.15'deki ektopik vuruların yer aldığı sonuçlar analiz edildiğinde, 1. Çalışma grubu için PAF atağına yakın olan segmentlerde %81,8 ACC, %36 SEN ve %97,2 SPE değerleri elde edilmiştir. SEN değeri yani PAF atağı geçireceklerin tespit oranı oldukça düşüktür. 2. Çalışma grubunda PAF atağına en yakın 3 segmentte başarımlar %70 ve üzerindedir ve diğer segmentlerde başarımlar oldukça düşüktür.

Çizelge 6.16'deki ektopik vurusuz verilerin yer aldığı sonuçlara bakıldığında, başarımların ektopik vurulu verilere göre çok daha düşük olduğu görülmektedir. 1. Çalışma grubu için maksimum başarımlar %78,78 ACC, %16 SEN ve %100 SPE değerleridir. PAF atağı geçireceklerin tespiti çok çok düşüktür. 2. Çalışma grubu için ise ACC başarımları

%64'ü geçememiştir. Fakat PAF olayına yaklaştıkça başarımın genel olarak arttığı görülmektedir.

6.4 POINCARE ÖLÇÜMLERİNİN PAF ATAĞI TESPİTİNE ETKİSİ

Doğrusal olmayan ölçümler içinde yer alan Poincare çizim ölçümlerinin ele alındığı bu çalışmada, sadece Poincare çizim ölçümlerinin kullanıldığı ve zaman alanı ile Poincare ölçümlerinin kullanıldığı iki çalışma Çizelge 6.17 ve Çizelge 6.18'da sunulmuştur.

Çizelge 6.17 Poincare çizim ölçümlerinin her bir segment için KNN algoritma başarımları.

Segmentler (dakika)	1. Çalışma Grubu				2. Çalışma Grubu			
	k	SEN	SPE	ACC	k	SEN	SPE	ACC
0.0- 5.0	1	72,0	86,5	82,8	1	92,0	68,0	80,0
2.5- 7.5	7	32,0	94,6	78,8	13	56,0	92,0	74,0
5.0-10.0	7	40,0	94,6	80,8	7	64,0	72,0	68,0
7.5-12.5	17	8,0	100	76,8	5	72,0	52,0	62,0
10.0-15.0	11	36,0	93,2	78,8	11	80,0	52,0	66,0
12.5-17.5	16	12,0	100	77,8	13	72,0	64,0	68,0
15.0-20.0	13	12,0	97,3	75,8	5	76,0	68,0	72,0
17.5-22.5	11	0,0	100	74,7	5	52,0	68,0	60,0
20.0-25.0	11	8,0	97,3	74,7	7	72,0	60,0	66,0
22.5-27.5	15	4,0	100	75,8	1	60,0	64,0	62,0

Çizelge 6.18 Zaman alanı ve Poincare çizim ölçümlerinin her bir segment için KNN algoritma başarımları.

Segmentler (dakika)	1. Çalışma Grubu				2. Çalışma Grubu			
	k	SEN	SPE	ACC	k	SEN	SPE	ACC
0.0- 5.0	5	36,0	94,6	79,8	1	68,0	76,0	72,0
2.5- 7.5	5	36,0	95,9	80,8	7	48,0	88,0	68,0
5.0-10.0	9	28,0	95,9	78,8	9	72,0	68,0	70,0
7.5-12.5	3	36,0	89,2	75,8	3	56,0	56,0	56,0
10.0-15.0	5	40,0	90,5	77,8	11	68,0	68,0	68,0
12.5-17.5	15	4,0	100	75,8	17	64,0	56,0	60,0
15.0-20.0	13	16,0	98,6	77,8	9	68,0	60,0	64,0
17.5-22.5	9	16,0	98,6	77,8	9	68,0	56,0	62,0
20.0-25.0	7	40,0	90,5	77,8	3	60,0	56,0	58,0
22.5-27.5	3	44,0	89,2	77,8	7	56,0	56,0	56,0

Çizelge 6.17'de verilen sonuçlara bakıldığında, 1. Çalışma grubu için yani "Normal" kişilerin çalışmaya dahil edilmesiyle başarımın PAF atağı gerçekleşmeden 10 dakika öncesinden itibaren ayrılabilirdiği ve % 82,82 ACC, % 72 SEN ve % 86,48 SPE değerlerine sahip olduğu görülmektedir. 2. Çalışma grubu için yani "Normal" kişilerin çalışmanın dışında tutulmasıyla

başarımın PAF atağı gerçekleşmeden 7,5 dakika öncesinden ayrılabilirdiği ve yaklaşık 80% ACC %92 SEN ve %68 SPE başarımlarına sahip olduğu görülmektedir. Özellikle burada PAF atağı geçirecek verilerin %92'lik oranla yüksek bir başarımla tespit edilebildiği görülmektedir.

Çizelge 6.18'de Poincare ölçümlerine zaman alanı ölçümlerinin birlikte dahil edilmesiyle elde edilen sonuçlara bakıldığında, 1. Çalışma grubu için başarımın sadece Poincare ölçümlerine göre elde edilen sonuçlardan düşük çıktığı görülürken maksimum %80,8 ACC başarımına sahiptir. 2. Çalışma grubu için başarımın PAF atağından hemen önceki ilk 3 segmentte diğer segmentlere göre başarım daha yüksek olmakla birlikte en yüksek %72 ACC değerine sahiptir. Poincare ölçümlerine zaman alanı ölçümlerinin eklenmesi genel başarımın düştüğü görülmektedir.

6.5 ZAMAN VE FREKANS ALANI ÖLÇÜM KOMBİNASYONLARININ PAF ATAĞI TESPİTİNE ETKİSİ

Bu çalışmada, 5-dakikalık KHD verilerinden PAF atağının önceden kestirilip kestirilemeyeceği ve kestirilebiliyorsa ataktan kaç dakika önce kestirebileceği araştırılmıştır. Bu amaçla kalp hızı değişkenliği zaman alanı ve kalp hızı değişkenliği frekans alanı ölçüm kombinasyonları içerisinde genetik algoritma tarafından seçilen öznitelikler, literatürde sık kullanılan en basit sınıflandırıcılardan birisi olan KNN sınıflandırıcısının girişine uygulanarak sınıflar arası ayırımın yüksek olduğu öznitelikler tespit edilmiş ve bu özniteliklerin başarıma olan etkileri araştırılmıştır. Bu sayede hangi KHD zaman + KHD frekans alanı ölçümlerinin daha etkin PAF atağı tespit özelliği olduğu araştırılmıştır.

6.5.1 Genetik Algoritma ile Öznitelik Seçiminin Başarıma Etkisi

Zaman alanı ve frekans alanı ölçüm kombinasyonlarının PAF atağı kestirimdeki başarımları araştırılmıştır. Çizelge 6.19'de Zaman alanı ölçümleri ve FFT ölçümlerinin birlikte yer aldığı öznitelik grubuyla çalışma gerçekleştirilmiştir. Çizelge 6.20'de zaman alanı ve FFT ölçümlerinin genetik algoritma kullanılarak öznitelik seçimi ile elde edilen performans sonuçları verilmiştir. Çizelge 6.21'de zaman alanı ölçümleri ve LOMB Scargle ölçümlerinin birlikte yer aldığı öznitelik kümesiyle elde edilen sonuçlara yer verilmiştir. Çizelge 6.22'de zaman alanı ve LOMB Scargle ölçümlerinin genetik algoritma kullanılarak öznitelik seçimi ile

elde edilen performans sonuçları verilmiştir. Çizelge 6.23’de zaman alanı ölçümleri ve Dalgacık dönüşümü ölçümlerinin birlikte yer aldığı öznitelikler kullanılarak PAF atağı erken kestirim performansları verilmiştir. Son olarak Çizelge 6.24’de zaman alanı ve Dalgacık dönüşümü ölçümlerinin genetik algoritma kullanılarak öznitelik seçimi elde edilen performans sonuçları verilmiştir. Genel olarak, hangi zaman+frekans alanı ölçümlerinin daha etkin tespit özelliği olduğu incelenmiş ve sınıflar arası ayırımın yüksek olduğu öznitelikler tespit edilmiş ve bu özniteliklerin başarıma olan etkileri araştırılmıştır.

Çizelge 6.19 Zaman+FFT ölçümleri için KNN başarıma sonuçları.

Segmentler (dakika)	1. Çalışma Grubu						2. Çalışma Grubu					
	k	SEN	SPE	NEG	POS	ACC	k	SEN	SPE	NEG	POS	ACC
0.0- 5.0	17	12,0	100	77,1	100	77,8	7	64,0	76,0	67,9	72,7	70,0
2.5- 7.5	5	44,0	95,9	83,5	76,6	82,8	5	56,0	84,0	65,6	77,8	70,0
5.0-10.0	3	44,0	91,9	82,9	64,7	79,8	3	60,0	84,0	67,7	78,9	72,0
7.5-12.5	13	8,0	100	76,3	100	76,8	7	72,0	52,0	65,0	60,0	62,0
10.0-15.0	7	40,0	93,2	82,1	66,7	79,8	11	76,0	60,0	71,4	65,5	68,0
12.5-17.5	11	12,0	97,3	76,6	60,0	75,8	11	56,0	68,0	60,7	63,6	62,0
15.0-20.0	13	12,0	100	77,1	100	77,8	9	64,0	68,0	65,4	66,7	66,0
17.5-22.5	13	24,0	90,3	79,1	75,0	78,8	13	64,0	56,0	60,9	59,3	60,0
20.0-25.0	11	8,0	98,6	76,0	66,7	75,8	1	64,0	64,0	64,0	64,0	64,0
22.5-27.5	17	4,0	100	75,5	100	75,8	19	76,0	36,0	60,0	54,3	56,0

Çizelge 6.20 Zaman+FFT+GA için KNN başarıma sonuçları.

Segmentler (dakika)	1. Çalışma Grubu							2. Çalışma Grubu						
	k	SEN	SPE	NEG	POS	ACC	Seçilen Öznitelikler	k	SEN	SPE	NEG	POS	ACC	Seçilen Öznitelikler
0.0- 5.0	1	64,0	90,5	88,2	69,6	83,8	RMSSD,NN20,pNN20, FFT_VLF,FFT_HF	3	92,0	88,0	91,7	88,5	90,0	RMSSD,FFT_VLF, FT_LF,FFT_TOTAL
2.5- 7.5	5	44,0	95,9	83,5	78,6	82,8	Mean,RMSSD,HH50,NN20, FFT_LF/HF,FFT_TOTAL	5	72,0	92,0	76,7	90,0	82,0	SDNN,pNN20,FFT_LF, FFT_HF,FFT_TOTAL
5.0-10.0	5	52,0	94,6	85,4	76,5	83,8	Maen,SDNN,RMSSD,NN20, FFT_VLF,FFT_LF,FFT_LF/HF	5	76,0	76,0	76,0	76,0	76,0	SDNN,RMSSD,NN20, FFT_HF,FFT_TOTAL
7.5-12.5	5	28,0	95,9	79,8	70,0	78,8	Mean,SDSD,NN50, pNN50,pNN20	5	68,0	64,0	66,7	65,4	66,0	Mean,SDNN, FFT_LF,FFT_HF
10.0-15.0	3	56,0	90,5	85,9	66,7	81,8	SDNN,RMSSD,pNN20, FFT_VLF,FFT_LF,FFT_TOTAL	13	64,0	80,0	69,0	76,2	72,0	SDNN,RMSSD, FFT_VLF, FFT_TOTAL
12.5-17.5	3	44,0	91,9	82,9	64,7	79,8	SDNN,pNN20,FFT_VLF, FFT_LF,FFT_HF, FFT_LF/HF,FFT_TOTAL	13	72,0	56,0	66,7	62,0	64,0	Mean,SDNN, RMSSD, FFT_HF
15.0-20.0	15	12,0	98,6	76,8	75,0	76,8	NN50,NN20,pNN20,FFT_VLF	3	60,0	80,0	66,7	75,0	70,0	SDNN,RMSSD, FFT_VLF, FFT_HF
17.5-22.5	11	24,0	98,6	79,3	85,7	79,8	SDNN,NN50,pNN50,pNN20, FFT_VLF,FFT_LF,FFT_HF	9	72,0	52,0	65,0	60,0	62,0	SDNN,RMSSD,NN50,NN20, pNN20, FFT_VLF, FFT_LF, FFT_TOTAL
20.0-25.0	11	32,0	97,3	80,9	80,0	80,8	NN20,pNN50,pNN20, FFT_LF,FFT_TOTAL	3	76,0	60,0	71,4	65,5	68,0	SDNN, NN50, NN20,pNN50
22.5-27.5	5	28,0	94,6	79,5	63,6	77,8	Mean,NN50,FFT_VLF, FFT_LF,FFT_HF	5	68,0	52,0	61,9	58,6	60,0	SDNN,RMSSD, FFT_HF, FFT_TOTAL

Çizelge 6.19 ve Çizelge 6.20’de elde edilen sonuçlara bakıldığında, zaman alanı ölçümleri ve FFT ölçümlerinin birlikte kullanıldıkları öznitelikler için 1. Çalışma grubunda segmentler arası ayırım çok net olmamakla birlikte sadece 2,5-7,5 dakika zaman aralığında %82,82 ACC, %44

SEN ve %95,94 SPE değerlerine sahiptir. Aynı öznelikler üzerinde genetik algoritma (GA) ile öznelik seçimi yapılması ile elde edilen öznelikler ile tüm başarımların artması yanında segmentler arası ayırmda oldukça fazla artmıştır. 1. Çalışma grubuna bakıldığında PAF atağına en yakın 3 segmentte %83,83 ACC, %64 SEN ve %90,54 SPE değerlerine varan başarımlar elde edilmekle beraber bu segmentlerdeki başarımlar diğer segmentlerdeki başarımlardan daha yüksektir. “Normal” verilerin dahil edilmedikleri 2. Çalışma grubu için elde edilen sonuçlar oldukça yüksektir. Burada, 0-5 dakika zaman aralığında %90'lara varan ACC ve 2,5-7,5 dakika zaman aralığında % 82 ACC değerine sahiptir. GA'nın kullanılmadığı çalışmaya göre başarımlar çok fazla artmıştır. Özellikle, RMSSD, FFT_VLF, FFT_LF ve FFT_TOTAL özneliklerinin PAF atağı erken kestiriminde başarılı ölçümler olduğu buradaki sonuçlardan görülmektedir.

Çizelge 6.21 Zaman+Lomb ölçümleri için KNN başarımlar sonuçları (NaN: Herhangi bir sonuç üretilmedi).

Segmentler (dakika)	1. Çalışma Grubu						2. Çalışma Grubu					
	k	SEN	SPE	NEG	POS	ACC	k	SEN	SPE	NEG	POS	ACC
0.0- 5.0	7	12,0	98,6	76,8	75,0	76,8	9	64,0	76,0	67,9	72,7	70,0
2.5- 7.5	5	28,0	98,6	80,2	87,3	80,8	7	56,0	84,0	65,6	77,8	70,0
5.0-10.0	15	16,0	100	77,9	100	78,8	9	56,0	76,0	63,3	70,0	66,0
7.5-12.5	11	0,0	100	74,7	NaN	74,7	15	52,0	76,0	61,0	68,4	64,0
10.0-15.0	7	24,0	94,6	78,7	60,0	76,8	9	64,0	64,0	64,0	64,0	64,0
12.5-17.5	7	16,0	94,6	76,9	50,0	74,7	7	72,0	60,0	67,2	64,3	66,0
15.0-20.0	11	4,0	100	75,5	100	75,8	15	44,0	80,0	58,8	68,8	62,0
17.5-22.5	13	12,0	98,6	66,8	75,0	76,8	1	52,0	72,0	60,0	65,0	62,0
20.0-25.0	13	4,0	100	75,5	100	75,8	1	64,0	64,0	64,0	64,0	64,0
22.5-27.5	7	20,0	98,6	78,5	83,3	78,8	3	48,0	72,0	58,1	63,2	60,0

Çizelge 6.22 Zaman+Lomb+GA için KNN başarımlar sonuçları.

Segmentler (dakika)	1. Çalışma Grubu							2. Çalışma Grubu						
	k	SEN	SPE	NEG	POS	ACC	Seçilen Öznelikler	k	SEN	SPE	NEG	POS	ACC	Seçilen Öznelikler
0.0- 5.0	1	64,0	90,5	88,2	69,6	83,8	RMSSD,pNN20,Lomb_LF, Lomb_HF,Lomb_LF/HF	5	84,0	88,0	84,6	87,5	86,0	SDNN, RMSSD, Lomb_LF/HF
2.5- 7.5	7	36,0	97,3	81,8	81,8	81,8	Mean,SDNN, RMSSD,SDSD, NN50,NN20,pNN50,pNN20, Lomb_HF,Lomb_LF/HF	3	76,0	88,0	78,6	86,4	82,0	SDNN,pNN20, Lomb_VLF
5.0-10.0	15	24,0	97,3	79,1	75,0	79,1	Mean,SDNN, RMSSD,SDSD, Lomb_HF,Lomb_LF/HF	5	64,0	84,0	70,0	80,0	74,0	SDNN, RMSSD, pNN20,Lomb_HF
7.5-12.5	5	32,0	94,6	80,5	66,7	80,5	Mean, RMSSD, SDSD,pNN20	11	68,0	68,0	68,0	68,0	68,0	Lomb_HF
10.0-15.0	7	24,0	98,6	79,3	85,7	79,8	NN50,pNN50,Lomb_LF	9	68,0	76,0	70,4	73,9	72,0	SDNN
12.5-17.5	5	32,0	93,2	80,2	61,5	77,8	RMSSD,NN50,NN20,pNN20, Lomb_HF,Lomb_LF/HF	3	48,0	88,0	62,9	80,0	68,0	Lomb_LF, Lomb_HF
15.0-20.0	15	20,0	97,3	78,3	71,4	77,8	SDNN, RMSSD,NN50,pNN50, pNN20,Lomb_HF,Lomb_LF/HF	1	68,0	76,0	70,4	73,9	72,0	SDSD, Lomb_LF/HF
17.5-22.5	5	20,0	97,3	78,3	71,4	77,8	Mean	3	76,0	60,0	71,4	65,5	68,0	SDNN,NN50,pNN50,pNN20, Lomb_HF,Lomb_LF/HF
20.0-25.0	5	32,0	95,9	80,7	72,7	79,8	SDNN,NN20, Lomb_HF,Lomb_LF/HF	3	64,0	80,0	69,0	76,2	72,0	RMSSD,NN20, Lomb_HF,Lomb_LF/HF
22.5-27.5	7	40,0	95,9	82,6	76,9	81,8	SDNN,Lomb_VLF, Lomb_HF,Lomb_LF/HF	3	72,0	60,0	68,2	64,3	66,0	SDNN,Lomb_LF,Lomb_HF, Lomb_LF/HF,Lomb_TOTAL

Zaman alanı ve LOMB frekans alanı ölçüm kombinasyonu başarımının yer aldığı Çizelge 6.21 ve Çizelge 6.22'deki performans sonuçlarına bakılacak olursa, 1. Çalışma grubunda 2,5-7,5 dakika zaman aralığı dışındaki tüm segmentlerde yaklaşık başarım aynıdır. 2. Çalışma grubunda 0-5 dakika ve 2,5-7,5 dakika zaman aralıklarında diğer segmentlere göre başarım yüksektir ve başarım %70 dolaylarındadır. Bu kombinasyona GA ile öznelik seçimi eklenince 1. Çalışma grubunda başarım az da olsa artmakla 0-5 dakika zaman aralığında %83,83 ACC başarımına sahip olmakla birlikte diğer segmentlerde başarım yaklaşık eşittir. 2. Grup veri seti için aynı şey söylenmez çünkü özellikle Seg#1 ve Seg#2'de diğer tüm segmentlere göre başarım %86'lara kadar çıkmakla birlikte başarım fazlaca artmıştır. Fakat Zaman+FFT sonuçlarına göre başarım daha düşüktür. Burada, SDNN, RMSSD ve LOMB_TOTAL ölçümlerinin PAF atağı erken kestiriminde başarılı ölçümler olduğu tespit edilmiştir.

Çizelge 6.23 Zaman+Dalgacık ölçümleri için KNN başarım sonuçları.

Segmentler (dakika)	1. Çalışma Grubu						2. Çalışma Grubu					
	k	SEN	SPE	NEG	POS	ACC	k	SEN	SPE	NEG	POS	ACC
0.0- 5.0	13	36,0	95,9	81,6	75,0	80,8	7	64,0	80,0	69,0	76,2	72,0
2.5- 7.5	3	44,0	91,9	82,9	64,7	79,8	9	52,0	88,0	64,7	81,3	70,0
5.0-10.0	5	36,0	91,9	81,0	60,0	77,8	9	76,0	72,0	75,0	73,1	74,0
7.5-12.5	5	4,0	100	75,5	100	75,8	19	88,0	36,0	75,0	57,9	62,0
10.0-15.0	3	40,0	87,8	81,3	52,6	75,8	13	52,0	52,0	52,0	52,0	62,0
12.5-17.5	11	4,0	100	75,5	100	75,8	3	52,0	64,0	57,1	59,1	58,0
15.0-20.0	13	8,0	98,6	76,0	66,7	75,8	7	68,0	52,0	61,9	58,6	60,0
17.5-22.5	9	20,0	97,2	78,3	71,4	77,8	1	60,0	72,0	64,3	68,2	66,0
20.0-25.0	7	20,0	95,9	78,0	62,5	76,8	13	84,0	40,0	71,4	58,5	62,0
22.5-27.5	9	4,0	100	75,5	100	75,8	9	72,0	52,0	65,0	60,0	62,0

Çizelge 6.24 Zaman+Dalgacık+GA için KNN başarım sonuçları.

Segmentler (dakika)	1. Çalışma Grubu							2. Çalışma Grubu						
	k	SEN	SPE	NEG	POS	ACC	Seçilen Öznelikler	k	SEN	SPE	NEG	POS	ACC	Seçilen Öznelikler
0.0- 5.0	7	64,0	87,8	87,8	64,0	81,8	SDNN,RMSSD,Wave_HF, Wave_TOTAL,Ent_LF	1	84,0	84,0	84,0	84,0	84,0	SDNN,NN50
2.5- 7.5	7	36,0	97,3	81,8	81,8	81,8	Mean,SDNN,RMSSD,pNN50, pNN20,Wave_LF, Wave_TOTAL,Ent_HF	3	72,0	88,0	75,6	85,7	80,0	SDNN,RMSSD,pNN20, Wave_TOTAL
5.0-10.0	13	48,0	91,9	84,0	66,7	80,8	Mean,SDNN,RMSSD, Wave_HF, Wave_LF/HF, Wave_TOTAL	5	80,0	72,0	78,3	74,1	76,0	SDNN,Wave_VLF,Wave_HF, Wave_LF/HF, Ent_LF, Ent_HF
7.5-12.5	5	32,0	94,6	80,5	66,7	78,8	Mean,RMSSD,SDSD, pNN20,Wave_VLF	3	84,0	64,0	80,0	70,0	74,0	NN20,pNN50, Wave_LF/HF
10.0-15.0	11	12,0	98,6	76,8	75,0	76,8	RMSSD,NN20,pNN50, Wave_VLF,Wave_LF,Ent_LF	7	72,0	76,0	73,1	75,0	74,0	SDNN,Ent_HF
12.5-17.5	1	52,0	86,5	84,2	56,5	77,8	NN20,pNN20,Ent_VLF, Ent_LF, Ent_HF	1	60,0	68,0	63,0	65,2	64,0	SDSD,NN20,pNN50,Wave_LF, Wave_LF/HF,Ent_VLF
15.0-20.0	3	48,0	89,2	83,5	60,0	78,8	SDNN,NN50,NN20,pNN20, Wave_LF/HF, Ent_LF, Ent_HF	9	76,0	60,0	71,4	65,5	68,0	SDNN,RMSSD,Wave_VLF, Wave_HF,Ent_VLF,Ent_LF
17.5-22.5	9	16,0	100	77,9	100	78,7	RMSSD,NN50,NN20,Wave_LF, Wave_HF,Wave_TOTAL, Ent_LF, Ent_HF	1	72,0	72,0	72,0	72,0	72,0	SDNN,RMSSD,pNN20,Wave_VLF, Wave_LF,Ent_VLF,Ent_HF
20.0-25.0	9	40,0	94,6	82,4	71,4	80,8	RMSSD,NN50,Wave_HF, Wave_TOTAL	5	64,0	76,0	67,9	72,7	70,0	RMSSD,NN50,pNN50,Wave_LF, Wave_HF,Wave_TOTAL, Ent_VLF,Ent_HF
22.5-27.5	9	4,0	100	75,5	100	75,8	SDSD,pNN50,Wave_LF,Wave_HF, Wave_LF/HF, Wave_TOTAL	15	84,0	40,0	71,4	58,3	62,0	RMSSD,NN50,pNN50,Wave_VLF, Wave_LF, Ent_VLF

Zaman alanı ve Dalgacık dönüşüm ölçümlerinin yer aldığı Çizelge 6.23 ve Çizelge 6.24'deki KNN başarımlarına bakıldığında, 1. Çalışma grubu için genel başarımın Zaman+FFT sonuçlarına göre daha düşük olduğu görülmekle birlikte 0-5 dakika ve 2.5-7.5 dakika zaman aralığındaki başarımın diğer segmentlerden daha yüksek olduğu görülmektedir. 2. Çalışma grubu için hem Zaman+FFT hem Zaman+LOMB sonuçlarına göre PAF atağı tespiti daha iyidir. Çünkü hem başarım azda olsa diğerlerinden yüksek hem 10 dk öncesine kadar ayırım mümkün olmakla birlikte %74 ACC değerine sahiptir. Bu ölçümlere GA ile öznitelik seçimi eklenmesiyle 1. Çalışma grubu için 0-5 dk ve 2.5-7.5 dk aralıklarında başarım yüksektir. Fakat hem Zaman+FFT hem Zaman+LOMB ölçümlerine göre başarım düşüktür. 2. Çalışma grubu seti için PAF olayına yaklaştıkça 0-5 dakika ve 2.5-7.5 dakika zaman aralığında başarım %84'lere kadar çıkmaktadır. Lakin diğer iki kombinasyonda başarım daha yüksek çıkmıştır. Burada, SDNN ve NN50 ölçümlerinin PAF atağı erken kestiriminde başarılı olduğu görülmüştür.

6.5.2 İstatistiksel Anlamlılık Testi ile Öznitelik Seçiminin Başarıma Etkisi

Bu kısımda filtre yaklaşımı olan istatistiksel öznitelik seçimi, KHD zaman alanı ve KHD frekans alanı ölçüm kombinasyonlarına uygulanmıştır. Elde edilen sonuçlar, Zaman alanı ve FFT ölçümleri için Çizelge 6.25'de, zaman alanı ve LOMB-Scargle ölçümleri için Çizelge 6.26'de ve zaman alanı ve dalgacık dönüşümü için Çizelge 6.27'de verilmiştir.

Çizelge 6.25 Zaman+FFT+İstatistiksel yaklaşım için KNN başarımları.

Segmentler (dakika)	1. Çalışma Grubu						2. Çalışma Grubu					
	k	SEN	SPE	NEG	POS	ACC	k	SEN	SPE	NEG	POS	ACC
0.0- 5.0	3	60,0	89,2	86,8	65,2	81,8	3	96,0	76,0	95,0	80,0	86,0
2.5- 7.5	5	44,0	91,9	82,9	64,7	79,8	15	56,0	92,0	67,6	87,5	74,0
5.0-10.0	15	56,0	87,8	85,5	60,9	79,8	3	76,0	68,0	73,9	70,4	72,0
7.5-12.5	15	4,0	100	75,5	100	75,8	5	60,0	68,0	65,2	63,0	64,0
10.0-15.0	7	48,0	86,5	83,1	54,5	76,8	5	68,0	68,0	68,0	68,0	68,0
12.5-17.5	17	8,0	100	76,3	100	76,8	13	68,0	64,0	66,7	65,4	66,0
15.0-20.0	13	8,0	100	76,3	100	76,8	11	68,0	68,0	68,0	68,0	68,0
17.5-22.5	17	4,0	100	75,5	100	75,8	1	48,0	72,0	58,1	63,2	60,0
20.0-25.0	5	36,0	90,5	80,7	56,3	76,8	5	64,0	68,0	65,4	66,7	66,0
22.5-27.5	15	4,0	100	75,5	100	75,8	5	76,0	44,0	64,7	57,6	60,0

Çizelge 6.25'deki zaman alanı ve FFT ölçümlerine filtre yaklaşımı ile öznitelik seçimi yapıldığında, 1. Çalışma grubu için başarımın PAF atağına yakın segmentlerde %81,81 ACC,

%60 SEN ve %89,18 SPE değerlerine sahip olduğu görülmektedir. Başarım az da olsa artmıştır.

2. Çalışma grubu için 0-5 dakika, 2.5-7.5 dakika ve 5-10 dakika zaman aralıklarındaki performans diğer zaman aralıklarından çok daha fazladır. Özellikle 0-5 dakika zaman aralığında %86 ACC, % 96 SEN ve %76 SPE değerlerine sahip olmakla birlikte PAF atağı geçirecek verilerin %96 başarıyla tespit edilmesi oldukça yüksek bir performanstır. Bu yüksek performansın elde edilmesinde SDNN, RMSSD, pNN50, FFT_HF, FFT_TOTAL öznitelikleri rol oynamıştır.

Çizelge 6.26 Zaman+LOMB+ İstatistiksel yaklaşım için KNN başarımları (NaN: Değer üretilmedi).

Segmentler (dakika)	1. Çalışma Grubu						2. Çalışma Grubu					
	k	SEN	SPE	NEG	POS	ACC	k	SEN	SPE	NEG	POS	ACC
0.0- 5.0	1	60,0	85,1	86,3	57,7	78,8	1	84,0	84,0	84,0	84,0	84,0
2.5- 7.5	9	36,0	93,2	81,2	64,3	78,8	11	64,0	84,0	70,0	80,0	74,0
5.0-10.0	13	32,0	93,2	80,2	61,5	77,8	1	68,0	80,0	71,4	77,3	74,0
7.5-12.5	13	0,0	100	74,7	NaN	74,7	3	68,0	52,0	61,9	58,6	60,0
10.0-15.0	3	48,0	85,1	82,9	52,2	75,8	3	72,0	64,0	69,6	66,7	68,0
12.5-17.5	5	24,0	95,9	78,9	66,7	77,8	3	56,0	68,0	60,7	63,6	62,0
15.0-20.0	7	4,0	100	75,5	100	75,8	13	60,0	76,0	65,5	71,4	68,0
17.5-22.5	5	28,0	93,2	79,3	58,3	76,8	1	56,0	72,0	62,0	66,7	64,0
20.0-25.0	5	48,0	85,1	82,9	52,2	75,8	5	64,0	68,0	65,4	66,7	66,0
22.5-27.5	7	4,0	100	75,5	100	75,8	1	60,0	56,0	58,3	57,7	58,0

Çizelge 6.26'deki zaman alanı ve LOMB Scargle ölçümlerine filtre yaklaşımı ile öznitelik seçimi yapıldığında, 1. Çalışma grubu için başarımlar tüm segmentlerde bir birine oldukça yakındır. 2. Çalışma grubu için 0-5 dakika, 2.5-7.5 dakika ve 5-10 dakika zaman aralıklarındaki performansları diğer zaman aralıklarından çok daha fazladır. Özellikle 0-5 dakika zaman aralığında %84 ACC, % 84 SEN ve %84 SPE değerlerine sahiptir. SDNN, RMSSD, pNN50, LOMB_LF/HF öznitelikleri ile gerçekleştirilen bu tablo değerleri zaman ve FFT ölçümlerine göre daha az başarımla performansa sahiptir.

Çizelge 6.27 Zaman+Dalgacık+ İstatistiksel yaklaşım için KNN başarımları.

Segmentler (dakika)	1. Çalışma Grubu						2. Çalışma Grubu					
	k	SEN	SPE	NEG	POS	ACC	k	SEN	SPE	NEG	POS	ACC
0.0- 5.0	1	60,0	86,5	86,5	60,0	79,8	3	84,0	84,0	84,0	84,0	84,0
2.5- 7.5	13	48,0	94,6	84,3	75,0	82,8	7	56,0	88,0	66,7	82,4	72,0
5.0-10.0	9	56,0	86,5	85,3	58,3	78,8	3	72,0	80,0	74,1	78,3	76,0
7.5-12.5	9	24,0	95,9	78,9	66,7	77,8	7	68,0	56,0	63,6	60,7	62,0
10.0-15.0	9	24,0	95,9	78,9	66,7	77,8	11	72,0	64,0	69,6	66,7	68,0
12.5-17.5	17	12,0	100	77,1	100	77,8	11	80,0	52,0	72,2	62,5	66,0
15.0-20.0	11	8,0	98,6	76,0	66,7	75,8	7	80,0	60,0	75,0	66,7	70,0
17.5-22.5	5	12,0	97,3	76,6	60,0	75,8	9	80,0	52,0	72,2	62,5	66,0
20.0-25.0	3	56,0	83,8	84,9	53,8	76,8	9	72,0	64,0	69,6	66,7	68,0
22.5-27.5	7	32,0	91,9	80,0	87,1	76,8	3	76,0	56,0	70,0	63,3	66,0

Çizelge 6.27'deki zaman alanı ve Dalgacık dönüşümü ölçümlerine filtre yaklaşımı ile öznelik seçimi yapıldığında, 1. Çalışma grubu için 2.5-7.5 dakika zaman aralığındaki başarımları diğer segmentlere göre yüksektir. Diğer segmentlerin başarımları birbirine yakındır. 2. Çalışma grubu için PAF atağına en yakın ilk 3 segmentin performansları diğer segmentlere göre yüksektir. Özellikle, 0-5 dakika zaman aralığında %84 ACC, % 84 SEN ve %84 SPE değerlerine sahiptir. Yaklaşık olarak, zaman alanı ve LOMB Scargle yöntemleri ile benzer sonuçlara sahiptir. SDNN, RMSSD ve Wave_VLF öznelikleri ile gerçekleştirilen bu kısımda, genel sonuçlar zaman alanı ve FFT ölçümlerinden az daha düşük performans sonuçlarına sahiptir.

6.6 TÜM ÖZNETELİKELERİN BAŞARIMA ETKİSİ

MEAN, SDNN, RMSSD, SDD, NN50, NN20, pNN50, pNN20, FFT_VLF, FFT_LF, FFT_HF, FFT_LF/HF, FFT_TOTAL, LOMB_VLF, LOMB_LF, LOMB_HF, LOMB_LF/HF, LOMB_TOTAL, Wave_VLF, Wave_LF, Wave_HF, Wave_LF/HF, Wave_TOTAL, Ent_VLF, Ent_LF, Ent_HF, SD₁, SD₂, SD₁xSD₂, SD₁/SD₂ 30 adet olan doğrusal olan ve doğrusal olmayan özneliklerin kullanıldığı bu çalışmada tüm bu özneliklerin PAF atağı tespitindeki kestirim başarımları incelenmiştir. Çizelge 6.28'de tüm özneliklerin başarımlarına yer verilmiştir.

Çizelge 6.28 Doğrusal ve doğrusal olmayan tüm öznelikler için KNN başarımlar sonuçları.

Segmentler (dakika)	1. Çalışma Grubu						2. Çalışma Grubu					
	k	SEN	SPE	NEG	POS	ACC	k	SEN	SPE	NEG	POS	ACC
0.0- 5.0	11	24,0	95,9	78,9	66,7	77,8	5	60,0	84,0	67,7	78,9	72,0
2.5- 7.5	7	36,0	95,9	81,6	75,0	80,8	5	48,0	92,0	63,9	85,7	70,0
5.0-10.0	15	40,0	93,2	82,1	66,7	79,8	3	68,0	68,0	68,0	68,0	68,0
7.5-12.5	17	4,0	100	75,5	100,0	75,8	5	56,0	56,0	56,0	56,0	56,0
10.0-15.0	11	24,0	95,9	78,9	66,7	77,8	11	68,0	68,0	68,0	68,0	68,0
12.5-17.5	7	16,0	95,9	77,2	57,1	75,8	17	48,0	76,0	59,4	59,4	62,0
15.0-20.0	9	16,0	95,9	77,2	57,1	75,8	9	68,0	64,0	66,7	66,7	66,0
17.5-22.5	5	24,0	97,3	79,1	75,0	78,8	17	40,0	76,0	55,9	55,9	58,0
20.0-25.0	1	60,0	85,1	86,3	57,7	78,8	1	56,0	64,0	59,3	59,3	60,0
22.5-27.5	3	28,0	91,9	79,1	53,8	75,8	3	56,0	56,0	56,0	56,0	56,0

Çizelge 6.28'deki sonuçlara göre, 1. Çalışma grubu için başarımlar segmentler arasında benzerlik göstermektedir. 2,5-7,5 dakika zaman aralığında %80,8 ACC başarımlarına sahiptir. SEN değerleri oldukça düşüktür. 2. Çalışma grubu için sonuçlara bakıldığında, PAF atağına

yaklaştıkça artış göstermektedir. Fakat başarımlar yüksek olmamakla beraber % 72'yi geçmemektedir.

6.6.1 GA ile Öznitelik Seçiminin Başarıma Etkisi

MEAN, SDNN, RMSSD, SDD, NN50, NN20, pNN50, pNN20, FFT_VLF, FFT_LF, FFT_HF, FFT_LF/HF, FFT_TOTAL, LOMB_VLF, LOMB_LF, LOMB_HF, LOMB_LF/HF, LOMB_TOTAL, Wave_VLF, Wave_LF, Wave_HF, Wave_LF/HF, Wave_TOTAL, Ent_VLF, Ent_LF, Ent_HF, SD₁, SD₂, SD₁xSD₂, SD₁/SD₂ 30 adet özniteliklerin GA ile seçimiyle Çizelge 6.29'da verilen PAF atağı sonuçları analiz edilmiştir.

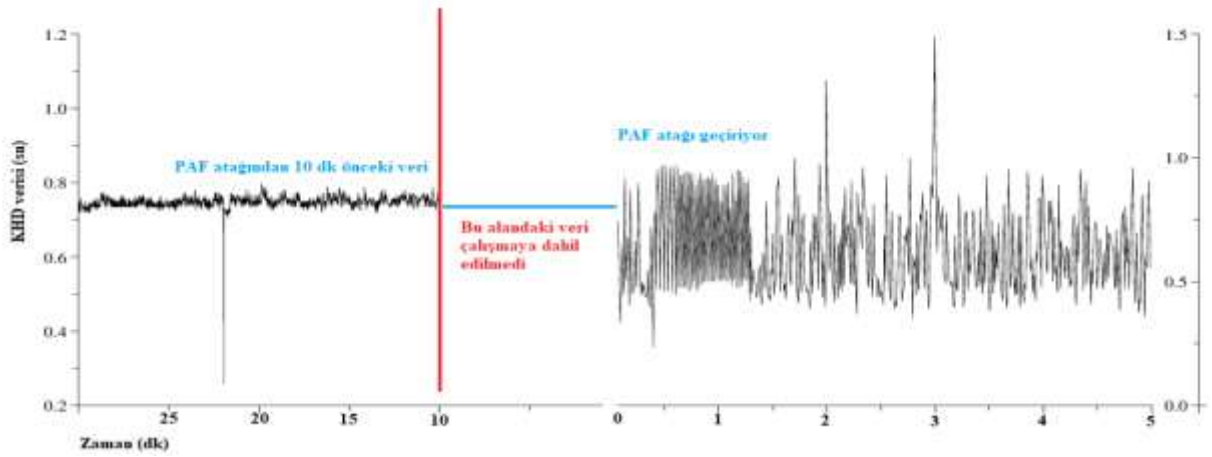
Çizelge 6.29 Tüm özniteliklere GA ile öznitelik seçiminin performans başarımına etkileri.

Segmentler (dakika)	1. Çalışma Grubu							2. Çalışma Grubu						
	k	SEN	SPE	NEG	POS	ACC	Öznitelik Sayısı	k	SEN	SPE	NEG	POS	ACC	Öznitelik Sayısı
0.0- 5.0	1	64,0	89,2	88,0	66,7	82,8	18	1	88,0	92,0	88,5	91,7	90,0	5
2.5- 7.5	5	44,0	97,3	83,7	84,6	83,8	10	5	68,0	92,0	74,2	89,5	80,0	15
5.0-10.0	7	48,0	95,9	84,5	80,0	83,8	10	7	76,0	72,0	75,0	73,1	74,0	11
7.5-12.5	15	8,0	98,6	76,0	66,7	75,8	16	3	72,0	68,0	70,8	69,2	70,0	16
10.0-15.0	5	28,0	98,6	80,2	87,5	80,8	14	9	72,0	76,0	73,1	75,0	74,0	10
12.5-17.5	3	48,0	93,2	84,1	70,6	81,8	11	9	84,0	56,0	77,8	65,6	70,0	9
15.0-20.0	13	4,0	100	75,5	100	75,8	19	15	60,0	76,0	65,5	71,4	68,0	15
17.5-22.5	9	28,0	98,6	80,2	87,5	80,8	17	11	72,0	64,0	69,6	66,7	68,0	15
20.0-25.0	3	48,0	93,2	84,1	70,6	81,8	16	5	84,0	56,0	77,8	65,6	70,0	17
22.5-27.5	7	28,0	98,6	80,2	87,5	80,8	6	5	56,0	68,0	60,7	63,6	62,0	12

Sonuçlara bakıldığında, 1. Çalışma grubunda PAF olayına yaklaştıkça genel başarımda artışlar görülmektedir. 0-5 dakika zaman aralığında %77,77 olan ACC değeri GA ile seçilen 18 adet öznitelikle %82,82 değerine çıkmıştır. 2. Çalışma grubu için ise aynı zaman aralığındaki başarımlar %72 değerinden GA ile 5 adet öznitelik ile %90 değerine çıkmıştır. SEN değeri de aynı şekilde %60 değerinden %88 değerine ulaşmıştır.

6.7 ÜÇ AŞAMALI OTOMATİK TESPİT ALGORİTMALARI İLE PAF ATAĞI TESPİTİ

Önceki çalışmalarda ataktan hemen önceki PAF verileri kullanılmıştır. Her ne kadar PAF atağı gerçekleşmeden hemen önceki 5 dakika, 1 dakika ya da 30 saniye öncesinden atağın geleceğinin bilinmesi hayati öneme sahip olsa da kimi hastalar için bu sürenin kısa olması onları telaş etmeye itebilir ve geri dönülmez sıkıntılara yol açabilir. Mesela, araç kullanan PAF hastası, atak geçireceğini 10 dakika öncesinden bilmesi ile 5 dakika öncesinden bilmesi arasında çok fark olabilir. Panik atağı olan bir kişinin, PAF atağı geleceğini bilmesi sonucunda kaza yapıp kazaya sebep olabilir. Aslında kişilerin önlem alması için tasarlanmış erken uyarı sistemi sürenin kısa olması ve kişilerden kaynaklı bazı problemlerden dolayı maksadın tersi ile sonuçlanabilir. Özellikle bu çalışmada, Şekil 6.4’de gösterildiği gibi PAF atağından en az 10 dakika öncesindeki verileri kullanarak atak geçirebilecek hastaların tespiti hedeflenmiştir.



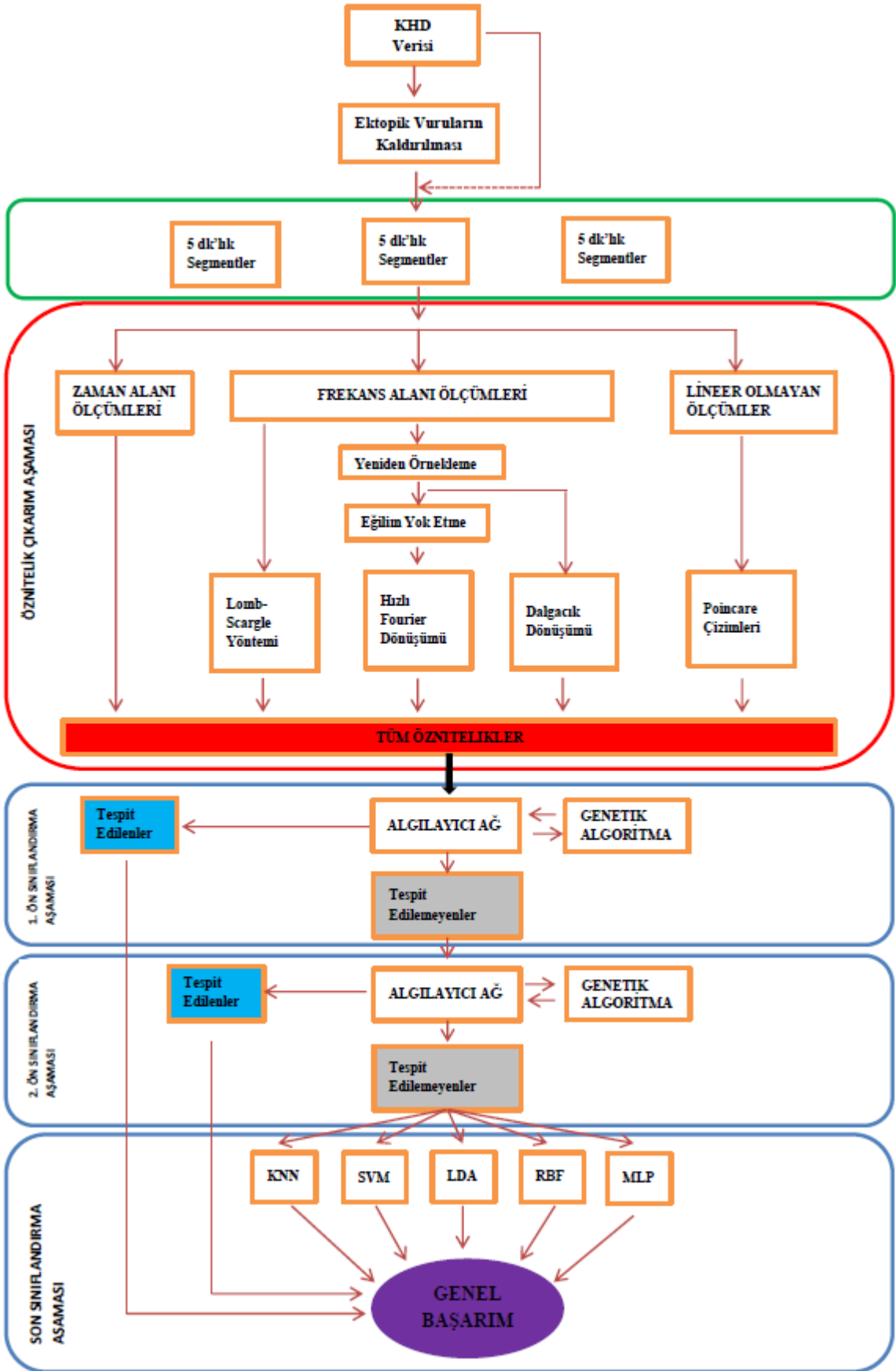
Şekil 6.4 PAF atağından 10 dk önceki veri ve PAF atağının gerçekleşmesi.

10-15 dakika, 12,5-17,5 dakika, 15-20 dakika, 17,5-22,5 dakika, 20-25 dakika ve 22,5-27,5 dakika zaman aralıkları olmak üzere 5 dakikalık 6 segmentten oluşan veriler üzerinden çalışma gerçekleştirilmiştir.

Sınıflandırıcı olarak çok katlı bir yapı tercih edilmiştir [112-115]. PAF atağına 5 dakika kala sınıflandırıcı performansları oldukça yüksek çıkmaktadır. Fakat aynı başarıyı 10 dakika öncesindeki verileri için söyleyememektedir. 10 dakika öncesinden de tespit performanslarını arttırmak için çok katlı sınıflandırıcı sistemi tasarlanmıştır. Şekil 6.5’de gösterildiği gibi çok katlı sınıflandırıcı sistemi şu şekilde çalışmaktadır: İlk iki aşamada

ayrılması kolay olan PAF geçirecek kişilerin veya atak geçirmeyecek kişilerin belirlenmesi ve son aşamada belirsizliğini koruyan kişilerin daha güçlü sınıflandırıcılarla tespit edilip genel performans başarımını belirlemektir. Çok katlı sınıflandırıcı sisteminin ilk aşamasında iki başlangıç koşulu karşımıza çıkmaktadır. 1. Başlangıç koşulunda, FN_{MIN} ifadesi FN değerinin minimum olup TP değerinin maksimum olması istenir. İkinci aşamasında ise FP_{MIN} , FP değerinin minimum olup TN değerinin maksimum olması istenir. 2. Başlangıç koşulunda, FP_{MIN} ifadesi FP değerinin minimum olup TN değerinin maksimum olması istenir. İkinci aşamasında ise FN_{MIN} , FN değerinin minimum olup TP değerinin maksimum olması istenir. Diğer ifade ile Algılayıcı ağın ilk olarak hangi koşul ile çalışmaya başlayacağına karar verilir. Üç katlı sınıflandırıcı sistemindeki genel başarımlar sonucu şu şekilde elde edilmiştir: 1. Ön sınıflandırma sisteminde tespit edilenler ayrıldıktan sonra, tespit edilemeyenler 2. Ön sınıflandırmaya tabi tutulmuştur. Burada da tespit edilenler ayrıldıktan sonra, tespit edilemeyenler son sınıflandırma aşamasına tabi tutulmuştur. Son sınıflandırma aşamasında tespit edilemeyenlerin hepsi test grubunda yer alırken eğitim aşamasında tespit edilenlerin tümüne yer verilmiştir. Sonuç olarak KNN, SVM, LDA, RBF ve MLP sınıflandırıcı algoritma performansları tespit edilmiştir. Bu algoritmalarından çıkan sonuçlara göre tespit edilen ve edilmeyenler belirlenip genel başarımlar bulunmuştur.

Çizelge 6.30'de ön sınıflandırma aşamalarında elde edilen TP, FN, TN ve FP değerleri hem 1. aşama hem 2. aşama için iki başlangıç koşulu için verilmiştir. Çizelge 6.31'de son sınıflandırma aşamasına kalan verilerin KNN algoritması tespit başarımları olan TP, FN, TN ve FP değerleri ile üç katlı sınıflandırıcı sisteminin genel başarımlarına yer verilmiştir. Çizelge 6.32'de son sınıflandırma aşamasına kalan verilerin SVM algoritması tespit başarımları olan TP, FN, TN ve FP değerleri ile üç katlı sınıflandırıcı sisteminin genel başarımlarına yer verilmiştir. Çizelge 6.33'de son sınıflandırma aşamasına kalan verilerin LDA algoritması tespit başarımları olan TP, FN, TN ve FP değerleri ile üç katlı sınıflandırıcı sisteminin genel başarımlarına yer verilmiştir. Çizelge 6.34'de son sınıflandırma aşamasına kalan verilerin RBF algoritması tespit başarımları olan TP, FN, TN ve FP değerleri ile üç katlı sınıflandırıcı sisteminin genel başarımlarına yer verilmiştir. Çizelge 6.35'de son sınıflandırma aşamasına kalan verilerin MLP algoritması tespit başarımları olan TP, FN, TN ve FP değerleri ile üç katlı sınıflandırıcı sisteminin genel başarımlarına yer verilmiştir.



Şekil 6.5 Çok katlı sınıflandırıcı sistemi akış diyagramı.

Çizelge 6.30 Ön sınıflandırma aşaması sonuçları.

PAF atağından önceki zaman aralıkları	Başlama Kriteri	Ön sınıflandırma aşamaları							
		Aşama 1				Aşama 2			
		TP	FN	TN	FP	TP	FN	TN	FP
10.0-15.0	FN min	15	10	25	0	0	10	19	6
	FP min	25	0	14	11	24	1	0	11
12.5-17.5	FN min	12	13	25	0	0	13	20	5
	FP min	25	0	13	12	19	6	0	12
15.0-20.0	FN min	12	13	25	0	0	13	19	6
	FP min	25	0	14	11	22	3	0	11
17.5-22.5	FN min	14	11	25	0	0	11	19	6
	FP min	25	0	11	14	14	11	0	14
20.0-25.0	FN min	14	11	25	0	0	11	23	2
	FP min	25	0	13	12	20	5	0	12
22.5-27.5	FN min	10	15	25	0	0	15	15	10
	FP min	25	0	10	15	17	8	0	15

Ön sınıflandırma aşamalarından 10-15 dakika zaman aralığındaki verilerden 1. aşamada 15 adet veri kolayca tespit edilirken, 10 adet veri tespit edilememiş ve 2. aşamaya geçmiştir. 2. aşamada ise 19 adet veri kolayca tespit edilmişken 6 adet veri tespit edilememiştir. Toplam 1. aşamadan 10 adet veri ve 2. aşamadan 6 adet veri 3. aşamaya geçmiştir. 3. Aşamada ise bu 16 adet veri 34 adet veri ile eğitilen sınıflandırıcı ile test edilerek genel sonuç bulunmuştur. 3. Aşamada 11 adet verinin de doğru, 5 adet verinin de yanlış bir şekilde sınıflandırıldığı Çizelge 6.31’de gösterilmektedir. Sonuç olarak KNN sınıflandırıcı algoritmasına göre 10-15 dakika zaman aralığında FN_{MIN} başlangıç kriterine göre %90 ACC %84 SEN ve %96 SPE değerleri tespit edilmiştir.

Çizelge 6.31 Son sınıflandırma aşamasındaki KNN başarımları sonuçları.

PAF atağından önceki zaman aralıkları	Başlama kriteri	Son sınıflandırma aşaması (KNN)						
		Aşama 3						
		TP	FN	TN	FP	SEN	SPE	ACC
10.0-15.0	FN min	6	4	5	1	84,0	96,0	90,0
	FP min	1	0	3	8	100	68,0	84,0
12.5-17.5	FN min	4	9	5	0	64,0	100	82,0
	FP min	4	2	6	6	92,0	76,0	84,0
15.0-20.0	FN min	0	13	6	0	48,0	100	74,0
	FP min	2	1	5	6	96,0	76,0	86,0
17.5-22.5	FN min	1	10	5	1	60,0	96,0	78,0
	FP min	10	1	3	11	96,0	56,0	76,0
20.0-25.0	FN min	2	9	2	0	64,0	100	82,0
	FP min	2	3	4	8	88,0	68,0	78,0
22.5-27.5	FN min	5	10	6	4	60,0	84,0	72,0
	FP min	5	3	4	11	88,0	56,0	72,0

3. Aşamada 6 adet verinin doğru 6 adet verinin de yanlış bir şekilde sınıflandırıldığı Çizelge 6.32’de gösterilmektedir. Sonuç olarak, SVM sınıflandırıcı algoritmasına göre 10-15 dakika zaman aralığında FP_{MIN} başlangıç kriterine göre %88 ACC %96 SEN ve %80 SPE değerleri tespit edilmiştir.

Çizelge 6.32 Son sınıflandırma aşamasındaki SVM başarımları sonuçları.

PAF atağından önceki zaman aralıkları	Başlama kriteri	Son sınıflandırma aşaması (SVM)						
		Aşama 3						
		TP	FN	TN	FP	SEN	SPE	ACC
10.0-15.0	FN min	7	3	1	5	88,0	80,0	84,0
	FP min	0	1	6	5	96,0	80,0	88,0
12.5-17.5	FN min	2	11	4	1	56,0	96,0	76,0
	FP min	3	3	6	6	88,0	76,0	82,0
15.0-20.0	FN min	1	12	6	0	52,0	100	76,0
	FP min	0	3	7	4	88,0	84,0	86,0
17.5-22.5	FN min	2	9	4	2	64,0	92,0	78,0
	FP min	8	3	4	10	88,0	60,0	74,0
20.0-25.0	FN min	3	8	2	0	68,0	100	84,0
	FP min	5	0	1	11	100	56,0	78,0
22.5-27.5	FN min	1	14	9	1	44,0	96,0	70,0
	FP min	5	3	6	9	88,0	64,0	76,0

3. Aşamada 7 adet verinin doğru 5 adet verinin de yanlış bir şekilde sınıflandırıldığı Çizelge 6.33'de gösterilmektedir. Sonuç olarak LDA sınıflandırıcı algoritmasına göre 10-15 dakika zaman aralığında FP_{MIN} başlangıç kriterine göre %90 ACC, %9,6 SEN ve % 84 SPE değerleri tespit edilmiştir.

Çizelge 6.33 Son sınıflandırma aşamasındaki LDA başarımları.

PAF atağından önceki zaman aralıkları	Başlama kriteri	Son sınıflandırma aşaması (LDA)						
		Aşama 3						
		TP	FN	TN	FP	SEN	SPE	ACC
10.0-15.0	FN min	1	9	5	1	64,0	96,0	80,0
	FP min	0	1	7	4	96,0	84,0	90,0
12.5-17.5	FN min	12	1	0	5	96,0	80,0	88,0
	FP min	1	5	8	4	80,0	84,0	82,0
15.0-20.0	FN min	2	11	5	1	56,0	96,0	76,0
	FP min	2	1	7	4	96,0	84,0	90,0
17.5-22.5	FN min	2	9	6	0	64,0	100	82,0
	FP min	7	4	5	9	84,0	64,0	74,0
20.0-25.0	FN min	8	3	0	2	88,0	92,0	90,0
	FP min	3	2	3	9	92,0	64,0	78,0
22.5-27.5	FN min	9	6	2	8	76,0	68,0	72,0
	FP min	7	1	1	14	96,0	44,0	70,0

3. Aşamada 11 adet verinin doğru 1 adet verinin de yanlış bir şekilde sınıflandırıldığı Çizelge 6.34'de gösterilmektedir. Sonuç olarak RBF sınıflandırıcı algoritmasına göre 10-15 dakika zaman aralığında FP_{MIN} başlangıç kriterine göre %98 ACC, %96 SEN ve % 100 SPE değerleri tespit edilmiştir.

Çizelge 6.34 Son sınıflandırma aşamasındaki RBF başarımları sonuçları.

PAF atağından önceki zaman aralıkları	Başlama kriteri	Son sınıflandırma aşaması (RBF)						
		Aşama 3						
		TP	FN	TN	FP	SEN	SPE	ACC
10.0-15.0	FN min	7	3	1	5	88,0	80,0	84,0
	FP min	0	1	11	0	96,0	100	98,0
12.5-17.5	FN min	13	0	0	5	100	80,0	90,0
	FP min	0	6	10	2	76,0	92,0	84,0
15.0-20.0	FN min	11	2	0	6	92,0	76,0	84,0
	FP min	0	3	11	0	88,0	100	94,0
17.5-22.5	FN min	11	0	0	6	100	76,0	88,0
	FP min	0	11	14	0	56,0	100	78,0
20.0-25.0	FN min	8	3	1	1	88,0	96,0	92,0
	FP min	0	5	12	0	80,0	100	90,0
22.5-27.5	FN min	15	0	0	10	100	60,0	80,0
	FP min	5	3	9	6	88,0	76,0	82,0

3. Aşamada 10 adet verinin doğru 2 adet verinin yanlış bir şekilde sınıflandırıldığı Çizelge 6.35’de gösterilmektedir. Sonuç olarak RBF sınıflandırıcı algoritmasına göre 10-15 dakika zaman aralığında FP_{\min} başlangıç kriterine göre %96 ACC, %100 SEN ve % 92 SPE değerleri tespit edilmiştir.

Çizelge 6.35 Son sınıflandırma aşamasındaki MLP başarımları sonuçları.

PAF atağından önceki zaman aralıkları	Başlama kriteri	Son sınıflandırma aşaması (MLP)						
		Aşama 3						
		TP	FN	TN	FP	SEN	SPE	ACC
10.0-15.0	FN min	8	2	3	3	92,0	88,0	90,0
	FP min	1	0	9	2	100	92,0	96,0
12.5-17.5	FN min	13	0	0	5	100	80,0	90,0
	FP min	1	5	12	0	80,0	100	90,0
15.0-20.0	FN min	13	0	1	5	100	80,0	90,0
	FP min	0	3	11	0	88,0	100	94,0
17.5-22.5	FN min	11	0	0	6	100	76,0	88,0
	FP min	4	7	12	2	72,0	92,0	82,0
20.0-25.0	FN min	11	0	1	1	100	96,0	98,0
	FP min	5	0	7	5	100	80,0	90,0
22.5-27.5	FN min	15	0	1	9	100	64,0	82,0
	FP min	7	1	9	6	96,0	76,0	86,0

3. Aşamada sınıflandırıcılar içerisinde PAF atağının erken kestiriminde en iyi algoritma başarımlarının RBF ve MLP sınıflandırıcılarında olduğunu göstermiştir. En az 10 dakika ve daha öncesinden başarımlar %90'ların üzerindedir

6.8 VERİ SEGMENTLERİNİN İSTATİKSEL ANALİZİ (TEKRAR EDİLEBİLİRLİK TESTİ)

Üzerinde çalıştığımız 30 dakikalık veriler %50 örtüşecek şekilde 5 dakikalık 10 segmentte ayrılmıştı. Daha önceki çalışmalarda her bir segmentteki sınıfların birbiri arasındaki istatistiksel ayırım analiz edilmişti. Bu çalışmada, segmentler arasındaki istatistiksel analiz testi yapılmıştır. Yani, diğer adı tekrar edilebilirlik olan bu test şu şekildedir: Normal - PAF geçirmeyen - PAF geçiren şeklindeki veri 3 grubu için ayrı ayrı 10 segmentin birbiri arasında anlamlı bir fark var mı? sorusuna cevap bulmaktır. Öznitelik olarak zaman alanı ve frekans alanı ölçümleri kullanılmıştır. ANOVA testi ile p değerleri tespit edilmiştir. 3 sınıf için elde edilen zaman alanı ölçümlerinin segmentler arası istatistiksel ayırımı Çizelge 6.36' verilmiştir. Aynı şekilde frekans alanı ölçümlerinin segmentler arası istatistiksel ayırımı Çizelge 6.37'da sunulmuştur.

Çizelge 6.36 Zaman alanı ölçümlerinin segmentler arası anlamlılık değerleri.

Öznitelikler	p değeri		P değeri
	PAF	non-PAF	Normal
AVNN	1,00	1,00	1,00
SDNN	0,02	1,00	1,00
RMSSD	0,03	1,00	1,00
SDSD	1,00	1,00	1,00
NN50	0,92	0,94	1,00
NN20	0,95	0,98	1,00
pNN50	0,81	0,99	1,00
pNN20	0,93	1,00	1,00

Çizelge 6.37 Frekans alanı ölçümlerinin segmentler arası anlamlılık değerleri.

Öznitelikler	p değeri PAF	p değeri non-PAF	p değeri Normal
FFT_VLF	0,99	0,88	0,71
FFT_LF	0,05	1,00	1,00
FFT_HF	0,21	0,30	1,00
FFT_LF/HF	0,06	0,83	1,00
FFT_TOTAL	0,16	0,74	1,00
LOMB_VLF	0,52	0,38	0,96
LOMB_LF	0,08	0,89	0,84
LOMB_HF	0,98	0,94	0,89
LOMB_LF/HF	0,75	1,00	0,35
LOMB_TOTAL	0,83	0,97	0,90
Wave_VLF	0,29	0,83	0,84
Wave_LF	0,83	0,97	0,98
Wave_HF	0,98	0,96	0,97
Wave_LF/HF	0,68	1,00	0,80
Wave_TOTAL	0,87	0,81	0,97
Ent_VLF	0,99	0,88	0,58
Ent_LF	0,05	1,00	0,97
Ent_HF	0,21	0,30	1,00

Burada, ANOVA testi ile yapılan segmentler arasındaki ayırmda, özellikle Normal ve PAF atağı geçirmeyecek verilerin istatistiksel değeri 1'e yakın çıkmaktadır. PAF geçirecek kişilerde ise bazı öz nitelikler için $p < 0.05$ çıkmaktadır. Sonuç olarak, PAF atağı verilerinde istatistiksel farklılık çıkması beklenen bir sonuçtur.

Zaman alanı SDNN ölçümünün PAF atağı geçirecek veriler üzerinden segmentler arası ayırımı Çizelge 6.38'da gösterilmektedir. Frekans alanı FFT_LF ölçümünün hem PAF atağı geçirecek hemde PAF atağı geçirmeyecek veriler üzerinden segmentler arası ayırmaları Çizelge 6.39 ve Çizelge 6.40'de gösterilmektedir.

Çizelge 6.38 PAF atağı geçirecek veriler üzerinden SDNN ölçümü için segmentler arası ayırım.

Segmentler	N	p = 0.05 için alt küme/ler	
		1. Sınıf	2. Sınıf
10	25	65,5640	
7	25	71,5261	
9	25	73,6277	
8	25	76,3168	
4	25	76,8371	
6	25	77,3076	
5	25	81,2334	
3	25		
1	25		122,5871
2	25		125,0064

Çizelge 6.39 PAF atağı geçirecek veriler üzerinden FFT_LF ölçümü için segmentler arası ayırım.

Segmentler	N	p = 0.05 için alt küme/ler	
		1. Sınıf	2. Sınıf
10	25	0,064294	
7	25	0,073561	
9	25	0,073653	
4	25	0,077599	
6	25	0,079336	
8	25	0,082004	
5	25	0,088419	
3	25		
1	25		0,127172
2	25		0,138558

Çizelge 6.40 PAF atağı geçirmeyecek veriler üzerinden FFT_LF ölçümü için segmentler arası ayırım.

Segmentler	N	p = 0.05 için alt küme/ler
		1. Sınıf
1	25	0,056027
2	25	0,063004
8	25	0,064968
7	25	0,065606
5	25	0,068684
6	25	0,071579
4	25	0,073548
3	25	0,077597
10	25	0,078626
9	25	0,085883

Burada, PAF atağı geçirecek verilerin zaman alanı ve frekans alanı ölçümleri için Segment 1, Segment 2 ve Segment 3'ün diğer segmentlerden ayrıldığı görülmektedir. Bunun aksine PAF geçirmeyecek veri segmentlerinde herhangi bir ayırım söz konusu değildir.

6.9 FARKLI NORMALİZASYON YÖNTEMLERİNİN ETKİSİ

Bu çalışmada, literatürde verilerin normalizasyon yöntemlerinin, PAF atağı kestirimindeki başarımlarını incelenmiştir. MEAN, SDNN, RMSSD, SDD, NN50, NN20, pNN50, pNN20, FFT_VLF, FFT_LF, FFT_HF, FFT_LF/HF, FFT_TOTAL, LOMB_VLF, LOMB_LF, LOMB_HF, LOMB_LF/HF, LOMB_TOTAL, Wave_VLF, Wave_LF, Wave_HF, Wave_LF/HF, Wave_TOTAL, Ent_VLF, Ent_LF, Ent_HF, SD₁, SD₂, SD₁×SD₂, SD₁/SD₂ olmak üzere 30 adet öznelik ile çalışılmıştır. Bu öznelikler Min-Max normalizasyon yöntemi ile normalize edilerek KNN performansları, her bir segment ve çalışma grubu için Çizelge 6.41'de elde edilmiştir. KNN sınıflandırıcısındaki k parametresi 1-19 arasındaki tek sayılar için 100 kez tekrarlanarak denenmiştir.

Çizelge 6.41 Min-Max normalizasyon yöntemi için KNN başarımlarını sonuçları.

Segmentler (dakika)	1. Çalışma Grubu						2. Çalışma Grubu					
	k	SEN	SPE	NEG	POS	ACC	k	SEN	SPE	NEG	POS	ACC
0.0- 5.0	11	24,0	95,9	78,9	66,7	77,8	5	60,0	84,0	67,7	78,9	72,0
2.5- 7.5	7	36,0	95,9	81,6	75,0	80,8	5	48,0	92,0	63,9	85,7	70,0
5.0-10.0	15	40,0	93,2	82,1	66,7	79,8	3	68,0	68,0	68,0	68,0	68,0
7.5-12.5	17	4,0	100	75,5	100	75,8	5	56,0	56,0	56,0	56,0	56,0
10.0-15.0	11	24,0	95,9	78,9	66,7	77,8	11	68,0	68,0	68,0	68,0	68,0
12.5-17.5	7	16,0	95,9	77,2	57,1	75,8	17	48,0	76,0	59,4	59,4	62,0
15.0-20.0	9	16,0	95,9	77,2	57,1	75,8	9	68,0	64,0	66,7	66,7	66,0
17.5-22.5	5	24,0	97,3	79,1	75,0	78,8	17	40,0	76,0	55,9	55,9	58,0
20.0-25.0	1	60,0	85,1	86,3	57,7	78,8	1	56,0	64,0	59,3	59,3	60,0
22.5-27.5	3	28,0	91,9	79,1	53,8	75,8	3	56,0	56,0	56,0	56,0	56,0

Çizelge 6.41'de verilen sonuçlara göre 1. Çalışma Grubu için başarımlar birbirine yakın olmakla birlikte 2,5-7,5 dakika zaman aralığındaki veri segmentinde %80,8 ACC, %36 SEN ve %95,9 SPE değerleri elde edilmiştir. PAF geçirecek verilerin tespit oranı oldukça düşükken PAF geçirmeyecek verilerin tespit oranı yüksektir. 2. Çalışma grubundan elde edilen sonuçlara göre, 0-5 dakika zaman aralığında %72 ACC, %60 SEN ve %84 SPE sonuçları elde edilmiştir.

Bu çalışma grubunda PAF geçirecek verilerin tespiti 1. Çalışma grubuna göre daha yüksektir ama istenen yüksekliğe ulaşamamıştır.

Z-skoru normalizasyon yöntemi kullanılarak normalize edilmesindeki KNN performansları her bir segment ve çalışma grubu için Çizelge 6.42’de verilmiştir.

Çizelge 6.42 Z-skoru normalizasyon yöntemi için KNN başarımları sonuçları. (NaN: Herhangi bir sonuç üretilmedi).

Segmentler (dakika)	1. Çalışma Grubu						2. Çalışma Grubu					
	k	SEN	SPE	NEG	POS	ACC	k	SEN	SPE	NEG	POS	ACC
0.0- 5.0	9	24,0	95,9	78,9	66,7	77,8	5	68,0	76,0	70,4	73,9	72,0
2.5- 7.5	11	20,0	98,6	78,5	83,3	78,8	5	52,0	84,0	63,6	76,5	68,0
5.0-10.0	17	32,0	97,3	80,9	80,0	80,8	3	60,0	76,0	65,5	71,4	68,0
7.5-12.5	11	0,0	NaN	74,7	NaN	74,7	9	56,0	72,0	62,1	66,7	64,0
10.0-15.0	3	48,0	85,1	82,9	52,2	75,8	3	56,0	72,0	62,1	66,7	64,0
12.5-17.5	11	12,0	98,6	76,8	75,0	76,8	17	36,0	88,0	57,9	75,0	62,0
15.0-20.0	13	8,0	98,6	76,0	66,7	75,8	9	56,0	68,0	60,7	63,6	62,0
17.5-22.5	5	24,0	94,6	78,7	60,0	76,8	13	56,0	72,0	62,1	66,7	64,0
20.0-25.0	1	60,0	82,4	85,9	53,6	76,8	1	64,0	60,0	62,5	61,5	62,0
22.5-27.5	7	16,0	94,6	76,9	50,0	74,7	17	56,0	52,0	53,8	54,2	54,0

Çizelge 6.42’de verilen z-skoru sonuçları değerlendirildiğinde, 1. Çalışma grubu için 5-10 dakika zaman aralığındaki veri segmentinde %80,8 ACC, %32,0 SEN ve %97,2 SPE sonuçları bulunmuştur. PAF geçirecek verilerin tespit oranı oldukça düşükken PAF geçirmeyecek verilerin tespit oranı çok yüksektir. 2. Çalışma Grubundan elde edilen sonuçlara göre, 0-5 dakika zaman aralığında %72 ACC, %68 SEN ve %76 SPE değerleri elde edilmiştir. Bu çalışma grubunda PAF geçirecek verilerin tespiti 1. Çalışma grubuna göre ve Min-Max normalizasyon yöntemine göre daha yüksektir ama istenen yüksekliğe ulaşamamıştır.

Medyan normalizasyon yönteminin kullanılmasıyla elde edilen KNN başarımları Çizelge 6.43’de verilmiştir.

Çizelge 6.43 Medyan normalizasyon yöntemi için KNN başarımları sonuçları.

Segmentler (dakika)	1. Çalışma Grubu						2. Çalışma Grubu					
	k	SEN	SPE	NEG	POS	ACC	k	SEN	SPE	NEG	POS	ACC
0.0- 5.0	3	64,0	89,2	88,0	66,7	82,8	5	84,0	72,0	81,8	75,0	78,0
2.5- 7.5	11	16,0	98,6	77,7	80,0	77,8	17	48,0	88,0	62,9	80,0	68,0
5.0-10.0	1	44,0	89,2	82,5	57,9	77,8	7	60,0	76,0	65,5	71,4	68,0
7.5-12.5	3	32,0	90,5	79,8	53,5	75,8	3	60,0	64,0	61,5	62,5	62,0
10.0-15.0	5	32,0	90,5	79,8	53,5	75,8	9	80,0	44,0	68,8	58,8	62,0
12.5-17.5	5	24,0	94,6	78,7	60,0	76,8	15	52,0	68,0	58,6	61,9	60,0
15.0-20.0	17	4,0	100	75,5	100	75,8	9	60,0	68,0	63,0	65,2	64,0
17.5-22.5	1	16,0	98,6	77,7	80,0	77,8	1	68,0	64,0	66,7	65,4	66,0
20.0-25.0	3	44,0	89,2	82,5	57,9	77,8	3	68,0	64,0	66,7	65,4	66,0
22.5-27.5	9	16,0	98,6	77,7	80,0	77,8	9	52,0	68,0	58,6	61,9	60,0

Çizelge 6.43'deki sonuçlara bakıldığında, Medyan normalizasyon yöntemi diğer Min-Max ve Z-skoru normalizasyon yöntemlerine göre daha iyi performans sergilemiştir. 1. Çalışma grubu için 0-5 dakika zaman aralığında %82,8 ACC, % 64 SEN ve 89,1 %SPE değerleri elde edilmekle birlikte diğer segmentlere göre başarımları daha yüksektir. 2. Çalışma grubunda ise yine diğer normalizasyon yöntemlerine göre daha yüksek sonuçlar elde edilmiştir. 0-5 dakika zaman aralığında %78 ACC, %84 SEN ve %72 SPE değerleri elde edilmiştir. PAF geçirecek kişilerin 25 adetten 21'i tespit edilmiştir.

Son olarak, D-Min-Max normalizasyon yöntemi kullanılarak elde edilen sonuçlar Çizelge 6.44'de verilmiştir.

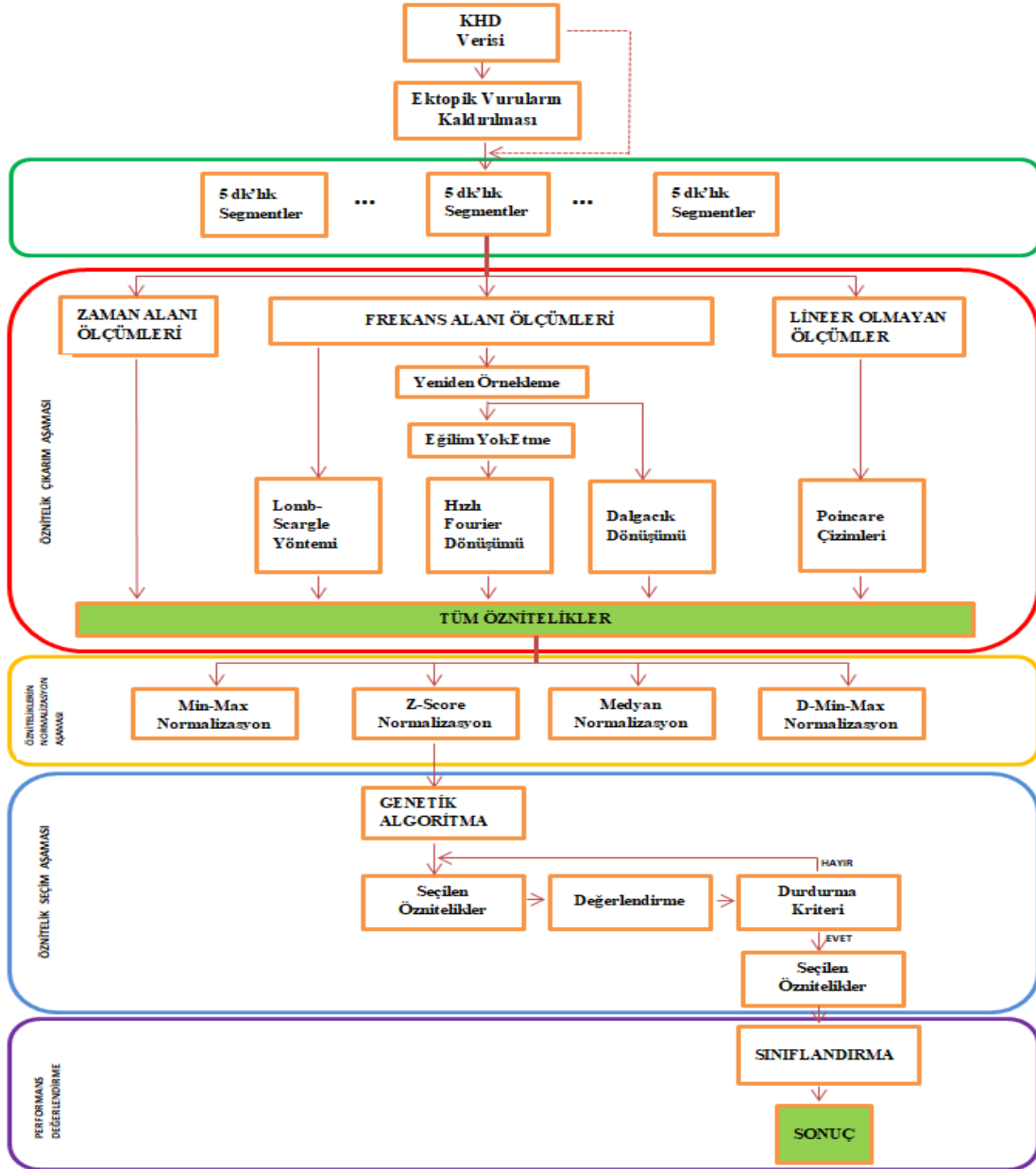
Çizelge 6.44 D-Min-Max normalizasyon yöntemi için KNN başarımları sonuçları (NaN: Herhangi bir sonuç üretilmedi).

Segmentler (dakika)	1. Çalışma Grubu						2. Çalışma Grubu					
	k	SEN	SPE	NEG	POS	ACC	k	SEN	SPE	NEG	POS	ACC
0.0- 5.0	15	20,0	98,6	78,5	83,3	78,8	5	60,0	84,0	67,7	78,9	72,0
2.5- 7.5	5	44,0	93,2	83,1	68,8	80,8	5	56,0	80,0	64,5	73,7	68,0
5.0-10.0	5	44,0	91,9	82,9	64,7	79,8	5	60,0	76,0	65,5	71,4	68,0
7.5-12.5	13	0,0	100	74,7	NaN	74,7	5	64,0	56,0	60,9	59,3	60,0
10.0-15.0	9	36,0	93,2	81,2	64,3	78,8	11	60,0	68,0	63,0	65,2	64,0
12.5-17.5	5	32,0	90,5	79,8	53,3	75,8	19	48,0	80,0	60,6	70,6	64,0
15.0-20.0	13	4,0	100	75,5	100	75,8	9	68,0	56,0	63,6	60,7	62,0
17.5-22.5	5	24,0	95,9	78,8	66,7	77,8	19	36,0	76,0	54,3	60,0	56,0
20.0-25.0	1	56,0	83,8	84,9	53,8	76,8	1	56,0	68,0	60,7	63,6	62,0
22.5-27.5	5	28,0	91,9	79,1	53,8	75,8	3	44,0	68,0	54,8	57,9	56,0

Çizelge 6.44’de verilen D-Min-Max normalizasyon sonuçlarına göre, 1. Çalışma grubu için yakın sonuçlar karşımıza çıkmaktadır. 2,5-7,5 dakika zaman aralığındaki veri segmentinde %80,8 ACC, %44 SEN ve %93,2 SPE değerleri elde edilmiştir. PAF geçirecek verilerin tespit oranı oldukça düşükken PAF geçirmeyecek verilerin tespit oranı çok yüksektir. 2. Çalışma grubundan elde edilen sonuçlara göre, 0-5 dakika zaman aralığında %72 ACC, %60 SEN ve %84 SPE değerleri bulunmuştur.

6.10 FARKLI NORMALİZASYON YÖNTEMLERİ İLE GENETİK ALGORİTMANIN PAF ATAĞI TESPİT BAŞARIMI

Bu çalışmada, öznitelik normalizasyon işlemlerinin ve GA ile öznitelik seçiminin PAF atağı kestirimindeki başarımlarını performansları incelenmiştir. Çalışmanın tüm aşamaları Şekil 6.6’de ayrıntılı bir şekilde verilmiştir.



Şekil 6.6 Farklı normalizasyon yöntemleri ve GA ile öznelik seçimi ile gerçekleştirilen tüm çalışmanın akış diyagramı.

Min-Max normalizasyon yöntemi ve GA ile seçilen özneliklerin başarımları Çizelge 6.45'da verilmiştir.

Çizelge 6.45 Min-Max normalizasyon yöntemi ve GA ile seçilen özniteliklerin başarımları.

Segmentler (dakika)	1. Çalışma Grubu							2. Çalışma Grubu						
	k	SEN	SPE	NEG	POS	ACC	Seçilen Öznitelik Sayısı	k	SEN	SPE	NEG	POS	ACC	Seçilen Öznitelik Sayısı
0.0- 5.0	1	64,0	89,2	88,0	66,7	82,8	18	1	88,0	92,0	88,5	91,7	90,0	5
2.5- 7.5	5	44,0	97,3	83,7	84,6	83,8	10	5	68,0	92,0	74,2	89,5	80,0	15
5.0-10.0	7	48,0	95,9	84,5	80,0	83,8	10	7	76,0	72,0	75,0	73,1	74,0	11
7.5-12.5	15	8,0	98,6	76,0	66,7	75,8	16	3	72,0	68,0	70,8	69,2	70,0	16
10.0-15.0	5	28,0	98,6	80,2	87,5	80,8	14	9	72,0	76,0	73,1	75,0	74,0	10
12.5-17.5	3	48,0	93,2	84,1	70,6	81,8	11	9	84,0	56,0	77,8	65,6	70,0	9
15.0-20.0	13	4,0	100	75,5	100	75,8	19	15	60,0	76,0	65,5	71,4	68,0	15
17.5-22.5	9	28,0	98,6	80,2	87,5	80,8	17	11	72,0	64,0	69,6	66,7	68,0	15
20.0-25.0	3	48,0	93,2	84,1	70,6	81,8	16	5	84,0	56,0	77,8	65,6	70,0	17
22,5-27,5	7	28,0	98,6	80,2	87,5	80,8	6	5	56,0	68,0	60,7	63,6	62,0	12

KHD verileri üzerinden elde edilen özniteliklere min-max normalizasyonun uygulanıp verileri [0 1] aralığına indirgemek PAF atak başlama zamanının erken kestiriminde oldukça faydalıdır.

1. Çalışma Grubu verileri için genel başarımlar birbirine yakındır. Özellikle PAF atağına yaklaştıkça başarımlar diğer segmentlere göre biraz daha fazla artmaktadır. 2.5-7.5 dakika ve 5-10 dakika zaman aralıklarında %83,8 ACC değeri tespit edilirken PAF atağına en yakın olan 0-5 dakika zaman aralığında ise %82,8 ACC değeri tespit edilmiştir. 2. Çalışma Grubu verisi için sonuçlar daha iç açıcudur. Çünkü, PAF atağına yaklaştıkça başarımlar %60-70 aralığından % 90'a kadar çıkmaktadır. Atağa en yakın 2 segmentte başarımlar oldukça yüksektir.

Z-skoru normalizasyon yöntemi ve GA ile seçilen özniteliklerin KNN başarımlarına Çizelge 6.46'de yer verilmiştir.

Çizelge 6.46 Z-skoru normalizasyon yöntemi ve GA ile seçilen özniteliklerin başarımları.

Segmentler (dakika)	1. Çalışma Grubu							2. Çalışma Grubu						
	k	SEN	SPE	NEG	POS	ACC	Seçilen Öznitelik Sayısı	k	SEN	SPE	NEG	POS	ACC	Seçilen Öznitelik Sayısı
0.0- 5.0	1	80,0	89,2	93,0	71,4	86,9	11	1	96,0	88,0	95,7	88,9	92,0	6
2.5- 7.5	3	48,0	95,9	84,5	80,0	83,8	10	7	64,0	92,0	71,9	88,9	78,0	11
5.0-10.0	5	56,0	95,9	86,6	82,4	85,9	13	3	76,0	76,0	76,0	76,0	76,0	12
7.5-12.5	15	12,0	100	77,1	100	77,8	15	5	72,0	72,0	72,0	72,0	72,0	15
10.0-15.0	5	56,0	93,2	86,3	73,7	83,8	12	5	68,0	80,0	71,4	77,3	74,0	17
12.5-17.5	11	16,0	100	77,9	100	78,8	12	13	68,0	64,0	66,7	65,4	66,0	13
15.0-20.0	9	28,0	95,9	79,8	70,0	78,8	8	15	56,0	76,0	63,3	70,0	66,0	18
17.5-22.5	9	28,0	98,6	80,2	87,5	80,2	19	9	56,0	76,0	63,3	70,0	66,0	12
20.0-25.0	7	40,0	94,6	82,4	71,4	80,8	15	7	60,0	64,0	61,5	62,5	62,0	10
22,5-27,5	5	36,0	94,6	81,4	69,2	79,8	10	9	60,0	64,0	61,5	62,5	62,0	12

Verinin ortalama değerden ne kadar aşağı ya da yukarı dağıldığının göstergesi olan Z-skoru normalizasyon yöntemiyle gerçekleştirilen yukarıdaki çalışma, performans başarımı olarak oldukça yüksek sonuçlar vermiştir. PAF atağına en yakın 3 segmentin performansları, diğer segmentlerden yüksektir. Burada 0-5 dakika zaman aralığındaki segmentte %86,8 ACC, %80 SEN ve %89,18 SPE değerleri elde edilmiştir. Tez kapsamında yapılan diğer tüm 1. Çalışma Grubundaki en yüksek SEN başarımı burada tespit edilmiştir. 25 adet atak geçirecek veriden en çok 20 si tespit edilmiştir. 74 adet normal veri ve PAF olup atak geçirmeyecek verilerden de 66 tanesi tespit edilmiştir. 2. Çalışma Grubunda ise 1. Çalışma Grubunda olduğu gibi en yüksek başarımlar elde edilmiştir. En önemlisi PAF atağına en yakın 5 segmentte yani 15 dakikaya kadar olan başarımlar diğer segmentlerden ayrılmaktadır ve PAF atağına yakınlaştıkça özellikle de 0-5 dakika zaman aralığında %92 ACC, % 96 SEN ve % 88 SPE değerleri elde edilmiştir. Diğer bir ifade ile toplam 6 adet FFT_LF, FFT_TOTAL, LOMB_VLF, LOMB_HF ve SD₁ öznitelikleri ile 25 tane PAF atağı geçirecek hastadan 24 tanesini tespit ederken 25 tane PAF atağı geçirmeyen ama PAF hastası olanlardan da 22 tanesinin kestirimini yapmaktadır.

Medyan normalizasyon yöntemi ve GA ile seçilen özniteliklerin KNN başarımlarına Çizelge 6.47’de yer verilmiştir.

Çizelge 6.47 Medyan normalizasyon yöntemi ve GA ile seçilen özneliklerin başarımları.

Segmentler (dakika)	1. Çalışma Grubu							2. Çalışma Grubu						
	k	SEN	SPE	NEG	POS	ACC	Seçilen Öznelik k Sayısı	k	SEN	SPE	NEG	POS	ACC	Seçilen Öznelik Sayısı
0.0- 5.0	1	68,0	94,6	89,7	81,0	87,9	11	1	84,0	92,0	85,2	91,3	88,0	12
2.5- 7.5	7	48,0	94,6	84,3	75,0	82,8	9	9	80,0	92,0	69,7	88,2	76,0	14
5.0-10.0	5	40,0	97,3	82,8	83,3	82,8	15	1	76,0	72,0	75,0	73,1	74,0	16
7.5-12.5	7	20,0	98,6	78,5	83,3	78,8	13	1	72,0	72,0	72,0	72,0	72,0	19
10.0-15.0	9	28,0	95,9	79,8	70,0	78,8	15	13	72,0	72,0	72,0	72,0	72,0	12
12.5-17.5	11	8,0	100	76,3	100	76,8	13	1	76,0	76,0	76,0	76,0	76,0	8
15.0-20.0	3	36,0	94,6	81,4	68,2	76,8	10	11	80,0	64,0	76,2	69,0	72,0	15
17.5-22.5	5	20,0	98,6	78,5	83,3	78,8	13	3	60,0	84,0	67,7	78,9	72,0	13
20.0-25.0	5	8,0	100	76,3	100	76,8	7	5	72,0	76,0	73,1	75,0	74,0	14
22,5-27,5	5	36,0	94,6	81,4	68,2	76,8	9	7	60,0	76,0	65,5	71,4	68,0	11

Aşırı sapmalardan etkilenmeyen, medyan değerine göre bulunan bu normalizasyon işlemi sonuçlarına göre, 1. Çalışma Grubu için 11 adet öznelikle %87,8 en yüksek ACC başarımları elde edilmişken SEN değeri z-skoru normalizasyonundan düşüktür. PAF atağına yaklaştıkça, başarımlar diğer geride kalan segmentlere göre fark edilebilir bir şekilde artmıştır. 2. Çalışma grubu için başarımlar genel olarak %70 in üzerindedir. Fakat bu oran PAF atağına en yakın olan 0-5 dakika zaman aralığında %88 ACC, %84 SEN ve % 92 SPE değerlerine sahiptir.

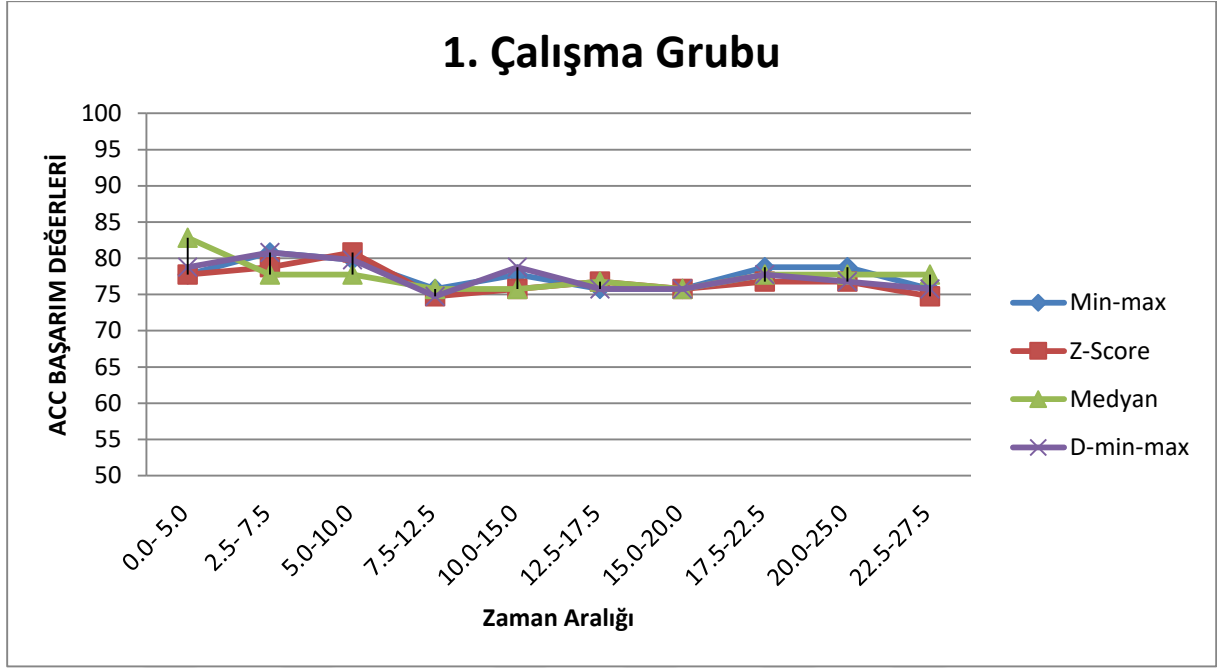
0-1 arasında istenen iki değer arasına normalize eden ve Min-max normalizasyon yöntemiyle hemen hemen aynı olan D-min-max normalizasyon yönteminin GA ile seçilen özneliklerin KNN başarımları Çizelge 6.48’de verilmiştir.

Çizelge 6.48 D-min-max normalizasyon yöntemi ve GA ile seçilen özniteliklerin başarımları.

Segmentler (dakika)	1. Çalışma Grubu							2. Çalışma Grubu						
	k	SEN	SPE	NEG	POS	ACC	Seçilen Öznitelik Sayısı	k	SEN	SPE	NEG	POS	ACC	Seçilen Öznitelik Sayısı
0.0- 5.0	1	64,0	93,2	88,5	76,2	85,9	8	1	88,0	68,0	85,0	73,3	78,0	11
2.5- 7.5	5	60,0	95,9	87,7	83,3	86,9	15	3	72,0	88,0	75,9	85,7	80,0	13
5.0-10.0	5	40,0	97,3	82,8	83,3	82,8	16	5	76,0	72,0	75,0	73,1	74,0	10
7.5-12.5	15	8,0	100	76,3	100	76,8	16	15	72,0	72,0	72,0	72,0	72,0	14
10.0-15.0	5	20,0	98,6	78,5	83,3	78,8	10	13	84,0	64,0	80,0	70,0	74,0	16
12.5-17.5	7	16,0	100	77,9	100	78,8	15	9	76,0	56,0	70,0	63,3	66,0	10
15.0-20.0	15	16,0	98,6	77,7	80,0	77,8	9	3	80,0	60,0	75,0	66,7	70,0	6
17.5-22.5	7	20,0	100	78,7	100	79,8	16	11	64,0	68,0	65,4	66,7	66,0	15
20.0-25.0	5	28,0	95,9	79,8	70,0	78,8	17	5	80,0	60,0	75,0	66,7	70,0	17
22,5-27,5	15	8,0	100	76,3	100	76,8	18	1	64,0	68,0	65,4	66,7	66,0	7

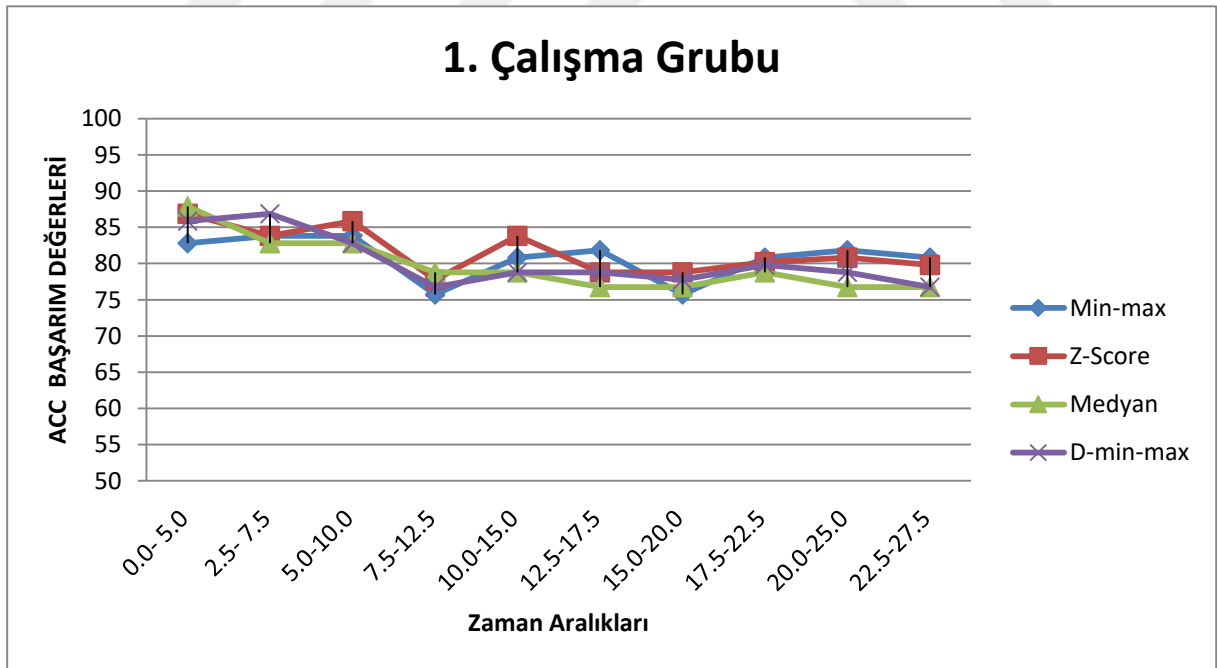
Çizelge 6.48'deki sonuçlara göre, D-Min-Max normalizasyon yöntemi 1. Çalışma grubu için fevkalade yüksek sonuçlar vermektedir. Özellikle PAF atağından hemen önceki 7.5 dakikaya kadar %86,8 başarımla değerine sahiptir. Fakat 1. Çalışma grubu için söylenen yüksek başarımların değerleri 2. Çalışma grubu için söylenemez. En yüksek başarımla, 2.5-7.5 dakika zaman aralığında %80'i geçememiştir.

Farklı normalizasyon yöntemleriyle gerçekleştirilen bu çalışmanın GA'lı ve GA'sız ACC genel başarımların grafikleri Şekil 6.7, Şekil 6.8, Şekil 6.9 ve Şekil 6.10 gösterilmektedir. GA'lı ve GA'sız PAF atağı kestirim hassasiyet grafikleri Şekil 6.11, Şekil 6.12, Şekil 6.13 ve Şekil 6.14'de verilmiştir.



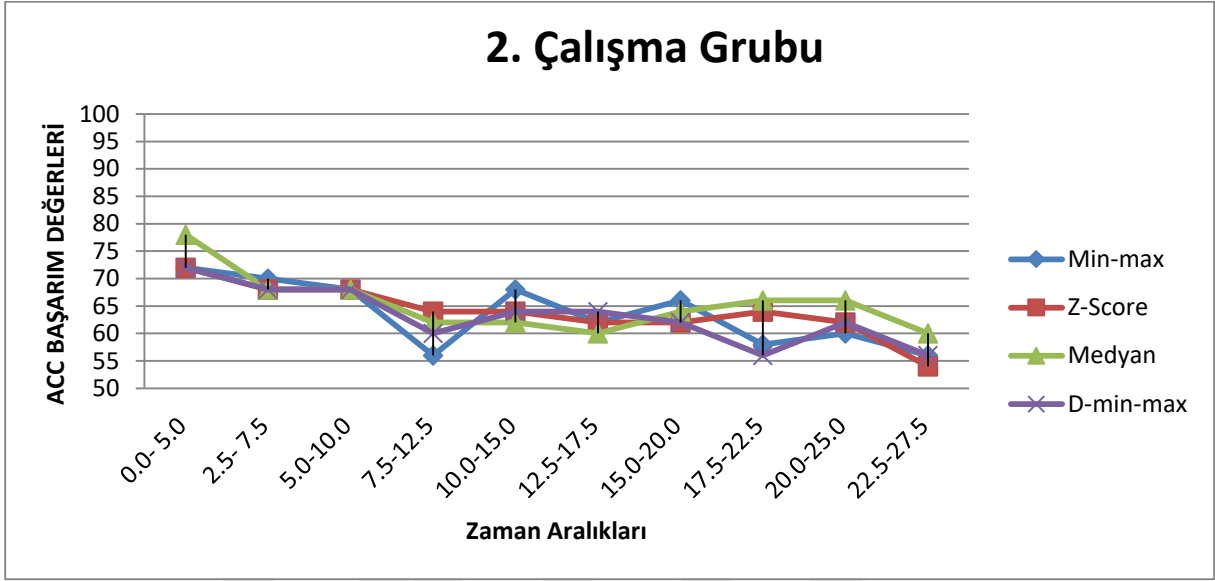
Şekil 6.7 Her bir segmentte normalizasyon yöntemlerinin 1. Çalışma Grubu için ACC başarımları.

GA'sız tüm özneliliklerin kullanıldığı Şekil 6.7'de başarımlar birbirine çok yakın olmakla beraber Medyan normalizasyon en iyi sonuç veren yöntemdir.



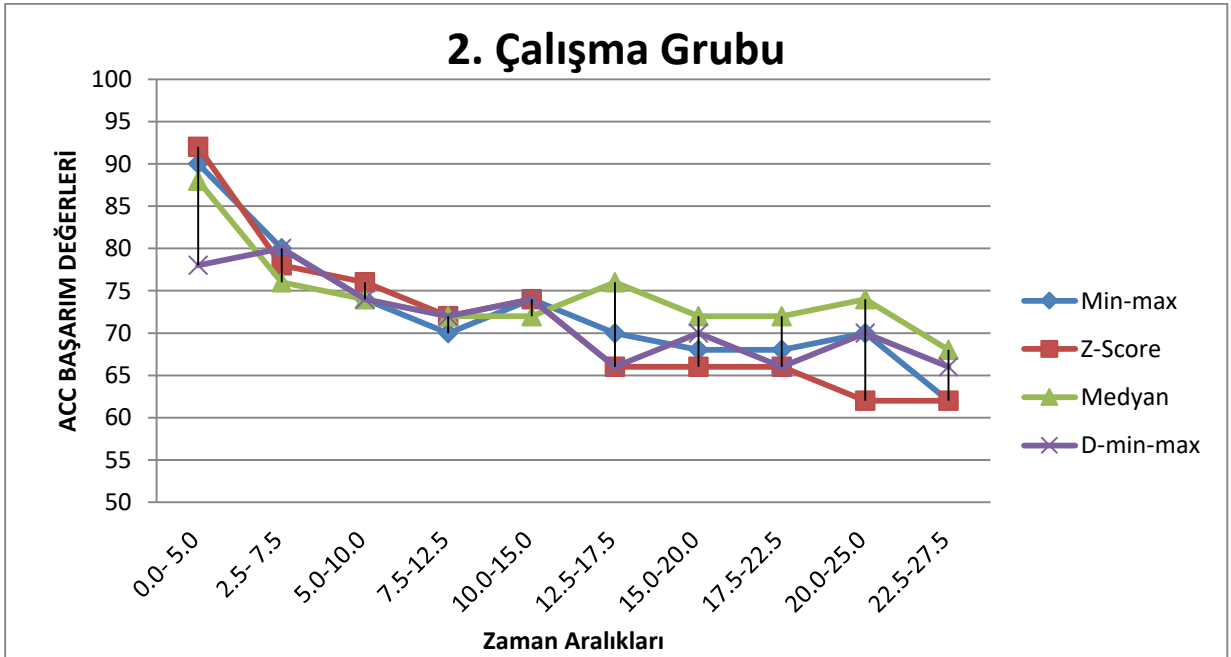
Şekil 6.8 Herbir segmentte normalizasyon yöntemlerinin 1. Çalışma grubu için GA'lı ACC başarımları.

GA'lı sonuçların yer aldığı Şekil 6.8'da GA'sız başarımlara göre başarımlarda artış olmuştur. Aynı şekilde Medyan normalizasyon en iyi sonuç veren yöntemdir.



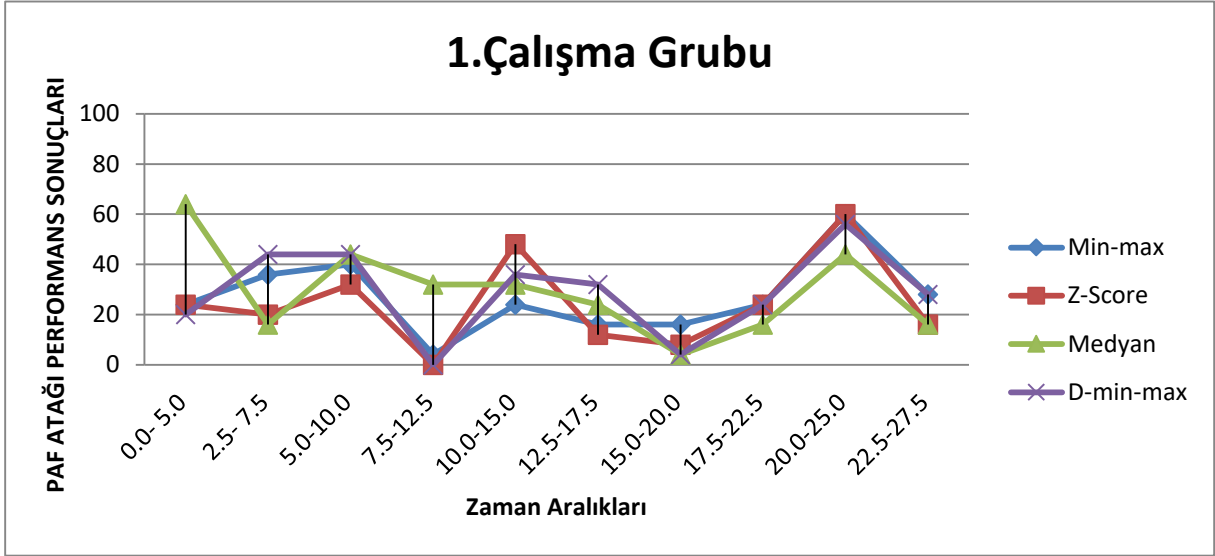
Şekil 6.9 Herbir segmentte normalizasyon yöntemlerinin 2. Çalışma grubu için ACC başarımları.

2. çalışma grubu için GA'sız sonuçların yer aldığı Şekil 6.9'da, genel başarımlar PAF atağına yaklaştıkça artmaktadır. Medyan normalizasyon en iyi sonuç veren yöntemdir.



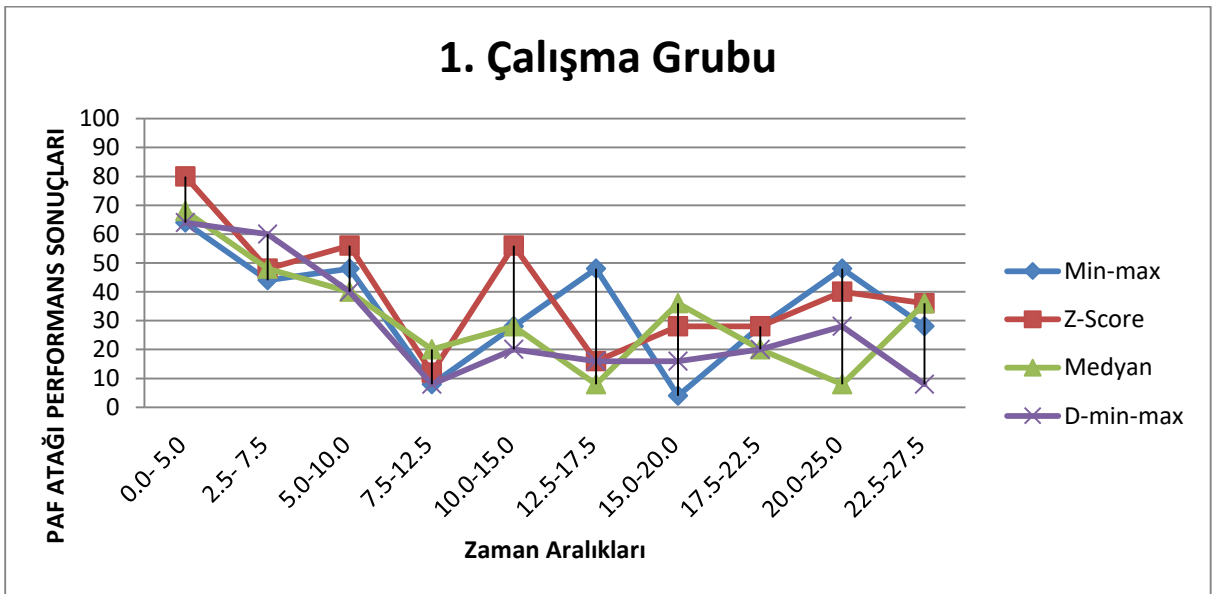
Şekil 6.10 Herbir segmentte normalizasyon yöntemlerinin 2. Çalışma grubu için GA'lı ACC başarımları.

2. çalışma grubu için GA'lı sonuçların yer aldığı Şekil 6.10'deki sonuçlara bakıldığında, genel başarımlar PAF atağına yaklaştıkça çok fazla artmaktadır. Z- skoru normalizasyon yöntemi %92 ACC değeri ile en iyi sonuç veren yöntemdir.



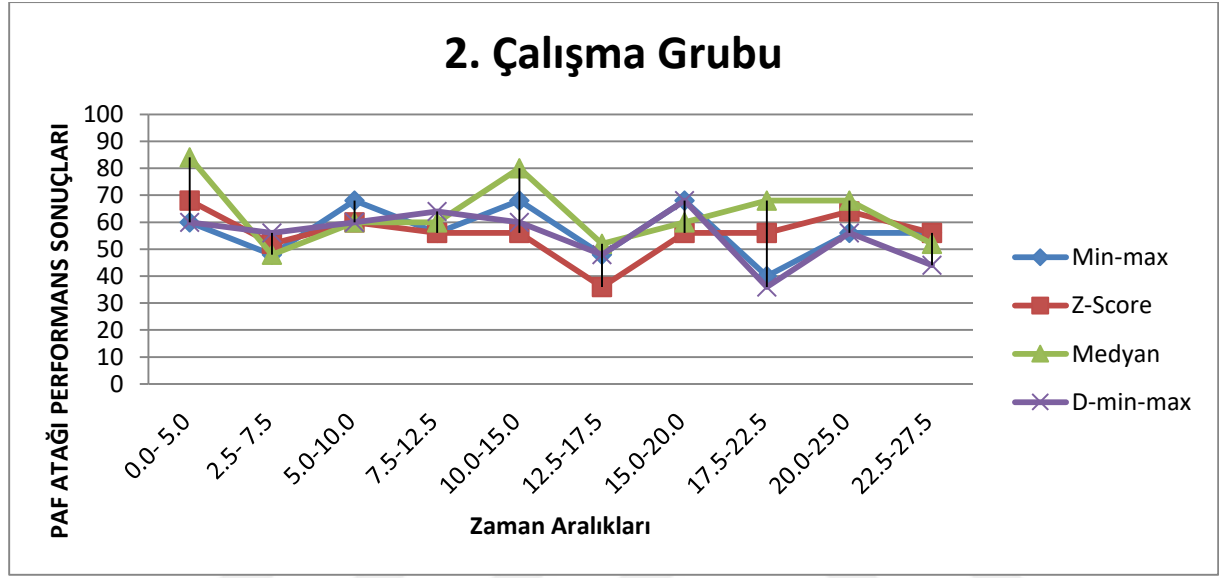
Şekil 6.11 Herbir segmentte normalizasyon yöntemlerinin 1. Çalışma grubu için SEN başarımları.

1. çalışma grubu için PAF atağı geçirecek verilerin önceden kestirim performansının yer aldığı Şekil 6.11'deki elde edilen sonuçlar analiz edildiğinde, aşırı derecede başarımların düşük ve değişken olduğu görülmektedir. En yüksek başarımlar %64 ile medyan normalizasyonunda elde edilmiştir.



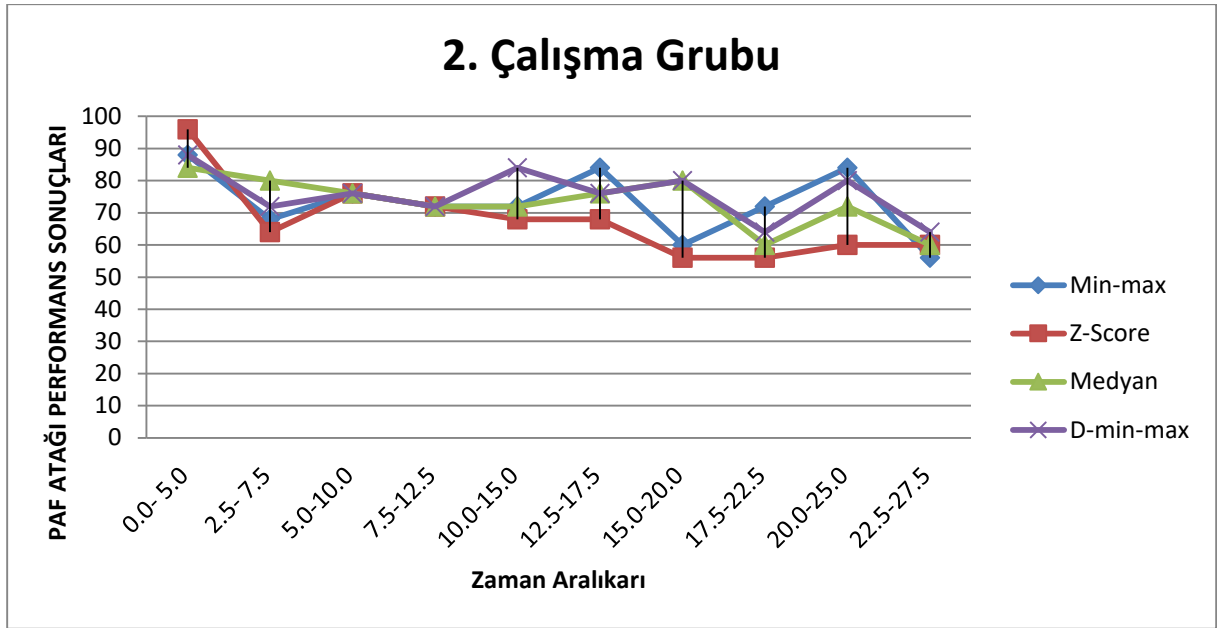
Şekil 6.12 Herbir segmentte normalizasyon yöntemlerinin 1. Çalışma grubu için GA'lı SEN başarımları.

1. çalışma grubuna GA ile öznelik seçimi eklenince elde edilen başarımlar Şekil 6.12’de verilmektedir. PAF atağından 7,5-12,5 dakika zaman öncesine gelinceye kadar tespit oranları çok değişken ve düşüktür. Fakat 5-10 dakika zaman aralığından itibaren başarımlar ile beraber başarımlardaki dalgalılık azalmıştır. Z-skoru normalizasyon yöntemiyle %80,8 performans değeri elde edilmiştir.



Şekil 6.13 Herbir segmentte normalizasyon yöntemlerinin 2. Çalışma grubu için SEN başarımları.

2. Çalışma grubu için verilen PAF atağı kestirim performansı Şekil 6.13’de verilmiştir. Burada, PAF atağına yaklaştıkça başarımda çok fazla bir artış gözükmemektedir. Fakat PAF atağına en yakın 0-5 dakika zaman aralığında %84 SEN değeri tespit edilmiştir. Diğer bir ifade ile 25 adet PAF atağı geçirecek veriden 21’i tespit edilip 4’ü tespit edilememiştir.



Şekil 6.14 Herbir segmentte normalizasyon yöntemlerinin 2. Çalışma grubu için GA'lı ACC başarımları.

Son olarak Şekil 6.14'de verilen, GA ile öznelik seçiminden tespit edilen öznelikler ile elde edilen 2. Çalışma grubu performans sonuçlarına bakıldığında, SEN başarımları değeri PAF atağına yaklaştıkça artmaktadır. Z-skoru normalizasyon yöntemiyle %96 oranında PAF atağı geçirecek veriler tespit edilmiştir.

BÖLÜM 7

TARTIŞMA

Bu tez çalışmasında, PAF atağı gerçekleşmeden ne kadar süre önce kestiriminin yapılabileceğinin araştırılması hedeflenmiştir. Bu amaçla, Physionet.org internet sitesinde yer alan herkesin erişimine açık olan 30 dakikalık AFPDB verileri kullanılmıştır. Tüm veriler beşer dakikalık 10 parçaya ayrılarak 2 farklı çalışma grubu oluşturulmuştur. İlk çalışma grubunda tüm kayıtlar dikkate alınarak PAF atağının önceden tespit edilmesi hedeflenmiştir. İkinci çalışma grubunda ise PAF teşhisi konulmuş hastalara kayıtlar arasından PAF atağının önceden tespit edilmesi hedeflenmiştir. Böylece tezin ikincil bir amacı olarak, PAF rahatsızlığının tam doğru olarak teşhisinin PAF atağı kestirimine önemli oranda katkıda bulunup bulunmadığı da araştırılmıştır.

KHD zaman alanı ölçümleri kullanılarak yapılan çalışmada PAF atağına yaklaştıkça sınıflandırma başarımları her iki çalışma grubu için de artmaktadır. Özellikle PAF atağına yakın 0-5 dakika ve 2,5-7,5 dakika aralığındaki kayıtlar için genel başarımlar ikinci çalışma grubu için diğer zaman aralıklarından fark edilebilir seviyede yüksektir. Aynı çalışma üzerine filtre yaklaşımından 0,05 istatistiksel anlamlılık düzeyinde (p değerinden küçük) özneliklerin seçilmesiyle gerçekleştirilen çalışmada, sadece seçili SDNN, RMSSD ve pNN50 öznelikleri kullanılarak ikinci çalışma grubu sınıflandırıcı başarımları 0-5 dakika zaman aralığında %80 düzeyine kadar yükselmiştir. PAF atağına yaklaştıkça EKG sinyali içindeki bilgilerin (örüntünün) değişikliğe uğraması ve bu nedenle sınıflandırıcı başarımlarının artması beklenen bir durumdur. İstatistiksel anlamlılık düzeyine göre öznelik seçiminin PAF atağı erken tespitine yönelik çalışmalarda kullanılabileceği görülmüştür.

KHD frekans alanı ölçümleriyle gerçekleştirilen bir diğer çalışmada ise birinci çalışma grubu için PAF atağına yaklaştıkça sınıflandırıcı genel başarımlarında ve SEN performans değerinde kayda değer bir artış görülmektedir. Aynı şekilde ikinci çalışma grubunda da atağına yaklaştıkça ilk üç segmentte başarımlar diğerlerinden farklı olarak %74'lere ulaşmaktadır. Aynı çalışmaya

filtre yöntemiyle öznitelik seçimi yaklaşımı uygulandığında ise birinci çalışma grubunda istatistiksel olarak 17,5 dakikaya kadar ve ikinci çalışma grubunda ise 10 dakikaya kadar öncesinde PAF atağı tespit edilebilmektedir. Frekans alanı ölçümlerinde zaman alanı ölçümlerine göre daha yüksek başarımlar elde edilmiştir. Öznitelik seçimi uygulanmış frekans alanı ölçümleri kullanılarak birinci çalışma grubunda %84,8'e ve ikinci çalışma grubunda %82'e ulaşan genel başarımlar elde edilmiştir. Bu sonuçlara göre sadece zaman alanı değil aynı zamanda frekans alanı ölçümlerinin kullanılmasının zorunlu olduğu görülmüştür.

KHD analizi tabanlı literatürdeki birçok çalışmada ektopik vuruların kaldırılması tavsiye edilmektedir. Bununla birlikte, PAF atağı tespit edilirken özellikle ektopik vuruların sayısında artış gözlemlendiğine dair literatürde birçok çalışma bulunmaktadır. Bu nedenle ektopik vurunun yokedilmediği çalışmada her iki grup için de istatistiksel anlamlı farka sahip öznitelikler mevcut iken, ektopik vuruların yokedilerek tekrarlandığı çalışmada her iki grup için de istatistiksel olarak anlamlı farka sahip hiçbir öznitelik kalmamıştır. Buna göre PAF atağının önceden kestirimi üzerine yapılacak çalışmalarda KHD verilerinden ektopik vuruların yok edilmemesi gerektiği ortaya konulmuştur.

Bu çalışmalara ilaveten, KHD analizi çalışmalarında doğrusal olmayan bileşenlerin analizinde sıklıkla kullanılan Poincare çizim ölçümlerinin PAF atağı tahminine yönelik etkisi de incelenmiştir. PAF atağına yaklaştıkça her iki çalışma grubunda da sadece Poincare ölçümlerinin kullanıldığı sınıflandırıcılar birinci çalışma grubu için %3,0 ve ikinci çalışma grubu için %8,0 oranında daha yüksek başarımlar elde etmiştir. Bununla birlikte bu başarımların yüksekliği sadece PAF atağına yakın olan ilk segmentlerdeki başarımlarda görülmekte ve PAF atağından 5 dakikadan daha uzak olan kestirimlerde tek başına Poincare ölçümlerinin yetersiz kaldığı tespit edilmiştir. Bu durumda daha erken bir PAF atağı uyarı sistemi geliştirilmesi için Poincare ölçümlerinin diğer KHD ölçümleri ile birlikte kullanılması gerektiği sonucuna ulaşılmıştır.

Daha sonra, KHD zaman ve frekans alanı ile elde edilen özniteliklerden hangilerinin en yüksek performans vereceği GA ile öznitelik seçimi yapılarak tespit edilmeye çalışılmıştır. Normal verilerin dahil edilmediği ikinci çalışma grubunda RMSSD ile FFT tabanlı frekans ölçümlerinden VLF, LF ve TOTAL öznitelik kombinasyonu ile hem 0-5 dakika diliminde (yani PAF atağından hemen önce) sınıflandırma başarımları %90'lara ulaşmıştır. Diğer yandan, normal verilerin dahil olduğu birinci çalışma grubunda ise MEAN, SDNN, RMSSD ve NN20 gibi

zaman alanı ölçümlerinin yanısıra FFT tabanlı frekans alanı ölçümlerinden VLF, LF ve HF öznitelik kombinasyonu ile 5-10 dakika diliminde (yani PAF atağından en az 5 dakika önce) sınıflandırıcı başarımı %83,83 olarak gerçekleşmiştir. Diğer çizelgeler (Çizelge 6.19-6.24) incelendiğinde, normal bireylerin de dahil edildiği çalışmalarda (birinci çalışma grubu), GA ile öznitelik seçimi yapıldıktan sonra sınıflandırıcı başarımları PAF atağına yakın olan veri segmentlerinde düşük ve PAF atağından uzak olan veri segmentlerinde ise yüksek çıkmaktadır. Tüm öznitelikler kullanılarak gerçekleştirilen çalışmada aynı şekilde PAF atağına yaklaştıkça özellikle en yakın 2 segmentte başarımlarda artış miktarı çok fazla olmaktadır. Hem PAF geçireceklerin başarımı %88 olurken PAF geçirmeyeceklerin başarımları %92 olmaktadır. Tüm öznitelikler içerisinde RMSSD, FFT_VLF, FFT_LF ve FFT_TOTAL, SD₁ ile elde edilen bu sonuçlara göre PAF atağında RMSSD, FFT tabanlı frekans ölçümleri ve Poincare çizimlerinin belirleyici olduğu görülmüştür.

Tek katlı geleneksel sınıflandırıcı yapıları ile PAF atağı tespitine yönelik erken uyarı sistemi geliştirilmesinin kısıtlı olduğu görülmektedir. Bu nedenle çok katlı sınıflandırıcı yapısı denenmiştir. Üç katlı sınıflandırıcı yapısında PAF atağı geçireceği aşikar olanlar ve PAF atağı geçirmeyeceği aşikar olanlar ilk iki sınıflandırıcı bloğu içerisinde nispeten basit sınıflandırıcı yapısına sahip Algılayıcı Ağ ile teşhis edilmiş ve geriye kalan örnekler daha karmaşık sınıflandırıcılara uygulanmıştır. Bu durumda son sınıflandırıcı olarak KNN kullanımı ile 10 dakika önce %90, LDA kullanımı ile 10 veya 15 dakika önce %90, SVM kullanımı ile 10 dakika önce %88, RBF kullanımı ile 10 dakika önce %98 ve MLP kullanımı ile 20 dakika önce %96 sınıflandırıcı genel başarımları elde edilmiştir. Bildiğimiz kadarıyla, bu değerler literatürde tespit edilen en yüksek değerlerdir.

Tıp dergilerinde yer alan tekrar edilebilirlik testi diye de adlandırılan istatistiksel yöntemle elde edilen veri setlerinin (Normal, PAF atağı geçirmeyecek PAF hastası, PAF atağı geçirecek PAF hastası) kendi içlerinde ayrıldıkları 10 segmentin birbirine ne kadar benzedikleri incelenmiştir. Sadece PAF atağı geçirecek hastaların PAF atağına yaklaştıkça elde edilen verilerine (SDNN, RMSSD, FFT_LF, FFT_LF/HF, LOMB_LF, ENT_LF) ait istatistiksel anlamlılık değerleri düşüktür ($p \leq 0,05$). Bu sebeple, bahsi geçen bu özniteliklerin PAF atağına yaklaştıkça farklılık gösterdikleri ve bu parametrelerin takibi ile PAF atağının tespit edilebileceği söylenebilir.

Son olarak elde edilen özniteliklerin farklı normalizasyon yöntemleriyle belli bir aralığa indirgenmesiyle PAF atağının erken kestirim başarımlarında farklıklar tespit edilmiştir. En iyi sonuçlar z-skoru normalizasyon ile bulunmuştur. PAF atağı erken kestirimde KHD öznitelikleri için z-normalizasyon yönteminin oldukça faydalı olacağı söylenebilir.

Sonuç olarak, PAF atağının erken kestirimi özniteliklerle, kullanılan verinin PAF atağına yakınlığıyla, öznitelik seçim algoritmaları ve öznitelik normalizasyon yöntemleriyle doğrudan ilişkilidir. Doğru yöntemlerin tespit edilip uygulanmasıyla yüksek başarımlara ulaşmak kaçınılmazdır. Özellikle 0-5 dakika öncesinde KNN sınıflandırıcısı ve z-normalizasyon yöntemiyle %92 başarımlara ulaşılmaktadır. Çizelge 7.1’de verilmiş literatürdeki benzer çalışmalardan daha yüksek sonuçlar elde edilmiştir.

Çalışmalarda elde edilen performanslar oldukça iyi olmakla beraber kullanılan veri sayısının artırılması sonuçların daha genel ifade edilmesinde yardımcı olacaktır. KHD doğrusal olmayan ölçümlerinin artırılması ve P-dalga ölçümlerinin de çalışmaya dahil edilmesiyle genel başarımların artacağı düşünülmektedir. Çok katlı sınıflandırıcılar hariç diğer tüm çalışmalarda KNN sınıflandırıcısı kullanılmıştır. Öğrenme yapısı daha kuvvetli olan yapay zeka tabanlı algoritmaların kullanılması çalışmanın hem daha yüksek başarımlara hem daha kararlı sonuçlara ulaşmasını sağlayacaktır.

Çizelge 7.1 Literatürde yapılmış çalışmalar ile karşılaştırma.

Literatür	Veri Tabanı	Veri Uzunluğu (dk)	Öznitelikler	Çapraz Geçerlilik	Öznitelik Seçimi	Sonuçlar		
						SEN	SPE	ACC
Chazal and Henegham [12]	AFPDB	10	RR aralığı ve Güç Spektral Yoğunluğu (GSY)	5- Fold	-	91,0	84,0	86,8
	AFPDB	10	RR aralığı ve Zaman Alanı Ölçümleri	5- Fold	-	90,0	59,0	77,6
	AFPDB	5	P- Dalgası ve GSY	5- Fold	-	81,0	69,0	75,6
Hickey and Henegham [116]	AFPDB	30	KHD GSY and Erken Atriyal Kompleksler	5-Fold	-	79,0	72,0	75,0
	AFPDB	5	KHD GSY and Erken Atriyal Kompleksler	5-Fold	-	51,0	79,0	68,0
Zong et al [10]	AFPDB	30	Erken Atriyal Komplekslerin Sayısı ve Zamanı	Single-Fold	-	-	-	80,0
Thong et al [43]	AFPDB	30	Erken Atriyal Kompleksler and Paroksizmal atriyal taşikardi	Single-Fold	-	68,0	86,0	78,0
Chesnokov [13]	AFPDB	30	KHD doğrusal ve doğrusal olmayan ölçümler	Single-Fold ANN Classifier	-	68,2	100	82,0
	AFPDB	30	KHD doğrusal ve doğrusal olmayan ölçümler	Single-Fold SVM_RBF kernel	-	83,7	76,5	80,5
	AFPDB	30	KHD doğrusal ve doğrusal olmayan ölçümler	Single-Fold SVM_Sigmoid kernel	-	79,1	58,8	70,1
Mohebbi and Ghassemian [14]	AFPDB	30	KHD doğrusal ve doğrusal olmayan ölçümler	Single-Fold	-	96,3	93,1	94,6
Boon et al [15]	AFPDB	30	KHD doğrusal ve doğrusal olmayan ölçümler	Single-Fold SVM_RBF kernel	İstatistiksel Test	96,4	71,4	83,9
	AFPDB	30	KHD doğrusal ve doğrusal olmayan ölçümler	10-Fold SVM_RBF kernel	İstatistiksel Test	81,1	79,3	80,2
	AFPDB	10	KHD doğrusal ve doğrusal olmayan ölçümler	Single-Fold SVM_RBF kernel	İstatistiksel Test	75,1	54,3	69,6
	AFPDB	10	KHD doğrusal ve doğrusal olmayan ölçümler	10-fold SVM_RBF kernel	İstatistiksel Test	58,5	81,1	68,9
	AFPDB	15	KHD doğrusal ve doğrusal olmayan ölçümler	Single-fold SVM_RBF kernel	İstatistiksel Test	85,1	82,1	83,9
	AFPDB	15	KHD doğrusal ve doğrusal olmayan ölçümler	10-fold SVM_RBF kernel	İstatistiksel Test	77,4	81,1	79,3
Martinez et al [19]	Kendi Verileri	60	P-dalgası doğrusal olmayan ölçümleri	2-fold	-	92,0	88,0	90
Alcaraz et al[20]	Kendi Verileri	60	P-Dalgası GSY	2-fold	-	-	-	88,0
TEZ	AFPDB	5	KHD doğrusal ölçüm kombinasyonları	10-fold (KNN)	GA	92,0	88,0	90,0
TEZ	AFPDB	5	KHD doğrusal ve doğrusal olmayan ölçüm kombinasyonları ve farklı normalizasyon teknikleri	10-fold (KNN)	GA	96,0	88,0	92,0
TEZ	AFPDB	5	KHD doğrusal ve doğrusal olmayan ölçüm kombinasyonları	Hold-out (3 katlı sınıflandırıcı sistemi)	-	96,0	100	98,0



KAYNAKÇA

- [1] **Waktare J E P** (2002) Cardiology Patient Page. *Circulation*, 106: 14-16.
- [2] **Nattel S** (2002) New Ideas about Atrial Fibrillation 50 Years on. *Nature*, 415: 219-226.
- [3] **January C T, Wann L S, Alpert J S, Calkins H, Cleveland J C, Cigarroa J E, Conti J B, Ellinor P T, Ezekowitz M D, Field M E, Murray K T, Sacco R L, Stevenson W G, Tchou P J, Tracy C M and Yancy C W** (2014) 2014 AHA/ACC/HRS guideline for the management of patients with atrial fibrillation: executive summary: a report of the American College of Cardiology/American Heart Association Task Force on Practice Guidelines and the Heart Rhythm Society. *Journal of the American College of Cardiology*, 64: 1-76.
- [4] **Camm A J, Kirchhof P, Lip G Y, Schotten U, Savelieva I, Ernst S, Van Gelder I C, Al-Attar N, Hindricks G, Prendergast B, Heidbuchel H, Alfieri O, Angelini A, Atar D, Colonna P, De Caterina R, De Sutter J, Goette A, Gorenek B, Heldal M, Hohloser S H, Kolh P, Le Heuzey J Y, Ponikowski P, Rutten F H** (2010) Guidelines for the management of atrial fibrillation the task force for the management of atrial fibrillation of the European Society of Cardiology (ESC). *European Heart Journal*, 31: 2369-2429.
- [5] **Uyarel H, Onat A, Yüksel H, Can G, Ordu S and Dursunoğlu D** (2008) Incidence, Prevalence, and Mortality Estimates for Chronic Atrial Fibrillation in Turkish Adults. *Archives of Turkish Society of Cardiology*, 36 (4): 214-222.
- [6] **Rienstra M, Lubitz S A, Mahida S, Magnani J W, Fontes J D, Sinner M F, Van Gelder I C, Ellinor P T, Benjamin E J** (2012) Symptoms and Functional Status of Patients with Atrial Fibrillation. *Circulation*, 125 (23): 2933-2943.
- [7] **Aronow W S** (2002) Management of The Older Person with Atrial Fibrillation. *The Journals of Gerontology Series A: Biological Sciences and Medical Sciences*, 57 (6): 352-363.
- [8] **Türkmen Y, Koçuş C, Uzunhasan I, Türkoğlu C, Yıldız M** (2014) Bradikardiye Sekonder Paroksizmal Atriyum Fibrilasyonu Ataklarını Nasıl Önleriz? *Koşuyolu Heart Journal*, 17 (1): 42-45.
- [9] **Prakash A, Saksena S, Hill P M, Krol R B, Munsif A N, Giorgberidze I Mathew P and Mehra R** (1997) Acute Effects of Dual-Site Right Atrial Pacing in Patients with Spontaneous and Inducible Atrial Flutter and Fibrillation. *Journal of the American College of Cardiology*, 29 (5): 1007-1014.

KAYNAKÇA (devam ediyor)

- [10] **Zong W, Mukkamala R and Mark R G** (2001) A Methodology for Predicting Paroxysmal Atrial Fibrillation Based on Ecg Arrhythmia Feature Analysis. *Computers in Cardiology*, 28: 125-128.
- [11] **Langley P, Di Bernardo D, Allen J, Bowers E, Smith F E, Vecchietti S and Murray A** (2001) Can Paroxysmal Atrial Fibrillation Be Predicted? *Computers in Cardiology*, 28: 121-124.
- [12] **Chazal P and Heneghan C** (2001) Automated Assessment of Atrial Fibrillation. *Computers in Cardiology*, 28: 117-120.
- [13] **Chesnokov Y V** (2002) Complexity and Spectral Analysis of The Heart Rate Variability Dynamics for Distant Prediction of Paroxysmal Atrial Fibrillation with Artificial Intelligence Methods. *Artificial Intelligence in Medicine*, 43 (2): 151-165.
- [14] **Mohebbi M and Ghassemian H** (2012) Prediction of Paroxysmal Atrial Fibrillation Based on Non-Linear Analysis and Spectrum and Bispectrum Features of The Heart Rate Variability Signal. *Computer Methods and Programs in Biomedicine*, 105 (1): 40-49.
- [15] **Boon K H, Khalil-Hani M, Malarvili M B and Sia C W** (2016) Paroxysmal Atrial Fibrillation Prediction Method with Shorter HRV Sequences. *Computer Methods and Programs in Biomedicine*, 134: 187-196.
- [16] **Boon K H, Khalil-Hani M and Malarvili M B** (2018) Paroxysmal Atrial Fibrillation Prediction Based on HRV Analysis and Non-Dominated Sorting Genetic Algorithm III. *Computer Methods and Programs in Biomedicine*, 153: 171-184.
- [17] **Yi X and Yizhang Z** (2017) Paroxysmal Atrial Fibrillation Recognition Based on Multi-Scale Wavelet A-Entropy. *Biomedical Engineering Online*, 16 (1): 121-132.
- [18] **Pourbabae B and Caro L** (2010) Paroxysmal Atrial Fibrillation Diagnosis Based on Feature Extraction and Classification. *IEEE Symposium on Computational Intelligence in Bioinformatics and Computational Biology (CIBCB)*, 2-5 May 2010, Montreal, QC, Canada, 1-8.
- [19] **Martínez A, Abásolo D, Alcaraz R and Rieta J J** (2015) Alteration of The P-Wave Non-Linear Dynamics Near The Onset of Paroxysmal Atrial Fibrillation. *Medical Engineering and Physics*, 37 (7): 692-697.
- [20] **Alcaraz R, Arturo M and José J R** (2015) Role of The P-Wave High Frequency Energy and Duration as Noninvasive Cardiovascular Predictors of Paroxysmal Atrial Fibrillation. *Computer Methods and Programs in Biomedicine*, 119 (2): 110-119.
- [21] **Ros E, Mota S, Fernández F J, Toro F J and Bernier J L** (2004) ECG Characterization of Paroxysmal Atrial Fibrillation: Parameter Extraction and Automatic Diagnosis Algorithm. *Computers in Biology and Medicine*, 34 (8): 679-696.

KAYNAKÇA (devam ediyor)

- [22] **Dimitrios F, Ioanna C, Dimitris T, Vassilios V and Nicos M** (2017) Beat-to-Beat P-Wave Morphology as A Predictor of Paroxysmal Atrial Fibrillation. *Computer Methods and Programs in Biomedicine*, 151: 111-121.
- [23] **Webster J G** (Ed.) (1995) *Design of Cardiac Pacemakers*, ISBN: 978-0780311343, IEEE Press, New York, 479 pp.
- [24] **Iaizzo P A** (Ed.) (2009) *Handbook of Cardiac Anatomy, Physiology, and Devices*. ISBN: 978-3319194646, Springer Science & Business Media, Switzerland, 700 pp.
- [25] **Webster J G** (2009) *Medical Instrumentation: Application and Design*. 3th edition, ISBN: 978-8126511068, John Wiley & Sons, New York, 712 pp.
- [26] **Robbins J and Dorn G W** (2000) Listening for Hoof Beats in Heart Beats. *Nature Medicine*, 6 (9): 968-971.
- [27] **Nerbonne J M and Kass R S** (2005) Molecular Physiology of Cardiac Repolarization. *Physiological Reviews*, 85 (4): 1205-1253.
- [28] **Xu J, Kochanek K D, Murphy S L and Tejada-Vera B** (2016) Deaths: final data for 2014. *National Vital Statistics Reports*, 65 (4): 1-122.
- [29] **Lip G Y H, Heinzl F R, Gaita F, Juanatey J R G, Le Heuzey J Y, Potpara T, Svendsen J H, Vos M A, Anker S D, Coats A J, Haverkamp W, Manolis A S, Chung M K, Sanders P and Pieske B** (2015) European Heart Rhythm Association/Heart Failure Association Joint Consensus Document on Arrhythmias in Heart Failure, Endorsed by The Heart Rhythm Society and The Asia Pacific Heart Rhythm Society. *European Journal of Heart Failure*, 17: 848-874.
- [30] **Tsipouras M G, Fotiadis D I and Sideris D** (2005) An Arrhythmia Classification System Based on The RR-Interval Signal. *Artificial Intelligence in Medicine*, 33 (3): 237-250.
- [31] **Webster J G** (2010) *Medical Instrumentation: Application and Design*. 4th edition, ISBN: 978-0471676003, John Wiley & Sons, New York, 736 pp.
- [32] **URL-1** <http://www.medicinenet.com/Atrial_Fibrillation/page2.htm>, Ziyaret tarihi: 25.10.2017.
- [33] **URL-2** <http://www.wansford.co.uk/health/atrial_fibrillation.htm>, Ziyaret tarihi: 25.10.2017.
- [34] **Moody G B, Goldberger A L, McClennen S and Swiryn S** (2001) Predicting The Onset of Paroxysmal Atrial Fibrillation: The Computers in Cardiology Challenge 2001. *Computers in Cardiology*, 28: 113-116.

KAYNAKÇA (devam ediyor)

- [35] **Schrier G, Kastner P and Marko W** (2001) An Automatic Ecg Processing Algorithm to Identify Patients Prone to Paroxysmal Atrial Fibrillation. *Computers in Cardiology*, 28: 133-135.
- [36] **Maier C, Bauch M and Dickhaus H** (2001) Screening and prediction of atrial fibrillation by analysis of heart rate variability parameters. *Computers in Cardiology*, 28: 129-132.
- [37] **Lynn K S and Chiang H D** (2001) A Two-Stage Solution Algorithm for Paroxysmal Atrial Fibrillation Prediction. *Computers in Cardiology*, 28: 405-407.
- [38] **Martin E (Ed.)** (2003) *Oxford Concise Medical Dictionary*. 9th edition, ISBN: 978-0199557141, Oxford University Press, Oxford, 1243 pp.
- [39] **Poli S, Barbaro V, Bartolini P, Calcagnini G and Censi F** (2003) Prediction of Atrial Fibrillation From Surface Ecg: Review of Methods and Algorithms. *Annali dell'Istituto superiore di sanità*, 32 (2): 195-203.
- [40] **Goldberger A L, Amaral L A N, Glass L, Hausdorff J M, Ivanov P C, Mark R G, Mietus J E, Moody G B, Peng C K and Stanley H E** (2000) Physiobank, Physiokit, and Physionet: Components of A New Research Resource for Complex Physiologic Signals. *Circulation*, 101 (23): 215-220.
- [41] **Krstacic G, Gamberger D, Smuc T and Krstacic A** (2001) Some Important R-R Interval Based Paroxysmal Atrial Fibrillation Predictors. *Computers in Cardiology*, 28: 409-412.
- [42] **Yang A C C and Yin H W** (2001) Prediction of Paroxysmal Atrial Fibrillation by Footprint Analysis. *Computers in Cardiology*, 28: 401-404.
- [43] **Thong T, McNamers J, Aboy M and Goldstein B** (2003) Paroxysmal Atrial Fibrillation Prediction Using Isolated Premature Atrial Events and Paroxysmal Atrial Tachycardia. *Proceedings of the 25th Annual International Conference of the IEEE*, 17-21 September 2003, Cancun, Mexico, 163-166.
- [44] **Pourbabae B and Lucas C** (2008) Automatic Detection and Prediction of Paroxysmal Atrial Fibrillation Based on Analyzing Ecg Signal Feature Classification Methods. *Cairo International Biomedical Engineering Conference (CIBEC)*, 18-20 December 2008, Cairo, Egypt, 1-4.
- [45] **Costin H, Rotariu C and Păsărică A** (2013) Atrial Fibrillation onset Prediction Using Variability of ECG Signals. *International Symposium on Advanced Topics in Electrical Engineering (ATEE)*, 23-25 May 2013, Bucharest, Romania, 1-4.
- [46] **Vaseghi M and Shivkumar K** (2008) The Role of The Autonomic Nervous System in Sudden Cardiac Death. *Progress in Cardiovascular Diseases*, 50 (6): 404-413.

KAYNAKÇA (devam ediyor)

- [47] **Acharya U R, Joseph K P, Kannathal N, Lim C M and Suri J S** (2006) Heart Rate Variability: A Review. *Medical and Biological Engineering and Computing*, 44 (12): 1031-1051.
- [48] **Cao H** (2004) Linear And Nonlinear Approaches to Heart Rate Analysis Near The Time of Birth. *Ph.D. Thesis*, University of Virginia, Department of Biomedical Engineering, Virginia, 321 pp.
- [49] **İşler Y** (2009) A Detailed Analysis of the Effects of Various Combinations of Heart Rate Variability Indices in Congestive Heart Failure. *Doktora tezi*, Dokuz Eylül Üniversitesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı, İzmir, 153 s.
- [50] **Hon E H and Lee S T** (1965) Electronic Evaluations of The Fetal Heart Rate Patterns Preceding Fetal Death: Further Observations. *American Journal of Obstetrics and Gynecology*, 15 (87) 814-826.
- [51] **Sayers B M** (1973) Analysis of heart rate variability. *Ergonomics*, 16: 17-32.
- [52] **Hirsh J A and Bishop B** (1981) Respiratory Sinus Arrhythmia in Humans: How Breathing Pattern Modulates Heart Rate. *American Journal of Physiology*, 241: 620-629.
- [53] **Luczak H and Lauring W J** (1973) An Analysis of Heart Rate Variability. *Ergonomics*, 16: 85-97.
- [54] **Penaz J, Roukenz J and Van der Waal H J** (1968) Spectral Analysis of Some Spontaneous Rhythms in the Circulation. *Biokybernetik*, 1: 233-241.
- [55] **Ewing D J, Martin C N, Young R J and Clarke B F** (1985) The Value of Cardiovascular Autonomic Function Tests: 10 Years' Experience in Diabetes. *Diabetes Care*, 8: 491-498.
- [56] **Wolf M M, Varigos G A, Hunt D and Sloman J G** (1978) Sinus Arrhythmia in Acute Myocardial Infarction. *Medical Journal of Australia*, 2: 52-53.
- [57] **Bigger J T, Fleiss J L, Steinman R C Rolnitzky L M, Kleiger R E and Rottman J N** (1992) Correlations Among Time and Frequency Domain Measures of Heart Period Variability Two Weeks After Acute Myocardial Infarction. *The American Journal of Cardiology*, 69: 891-898.
- [58] **Huikuri H V, Makikallio T H, Raatikainen P, Perkiomaki J, Castellanos A and Myerburg R J** (2003) Prediction of Sudden Sudden Cardiac Death: Appraisal of The Studies and Methods Assessing The Risk of Sudden Arrhythmic Death. *Circulation*, 108 (1): 110-115.
- [59] **Kleiger R E, Miller J P, Bigger J T and Moss A J** (1987) Decreased Heart Rate Variability and Its Association with Increased Mortality after Acute Myocardial Infarction. *The American Journal of Cardiology*, 59 (4): 256-262.

KAYNAKÇA (devam ediyor)

- [60] **Lombardi F, Makikallio T H, Myerburg R J and Huikur H** (2001) Sudden Cardiac Death: Role of Heart Rate Variability to Identify Patients At Risk. *Cardiovascular Research*, 50: 210-217.
- [61] **Malik M, Cripps T, Farrell T and Camm A J** (1989) Prognostic Value of Heart Rate Variability after Myocardial Infarction. A Comparison of Different Data-Processing Methods. *Medical and Biological Engineering and Computing*, 27: 603-611.
- [62] **Camm A J, Malik M, Bigger J T, Brethardt G, Cerutti S, Cohen R J, Coumel P, Fallen E L, Kennedy H L, Kleiger R E, Lombardi F, Malliani A, Moss A J, Rottman J N, Schmidt G, Schwartz P J and Singer D** (1996) Heart rate variability. Standards of measurements, Physiological Interpretation, and Clinical Use. *Circulation*, 93: 1043-1065.
- [63] **Isler Y and Kuntalp M** (2007) Combining Classical HRV Indices with Wavelet Entropy Measures Improves to Performance in Diagnosing Congestive Heart Failure. *Computers in Biology and Medicine*, 37 (10): 1502-1510.
- [64] **Narin A, Isler Y and Ozer M** (2014) Investigating The Performance Improvement of HRV Indices in CHF Using Feature Selection Methods Based on Backward Elimination and Statistical Significance, *Computers in Biology and Medicine*, 45: 72-79.
- [65] **Seyd A, Paul K J and Jeevamma J** (2012) Automated Diagnosis of Diabetes Using Heart Rate Variability Signals. *Journal of Medical Systems*, 36 (3): 1935-1941.
- [66] **Hilton M F, Bates R A, Godfrey K R, Chappell M J and Cayton R M** (1999) Evaluation of Frequency and Time-Frequency Spectral Analysis of Heart Rate Variability as a Diagnostic Marker of The Sleep Apnoea Syndrome. *Medical and Biological Engineering and Computing* 37 (6): 760-769.
- [67] **Asl B M, Seyed K S and Mohebbi M** (2008) Support Vector Machine-Based Arrhythmia Classification Using Reduced Features of Heart Rate Variability Signal. *Artificial Intelligence in Medicine*, 44 (1): 51-64.
- [68] **Isler Y** (2016) Discrimination of Systolic and Diastolic Dysfunctions Using Multi-Layer Perceptron in Heart Rate Variability Analysis. *Computers in Biology and Medicine*, 76: 113-119.
- [69] **Tarvainen, M P, Niskanen J P, Lipponen J A, Ranta-Aho P O and Karjalainen P A** (2014) Kubios HRV-Heart Rate Variability Analysis Software. *Computer Methods and Programs in Biomedicine*, 113 (1): 210-220.
- [70] **Clifford G D and Tarassenko L** (2005) Quantifying Errors in Spectral Estimates of HRV Due to Beat Replacement and Resampling. *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, 52 (4): 630-638.

KAYNAKÇA (devam ediyor)

- [71] **Nabil D and Reguig F B** (2015) Ectopic Beats Detection and Correction Methods: A Review. *Biomedical Signal Processing and Control*, 18: 228-244.
- [72] **Karaboğa H** (2015) *Sayısal Yöntemler ve Matlab Uygulamaları*, 2. Baskı, ISBN: 978-6051332185, Nobel Akademik Yayıncılık, Ankara, 394 s.
- [73] **Berntson G G, Bigger T, Eckberg D L, Grossman P, Kaufmann P G, Malik M, Nagaraja H N, Porges S W, Saul J P, Stone P H and van der Molen M W** (1997) Heart Rate Variability: Origins, Methods, and Interpretive Caveats. *Psychophysiology*, 34: 623-648.
- [74] **Li L, Li K, Liu C C and Liu C Y** (2011) Comparison of Detrending Methods in Spectral Analysis of Heart Rate Variability. *Research Journal of Applied Sciences, Engineering and Technology*, 3 (9): 1014-1021.
- [75] **Tarvainen M P, Ranta-aho P O and Karjalainen P A** (2002) An Advanced Detrending Method with Application to HRV Analysis. *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, 49 (2): 172-175.
- [76] **Karjalainen P** (1991) Regularization and Bayesian methods for evoked potential estimation. *PhD Thesis*, University of Kuopio, Department of Applied Physics, Kuopio, 139 pp.
- [77] **Gersch W** (1993) Smoothness Priors. New Directions in Time Series Analysis. *The IMA Volumes in Mathematics and its Applications*, 46: 113-146.
- [78] **Kleiger R E, Phyllis K S and Bigger J T** (2005) Heart Rate Variability: Measurement and Clinical Utility. *Annals of Noninvasive Electrocardiology*, 10 (1): 88-101.
- [79] **Akselrod S, Gordon D, Ubel F A, Shannon D C, Barger A C and Cohen R J** (1981) Power Spectrum Analysis of Heart Rate Fluctuation: A Quantitative Probe of Beat-to-Beat Cardiovascular Control. *Science*, 213: 220-222.
- [80] **Barrett C J, Navakatikyan M A and Malpas S C** (2001) Long-Term Control of Renal Blood Flow: What is The Role of The Renal Nerves? *American journal of physiology. Regulatory, Integrative and comparative physiology American Physiological Society*, 280: 1534-1545.
- [81] **Braga A N, da Silva Lemos M, da Silva J R, Fontes W R and dos Santos R A** (2002) Effects of Angiotensins on Day-Night Fluctuations and Stress-Induced Changes in Blood Pressure. *American journal of physiology. Regulatory, integrative and comparative physiology American Physiological Society*, 282: 1663-1671.
- [82] **Goldstein B, Fiser D H, Kelly M M, Mickelsen D, Ruttimann U and Pollack M M** (1998) Decomplexification in Critical Illness and Injury: Relationship Between Heart Rate Variability, Severity of Illness, and Outcome. *Critical Care Medicine*, 26: 352-357.

KAYNAKÇA (devam ediyor)

- [83] **Barbieri R, Triedman J K and Saul J P** (2002) Heart Rate Control and Mechanical Cardiopulmonary Coupling to Assess Central Volume: A Systems Analysis. *American Journal of Physiology - Regulatory, Integrative and Comparative Physiology*, 283: 1210-1220.
- [84] **Cooley J W and Tukey J W** (1965) An Algorithm for The Machine Computation of Complex Fourier Series. *Mathematical Computations*, 19: 297-301.
- [85] **Lomb N R** (1976) Least-Squares Frequency Analysis of Unequally Spaced Data. *Astrophysical and Space Science*, 39: 447-462.
- [86] **Scargle J D** (1982) Studies in Astronomical Time Series Analysis. II. Statistical Aspects of Spectral Analysis of Unevenly Spaced Data. *Astrophysical Journal*, 263: 835-853.
- [87] **Holland A and Mateo A** (2009) A Novel Recursive Fourier Transform for Nonuniform Sampled Signals: Application to Heart Rate Variability Spectrum Estimation. *Medical and Biological Engineering and Computing*, 47 (7): 697-707.
- [88] **Burri C, P, Arz M, Rubel P, Kirkoria G and Toubou P** (2006) Wavelet Transform for Analysis of Heart Rate Variability Preceding Ventricular Arrhythmias in Patients with Ischemic Heart Disease. *International Journal of Cardiology*, 109 (1): 101-107.
- [89] **Budu K** (2013) Comparison of Wavelet-Based ANN and Regression Models for Reservoir in flow Forecasting. *Journal of Hydrologic Engineering*, 19 (7): 1385-1400.
- [90] **Gray R** (1990) *Entropy and Information Theory*, 1th edition, ISBN 978-1475739824, Springer, New York, 332 pp,
- [91] **Rosso O A, Blanco S, Yordanova J, Kolev V, Figliola A, Schürmann M and Başar E** (2001) Wavelet Entropy: A New Tool for Analysis of Short Duration Brain Electrical Signals. *Journal of Neuroscience Methods*, 105 (1): 65-75.
- [92] **Alcaraz R and Rieta J J** (2012) Application of Wavelet Entropy to Predict Atrial Fibrillation Progression from The Surface ECG. *Computational and Mathematical Methods in Medicine*, 20: 1-9.
- [93] **Orphanidou C and Drobnjak I** (2016) Quality Assessment of Ambulatory ECG Using Wavelet Entropy of the HRV signal. *IEEE Journal of Biomedical and Health Informatics*, 21 (5): 1216-1223.
- [94] **Kamen P W, Krum H and Tonkin A M** (1996) Poincare Plot of Heart Rate Variability Allows Quantitative Display of Parasympathetic Nervous Activity. *Clinical Science*, 92: 201-208.
- [95] **Kamen P W and Tonkin A M** (1995) Application of The Poincare Plot to Heart Rate Variability: A New Measure of Functional Status in Heart Failure. *Australian and New Zealand Journal of Medicine*, 25 (1): 18-26.

KAYNAKÇA (devam ediyor)

- [96] **Brennan M, Palaniswami M and Kamen P** (2001) Do existing measures of Poincare plot geometry reflect nonlinear features of heart rate variability? *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, 48 (11): 1342-1347.
- [97] **Duda R O, Hart P E and Stork D G** (2001) *Pattern Classification*. 2th edition, ISBN: 978-0471056690, John Wiley and Sons, New York, 680 pp.
- [98] **Erkuş A** (2005) *Bilimsel Araştırma Sarmalı*, 1. baskı, ISBN: 978-9750200908, Seçkin Yayıncılık, Ankara, 199 s.
- [99] **Öztürk U** (2012) Konjestif Kalp Yetmezliği Hastalarının Teşhisinde Veri Azaltma Yöntemleri Kullanılarak En Yakın Komşu Sınıflandırıcı Çalışma Süresinin Kısaltılması. *Yüksek Lisans Tezi*, Bülent Ecevit Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı, Zonguldak, 65 s.
- [100] **Koza R J** (1992) *Genetic Programming, on The Programming of Computers by Means of Natural Selection*. ISBN: 978-0262111706, MIT Press, Cambridge, 836 pp.
- [101] **Welikala R A, Fraz M M, Dehmeshki J, Hoppe A, Tah V, Mann S, Williamson T H and Barman S A** (2015) Genetic Algorithm Based Feature Selection Combined with Dual Classification for The Automated Detection of Proliferative Diabetic Retinopathy. *Computerized Medical Imaging and Graphics*, 43: 64-77.
- [102] **Vapnik V** (1998) *Statistical Learning Theory*. ISBN: 978-0471030034, John Wiley and Sons, New York, 768 pp.
- [103] **Byun H and Lee S W** (2003) A Survey of Pattern Recognition Applications of Support Vector Machines. *International Journal of Pattern Recognition and Artificial Intelligence*, 17 (3): 459-486.
- [104] **Fukunaga K** (1990) *Introduction to Statistical Pattern Recognition*, 2nd Edition, ISBN: 9780122698514, Academic Press, Amsterdam, 592 pp.
- [105] **Parveen P and Thuraisingham B** (2006) Face Recognition Using Multiple Classifiers. *18th IEEE International Conference on Tools with Artificial Intelligence*, 13-15 November 2006, Arlington, USA, 179-186.
- [106] **Isler Y, Narin A and Ozer M** (2015) Comparison of The Effects of Cross-Validation Methods on Determining Performances of Classifiers Used in Diagnosing Congestive Heart Failure. *Measurement Science Review*, 15 (4): 196-201.
- [107] **URL-3** <<http://www.physionet.org/physiobank/database/afpdb>>, Ziyaret tarihi: 09.01.2016.
- [108] **Park J, Sangwook L and Moongu J** (2009) Atrial Fibrillation Detection by Heart Rate Variability in Poincare Plot. *BioMedical Engineering OnLine*, 38: 1-12.

KAYNAKÇA (devam ediyor)

- [109] **Narin A, İşler Y ve Özer M** (2016) Kalp Hızı Değişkenliği Frekans Alanı Ölçümleri ile Paroksizmal Atriyal Fibrilasyon Atağının Önceden Kestirimi. *Tıp Teknolojileri Ulusal Kongresi (TIPTEKNO 2016)*, 27-29 Ekim 2016, Antalya, Türkiye, 1-4.
- [110] **Narin A, İşler Y ve Özer M** (2016) Paroksizmal Atriyal Fibrilasyon Atağının Önceden Kestirimine Ektopik Vuruların Etkisi. *Biyomedikal Mühendisliği Ulusal Toplantısı (BİYOMUT2016)*, 3- 5 Kasım 2016, İzmir, Türkiye, 1-4.
- [111] **Narin A, İşler Y ve Özer M** (2017) Kalp Hızı Değişkenliği Doğrusal ve Doğrusal Olmayan Ölçümlerinin PAF Atağı Tespitine Etkisi. *IEEE 25. Sinyal İşleme ve İletişim Uygulamaları Kurultayı (SIU 2017)*, 15-18 Mayıs 2017, Antalya, Türkiye, 1-4.
- [112] **Narin A, İşler Y ve Özer M** (2017) Paroksizmal Atriyal Fibrilasyon Atağının Dalgacık Dönüşüm Yöntemleriyle Erken Tahmini. *Akıllı Sistemlerde Yenilikler ve Uygulamaları Konferansı (ASYU-2017)*, 5-7 Ekim 2017, Antalya, Türkiye, 85-88.
- [113] **Narin A** (2013) Çoklu Sınıflandırıcı Sistemleri ile Konjestif Kalp Yetmezliği Teşhisi, *Yüksek Lisans Tezi*, Bülent Ecevit Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı, Zonguldak, 81 s.
- [114] **Acir N and Güzelis C** (2004) Automatic Spike Detection in EEG by A Two-Stage Procedure Based on Support Vector Machines. *Computers in Biology and Medicine*, 34 (7): 561-575.
- [115] **Acir N, Oztura I, Kuntalp M, Baklan B and Guzelis C** (2005) Automatic Detection of Epileptiform Events in EEG by A Three-Stage Procedure Based on Artificial Neural Networks. *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, 52 (1): 30-40.
- [116] **Hickey B and Heneghan C** (2002) Screening for paroxysmal atrial fibrillation using atrial premature contractions and spectral measures. *Computers in Cardiology*, 28: 217-220.

ÖZGEÇMİŞ

Ali NARİN Manisa’da doğdu. İlk ve orta öğrenimini Manisa’da tamamladı. 2006 yılında kazandığı Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Bölümü’nden 2011 yılında mezun oldu. Daha sonra, Bülent Ecevit Üniversitesi (Zonguldak Karaelmas Üniversitesi), Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı’nda sırasıyla 2011-2013 yılları arasında yüksek lisansını ve 2013-2018 yılları arasında doktorasını tamamladı. 2011 yılından beri Bülent Ecevit Üniversitesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü’nde araştırma görevlisi olarak çalışmaktadır.

ADRES BİLGİLERİ

Adres : B.E.Ü. Elektrik-Elektronik Mühendisliği
İncivez – ZONGULDAK
Tel : 0372 257 40 10 – (1445)
E-posta : alinarin45@gmail.com