

**T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**YAPAY BAĞIŞIKLIK SİSTEMİNE DAYALI
YENİ BİR ARİTMİ SINIFLAMA TEKNİĞİ**

DOKTORA TEZİ

Ziynet PAMUK

**Enstitü Anabilim Dalı : ELEKTRİK-ELEKTRONİK
MÜHENDİSLİĞİ**
Enstitü Bilim Dalı : ELEKTRONİK
Tez Danışmanı : Yrd.Doç.Dr. Mehmet Recep BOZKURT

Nisan 2014

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

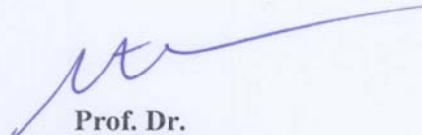
YAPAY BAĞIŞIKLIK SİSTEMİNE DAYALI
YENİ BİR ARİTMİ SINIFLAMA TEKNİĞİ

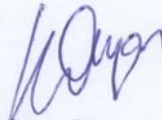
DOKTORA TEZİ


Ziynet PAMUK

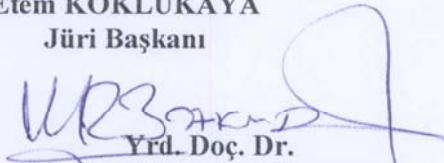
Enstitü Anabilim Dalı : ELEKTRİK-ELEKTRONİK
MÜHENDİSLİĞİ

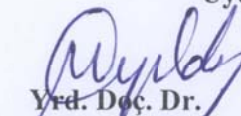
Bu tez 18 /04 /2014 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Oybirliği ile kabul edilmiştir.


Prof. Dr.
Etem KÖKLÜKAYA
Jüri Başkanı


Doç. Dr.
Kürşat AYAN
Üye


Doç. Dr.
Pakize ERDOĞMUŞ
Üye


Yrd. Doç. Dr.
Mehmet Recep BOZKURT
Üye


Yrd. Doç. Dr.
Murat YILDIZ
Üye

TEŞEKKÜR

Bu tezin hazırlanmasında çalışmalarımı yönlendirerek beni destekleyen, bilgi ve birikimlerini paylaşan, başlangıcından bitimine kadar yardımlarını ve katkılarını esirgemeyen tez danışmanım değerli hocam Yrd.Doç.Dr. Mehmet Recep BOZKURT'a, çalışmamda bana yol gösteren ve yardımlarını esirgemeyen tez izleme jrisindeki değerli hocalarım; Doç.Dr. Kürşat AYAN'a, Yrd.Doç.Dr. Murat YILDIZ'a ve değerli hocam Prof.Dr. Etem KÖKLÜKAYA'ya, akademik anlamda üzerimde emeği olan tüm hocalarıma ve manevi katkılarını her zaman hissettiğim sevgili arkadaşlarıma çok teşekkür ederim. Son olarak her zaman benimle birlikte olduklarını bilmekten mutluluk duyduğum sevgili aileme ve eşim Dr. Nihat PAMUK'a en içten sevgi ve şükranlarımı sunarım.

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR.....	iii
İÇİNDEKİLER	iv
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ.....	vi
ŞEKİLLER LİSTESİ	viii
TABLolar LİSTESİ	ix
ÖZET.....	x
SUMMARY	xi
BÖLÜM 1.	
GİRİŞ	1
1.1. Aritmi Sınıflandırması İle İlgili Literatür Taraması	1
1.2. Çalışmanın Amacı.....	7
1.3. Çalışmanın Kapsamı ve Organizasyonu	8
BÖLÜM 2.	
ARİTMİ VE ÖZİNİTELİK ÇIKARMA İŞLEMLERİ.....	13
2.1. EKG İşaretinin Yapısı	13
2.2. Aritmi Türleri.....	15
2.3. Öznitelik Çıkarma İşlemleri	17
2.3.1. Ön işlemler	17
2.3.2. Zaman uzayı öznitelikleri	18
2.3.3. Frekans uzayı öznitelikleri	22
BÖLÜM 3.	
YAPAY BAĞIŞIKLIK SİSTEMİ.....	27
3.1. Biyolojik Bağışıklık Sistemi	27
3.2. Yapay Bağışıklık Sistemi (YBS).....	30

3.3. Klonlama Seçim Algoritması (KSA).....	33
3.4. Koşul Tabanlı - Klonlama Seçim Algoritması (KT-KSA).....	35
3.5. En Yakın k Komşu (kNN) Algoritması.....	37
BÖLÜM 4.	
VERİ KÜMESİ, SINIFLANDIRICILAR VE UYGULAMA SONUÇLARI	38
4.1. Veri Kümesi	38
4.2. KSA'nın Uygulanması	41
4.3. KT-KSA'nın Uygulanması.....	44
4.4. YSA'na Ait Parametreler	45
4.5. Sonuçların Değerlendirilmesi	47
4.6. Ortalama Hassasiyet Sonuçları	49
BÖLÜM 5.	
SONUÇLAR VE ÖNERİLER	56
KAYNAKLAR.....	60
EKLER.....	67
ÖZGEÇMİŞ	101

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

Ab	: Antibody (Antikor)
ADD	: Ayrık Dalgacık Dönüşümü
Ag	: Antigen (Antijen)
APC	: Atrial Premature Contraction
APC Hücresi	: Antijen sunan hücre
CFBN	: Cascade-Forward Back Propagation Network
CSA	: Clonal Selection Algorithm
CWT	: Continuous Wavelet Transform (Sürekli Dalgacık Dönüşümü)
D	: Distance (Mesafe)
DC	: Direct current
DD	: Dalgacık Dönüşümü
EKG	: Elektrokardiyogram
FD	: Fourier Dönüşümü
FFN	: Feed-Forward Network
FP	: False Positive
FN	: False Negative
GA	: Genetik Algoritma
KKO	: Karınca Kolonisi Optimizasyonu
KT-KSA	: Koşul-Tabanlı Klonlama Seçim Algoritması
KSA	: Klonlama Seçim Algoritması
kNN	: k-Nearest Neighbour
KZFD	: Kısa Zamanlı Fourier Dönüşümü
LBBB	: Left Bundle Branch Block
MHC	: Major Histocompatibility Complex
PDA	: Cep, el bilgisayarı

PNN	: Probabilistic Neural Network
RBBB	: Right Bundle Branch Block
RBN	: Radial Basis Network
ROC	: Receiver Operating Characterise
SDD	: Sürekli Dalgacık Dönüşümü
SVTA	: Supraventricular Tachyarrhythmia
TP	: True Positive
TN	: True Negative
YBS	: Yapay Bağışıklık Sistemi
YSA	: Yapay Sinir Ağı

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1. Sistemin genel yapısı	10
Şekil 2.1. EKG'nin bileşenleri	14
Şekil 2.2. EKG'ye ait zaman uzayı öznitelikler	18
Şekil 2.3. İki saniyelik normal EKG sinyali	19
Şekil 2.4. DC bileşenleri atılan sinyal	19
Şekil 2.5. Alçak geçiren filtreden geçen sinyal	20
Şekil 2.6. Yüksek geçiren filtreden geçmiş sinyal	20
Şekil 2.7. Comb filtreden geçmiş sinyal	21
Şekil 2.8. R noktaları işaretlenmiş sinyal	21
Şekil 2.9. Çoklu çözünürlüklü analiz ile ADD ağacı	25
Şekil 2.10. Frekans alanı öznitelikleri için vurunun 91 örneklilik kısmı	26
Şekil 3.1. Bağışıklık sisteminin koruma mekanizması	27
Şekil 3.2. Biyolojik klonlama seçimi teorisinin gösterimi	29
Şekil 3.3. YBS'nin çok katmanlı yapısı	31
Şekil 3.4. Klonlama Seçim Algoritması akış diyagramı	33
Şekil 3.5. Koşul Tabanlı - Klonlama Seçim Algoritması akış diyagramı	36
Şekil 4.1. MLII derivasyonuna ait 10 saniyelik APC virusuna ait kayıt	39
Şekil 4.2. MLII derivasyonuna ait 10 saniyelik LBBB virusuna ait kayıt	39
Şekil 4.3. MLII derivasyonuna ait 10 saniyelik Normal virusuna ait kayıt	39
Şekil 4.4. MLII derivasyonuna ait 10 saniyelik RBBB virusuna ait kayıt	39
Şekil 4.5. MLII derivasyonuna ait 10 saniyelik SVTA virusuna ait kayıt	39
Şekil 4.6. Ortalama hassasiyet sonucu tablosunun çizgi grafiği	55

TABLolar LİSTESİ

Tablo 4.1. Kullanılan aritmi tiplerinin gösterimi ve açıklamaları	38
Tablo 4.2. Eğitim ve test işlemlerinde kullanılan aritmilerin vuru sayıları.....	40
Tablo 4.3. Aritmi tiplerine ait öznelik gruplarının satır ve sütun sayıları	40
Tablo 4.4. Öznelik gruplarına ait mutasyon bilgileri	42
Tablo 4.5. Şekilsel özneliklere ait Ab'nin ilk dört satırlık kısmı	42
Tablo 4.6. Şekilsel özneliklere ait Ag'nin ilk dört satırlık kısmı	42
Tablo 4.7. Şekilsel özneliklere ait Pn kümesi	43
Tablo 4.8. Şekilsel özneliklere ait C kümesi.....	43
Tablo 4.9. Şekilsel özneliklere ait C* kümesi.....	44
Tablo 4.10. Genişlemiş eğitim kümesine ait veriler.....	45
Tablo 4.11. ROC parametreleri	47
Tablo 4.12. Ortalama hassasiyet sonucu	50

ÖZET

Anahtar kelimeler: Yapay Bağışıklık Sistemi, Klonlama Seçim Algoritması, Koşul Tabanlı Klonlama Seçim Algoritması, Aritmi, Elektrokardiyogram, Özellik çıkarımı, Yapay Sinir Ağı, Sınıflama.

Aritmilerin sınıflandırılması işleminde elektrokardiyogram (EKG) kayıtlarının incelenmesine yönelik birçok çalışma mevcuttur. Bu çalışmalar genel olarak ya EKG kayıtlarından şekilsel özniteliklerin veya frekans alanındaki katsayılardan oluşan özniteliklerin sınıflandırılması şeklinde yapılmıştır. Literatürde birçok çalışma olmasına rağmen, araştırmacılar farklı aritmi türlerini sınıflandırmak için farklı öznitelikler, sınıflandırıcılar, eğitim ve test kümeleri kullanmaktadırlar. Çalışmaların sonucunda hangi öznitelik kullanılarak, hangi aritmi türünde hangi sınıflandırıcıların daha iyi sonuçlar verdiğini saptamak zordur.

Bu tez çalışmasında amaç, zaman ve frekans alanı özniteliklerinden oluşan birçok farklı öznitelik grubu kullanılarak, Yapay Bağışıklık Sistemi'ne (YBS) dayalı yeni bir aritmi sınıflama tekniği geliştirmektir. Ek olarak, YBS'nin standart Klonlama Seçim Algoritması (KSA) orijinal adıyla Clonal Selection Algorithm (CSA) ve diğer sık kullanılan YSA ile sınıflandırma işlemleri yapıp, bu tez çalışması kapsamında geliştirilen Koşul Tabanlı Klonlama Seçim Algoritmasını (KT-KSA) mukayese etmektir.

Bu tez kapsamında hem yeni geliştirilen algoritmanın güvenilirliği hem de hangi özniteliklerin daha iyi sonuçlar verdiğini araştırılmıştır. Ayrıca 6 farklı sınıflandırıcı ve 15 farklı öznitelik grubu kullanıldığından dolayı hangi sınıflandırıcıların hangi öznitelik gruplarında nasıl bir başarı elde ettiği de ortaya çıkmıştır.

Çalışma sonuçları ROC tabloları ve hata matrisi tablolarında verilmiş olup, ortalama hassasiyet tablosunun grafiğine göre KT-KSA'nın standart KSA'dan daha yüksek bir başarıyı elde ettiği açıkça görülmektedir. Ayrıca hem zaman hem de frekans özniteliklerinin birlikte kullanımının tüm sınıflandırıcılarda başarıyı arttırdığı da ortaya çıkarılmıştır.

A NEW ARRHYTHMIA CLASSIFICATION TECHNIQUE BASED ON ARTIFICIAL IMMUNE SYSTEM

SUMMARY

Key Words: Artificial Immune System, Clonal Selection Algorithm, Conditional Based on Clonal Selection Algorithm, Arrhythmia, Electrocardiogram, Feature extraction, Artificial Neural Network, Classification.

There are many studies on examining the electrocardiogram (ECG) records in the classification of the arrhythmia. These studies have generally been performed as classifications of the morphological features or as classifications of the coefficients in the frequency field of the ECG records. Although there are many studies in the literature, researchers have been using features, classifiers and education-testing sets to classify different arrhythmia. Right at this point, it is difficult to determine which features and classifiers should be used to give better results in which arrhythmia types.

Aim of this thesis, a new arrhythmia classification technique based on AIS has been developed and tested by using many different feature groups that have been formed from time and frequency fields. The algorithm has been called as CB-CSA. Moreover, CSA and within ANN which are frequently used as arrhythmia classifiers, have been used to make comparisons. It has been observed that the developed CB-CSA gives better results when compared to other algorithms.

Both reliability of new developed algorithm and give better results of which attributes was investigated in this thesis. Also set of 6 different classifiers and 15 different attributes which are utilized in the attribute group of classifiers, which has also emerged as a success how. And, how a success was obtained in which feature groups and in which classifiers has emerged owing to using 6 different classifiers and 15 different feature groups.

The study results are given in ROC tables and error matrix tables. According to line chart of overall average sensitivity table, it becomes obvious that the suggested CB-CSA gives better results than the classical CSA. Moreover, it is also clear that combined use of both time and frequency attributes, each classifier gives better results when compared with the other feature groups.

BÖLÜM 1. GİRİŞ

Kalbin ritmik çalışmasındaki bozulma sonucu oluşan hastalıkların genel ismi olan aritmi, doğuştan olabileceği gibi sonradan gelişen hastalıklara bağlı olarak da ortaya çıkabilir. Aritmiler, kardiyoloji uzmanları tarafından elektrokardiyogramın (EKG) dikkatli incelenmesi sonucu teşhis edilen kalp hastalıklarıdır.

Doktorlara yardımcı olmak amacıyla aritmilerin otomatik belirlenmesi için sınıflandırma algoritmaları geliştirilmiştir. Özellikle teknolojinin gelişmesiyle birlikte EKG cihazlarının işlevleri de zenginleşmiştir. EKG cihaz üreticileri aritmi tiplerini otomatik bulan yeni yazılımlar gerçekleştirme çabası içerisindeyler. Bunun yanı sıra bilim insanları da aritmeleri otomatik sınıflandırmak için yeni algoritmalar ve sınıflandırma hassasiyetini arttırmak için yenilikler üzerinde çalışmaktadırlar. Bu konu üzerinde oldukça fazla yayın bulmak mümkün hale gelmiş ve halen çalışmalar devam etmektedir.

1.1. Aritmi Sınıflandırması İle İlgili Literatür Taraması

Literatürde EKG vurularındaki anormalliklerin otomatik teşhisine yönelik birçok çalışma mevcuttur. Sınıflandırma işlemleri genel olarak Yapay Sinir Ağları (YSA), Genetik Algoritmalar (GA), Karınca Kolonisi Optimizasyonu (KKO) ve son yıllarda kullanılmaya başlanan Yapay Bağışıklık Sistemine (YBS) dayalı teknikler ile yapılmıştır.

Aritmilerin teşhisi için birçok farklı öznelik tekniği ve sınıflandırıcı kullanılmıştır. Bunlara ait örnekler aşağıda verilmektedir.

Haijian ve diğeri, farklı formlardaki PVC vurularını ve normal vurunun özniteliklerini bulmak için Hermit fonksiyonlarla temsil edilen QRS kompleks katsayıları kullanmış ve radyal tabanlı fonksiyon YSA'nı kullanarak sınıflandırmışlardır (Haijian, 1998).

Al-Fahoum, EKG kayıtlarının dalgacık dönüşümü ile öznitelikleri çıkartmış ve radyal tabanlı fonksiyon YSA kullanarak hayati öneme sahip aritmiler sınıflandırmıştır (Al-Fahoum, 1999).

Dokur ve diğeri, EKG vurularını sınıflamak için yeni bir hibrid YSA sunmuşlardır (Dokur, 2001).

Osowski ve diğeri, EKG vurularını sınıflamak için bulanık YSA'nı kullanıp yüksek seviyeli istatistik ile EKG vurularına ait öznitelikler çıkarmışlardır (Osowski, 2001).

Engin ve diğeri, EKG vurularını sınıflamak için bulanık hibrid bir YSA modeli kullanmışlardır (Engin, 2004).

Besrouer ve diğeri, destek vektör makinesi kullanarak EKG vurularını sınıflandırmışlardır (Besrouer, 2008).

Bereta ve diğeri, EKG sinyallerinin özellik seçimi ve sınıflandırılması için hibrit bağıklık algoritmasında binary ve reel değerleri kodlamayı karşılaştırmışlardır (Bereta, 2007).

Güler ve diğeri, EKG vurularını sınıflandırmak için öznitelik vektör elemanları dalgacık katsayılarından ve istatistiksel özniteliklerden oluşan bir birleşik YSA kullanmışlardır (Güler, 2005).

Zeybekoğlu, yedi farklı aritmi tipinden oluşan verilerle YSA'da önce eğitim daha sonrada test işlemi gerçekleştirmiştir (Zeybekoğlu, 2005).

Mahmoodabadi ve diğeri, çok çözünürlüklü dalgacık dönüşümüne dayalı EKG özellik çıkarımını gerçekleştirmişlerdir (Mahmoodabadi, 2005).

Azemi ve diğeri, EKG aritmilerini sınıflamak için öznitelikleri, bağımsız bileşenler analizi ve dalgacık dönüşümü ile elde etmişler ve radyal tabanlı fonksiyon YSA ve k-en yakın komşu sınıflayıcı kullanmışlardır (Azemi, 2006).

Übeyli, hata düzeltici çıkış kodu ile çok sınıflı destek vektör makinaları yöntemine dayalı yeni bir EKG vuru sınıflama yöntemi öne sürmüştür (Übeyli, 2007).

Wei ve diğeri, EKG vurularını sınıflamak için evrimleştirilebilen blok tabanlı YSA'nı önermiş ve öznitelik çıkartma yöntemi olarak hermit dönüşüm katsayıları ve iki ardışık EKG vurusu arasındaki zaman aralığı (RR aralığı) kullanmışlardır (Wei, 2007).

Gezer ve diğeri, EKG vurularının şekilsel özellikleri ve pencerelenmiş ham EKG verilerini kullanarak gruplama yapmak üzerine bir çalışma gerçekleştirmişlerdir (Gezer, 2011).

Emanet, EKG vurularını sınıflandırmak için ayrık dalgacık dönüşümü ve random path forest algoritmasını kullanmıştır (Emanet, 2009).

Ceylan ve diğeri, EKG aritmeleri temel bileşen analizi ve dalgacık dönüşümü teknikleri kullanarak YSA'da sınıflandırmışlardır (Ceylan, 2007).

Chudacek ve diğeri, normal vuru ve PVC vurularını sınıflandırmak için MIT-BIH ve AHA veri tabanlarından alınmış EKG vurularından çıkartılan 13 şekilsel öznitelik elemanını kullanmışlar ve radyal tabanlı fonksiyon YSA' da içeren 7 farklı yöntemle EKG vuruları sınıflandırmışlardır (Chudacek, 2007).

Yu ve diğeri, bağımsız bileşenler analizi yardımıyla sekiz tip EKG vurusunun özniteliklerini çıkartmışlar ve bu vuruları RR aralıklarını kullanarak, YSA yardımıyla sınıflandırmışlardır (Yu, 2008).

Korürek ve diğeri, QRS komplekslerinin öbekleştirilmesi için yeni bir yöntem önermiş ve KKO tekniği kullanmışlardır (Korürek, 2008).

Ghongade ve diğerleri, EKG vurularını sınıflandırmak için şekilsel öznitelikler ve radyal tabanlı fonksiyon YSA'nı kullanmışlardır (Ghongade, 2008).

Homaeinezhad ve diğerleri, sanal QRS görsel tabanlı geometrik özellikleri ile destek vektör makinesi ve kNN hibrid sınıflandırıcısı yoluyla EKG aritmilerini tanımaya yönelik bir çalışma yapmışlardır (Homaeinezhad,2012).

Melgani, EKG vurularını sınıflamada destek vektör makinalarının genelleştirme kabiliyetini ortaya koymak ve destek vektör makinalarının sınıflama performansını arttırmak için yeni bir yöntem olan parçacık sürü optimizasyonu önermiştir (Melgani, 2008).

Nizam ve diğerleri, EKG içindeki aritmilerin analiz ve sınıflanması amacıyla KKO dayalı yeni bir kümeleme tekniği geliştirmiş ve Kohonen, Geri Yayılım YSA ile mukayese etmişlerdir (Nizam, 2008).

Ceylan ve diğerleri, EKG aritmilerinin teşhisi için EKG vuruları tip-2 bulanık c-ortalamalar öbekleştirme algoritması ve YSA kullanarak sınıflandırmışlardır (Ceylan, 2009).

Übeyli, yinelemeli YSA'nın Levenberg-Marquardt algoritması ile eğitip EKG vurularını sınıflama başarısını değerlendirmiş ve Physiobank veri tabanından alınmış olan dört tip EKG vurusunu analiz etmiştir (Übeyli, 2009).

Vural, UCI veri havuzundan alınmış ve Türk hastalardan toplanan gerçek EKG kayıtlarından oluşturulmuş veri kümesi üzerinde YSA'na dayanan öğrenme tekniklerinden birisi olan çok katmanlı geriye yayılma algoritmasını ve sınıf modülü kavramını uygulamıştır (Vural, 2010).

Alptekin, EKG verilerinin analizini yaparak atrial olgunlaşmamış atım ve ventrikül olgunlaşmamış atım aritmilerinin tespitini gerçekleştirmiştir (Alptekin, 2010).

Kutlu ve diğlerleri, EKG vurularının morfolojik özniteliklerinin topografik analizlerini yapmışlardır (Kutlu, 2009).

Yılmaz ve Bozkurt, MIT_BIH veri tabanından alınmış olan APC, B, T, LBBB, RBBB, SVTA ve normal EKG sinyallerine ait zaman alanı öznitelik çıkarma işlemini gerçekleştirmişlerdir (Yılmaz, 2012).

Acır, bir dinamik programlama özellik seçme algoritması ile destek vektör makineleri kullanarak EKG vurularının sınıflandırılmasını yapmıştır (Acır, 2005).

Chen ve diğlerleri, nonlinear korelasyona dayalı EKG vuru sınıflandırması için etkili bir özellik seçme işlemini gerçekleştirmişlerdir (Chen, 2012).

Hu ve diğlerleri, hibrit bir uzman yaklaşımı kullanarak hasta uyumlu EKG vuru sınıflandırıcı çalışmasını gerçekleştirmişlerdir (Hu,1997).

Polat ve diğlerleri, EKG üzerindeki aritmilerin teşhisi için bulanık ağırlıklandırılmış ön işlem tekniği kullanarak yapay bağışıklık tanıma sistemi kullanmışlardır (Polat, 2006).

Polat ve diğlerleri, EKG üzerindeki aritmilerin teşhisi için en küçük kareler destek vektör makinesi ve temel bileşen analizine dayalı uzman sistem yaklaşımı da kullanmışlardır (Polat, 2007).

Islam ve diğlerleri EKG dalga şeklinden kalbin normal olmayan durumunu tespit etmek için dijital bir sistem tasarımı gerçekleştirmişlerdir (Islam, 2011).

Kallas ve diğlerleri, EKG sinyallerinin Kernel temel bileşen analizi ile birleştirilmiş çoklu sınıf destek vektör makinesi sınıflandırma işlemini gerçekleştirmişlerdir (Kallas, 2012).

Karadağ, dalgacık ağları kullanarak elektrokardiyografik aritmilerin sınıflandırma işlemini gerçekleştirmiştir (Karadağ, 2009).

Kutlu ve diğlerleri, çok kısımlı otomatik aritmi tanıma ve sınıflandırma sistemi yapmışlardır (Kutlu, 2011).

Kutlu ve diğlerleri, ayırık dalgacık dönüşümü katsayılarının yüksek sıralı istatistiğini kullanarak EKG kalp vurularının özellik çıkarımını yapmışlardır (Kutlu, 2012).

Özby, karmaşık değerleri YSA tabanlı karmaşık ayırık dalgacık dönüşümü kullanarak EKG aritmilerin tespiti için yeni bir teknik önermiştir (Özby, 2009).

Li ve diğlerleri, EKG sinyallerinin gerçek zamanlı özellik çıkarımı için ilk türev ve dalgacık dönüşümü modülüne dayalı bir metot önermişlerdir (Li, 2009).

Luz ve diğlerleri, optimum path forest algoritmasına dayalı EKG aritmi sınıflandırma çalışmasını gerçekleştirmişlerdir (Luz, 2013).

Moavenian ve diğlerleri, EKG üzerindeki aritmilerin sınıflandırmasında destek vektör makinesi ve YSA'nın karşılaştırmasını gerçekleştirmişlerdir (Moavenian, 2010).

Nasiri ve diğlerleri, EKG üzerindeki aritmilerin sınıflandırma işleminde GA ve destek vektör makineleri kullanmışlardır (Nasiri, 2009).

Prasad ve diğlerleri, çok çözünürlüklü analiz ve sinir ağları kullanarak EKG üzerindeki aritmilerin sınıflandırmasını gerçekleştirmişlerdir (Prasad, 2003).

Özby ve diğlerleri, EKG üzerindeki aritmeleri sınıflandırmak için uyarlamalı aktivasyon fonksiyonu ile sinir ağları kullanarak yeni bir metot geliştirmişlerdir (Özby, 2010).

Polat ve diğlerleri, EKG verisinin teşhisi için en küçük kareler destek vektör makinesi kullanarak bir çalışma gerçekleştirmişlerdir (Polat, 2008).

Pekçakar, dalgacık dönüşümü ile EKG sinyallerini işlemiş ve özellik çıkarımını gerçekleştirmiştir (Pekçakar, 2008).

Rodriguez ve diğeri, bir PDA üzerinde gerçek zamanlı EKG'nin sınıflandırılmasına yönelik bir çalışma gerçekleştirmişlerdir (Rodriguez, 2005).

Sahab ve diğeri, EKG üzerindeki aritmileri sınıflandırmasını dalgacık dönüşümü ve sinir ağı kullanarak gerçekleştirmişlerdir (Sahab, 2010).

Sarkaleh ve diğeri EKG üzerindeki aritmilerin teşhisi için ayrık dalgacık dönüşümü ve sinir ağı kullanmışlardır (Sarkaleh, 2012).

Sazlı, EKG sinyallerinin korelasyon analizi ile AF, PVC ve LBBB gibi bazı kalp aritmilerin belirlenmesi üzerine bir çalışma yapmıştır (Sazlı, 2007).

Thanapatay ve diğeri, temel bileşen analizi ve destek vektör makinesi ile EKG vurularını belirleyen bir çalışma gerçekleştirmişlerdir (Thanapatay, 2010).

Torun ve diğeri, dal bloğu vurularını sınırlandırmak için yüksek mertebeden izgel çözümlene ve YSA kullanmışlardır (Torun, 2006).

Wang ve diğeri, aritmilerin teşhisi için bulanık sinir ağına dayalı kısa zamanlı multifraktal bir yaklaşım üzerine çalışmışlardır (Wang, 2001).

Javadi ve diğeri, EKG aritmilerin sınıflandırması işlemini uzman ve negatif korelasyon öğrenmeye dayalı bir modüler sinir ağı ile gerçekleştirmişlerdir (Javadi, 2013).

1.2. Çalışmanın Amacı

EKG insan vücuduna iliştirilen elektrotlarla kaydedilen elektriksel aktivitenin sinyal grafiğidir. Kardiyologlar tarafından teşhiste kullanılan en önemli biyolojik sinyallerden birisidir. Doktorlar aritmi teşhisinde EKG kullanmaktadır. Ancak aritmilerin teşhisi güç olduğundan bazen aritmi teşhisi gözden kaçabilmektedir. Bu nedenler, araştırmacıları kalple ilgili aritmi düzensizliklerini otomatik olarak tespit etmeye yönelik araştırma yapmaya yönlendirmiştir.

Birçok araştırma, işaretlerin sınıflanmasında kardiyologlar ile aynı sınıflamaların oluşturulmasına ve klinik çalışmalarla tutarlı bir sınıflama tekniği oluşturmaya çalışmaktadır. Ancak EKG yapısındaki çeşitlilik, sınıflama sonuçları üzerinde bir standart oluşturulmasını ve bu amaca ulaşmayı zorlaştırmaktadır. Bu husustaki yeni uygulamalara olan ihtiyaç birçok araştırmada gösterilmiştir (Nizam, 2008).

EKG kayıtlarının incelenerek aritmilerin sınıflandırılmasına yönelik birçok çalışma yapılmıştır. Bu çalışmalar genel olarak ya EKG kayıtlarından şekilsel özniteliklerin ya da frekans alanındaki katsayılardan oluşan özniteliklerin sınıflandırılması şeklinde yapılmıştır. Çalışmalar çok çeşitli olmasına rağmen her çalışmada, farklı aritmi türlerini sınıflandırmak için farklı öznitelikler, sınıflandırıcılar, eğitim ve test kümeleri ile işlem yaptıklarından kesin olarak hangi özniteliklerin hangi sınıflandırıcılarda daha iyi sonuçlar verdiğini saptamak zordur.

Tezin amacı, zaman ve frekans alanı özniteliklerinden oluşan birçok farklı öznitelik grubu kullanarak, YBS'ne dayalı yeni bir aritmi sınıflama tekniği geliştirmektir. Ek olarak, YBS'nin standart Klonlama Seçim Algoritması (KSA) orijinal adıyla Clonal Selection Algorithm (CSA) ve diğer sık kullanılan YSA ile sınıflandırma işlemleri yapıp, bu tez çalışması kapsamında geliştirilen Koşul Tabanlı - Klonlama Seçim Algoritmasını (KT-KSA) mukayese etmektir.

Bu tez kapsamında hem yeni geliştirilen algoritmanın güvenilirliği hem de hangi özniteliklerin daha iyi sonuçlar verdiği araştırılmıştır. Ayrıca altı farklı sınıflandırıcı kullanıldığından hangi sınıflandırıcıların hangi öznitelik gruplarında nasıl bir başarı elde ettiği de araştırılmış olmaktadır.

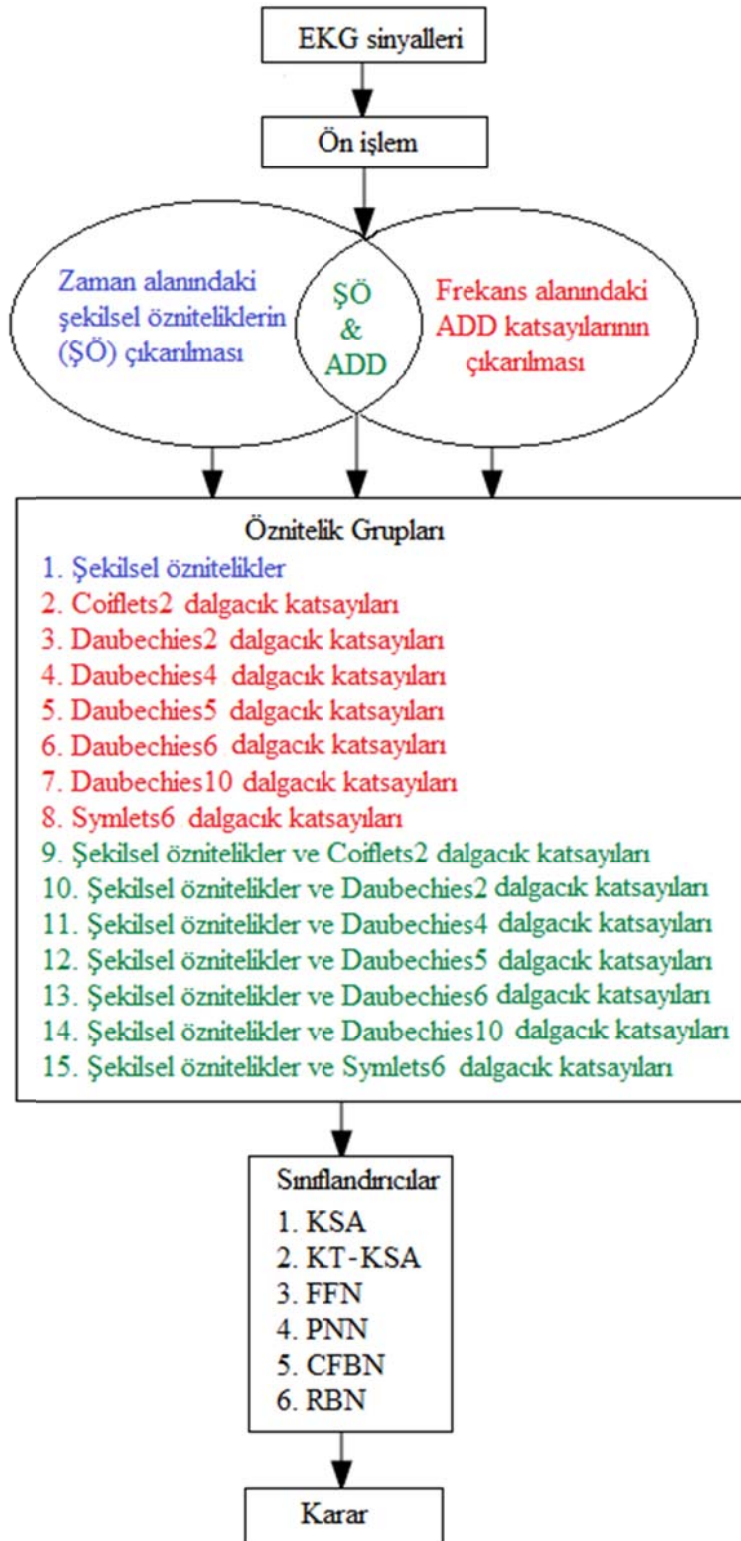
1.3. Çalışmanın Kapsamı ve Organizasyonu

Tez kapsamında beş farklı aritmi tipi kullanılmıştır. Bunları sırasıyla açıklarsak; APC, Atrial Premature Contraction aritmi tipinin kısaltılması olup, kulakçık erken kasılması anlamına gelmektedir. LBBB, Left Bundle Branch Block aritmisinin kısaltılmış şekli olup sol dal bloğu anlamındadır. RBBB, Right Bundle Branch Block aritmisinin kısaltılması olup sağ dal bloğu anlamındadır ve son olarak SVTA,

Supraventricular Tachyarrhythmia'nın kısaltması olup yukarı karıncık hızlı nabız olarak Türkçeleştirilmiştir. Aritmi tiplerinin Türkçe karşılığı literatürde kullanılmadığından ve tıp terimi olarak sıkça İngilizce isimlerinin kısaltmaları şeklinde kullanıldığından bu çalışmada da aritmi tiplerinin kısaltılmış şekillerinin kullanılması tercih edilmiştir.

Çalışmada, Physionet veri tabanından elde edilen ve uzman kardiyologlar tarafından etiketlenmiş olan MLII derivasyonuna ait EKG kayıtları kullanılmıştır (Goldberger, 2000; Moody, 2001). Aritmi tipleri olarak 446 adet APC vurusu, 796 adet LBBB vurusu, 587 adet normal vuru, 348 adet RBBB vurusu, 176 adet SVTA vurusu olmak üzere toplamda 2353 adet vuru kullanılmıştır. Bu vurulardan 1716 adet vuru eğitim işleminde, 637 adet vuru ise test işleminde kullanılmıştır.

Sistemin genel yapısı Şekil 1.1’de verilmektedir.



Şekil 1.1. Sistemin genel yapısı

Bu tez çalışması beş bölümden oluşmaktadır. Bu bölümlerde ele alınan konuların içerikleri aşağıdaki biçimde organize edilmiştir.

Birinci bölümde literatür taraması, çalışmanın kapsamı ve organizasyonu hakkında bilgi verilmektedir.

İkinci bölümün ilk kısmında, EKG işaretinin yapısı, ikinci kısımda aritmi türleri hakkında bilgi verilmektedir. Üçüncü kısmında ise, aritmi sinyalleri üzerinde yapılan önışlemler, zaman uzayı özniteliklerini çıkartmak için kullanılan Pan-Tompkins Algoritması ve frekans uzayı özniteliklerini çıkartmak için kullanılan Ayrık Dalgacık Dönüşümü (ADD) tekniği açıklanmaktadır.

Üçüncü bölümde YBS anlatılmış olup, önce biyolojik bağışıklık sistemi ve yapay bağışıklık sistemi tanımları verilmektedir. Ardından YBS algoritmalarından KSA, tez kapsamında geliştirilen KT-KSA ve son olarak YBS'nin standart sınıflandırıcısı olan En Yakın k Komşu (k-Nearest Neighbors kısaca kNN) algoritması hakkında bilgi verilmektedir.

Dördüncü bölüm, uygulama sonuçlarından oluşmaktadır. Bölümün ilk kısmında, kullanılan veriler hakkında kısaca bilgi verilmiştir. İkinci kısmında KSA'nda kullanılan parametreler verilmiştir. Üçüncü kısımda KT-KSA'na ait parametreler verilmiştir. Dördüncü kısımda uygulamada kullanılan YSA içerisindeki mevcut Feed-Forward Network (FFN) , Probabilistic Neural Network (PNN), Cascade-Forward Backpropagation Network (CFBN) ve Radial Basis Network (RBN) ağırları hakkında kısa bilgi verilip, uygulamada kullanılan parametreler verilmiştir. Beşinci kısımda, sonuçların değerlendirilmesine yönelik Alıcı İşletim Karakteristiği (Receiver Operating Characteric kısaca ROC) kullanılmaktadır. ROC için gerekli formüller verilip, açıklamalar yapılmıştır. Altıncı kısımda, sınıflandırılan beş farklı aritmi tipi olduğundan ve sınıflandırmada hassasiyet değeri en önemli kıstas olduğundan ortalama hassasiyet sonuçları tablosu ve bu tabloya ait çizgi grafik verilmektedir. Böylece nihai sonuçlar görsel olarak daha net bir şekilde ifade edilmektedir.

Beşinci bölüm sonuç bölümüdür. Bu bölümde yapılan çalışmalardan elde edilen sonuçlar sıralanmış ve elde edilen sonuçlar üzerine değerlendirmeler yapılmıştır. Yapılan çalışmanın gerek bilime ve gerekse tıp endüstrisine getireceği katkılar tartışılmıştır.

BÖLÜM 2. ARİTMİ VE ÖZNİTELİK ÇIKARMA İŞLEMLERİ

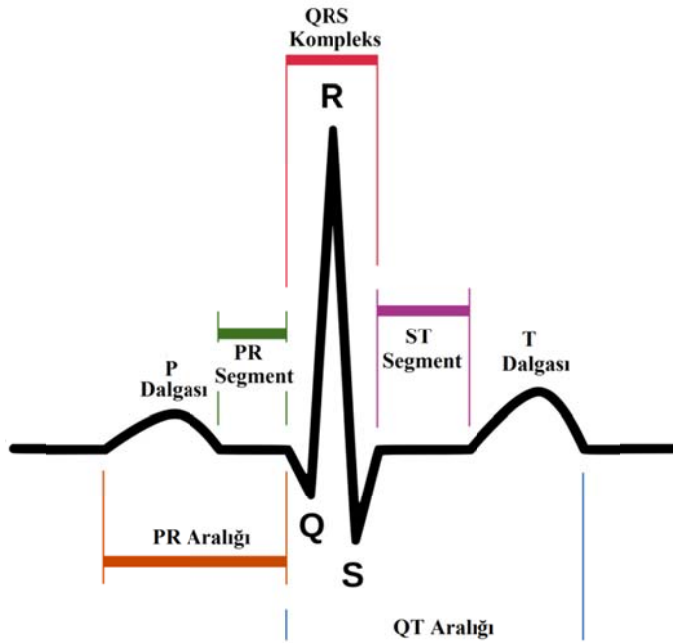
2.1. EKG İşaretinin Yapısı

Kalpte, elektriksel sinyal sinoatrial (SA) düğüm tarafından üretilir. SA düğümdeki elektriği üreten hücrelere ritim yapıcı (pacemaker) hücreler denir. SA düğüm tarafından üretilen elektriksel sinyal, belirli iletim yolları üzerinden ventrikül kasına yayılır. Bu yollar: internodal yollar ve atriyal lifler, atriyoventriküler (AV) düğüm, his demeti, sağ ve sol demet dalları ve purkinje lifleridir.

Ritim yapıcının elektriksel aktivitesi kalp kasına iletilirken kalbin depolarizasyonu ve repolarizasyonunun yansımaları vücudun kalan bölümüne de yayılır. Vücudun diğer bölümlerine yerleştirilen elektrotlar ile kalbin bu elektriksel yansımaları saptanabilir. Elektriksel sinyallerin kaydına elektrokardiyogram (EKG) adı verilir.

Kalbin elektriksel olayları EKG üzerinde genellikle P dalgası, QRS kompleksi ve T dalgası tarafından kesilen bir taban çizgisi şeklinde kaydedilir. Taban çizgisi EKG üzerinde düz bir çizgidir. Kalp döngülerindeki depolarizasyon ve repolarizasyonların elektriksel aktivitesinin başlangıç noktasıdır.

EKG'nin bileşenleri Şekil 2.1'de gösterilmektedir (EKG, 2014).



Şekil 2.1. EKG'nin bileşenleri

P dalgası, atriyal depolarizasyonun sonucudur. QRS kompleksi ventriküler depolarizasyonun sonucudur ve ventriküler kasılmanın başlangıcını gösterir. T dalgası, ventriküler repolarizasyonun sonucudur ve ventriküler gevşemenin başlangıcını gösterir. Atriyal repolarizasyonun elektriksel sinyali, daha büyük olan QRS kompleksi tarafından maskelenir.

EKG'de dalga bileşenlerine ek olarak aralıklar (interval) ve segmentler vardır. Bir aralık, en az bir dalga ve düz bir çizgi içeren EKG bölümüdür. Örneğin; PR aralığı P dalgası ve QRS kompleksi başlamadan önceki bağlayıcı çizgiyi içerir. PR aralığı, SA düğüm tarafından gönderilen uyarının ventriküllere ulaşması için geçen zamanı temsil eder.

Segmentler, bir dalganın sonundan diğer dalganın başına kadar olan zaman aralığıdır. Örneğin PR segmenti, AV düğümdeki gecikme ve ventrikülere iletilme süresini temsil eder.

EKG elektriksel aktiviteyi yansıttığı için kalp aktivitesinin yararlı bir görüntüsüdür. Elektriksel sinyallerin üretilmesi ve iletilmesinde kesintiler olursa EKG değişir. Bu değişiklikler, kalp içinde olan değişikliklerin teşhis edilmesi için yardımcı olur.

2.2. Aritmi Türleri

Aritmiler çok çeşitli olup, bazıları genel bazıları ise özelleşmiştir. Burada genel birkaç aritmi türü hakkında bilgi verilecektir. Bunlar; Ekstrasistol, Bradikardi, Taşikardi, Blok, Atriyal fibrilasyon, Ventriküler taşikardi, Ventriküler fibrilasyon olarak sıralanabilir. Bunların dışında daha birçok aritmi türü mevcuttur.

Ekstrasistol; kalbimizin aniden ve çok kısa bir süre için bir veya birkaç atım fazladan kasılması olarak tanımlanabilir. Bu hali çoğunlukla “kalpte tekleme”, “kuş kanadı gibi çırpınma hissi”, “bir veya birkaç kuvvetli kalp atımı” veya “kalpte bir duraklama ve ardından gelen kuvvetli bir atım” olarak hissetmek olasıdır. Ekstrasistol sağlıklı kişilerde de sık görülebilen bir durumdur. Heyecan, stres, fazla kafeinli gıda tüketimi, sigara vb. maddeler ekstrasistol sıklığını artırır. Kalp hastalığı veya kalp hastalığı risk faktörleri olmayan kişilerde ekstrasistol varlığı genelde önemli bir araştırma gerektirmez.

Bradikardi; kalp hızının dakikada 60 atımdan az olması halidir. Birçok sağlıklı kişide kalp atımları dakikada 60 atım civarındadır. Bazen daha da yavaş kalp hızları olabilir. Ancak bu her zaman hastalık işareti değildir. Dinlenme veya uyku sırasında kalbimiz normal olarak yavaşlar. Uyku sırasında kalp hızımız zaman zaman dakikada 35-40 atıma kadar düşebilir. Düzenli spor yapanlarda da ortalama kalp hızı genelde yavaştır. Ancak sinüs düğümünün veya ileti sisteminin bazı hastalık hallerinde kalp hızı çok yavaşlayabilir. Bu durumda halsizlik, baş dönmesi ortaya çıkabilir; hatta zaman zaman fenalık hissi ve bayılma olabilir.

Taşikardi; kalp hızının dakikada 100 atımdan fazla olmasıdır. Ancak fiziksel veya duygusal stres hallerinde (hareket, egzersiz, heyecan vb.) kalp hızındaki artış normaldir. Fazla miktarda kafeinli içecek tüketilmesi de kalp atışlarında hızlanmaya neden olabilir. Bazı taşikardilerde elektrik uyarısı sinüs düğümünün dışında, kalbin

başka alanlarında gelişir. Bu tür ritimler vücudumuzun gereksinimleriyle genelde ilişkisizdir ve kalp çoğunlukla yüksek bir hızla çalışmaya başlar. Bu taşikardilerin bir kısmı kulakçıklara, bir kısmı ise karıncıklara ait dokulardan kaynaklanır. Kulakçıklardan kaynaklanan en önemli aritmi “atriyal fibrilasyon” dur. Karıncıklardan kaynaklanan taşikardiler (ventriküler taşikardi) çoğunlukla kalp hastalıklarıyla birlikte görülür ve ventriküler taşikardi tedavi edilmezse sıklıkla ani yaşamsal tehlike oluştururlar.

Blok; elektrik uyarısının kalp içinde yayılırken engellerle karşılaşması ve kalp kasının gereken şekilde veya sayıda uyarılamaması haline genel olarak verilen isimdir. Çok çeşitli blok türleri vardır; bunların büyük çoğunluğu sadece EKG tetkikinde ortaya çıkar ve genelde müdahale gerektirmez. Kulakçıklarla karıncıklar arasındaki elektriksel ilişkinin azaldığı veya kesildiği blok türü önemlidir. Bu blok durumunda sinüs düğümünde oluşan uyarılar karıncıklara yeterli sayıda ulaşamadığından kalp hızı çok yavaşlar. Bu bloğa tıp dilinde “atriyoventriküler blok” adı verilir. Bu tip bloklar gelip geçici olabilir ve aralıklı olarak baş dönmesi, fenalık hissi ve bayılmaya neden olabilir. Belirsiz aralıklarla zaman zaman ve çok kısa sürelerde ortaya çıkan bu durumun tanısı Holter EKG ve “event - recorder” tetkikiyle konabilir. Sorunun tedavisi çoğunlukla kalp pili takılmasını gerektirebilir.

Atriyal fibrilasyon; kulakçıklardan kaynaklanan önemli bir aritmi türüdür. Kulakçıklara ait dokularda dakikada 400-600 kez gelişigüzel uyarılar oluşur. Sinüs düğümü devre dışıdır. Bu kadar çok ve kaotik uyarı dâhilinde kulakçıklar etkili şekilde kasılamazlar. Diğer yandan atriyoventriküler düğüm bu kaotik uyarıları düzensiz olarak ve kısmen karıncıklara iletilebilir. Kalp ve nabız atımları tamamen düzensizdir, hızlı veya yavaş olabilir. Bu ritim bozukluğu bazen ara ara ortaya çıkıp düzelen ataklar halindedir; bazen de kalıcı olarak yaşam boyu devam edebilir.

Atriyal fibrilasyon genellikle yüksek tansiyon, kalp veya kronik akciğer hastalığı olan kişilerde görülür. Ayrıca ilerleyen yaşla birlikte atriyal fibrilasyon sıklığı ve riski artar. Ventriküler taşikardi; karıncıklardan kaynaklanan hızlı ve düzenli bir ritimdir. Kalp dokusu normal elektrik yollarla uyarılmadığından kalp kası gerektiği gibi güçlü ve etkili kasılamaz. Ender olarak sağlıklı ve genç kişilerde görülse de, sıklıkla koroner

kalp hastalığı olan ve miyokard enfarktüs (kalp krizi) geçirmiş hastalarda görülür. Ani başlar ve kalp etkili bir şekilde kasılmadığından çoğunlukla kan basıncında düşme, halsizlik ve ardından bayılmaya sebep olur. Gereken müdahale yapılmazsa, ventriküler fibrilasyon denen ve dakikalar içinde ölümle sonuçlanan bir ritime dönüşebilir.

Ventriküler fibrilasyon; kalp dokusunda gelişigüzel ve çok sayıdaki kaotik elektrik uyarısının yol açtığı bir ritimdir. Kalpte belirgin bir kasılma hareketi olmadığından vücuttaki kan dolaşımını pratik olarak durmuştur. Yaşamla bağdaşan bir ritim değildir; etkili tedavisi birkaç dakika içinde yapılması gereken elektroşok uygulamasıdır. Ani ölümlerin çok büyük çoğunluğu ventriküler fibrilasyon sonucunda gerçekleşmektedir (Fak, 2010).

2.3. Öznitelik Çıkarma İşlemleri

EKG kayıtlarında mevcut olan gürültü, bir kayıta birden fazla aritmi tiplerinin oluşu, veri boyutun fazlalığı, işlem gücünün zorluğu gibi nedenlerden dolayı aritmilerin sınıflandırılmasında direk olarak EKG kaydını vermek mümkün değildir. Direk olarak EKG kaydı verildiği durumlarda sınıflandırma başarısının kayda değer bir sonuç vermeyeceği aşikârdır. Bu nedenle EKG kaydındaki öznitelikleri çıkartmak gereklidir.

2.3.1. Ön işlemler

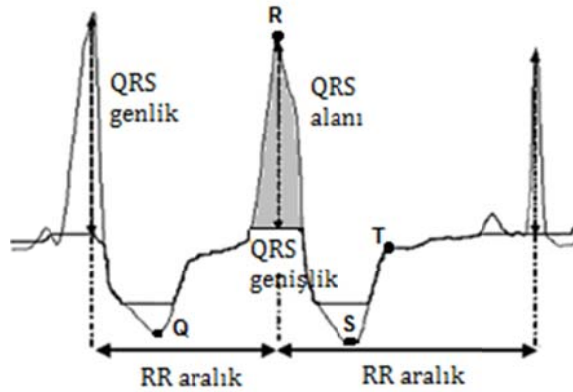
Ön çalışma sırasında, Physionet veri tabanında kardiyoloji uzmanları tarafından aritmi tipleri etiketlenmiş olan vurular incelenmiş ve bu çalışmada kullanılacak olan APC, LBBB, Normal, RBBB, SVTA aritmi tiplerine ait olan vurular seçilmiştir.

EKG kayıtları hastaların hareketlerinden veya elektrotların kaymaları sonucu harici gürültü içerebilir (Yılmaz, 2012). EKG kaydında bulunan taban çizgisinin değişmesi QRS kompleksini tespitini zorlaştırır. Bu nedenle bazı filtreleme teknikleri kullanarak EKG kaydından gürültünün temizlenmesi gerekir. EKG kayıtlarındaki gürültüyü gidermek için medyan filtre kullanılmıştır.

Aritmilere ait özniteliklerin çıkarılması ile ilgili birçok farklı yöntem ve çalışma mevcuttur. Genel anlamda sinyallere ait özelliklerin çıkarılmasında iki temel yöntemin varlığından söz edebiliriz. Bunlar sinyalin zaman alanı öznitelikleri ve frekans alanı öznitelikleridir. Bu iki ana yöntem de alt yöntemlere ayrılmaktadırlar.

2.3.2. Zaman uzayı öznitelikleri

Çalışmada ayrı ayrı her aritmi tipine ait (APC, LBBB, Normal, RBBB ve SVTA) zaman alanı öznitelikleri yani gerçek sinyalin şekilsel özellikleri olarak QRS genliği, RR aralığı, QRS genişliği ve QRS alanı olmak üzere dört adet öznitelik çıkarılmıştır. Bu öznitelikler Şekil 2.2’de gösterilmektedir.

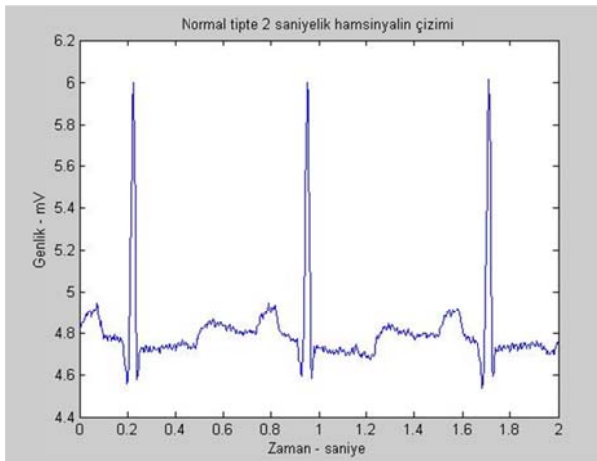


Şekil 2.2. EKG'ye ait zaman uzayı öznitelikler

Burada QRS genlik; R noktası ile taban hattı arasındaki mesafeyi, RR aralık; iki R noktası arasındaki mesafeyi, QRS alanı; QRS kompleksin alanını ve QRS genişlik; QRS kompleksin genişliğini göstermektedir. Bu çalışmada zaman özniteliklerini bulmak için Pan-Tompkins algoritması kullanılmıştır.

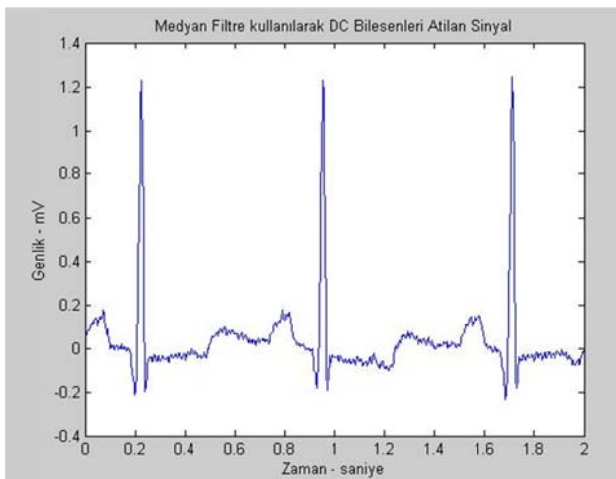
Pan-Tompkins algoritması Jiapu Pan ve Willis J. Tompkins tarafından 1985 yılında EKG sinyalindeki QRS kompleksi tespit etmek amacıyla geliştirilmiştir (Jiapu, 1985). Pan- Tompkins QRS algılama algoritması eğimler, genlik ve genişliğin sayısal analizlerine dayanmaktadır (Debbabi, 2010). Algoritma, bant geçiren filtre, türev operatörü, kare alma işlemi, kayan pencere integrasyonu ve eşik ayarlama olmak üzere beş aşamadan oluşmaktadır (Gümüş, 2008).

Algoritmanın daha iyi anlaşılması için normal tipte iki saniyelik bir sinyal kesiti üzerindeki işlemler aşağıda anlatılmaktadır. Algoritmayı kullanmadan önce kullanılan veriler gürültüden arındırılmalıdır. Şekil 2.3’de görüldüğü gibi sinyal oldukça fazla gürültü içermektedir. Hem yüksek frekanslı hem de şebekeden kaynaklanan ek bileşenler sinyale karışmış durumdadır.



Şekil 2.3. İki saniyelik normal EKG sinyali

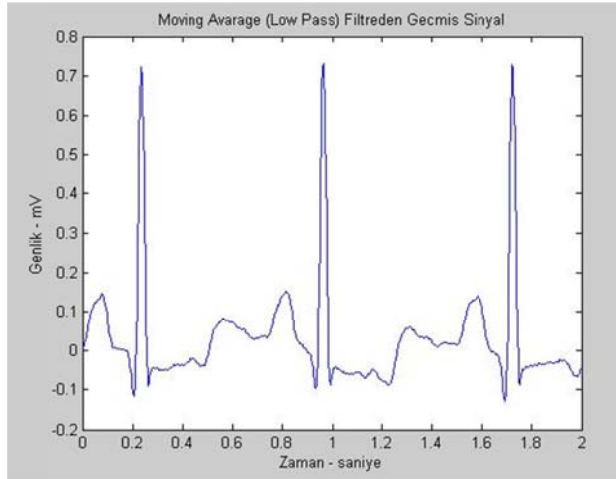
Öncelikle sinyal, medyan filtre kullanarak doğru akım (DC) sıfır seviyesine çekilmektedir.



Şekil 2.4. DC bileşenleri atılan sinyal

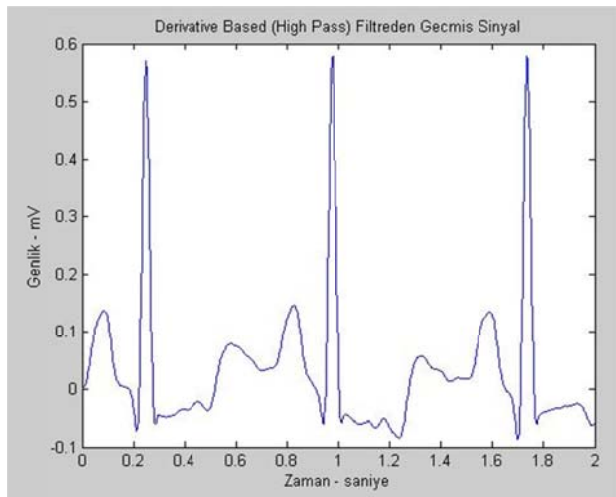
Şekil 2.4’ de gürültü olduğu açık bir şekilde görülebilmektedir. Sinyalden yüksek frekanslı gürültüler temizlenmelidir. Bunun için bir alçak geçiren filtre tasarlayıp

sinyali bu filtreden geçirmek gerekir. Şekil 2.5’de alçak geçiren filtreden geçmiş sinyal gözükmektedir. Filtre tipi olarak 10 point avarage filtre kullanılmaktadır.



Şekil 2.5. Alçak geçiren filtreden geçen sinyal

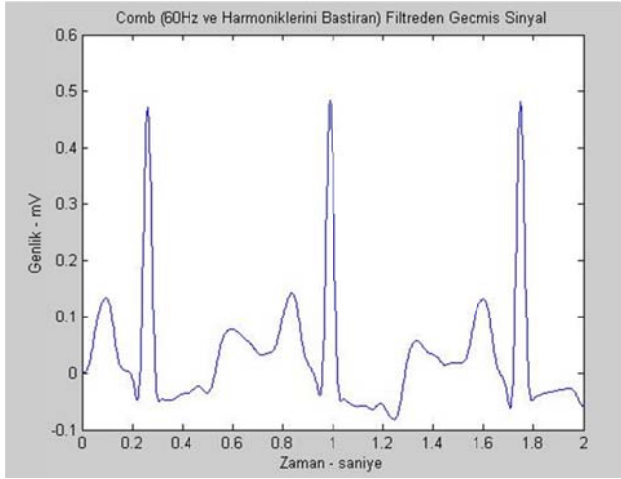
Şekil 2.5’de yüksek frekanslı gürültülerin azaldığı görülmektedir. Fakat işaret hala kusursuz değildir. Düşük frekanslı gürültüleri yok etmek için bir yüksek geçiren filtre tasarlayıp işaret bu filtreden geçirilmektedir. Bunun için de Derivative Based filtre oluşturulmaktadır.



Şekil 2.6. Yüksek geçiren filtreden geçmiş sinyal

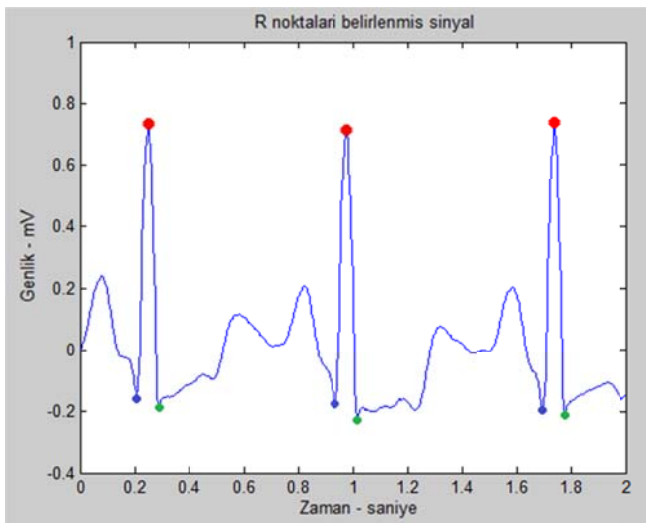
İşaretler 60Hz’lik şebeke frekansı altında alındığından, şebekeden kaynaklanan 60Hz’lik gürültüyü atmak için bir filtre tasarlanmakta ve önceki filtreden çıkan

sinyal bu filtreden geçirilmektedir. Önemli bir sorun da, şebekeden kapılan gürültünün yalnızca 60Hz değil aynı zamanda bunun harmonikleri olarak ortaya çıkmasıdır. Bu nedenle yalnızca 60Hz’i bastıran bir filtre değil, aynı zamanda tüm harmoniklerini bastıracak bir Comb filtre tasarlamak gerekmektedir. Şekil 2.7’de Comb filtreden geçen sinyal verilmektedir.



Şekil 2.7. Comb filtreden geçmiş sinyal

Bu adımlardan sonra sinyal işlenebilecek hale gelmiştir. Şimdi ise fark alma işlemi yapılarak sinyaldeki en keskin tepeler bulunmaktadı. Bunlar R noktalarının bulunmasını sağlayacaktır. Ardından da bu R noktalarının sağında ve solunda kalan en düşük seviyedeki noktalar bulunacaktır. Bunlar da Q ve S noktalarını verecektir.



Şekil 2.8. R noktaları işaretlenmiş sinyal

Şekil 2.8’de sinyalin Q, R ve S noktalarının tespiti gerçekleştirilmiştir. İşaretlenen bu noktaları kullanarak yazılan kodun ardından her aritmi tipindeki vuruşlara ait QRS genlik, RR aralık, QRS genişlik ve QRS alanı olmak üzere 4 adet öznitelik tespit edilmiştir.

2.3.3. Frekans uzayı öznitelikleri

Frekans alanı özniteliklerinin çıkarılmasında, Fourier Dönüşümü (FD), Kısa Zamanlı Fourier Dönüşümü (KZFD), Sürekli Dalgacık Dönüşümü (SDD), Ayrık Dalgacık Dönüşümü (ADD) gibi farklı yöntemler mevcuttur. Bu çalışmada frekans uzayı öznitelik çıkarımı için ADD yöntemi kullanılmıştır.

Dalgacık analizi, yerel olmayan ve daha genel sinüs-kosinüs fonksiyonlarını kullanan Fourier tabanlı analizlerden farklı olarak, durağan olmayan sinyallerin çok daha efektif gösterimini sağlayan zaman ve frekans boyutunda sınırlandırılmış bir tabanı kullanır. Bu nedenle durağan olmayan işaretlerin gösteriminde, dalgacık analizi ile yapılan zaman-frekans çözünürlüğü çok daha iyi sonuç vermektedir (Çankaya, 2002).

Dalgacık Dönüşümü (DD), Fourier dönüşümünün dinamik sinyallerdeki eksiklerini gidermek için geliştirilmiş farklı bir dönüşüm yöntemidir. Bu analiz yöntemi gürültüye karşı daha az hassasiyet göstermekte ve dinamik sinyallere rahatlıkla uygulanabilmektedir. Bundan dolayı sinyal işleme ile uğraşanların ilgisi frekans tabanlı FD’den ölçek tabanlı DD doğru kaymıştır (Pekçakar, 2008).

DD, günümüzdeki kullanımında SDD ve ADD olarak iki farklı sınıfı mevcuttur. SDD, yüksek frekans zaman özelliklerinin zamanda isteğe bağlı yüksek lokalizasyonunu sağlayarak KZFD’den farklı olan bir zaman analiz metodudur. SDD, bunu gözlemin ölçeği ile ilgili değişken bir pencere genişliği olarak yapar (Addison, 2005).

SDD (2.1) eşitliği ile tanımlanır.

$$CWT(a,b) = \int_{-\infty}^{\infty} x(t)\psi_{a,b}^*(t)dt \quad (2.1)$$

Eşitlik (2.1)'de CWT (Continuous Wavelet Transform yani SDD), a ; ölçekleme faktörü (genleştirme/sıkıştırma katsayısı) ve b ; zaman eksenini boyunca kaydırma katsayısını, $x(t)$ analiz sinyalinin ve üst simge yıldız kompleks konjigasyonu gösterir.

$\psi_{a,b}(\cdot)$ b zaman ve a ölçekte dalgacık ölçeklenerek elde edilir ve (2.2.) eşitliği ile verilmektedir.

$$\psi_{a,b}(t) = \frac{1}{\sqrt{|a|}} \psi\left(\frac{t-b}{a}\right) \quad (2.2)$$

Burada $\psi(t)$ dalgacık olarak gösterilir (Cvetkovic, 2008).

SDD, ana dalgacığın zaman düzleminde ötelenmiş ve ölçeklenmiş sürümleriyle çarpılan sinyalin tüm zaman boyunca toplamıdır. Bu işlemlerin sonucunda ölçeğe ve konuma bağlı olarak dalgacık katsayıları elde edilir. Eğer ölçekleme ve öteleme ikinin üsleri şeklinde seçilirse çözümlenmeler sürekli dalgacığa göre daha etkili ve doğru sonuç verir. Bu çeşit çözümlenmeye ADD denir (Tepe, 2007).

ADD'nde temel düşünce, SDD'ndeki ile aynıdır. Sayısal filtreleme teknikleri kullanılarak sayısal işaretin zaman-ölçek temsili elde edilmektedir. SDD, farklı ölçeklerdeki dalgacık ile işaret arasındaki ilişkiyi belirtmektedir. Burada benzerlik ölçütü ölçek ya da frekanstır. SDD, analiz penceresinin ölçeği değiştirilerek, bu pencere zamanda kaydırılarak, işaretle pencerenin çarpımı alınarak ve tüm zaman üzerinden entegrali alınarak hesaplanır. Ayrık durumda ise işareti farklı ölçeklerde analiz etmek için farklı kesim frekanslarına sahip filtreler kullanılmaktadır. İşaretteki yüksek frekanslı değişimleri analiz etmek için işaret yüksek geçiren filtreler serisinden, alçak frekanslı değişimleri analiz etmek için ise alçak geçiren filtreler serisinden geçirilir.

İşaretteki ayrıntı bilgisinin miktarının ölçütü olan işaret çözünürlüğü filtreleme işlemi ile değiştirilmektedir. Üst-örnekleme ve alt-örnekleme işlemleri ile de ölçek değiştirilmektedir. Alt-örnekleme, örnekleme oranının düşürülmesine ya da işareten

bazı örnekleri atmaya karşılık gelmektedir. Üst-örnekleme ise işarete yeni örnekler ilave edilerek işaretin örnekleme oranının artırılmasına karşılık gelmektedir.

Ayrık zaman işaretini $(x(n), n$ tamsayı) darbe cevabı $h(n)$ olan yarım bantlı sayısal alçak geçiren filtreden geçirerek işlemler başlatılır.

$$x(n) * h(n) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} h(k).h(n-k) \quad (2.3)$$

ADD, $f(T)$ işaretini aşağıdaki formüle göre farklı bantlara böler.

$$f(t) = \sum_k c_{j_0}(k) \varphi_{j_0,k}(t) + \sum_k \sum_{j=j_0}^{\infty} d_j(k) \psi_{j,k}(t) \quad (2.4)$$

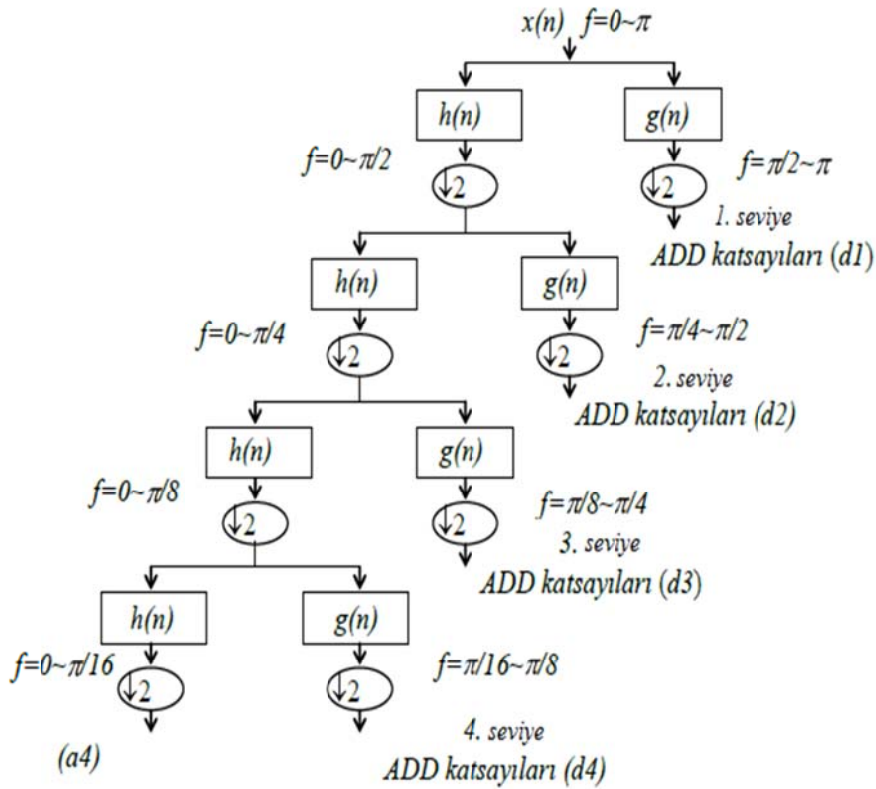
Böylece ana fonksiyon ψ ile ifade edilen dalgacık fonksiyonlarına ve baba fonksiyon φ ifade edilen ölçekleme (bant) fonksiyonlarına bölünmüş olur.

$$\psi_{j,k}(t) = 2^{j/2} \psi(2^j t - k) \quad (2.5)$$

$$\varphi_{j,k}(t) = 2^{j/2} \varphi(2^j t - k)$$

ψ ile ifade edilen dalgacık fonksiyonları ile alçak geçiren filtre çıkışındaki işaretin alt-örneklemeyle elde edilen işaret *yaklaşıklık katsayıları* olarak adlandırılır. φ ifade edilen ölçekleme (bant) fonksiyonları ile yüksek geçiren filtre çıkışındaki işaretin alt-örneklemeyle elde edilen işaret ise *ayrıntı katsayıları* olarak adlandırılır (Nizam, 2008).

Çalışmada dördüncü seviyeden bir dalgacık ağacı kullanılmış ve dördüncü seviyeye ait ayrıntı katsayıları hesaplanmıştır. Şekil 2.9'da kullanılan dalgacık ağacı verilmektedir.

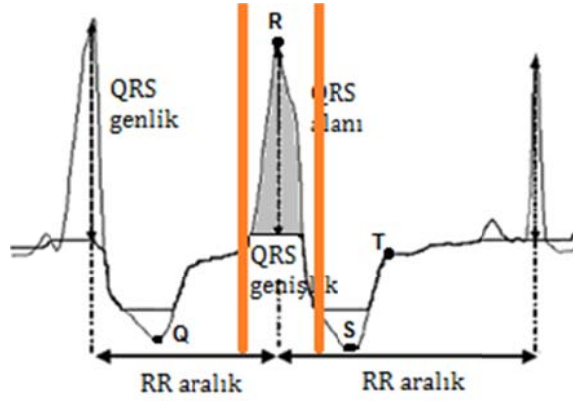


Şekil 2.9. Çoklu çözünürlüklü analiz ile ADD ağacı

Şekil 2.9’da $h(n)$ alçak geçiren filtreyi, $g(n)$ yüksek geçiren filtreyi temsil etmektedir. Alçak geçiren filtre sonucunda yaklaşıklık katsayıları, yüksek geçiren filtre sonucunda ayrıntı katsayıları elde edilmektedir.

ADD, işareti, kaba bir yaklaşıklık işarete ve ayrıntı işaretine ayrıştırarak işareti farklı frekans bantlarında farklı çözünürlüklerde analiz eder. ADD iki fonksiyon kümesi kullanır. Bunlar; alçak geçiren filtreye karşılık gelen ölçekleme ve yüksek geçiren filtreye karşılık gelen dalgacık fonksiyonudur. İşareti farklı frekans bantlarına ayrıştırmak, zaman uzay işaretini art arda yüksek ve alçak geçiren filtrelerden geçirerek sağlanır. Orijinal $x(n)$ işareti önce yarım bantlı yüksek geçiren $g(n)$ filtresinden ve alçak geçiren $h(n)$ filtresinden geçirilir. Filtrelemeden sonra işarettaki en yüksek frekans π yerine $\pi/2$ olduğundan, Nyquist kriterine göre işarettaki örneklerin yarısı elimine edilebilir. Bu nedenle işaret 2 ile alt-örneklenir (Nizam, 2008).

Çalışmada şekilsel özelliklerde kullanılan her aritmi tipine ait aynı vurular kullanılmıştır. Ayırık Dalgacık Dönüşümüne verilecek olan veriler, her vuruya ait R tepesi öncesi 100ms, sonrası 150ms alınarak R çevreleri şeklinde hesaplanmış ve 91 örnekten oluşmaktadır. Elde edilen 91 örneklilik verinin yaklaşık olarak kalp vurusu üzerinde nereden alındığına dair görsel Şekil 2.10'da verilmektedir.



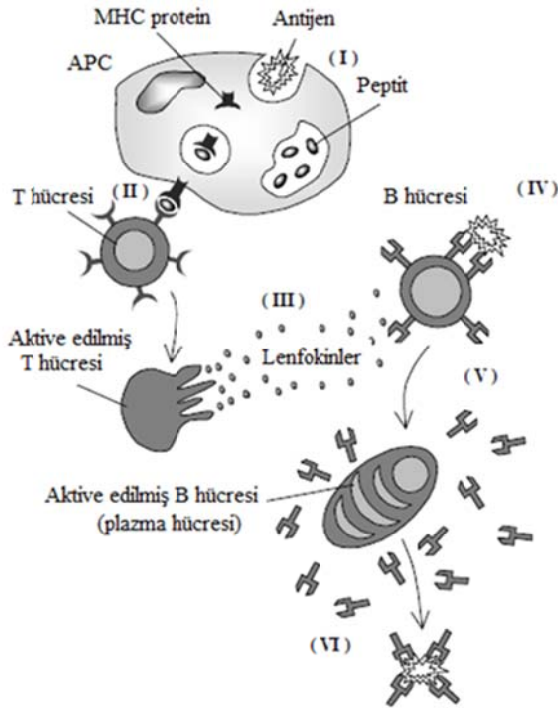
Şekil 2.10. Frekans alanı öznitelikleri için vurunun 91 örneklilik kısmı

APC, LBBB, Normal, RBBB, SVTA aritmi tiplerinin toplamda 2353 adet vurunun 91 örneklilik kısımları çıkarılmıştır. Çalışmada, dalgacık ailelerinden Coiflets2, Daubechies2, Daubechies4, Daubechies5, Daubechies6, Daubechies10, Symlets6 filtreleri kullanılmış ve 4.seviye ADD ayrıştırma katsayıları elde edilmiştir.

BÖLÜM 3. YAPAY BAĞIŞIKLIK SİSTEMİ

3.1. Biyolojik Bağışıklık Sistemi

Hormonel ve sinir sistemi ile birlikte çalışan bağışıklık sistemi, çeşitli hücre ve moleküllerin kümesinden oluşmaktadır. Bağışıklık sisteminin temel görevi insan vücudunu genelde patojen olarak bilinen (örneğin virüs, bakteri ve diğer parazitler gibi) bulaşıcı ajanlardan korumaktır. Bağışıklık cevabı antijen tarafından ilişkili bir molekülün tahrik edilmesidir. Bağışıklık cevabı doğal ve kazanılmış bağışıklık isminde iki mekanizmayla çalışır. Doğal bağışıklık sistemi vücuda giren patojenlere karşı direkt etkili iken kazanılmış bağışıklık herhangi bir işgale karşı doğuştan gelen sistemle saldıramayan ve bir saldırı başlatmaya izin veren sistemdir (Al-Enezi, 2010). Bağışıklık sisteminin koruma mekanizması Şekil 3.1’de verilmektedir (De Castro, 1999).



Şekil 3.1. Bağışıklık sisteminin koruma mekanizması

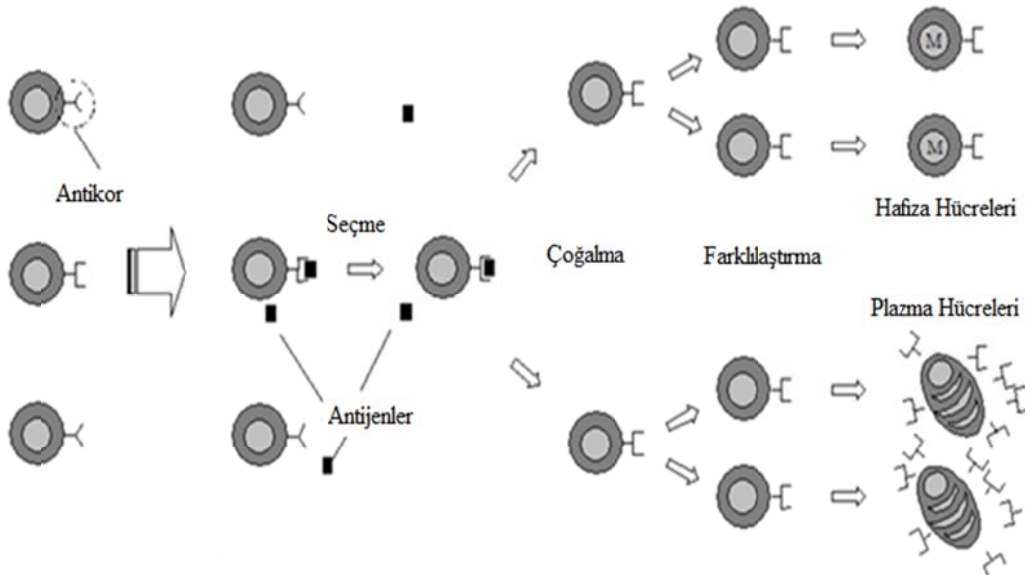
Vücudumuz, çok sayıda molekül ve hücre ordusu tarafından korunmaktadır. Tüm bağışıklık cevabının en büyük hedefi, genellikle yabancı bir molekül olan antijen (Ag) dir.

- (I) Makrofajlar gibi özel antijen sunan hücreler (APC hücreleri) vücutta dolaşırlar. Buldukları antijenleri sarmalayıp parçalayarak antijenik peptitlere bölerler.
- (II) Bu peptitlerin parçaları majör histocompatibility complex (MHC) moleküllerine bağlanırlar ve hücrenin yüzeyinde gösterilirler. Diğer beyaz kan hücrelerinin (T hücreleri veya T lenfositleri olarak adlandırılan) her biri farklı peptit MHC kombinasyonunu tanıma kabiliyeti olan reseptör moleküllerine sahiptirler.
- (III) Bu tanıma aracılığıyla aktivasyonu sağlanan T hücreleri bölünerek lenfokin (yani kimyasal işaretler) salgırlar. Bunlar bağışıklık sisteminin diğer bileşenlerini harekete geçirir.
- (IV) Yüzeylerinde tek özellikli reseptör moleküllerine sahip B lenfositleri bu sinyallere cevap verir. Bununla birlikte, T hücrelerinin reseptörlerinden farklı olarak B hücrelerinin reseptörleri MHC molekülleri olmaksızın solüsyondaki serbest antijen parçalarını tanıyabilirler.
- (V) B hücreleri aktif edildiğinde bölünürler ve plazma hücrelerine dönüşürler. Plazma hücreleri antikor proteinleri salgırlar. Bunlar reseptörlerin çözülebilir formlarıdır.
- (VI) Buldukları antijenlere bağlanmak suretiyle antikorlar bunları nötralize ederler veya onların tahribatını tamamlayıcı enzimler salgılayarak ya da çöpçü hücreler vasıtasıyla hızlandırırlar (De Castro, 1999).

Bağışıklık sisteminin özellikleri; kendi kendine organize olabilme, öğrenme ve hafıza, adaptasyon, tanımlama ve fark etme, sağlamlık ve ölçeklenebilirliktir (Timmis, 2008).

Tez kapsamında klonlama seçimi teorisinden esinlenilerek yapılan standart KSA'nın Matlab ortamında programlanarak yazılımı gerçekleştirilmiştir. Ayrıca yeni bir KT-KSA yazılımı da gerçekleştirilmiştir. Bu nedenle klonlama seçimi teorisi ayrıntılı olarak incelenecektir.

Klonlama seçimi teorisi Burnet tarafından 1959 yılında önerilmiştir (Burnet, 1959). Teori antijen uyarısı için kazanılmış bağışıklık sisteminin temel cevabını açıklamak için kullanılmıştır. Temel düşünce antikorların antijenlere olan benzerliklerine bakılarak en yüksek benzerliğe sahip olan antikorlar seçilir iken, bir antijeni tanıma kabiliyeti olan sadece bu hücrelerin (antikorlar) çoğalmasdır. Klonlama seçimi operatörleri B ve T hücreleridir. B hücreleri bir antijen ile onların antikorlarına bağlandığı zaman aktive edilir, plazma ve hafıza hücreleri içinde farklılaşır. B hücreleri kopyaları üretilir ve somatik hipermutasyon geçirir. Sonuç olarak çeşitlilik B hücresi nüfusu içinde başlatılır. Plazma hücreleri antijene karşı çalışan belirli-antijen antikorları üretir. Hafıza hücreleri ev sahibi ile kalır ve hızlı bir ikinci cevabı teşvik eder (De Castro ve Timmis, 2003). Klonlama seçimi teorisinin biyolojik gösterimi Şekil 3.2'de verilmektedir (De Castro, 2000).



Şekil 3.2. Biyolojik klonlama seçimi teorisinin gösterimi

Şekil 3.2’de kemik iliği tarafından üretilen B hücrelerinin yani antikörlerin antijenlere olan benzerliklerine bakılarak en yüksek benzerliğe sahip olan antikörlerin seçilmesi ve çoğaltılması gösterilmektedir. Çoğaltılmış olan bu yeni antikörler mutasyon işlemine tabi tutularak antikörlerin farklılaşması sağlanır. Yeni oluşan bu antikörlerin antijenlere olan uyumları tekrar kontrol edilir ve antijenlere olan duyarlılıkları fazla olanlar antikörler hafıza hücrelerine, antijenlere olan duyarlılıkları az olanlar plazma hücresine dönüşürler. Bağışıklık sisteminin farklı antijenleri tanıma kabiliyeti bu güncellemeler sayesinde artmış olur.

3.2. Yapay Bağışıklık Sistemi (YBS)

YBS, YSA ve GA’lara benzer şekilde, insan vücudundaki biyolojik bağışıklık sisteminin özet modelidir ve birçok alanda uygulaması bulunmaktadır. Tanım olarak YBS, teorik bağışıklık ve karmaşık problem uzaylarına uygulanan gözlemlenmiş bağışık fonksiyonlar, ilkeler ve modellerden esinlenmiş hesapsal sistemlerdir (De Castro ve Timmis, 2002).

YBS alanındaki çalışmalar 1990’lı yılların sonlarına doğru ivme kazanmaya başlamıştır. YBS alanında ilk olarak bağışıklık sistemlerini temel alan hesaplama modelleri inşa etme amacıyla teorik tartışmalar ve uygulamalar gerçekleştirilmiştir. Araştırmacıların bazıları tam olarak bağışıklık sistemini simüle etmeye çalışmışlar bazıları da bilgi işleme mantığıyla bağışıklık sistemini kullanmaya çalışmışlardır.

YBS’yi tasarlamak için bazı temel unsurlar gerekmektedir. Bunlar; sisteme ait parçaların gösteriminin yapılabileceği bir ortam, sistemdeki parçaların çevreyle ve birbirleriyle ilişkisini değerlendirecek mekanizmalar ve sistem dinamiklerini yöneten ve kontrol eden adaptasyon prosedürleridir (De Castro, 2002).

YBS’nin tasarım süreci çok katmanlı bir yapıya sahiptir. YBS’nin katmanlı yapısı Şekil3.3’de verilmektedir.



Şekil 3.3. YBS'nin çok katmanlı yapısı

Bir YBS tasarımında ilk önce “uygulama alanı” seçilmelidir. Uygulama alanı sistemin temelini oluşturur. Daha sonraki adım olan “gösterim” uygulama alanının karakteristiğine uygun olarak seçilmelidir. “duyarlılık ölçütleri” de bu gösterimler temel alınarak oluşturulmalıdır. Son aşamada ise “bağışıklık algoritmaları”nın seçimi gelir.

Perelson ve Oster antijen ve antikor arasındaki etkileşimi açıklamak amacıyla “şekil uzay” kavramını sunmuşlardır (Perelson, 1979). YBS’lerde, sisteme ait parçaların belirli yöntemler yardımıyla gösteriminin yapıldığı ortama “şekil uzayı” (shape space) denilmektedir. Sistemi oluşturan parçalar arasındaki etkileşimlerin değerlendirilmesi amacıyla kullanılan ölçü birimi ise “benzerlik ölçüsü” (affinity measure) olarak adlandırılmaktadır (Baykasoğlu, 2012). Şekil uzay kavramı pek çok YBS çalışmasında kullanılmıştır. Antijenler ve antikorlar özellik sayıları olan L boyutlu uzayda temsil edilmiştir. Öklid, Manhattan ve Hamming uzaklık ölçütleri ile şekil uzayında çeşitli çalışmalar gerçekleştirilmiştir (Perelson, 1979).

Bu çalışmada uygulama alanı olarak aritmi teşhisi seçilmiştir. Gösterim olarak aritmilere ait öznitelikler -1 ile 1 arasına çekilmiştir. Benzerlik olgunlaşması duyarlılık ölçütleri ile ölçülür. Bu çalışmada duyarlılık ölçütü tam sayı ve reel değerlerden oluştuğundan Öklid uzaklık ölçütü (3.1) kullanılmıştır.

$$D = \sqrt{\sum_{i=1}^L (Ab_i - Ag_i)^2} \quad (3.1)$$

Antikorların antijenlere yanıt üretebilmeleri için onları tanımaları gerekmektedir. Tanıma işlemi için ise antikorların antijene olan duyarlılıklarının belirli bir eşik seviyesini aşması gereklidir ki bu duyarlılıklar da uzaklık ölçütleri kullanılarak hesaplanır (Özşen, 2008). Literatüre bakıldığında uzaklık ölçütü olarak çoğunlukla Öklid uzaklık ölçütü kullanılmıştır (De Castro ve Von Zuben 1999). Oluşturulan geçici antikorlar benzerlik ölçüsü ile test edilir. Buna göre geçici antikor popülasyonundaki antikorlar ile kalıcı antikor popülasyonundaki antikorlar arasında uzaklık ölçütünü kullanarak benzerlikleri hesaplanır (De Castro, 2000).

Antijenler ve antikorların gösterimi reel değerli vektörler ise Manhattan uzaklık ölçütü (3.2) kullanılır.

$$D = \sum_{i=1}^L |Ab_i - Ag_i|^2 \quad (3.2)$$

Antijenler ve antikorlar binary sembollerle ifade edilirse Hamming uzaklık ölçütü (3.3) kullanılır.

$$D = \sum_{i=1}^L \delta, \quad \delta = \begin{cases} 1 & Ab_i \neq Ag_i \\ 0 & \text{diğer} \end{cases} \quad (3.3)$$

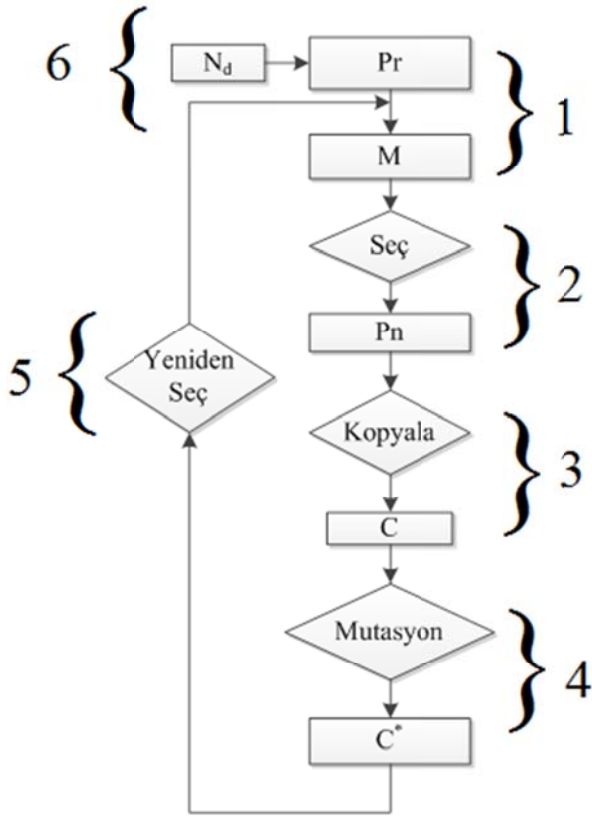
Yukarıdaki eşitliklerde kullanılan D kısaltması Distance (Uzaklık), Ab kısaltması Antikoru, Ag kısaltması Antijeni, ve L ise özellik sayısını temsil etmektedir. Eşitlik (3.3)' de kullanılan δ kısaltması ise binary diziyi ifade etmektedir (Polat, 2004).

Bilim adamları ve mühendisler bağışıklık sisteminden esinlenerek dört ana YBS algoritması geliştirmişlerdir. Bu algoritmalar; negatif seçim algoritması, yapay bağışıklık ağları, KSA ve tehlike bağışık ağlarıdır (Dasgupta,2011). YBS çalışmalarının büyük bir kısmı klonlama seçim teorisine dayanmaktadır (Timmis, 2006).

3.3. Klonlama Seçim Algoritması (KSA)

KSA, bir antijenik uyarıcının bağışıklık tepkisinin temel özelliklerini açıklamak için bağışıklık sistemini kullanan bir algoritmadır. Bu prensip sadece antijenlerin hızlıca çoğalmasını sağlayacak hücrelere uygulanır. KSA iki temel esas üzerine şekillenmiştir. Birincisi sadece antijeni tanıyan hücreler (antikorlar) çoğalma için seçilirler, ikincisi seçilen ve çoğalan hücreler duyarlılık olgunlaşması işlemine tabi tutularak, antijene olan duyarlılıkları artırılır (Polat, 2004).

KSA'nın akış diyagramı Şekil 3.4'de verilmektedir (De Castro, 2000; Polat, 2004).



Şekil 3.4. Klonlama Seçim Algoritması akış diyagramı

Adım 1. Hafıza hücrelerinin bir kısmının (M), geri kalan popülasyona (P_r) ilave edilmesi ($P=P_r+M$) ile elde edilen hücreler kümesinden oluşmuş aday çözümler seti (P) üret.

Adım 2. P popülasyonundan benzerlik ölçümüne göre en iyi n bireyi (P_n) belirle.

Adım 3. Popülasyondaki bu en iyi bireyi, klonların (C) geçici bir popülasyonunu oluşturmak için kopyala.

Adım 4. Kopyaların popülasyonunu hipermutasyon işlemine tabi tut ve olgunlaşmış antikor popülasyonu (C^*) üret.

Adım 5. Hafıza hücre setini oluşturmak amacıyla C^* 'den gelişmiş bireyleri tekrar seç (P setinin bazı üyeleri C^* 'nin bazı gelişmiş üyeleri ile yer değiştirebilir).

Adım 6. Farklılaşmayı sağlamak amacıyla popülasyonun düşük benzerlikli antikorların (d) yeni üretilmiş bireylerle yer değiştirir. d adet birey M hafıza hücresi ile yer değiştirir (De Castro, 2000; Polat, 2004).

Klonlama işleminde benzerlik (duyarlılık) oranına göre kopyalama işlemi gerçekleştirilmesi gerekmektedir. Ancak literatürdeki çalışmalarda genelde CLONALG gibi hazır paket programlar vasıtasıyla uygulamalar gerçekleştirilmiştir. Aslında hazır paket programın kullanılması uygulamanın doğruluğunu konusunda bazı şüpheleri de uyandırmaktadır. Çünkü her sistem kendine göre farklı özel durumları içermektedir. Bazı sistemlerde gösterim olarak 0 ve 1 kullanılır iken bazı sistemlerin gösteriminde reel değerler mevcuttur. Gösterimin reel veya binary olması sistemde kullanılması gereken benzerlik ölçütünün (Öklid, Manhattan, Hamming) seçiminde doğrudan etkilidir. Her sistemde giriş değişken sayısı farklıdır. Giriş değişken sayısı benzerlik ölçütü içerisindeki parametrelerin değişmesine neden olmaktadır. Hazır program kullanmayan çalışmacıların ise kopyalama işleminde standart olarak iki kez kopyalama yaptıkları anlaşılmaktadır.

Ayrıca standart KSA'ya göre olgunlaşma sonrasındaki tekrar seçme işleminde farklılaşmayı sağlamak amacıyla yeni üretilmiş bireylerle popülasyonun düşük benzerlikle antikorları yer değiştirilme işlemi yapılmaktadır. Bu da düşük benzerlikteki birey sayısı doğrultusunda hafıza hücresinin kullanıldığı anlamına gelmektedir. Böylece yüksek benzerlikteki tüm bireylerin bütün hafıza hücreleri olarak kullanılmadığı ortaya çıkmaktadır.

3.4. Koşul Tabanlı - Klonlama Seçim Algoritması (KT-KSA)

Tez kapsamında geliştirilen KT-KSA klonlama sayısı koşul tabanlı olarak belirlenmektedir. Ayrıca farklılaşmayı sağlamak amacıyla popülasyonda düşük benzerlikteki bireyler silinip, yeni üretilmiş yüksek benzerlikteki tüm bireyler popülasyona dâhil edilmektedir. Böylece yüksek benzerlikteki bütün hafıza hücreleri kullanılmaktadır.

KT-KSA kısaca anlatılırsa; Öklid benzerlik ölçüsü kullanılarak antikorlar ile antijenler arasındaki mesafe ölçümü yapılır. En kısa mesafeye sahip antikorlar seçilir. Böylece antijenlere en duyarlı olan antikorlar belirlenmiş olur. Seçilen antikorlar, klonlama sayısına göre kopyalanır. Olması gereken duyarlılık gücüne göre klonlama sayısı belirlenmektedir. Klonlama sayısının belirlenmesi için koşul tabanlı bir sistem kullanılmaktadır.

IF duyarlılık oranı = az THEN kopya sayısı = 1

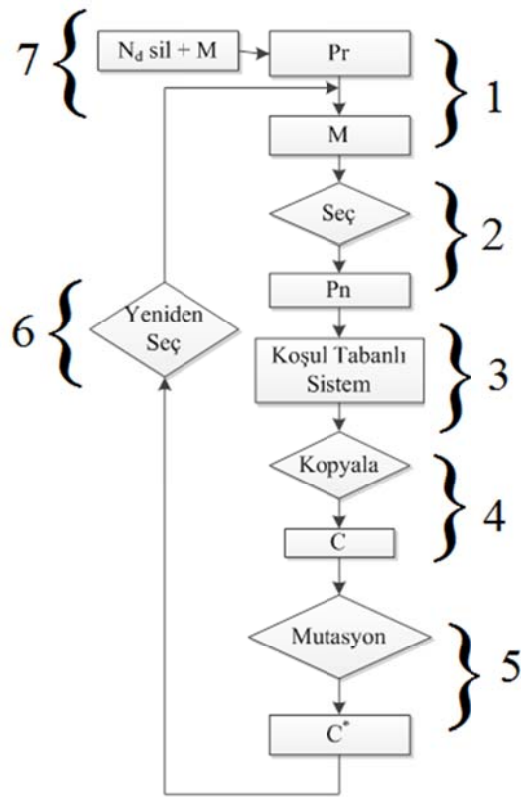
IF duyarlılık oranı = orta THEN kopya sayısı = 2

IF duyarlılık oranı = normal THEN kopya sayısı = 3

IF duyarlılık oranı = güçlü THEN kopya sayısı = 4

Klonlama işleminden sonra mutasyon işlemi gerçekleştirilir. Mutasyon işleminde de koşul tabanlı sistemde belirlenen katsayılar kullanılır. Mutasyon işleminden sonra üretilen antikorların antijeni ne kadar iyi tanıdığını anlamak için tekrar bir seçme işlemi yapılır. Seçme işleminde de yine benzerlik ölçüsü olarak Öklid formülü kullanılır. Antijenlerin antikorlarla olan mesafe değerleri minimum ve maksimum mesafesi bulunup ortalama değer hesaplanır. Ortalama değeri geçen antikor hücreleri hafıza hücresi olarak saklanır ve diğer antikorlar yok edilir. Böylelikle antijeni en iyi tanıyan antikorlar belirlenmiş olmaktadır. Son olarak popülasyondaki düşük benzerlikteki bireyler silinip, yeni üretilmiş yüksek benzerlikteki tüm bireyler popülasyona dâhil edilmektedir. Böylece eğitim işlemi tamamlanmış olmaktadır.

KT-KSA'nın akış diyagramı Şekil 3.5'te verilmektedir.



Şekil 3.5. Koşul Tabanlı - Klonlama Seçim Algoritması akış diyagramı

Adım 1. Hafıza hücrelerinin bir kısmının (M), geri kalan popülasyona (P_r) ilave edilmesi ($P=P_r+M$) ile elde edilen hücreler kümesinden oluşmuş aday çözümler seti (P) üret.

Adım 2. P popülasyonundan benzerlik ölçümüne göre en iyi n bireyi (P_n) belirle.

Adım 3. Koşul tabanlı bir sistem kullanarak popülasyondaki bu en iyi n bireyi, duyarlılıkları ölçüsünde klonlama adedini belirle.

Adım 4. Klonlama işlemi yap ve C kopyakümesini oluştur.

Adım 5. Klonların popülasyonunu hipermutasyon işlemine tabi tut ve C^* kümesini oluştur.

Adım 6. Hafıza hücre kümesi (M) oluşturmak amacıyla C^* 'den gelişmiş bireyleri tekrar seç.

Adım 7. Farklılaşmayı sağlamak amacıyla popülasyonun düşük benzerlikteki N_d adet antikorlara sahip bireyleri sil ve yeni üretilmiş hafıza hücreleri (M) ekle.

Böylece popülasyonda düşük duyarlılık bireyler yok edilmiş ve yüksek duyarlılık tüm bireyler popülasyona eklenmiş olur.

3.5. En Yakın k Komşu (kNN) Algoritması

Bellek tabanlı sınıflandırma yöntemlerinden biri olan kNN algoritması geniş bir uygulama alanı bulmuştur. Örüntü tanımada etkili parametrik olmayan metotlar ve klasik yöntemlerden birisi kNN algoritmasıdır. (Cover, 1968). Algoritma, sınıfları belli olan bir örnek kümesindeki gözlem değerlerinden yararlanarak, örneğe katılacak yeni bir gözlemin hangi sınıfa ait olduğunu belirlemek amacıyla kullanılır (Özkan, 2008).

kNN algoritmasına göre, sınıfları belli olan kümedeki gözlemlerin her birinin, sınıfı/sınıfları belli olmayan gözlem değeri/değerlerine olan uzaklıklarının hesaplanması ve en küçük uzaklığa sahip k sayıda gözlemin seçilmesi esasına dayanmaktadır. Uzaklıkların hesaplanmasında Öklid uzaklık formülü kullanılmaktadır.

Uygulamada k değeri 100 olarak belirlenmiştir. K parametresi sınıfı belli olmayan gözlem değerine en yakın komşuların sayısıdır. Sınıfı belli olan yani eğitim kümesindeki tüm değerler ile sınıfı belli olmayan yani test kümesindeki tüm değerler arasındaki Öklid formülü kullanılarak uzaklıklar belirlenmektedir. Uzaklıklar küçükten büyüğe sıralanmakta ve en küçük k tanesi seçilmektedir. Seçilen satırların hangi sınıfa ait oldukları belirlenmekte ve en çok tekrar edilen sınıf değeri seçilmektedir. Seçilen sınıf, tahmin edilmesi beklenen gözlem değerinin sınıfı olarak kabul edilmektedir

BÖLÜM 4. VERİ KÜMESİ, SINIFLANDIRICILAR VE UYGULAMA SONUÇLARI

4.1. Veri Kümesi

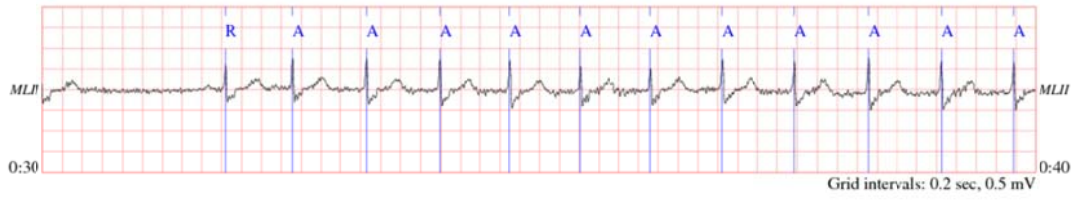
Çalışmada, Physionet veri tabanından elde edilen uzman kardiyologlar tarafından etiketlenmiş olan MLII derivasyonuna ait EKG kayıtları kullanılmıştır (Goldberger, 2000; Moody, 2001). Kullanılan MLII derivasyonu çevre derivasyonlarında bipolar derivasyon içerisinde yer alan II nolu derivasyona benzemektedir. MLII derivasyonunda R noktaları çok daha belirgin olarak gözükmemektedir ve laboratuvar ortamında da elde edilebilecek bir derivasyon çeşididir.

Çalışmada kullanılan aritmi tiplerinin Physionet veri tabanındaki gösterimi ve açıklamaları Tablo 4.1’de verilmektedir.

Tablo 4.1. Kullanılan aritmi tiplerinin gösterimi ve açıklamaları

Physionet Gösterimi	Açıklaması	Çalışmadaki Gösterimi
A	Atrial premature contraction (Kulakçık erken kasılması)	APC
L	Left bundle branch block (Sol dal bloğu)	LBBB
. veya N	Normal beat (Normal vuru)	NORMAL
R	Right bundle branch block (Sağ dal bloğu)	RBBB
(SVTA	Supraventricular tachyarrhythmia (Yukarı karıncık hızlı nabız)	SVTA

Aritmi tiplerine ait Physionet veritabanı ait görüntüler Şekil 4.1’de APC, Şekil 4.2’de LBBB, Şekil 4.3’de NORMAL, Şekil 4.4’de RBBB ve Şekil 4.5’de SVTA olarak verilmektedir. Şekillerde görülen her vuru, iki veya daha fazla kardiyoloji uzmanı tarafından belirlenmiş ve aritmi tiplerine göre etiketlenmiştir.



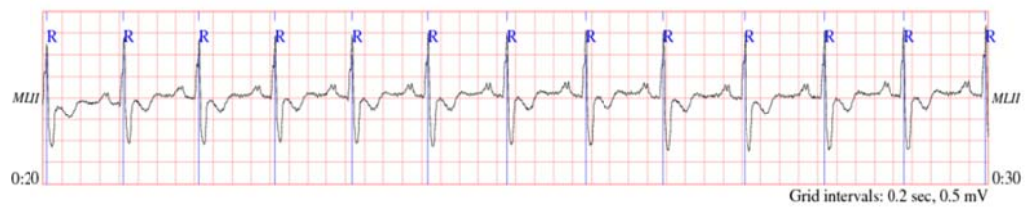
Şekil 4.1. MLII derivasyonuna ait 10 saniyelik APC vurusuna ait kayıt



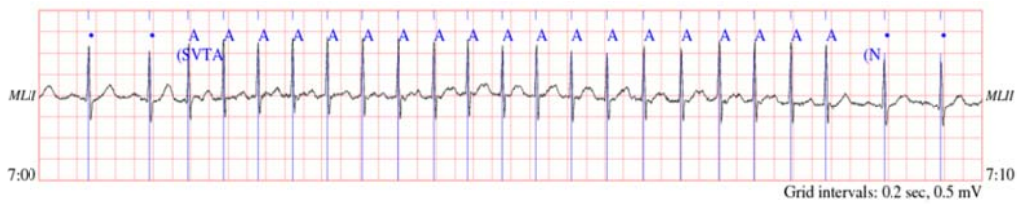
Şekil 4.2. MLII derivasyonuna ait 10 saniyelik LBBB vurusuna ait kayıt



Şekil 4.3. MLII derivasyonuna ait 10 saniyelik Normal vurusuna ait kayıt



Şekil 4.4. MLII derivasyonuna ait 10 saniyelik RBBB vurusuna ait kayıt



Şekil 4.5. MLII derivasyonuna ait 10 saniyelik SVTA vurusuna ait kayıt

Eğitim ve test aşamasında kullanılan vuru sayıları Tablo 4.2.'de verilmektedir. Eğitim işlemi için 1716 adet vuru, test işlemi için 637 adet vuru kullanılmış olup, toplamda 2353 adet vuru kullanılmıştır.

Tablo 4.2. Eğitim ve test işlemlerinde kullanılan aritmilerin vuru sayıları

Aritmi Tipi	Eğitim	Test	Toplam
APC	334	112	446
LBBS	600	196	796
NORMAL	400	187	587
RBSB	250	98	348
SVTA	132	44	176
Toplam	1716	637	2353

Çalışmada znitelik çıkarma işlemi olarak şekilsel öznitelikler ve ADD 4. seviye ayrıntı katsayıları çıkarılmıştır. Toplamda 15 farklı öznitelik grubu elde edilmiştir. Eğitimde ve testte kullanılmak üzere toplam 2353 vuruya ait öznitelikler her öznitelik grubunda farklıdır. Satır sayısı özniteliği, sütün sayısı ise vuruyu temsil etmektedir. Tablo 4.3'de öznitelik gruplarının eğitim ve test değişkenlerine ait sayılar verilmektedir.

Tablo 4.3. Aritmi tiplerine ait öznitelik gruplarının satır ve sütün sayıları

No	znitelik Grubu	Satır ve sütün sayısı
1	şekilsel öznitelikler	<4x1716>
2	Coiflets2 katsayıları	<16x1716>
3	Daubechies2 katsayıları	<8x1716>
4	Daubechies4 katsayıları	<12x1716>
5	Daubechies5 katsayıları	<14x1716>
6	Daubechies6 katsayıları	<16x1716>
7	Daubechies10 katsayıları	<23x1716>
8	Symlets6 katsayıları	<16x1716>
9	şekilsel öznitelikler ve Coiflets2 katsayıları	<20x1716>
10	şekilsel öznitelikler ve Daubechies2 katsayıları	<12x1716>
11	şekilsel öznitelikler ve Daubechies4 katsayıları	<16x1716>
12	şekilsel öznitelikler ve Daubechies5 katsayıları	<18x1716>
13	şekilsel öznitelikler ve Daubechies6 katsayıları	<20x1716>
14	şekilsel öznitelikler ve Daubechies10 katsayıları	<27x1716>
15	şekilsel öznitelikler ve Symlets6 katsayıları	<20x1716>

1 nolu öznitelik grubu olan “şekilsel öznitelikler” de eğitim işleminde 4 satır ve 1716 sütün mevcuttur. 4 satır vuruya ait QRS genliği, RR aralığı, QRS genişliği ve QRS

alanı bilgilerini içermektedir. 1716 sütun ise 1716 adet vuruyu göstermektedir. Aynı şekilde test işlemi de 4 satır ve 637 sütundan oluşmaktadır.

2 nolu öznitelik grubu olan “Coiflets2 katsayıları” nda eğitim işleminde 16 satır ve 1716 sütun mevcuttur. 16 satır vuruya ait R çevresi etrafındaki 91 örneklik kısmın Coiflets2 dalgacık ailesi 4. seviye ayrıntı katsayıları bilgisini içermektedir. 1716 sütun ise 1716 adet vuruyu göstermektedir. Aynı şekilde test işlemi de 16 satır ve 637 sütundan oluşmaktadır.

9 nolu öznitelik grubu olan “Şekilsel Öznitelikler ve Coiflets2 katsayıları” nda eğitim işleminde 20 satır ve 1716 sütun mevcuttur. 20 satır vuruya ait hem QRS genliği, RR aralığı, QRS genişliği ve QRS alanı bilgilerini hem de R çevresi etrafındaki 91 örneklik kısmın Coiflets2 dalgacık ailesi 4. seviye ayrıntı katsayıları bilgisini içermektedir. 1716 sütun ise 1716 adet vuruyu göstermektedir. Aynı şekilde test işlemi de 20 satır ve 637 sütundan oluşmaktadır.

4.2. KSA'nın Uygulanması

Bu kısımda, aritmileri sınıflandırma işleminde KSA'nın nasıl uygulandığından bahsedilip, uygulamanın daha iyi anlaşılması açısından 1. Öznitelik Grubu olan “Şekilsel Öznitelikler” için algoritma çalıştırılmıştır. Öncelikle KSA'nda kullanılan terimleri ve açıklamaları vermek gerekmektedir. Bu terimler; Ab, antikorların bulunduğu eğitim kümesini; Ag, antijenlerin bulunduğu test kümesini; L, antikor uzunluğunu; M, mutasyon oranını ifade etmektedir.

Çalışmada kullanılan öznitelik gruplarına ait mutasyon oranları ve mutasyona uğrayan sütun numaraları Tablo 4.4' de verilmektedir.

Çalışmada KSA ve KT-KSA arasında mukayese yapmak ve 15 farklı öznitelik grubu arasında mukayese yapmak amaçlandığından “M” random olarak değil, sabit olarak belirlenmiştir.

Tablo 4.4. Öznitelik gruplarına ait mutasyon bilgileri

No	Öznitelik Grubu	L	M	Mutasyon Uğrayan Sütunlar
1	Şekilsel Öznitelikler	4	3	1, 3, 4
2	Coiflets2 katsayıları	16	9	1,3,5,7,9,10,12,14,16
3	Daubechies2 katsayıları	8	5	1, 3, 5, 6, 8
4	Daubechies4 katsayıları	12	7	1,3,5,7,8,10,12
5	Daubechies5 katsayıları	14	8	1,3,5,7,8,10,12,14
6	Daubechies6 katsayıları	16	9	1,3,5,7,9,10,12,14,16
7	Daubechies10 katsayıları	23	12	1,3,5,7,9,11,13,15,17,19,21,23
8	Symlets6 katsayıları	16	9	1,3,5,7,9,10,12,14,16
9	Şekilsel Öznitelikler ve Coiflets2 katsayıları	20	11	1, 3, 5, 7, 9, 11, 12, 14, 16, 18, 20
10	Şekilsel Öznitelikler ve Daubechies2 katsayıları	12	7	1,3,5,7,8,10,12
11	Şekilsel Öznitelikler ve Daubechies4 katsayıları	16	9	1,3,5,7,9,10,12,14,16
12	Şekilsel Öznitelikler ve Daubechies5 katsayıları	18	10	1,3,5,7,9,10,12,14,16,18
13	Şekilsel Öznitelikler ve Daubechies6 katsayıları	20	11	1, 3, 5, 7, 9, 11, 12, 14, 16, 18, 20
14	Şekilsel Öznitelikler ve Daubechies10 katsayıları	27	14	1,3,5,7,9,11,13,15,17,19,21,23,25,27
15	Şekilsel Öznitelikler ve Symlets6 katsayıları	20	11	1, 3, 5, 7, 9, 11, 12, 14, 16, 18, 20

Tablo 4.5’de; 1716 satır, 4 sütundan oluşan şekilsel özniteliklerin bulunduğu antikör kümesinin sadece 4 satırlık bir kısmı verilmektedir. QRS alanı, QRS genişliği, QRS genliği ve RR aralığı olmak üzere dört adet öznitelik değeri -1 ile +1 arasına normalize edilmiştir.

Tablo 4.5. Şekilsel özniteliklere ait Ab’nin ilk dört satırlık kısmı

QRS alanı	QRS genişliği	QRS genliği	RR aralığı
-1	-0,654586232552734	0,686330855396211	1
-1	-0,789938495478965	1	0,660275035984697
-1	-0,673994809901842	0,992807597878828	1
-1	-0,698732919371059	0,598455047520297	1

Tablo 4.6’da; 637 satır, 4 sütundan oluşan şekilsel özniteliklerin bulunduğu antijen kümesinin sadece 4 satırlık bir kısmı verilmektedir.

Tablo 4.6.Şekilsel özniteliklere ait Ag’nin ilk dört satırlık kısmı

QRS alanı	QRS genişliği	QRS genliği	RR aralığı
-1	-0,707951530468588	0,715600798335559	1
-1	-0,671812802118048	0,741009847563920	1
-1	-0,665542064394811	0,678469459289128	1
-1	-0,650490939528619	0,523999361162889	1

Öklid formülü kullanılarak Ab ile Ag arasındaki uzaklıklarlar Eşitlik (4.1) kullanılarak tek tek hesaplanır ve küçükten büyüğe doğru sıralanır. En küçük olan uzaklıktaki antikör alınarak Pn kümesi oluşturulur.

$$D = \sqrt{\sum_{i=1}^L (Ab_i - Ag_i)^2} \quad (4.1)$$

Pn Kümesi; Ab ile Ag arasında en yüksek duyarlılığa sahip antikorların oluşturduğu kümedir.

Eşitlik (4.1) kullanılarak elde edilen Pn kümesinin ilk dört satırlık kısmı Tablo 4.7’de verilmektedir.

Tablo 4.7. Şekilsel özniteliklere ait Pn kümesi

1.sütun	2.sütun	3.sütun	4.sütun
-1	-0,71087327555147	0,718347053199715	1
-1	-0,668910043872698	0,736617840972606	1
-1	-0,661933900484479	0,685199606922130	1
-1	-0,663953407365943	0,514992721165565	1

C Kümesi; Pn kümesindeki her satırın iki kere kopyalanması sonucu oluşur. Tablo 4.8’de gösterilen C kümesi normalde 8 satırdan oluşması gerekir. Gösterimi kolay olması açısından sadece 2 satırlık kısım kopyalanmış ve 4 satırlık olarak gösterimi gerçekleştirilmiştir.

Tablo 4.8. Şekilsel özniteliklere ait C kümesi

1.sütun	2.sütun	3.sütun	4.sütun
-1	-0,71087327555147	0,718347053199715	1
-1	-0,71087327555147	0,718347053199715	1
-1	-0,668910043872698	0,736617840972606	1
-1	-0,668910043872698	0,736617840972606	1

C* kümesi; mutasyon işleminden sonraki kümedir ve Tablo 4.9’da verilmektedir. Şekilsel öznitelikler için mutasyon oranı 3 olarak belirlenmiştir. Mutasyona uğrayacak sütunlar ise 1, 3 ve 4. sütunlardır. Mutasyon işleminde 1. satır ile 3. satırdaki mutasyona uğrayacak olan sütunlardaki değerler yer değiştirmektedir. 2. satır ile 4. satırdaki mutasyona uğrayacak olan sütunlar da yer değiştirmektedir.

Tablo 4.9. Şekilsel özniteliklere ait C* kümesi

1.sütun	2.sütun	3.sütun	4.sütun
-1	-0,71087327555147	0,736617840972606	1
-1	-0,71087327555147	0,736617840972606	1
-1	-0,668910043872698	0,718347053199715	1
-1	-0,668910043872698	0,718347053199715	1

Mutasyon sonucu olgunlaşan C* kümesindeki değerlerin hafıza hücresi olabilmesi için tekrar bir seçme işlemine tabi tutulurlar. Bu seçme işlemi sonucu, M hafıza hücreleri kümesi oluşur. Seçme işleminde tekrar Öklid formülü kullanılarak bu sefer C* kümesi ile antijenler arasında işlem yapılır. Uzaklık değerleri tek tek hesaplanır ve küçükten büyüğe doğru sıralanır.

Standart KSA'na göre antikor kümesindeki duyarlılığı kötü olan elemanlar ile M hafıza hücresindeki duyarlılığı yüksek olan elemanlar yer değiştirilir.

4.3. KT-KSA'nın Uygulanması

Klasik KSA'da olduğu gibi ilk olarak, Öklid formülü kullanılarak antikorlar kümesi ile antijenler kümesi arasındaki uzaklıklar tek tek hesaplanır. Antikorlar ve antijenler arasındaki uzaklıklar baz alınarak antikorlar küçükten büyüğe doğru sıralanır. En küçük olan uzaklıktaki antikor alınarak Pn kümesi oluşturulur.

Pn'den klonlama kümesini oluştururken yüksek duyarlılığa sahip bireyler daha fazla kopyalanır. Bunun için duyarlılık oranları hesaplanmıştır. Dört tip duyarlılık oranı oluşturulmuştur. Bu oranlar koşula bağlanarak klonlama sayısı oluşturulmuştur. Klonlama sayısı en yüksek 4'ten en az 1'e kadardır. En yüksek duyarlılık oranına sahip bireyler 4 kez kopyalanırken, en az duyarlılık oranına sahip bireyler 1 kez kopyalanır. Yani aynen kendisi kalır, kopyası oluşturulmaz.

C* kümesi; mutasyon işleminden sonraki kümedir. Şekilsel öznitelikler için mutasyon oranı 3 olarak belirlenmiştir. Mutasyona uğrayacak sütunlar ise 1, 3 ve 4. sütunlardır. Kopyalanan bireyler mutasyon işleminde de aynı oranda bu sefer satırlarda yer değiştirme işleminde kullanılmaktadır.

Mutasyon sonucu olgunlaşan C^* kümesindeki değerlerin hafıza hücresi olabilmesi için tekrar bir seçme işlemine tabi tutulurlar. Uzaklık değerlerinin minimum ve maksimumu bulunur. Bu değerlerin ortalaması alınır. Ortalama değerden küçük uzaklığa sahip C^* kümesi elemanları M hafıza hücrelerini oluşturur.

Antikor kümesindeki en kötü duyarlılığa sahip bireyler silinir ve M hafıza hücresine ait bireyler antikor kümesine dâhil edilir. Böylece eğitim kümesi genişlemiş olmaktadır. KT-KSA'ya ait genişlemiş eğitim kümesine ait veriler Tablo 4.10'da verilmektedir.

Tablo 4.10. Genişlemiş eğitim kümesine ait veriler

No	Öznitelik Grubu	Eğitim	KT-KSA Eğitim
1	Şekilsel Öznitelikler	<4x1716>	<4x3700>
2	Coiflets2 katsayıları	<16x1716>	<16x2050>
3	Daubechies2 katsayıları	<8x1716>	<8x3705>
4	Daubechies4 katsayıları	<12x1716>	<12x3955>
5	Daubechies5 katsayıları	<14x1716>	<14x2726>
6	Daubechies6 katsayıları	<16x1716>	<16x2738>
7	Daubechies10 katsayıları	<23x1716>	<23x2613>
8	Symlets6 katsayıları	<16x1716>	<16x2297>
9	Şekilsel Öznitelikler ve Coiflets2 katsayıları	<20x1716>	<20x2720>
10	Şekilsel Öznitelikler ve Daubechies2 katsayıları	<12x1716>	<12x3400>
11	Şekilsel Öznitelikler ve Daubechies4 katsayıları	<16x1716>	<16x3308>
12	Şekilsel Öznitelikler ve Daubechies5 katsayıları	<18x1716>	<18x2933>
13	Şekilsel Öznitelikler ve Daubechies6 katsayıları	<20x1716>	<20x2670>
14	Şekilsel Öznitelikler ve Daubechies10 katsayıları	<27x1716>	<27x2861>
15	Şekilsel Öznitelikler ve Symlets6 katsayıları	<20x1716>	<20x2240>

4.4. YSA'na Ait Parametreler

YSA'da FFN, PNN, CFBN ve RBN den oluşan dört farklı ağ modeli kullanılmıştır. YSA'na giriş verisi olarak sunulan 15 farklı öznitelik grubunda, özellikle ağ modellerinin çalışma parametreleri aynı değerler verilmektedir.

FFN, katmanlar serisi içerir. İlk katmanı ağ girişlerinden bir bağlantıya sahiptir. Her katman bir önceki katman ile bağlantılıdır. Son katman ağ çıktılarını üretir. İleri Beslemeli Ağlar çıktı eşleştirme için girişin herhangi bir çeşidi için kullanılabilir. Bir

İleri Beslemeli Ağ bir gizli katman ve gizli katmandaki yeterli nöron ile herhangi sonlu giriş çıkış eşleştirme probleminde kullanılabilir (Beale, 2012).

Ağ yapımında eğitim için 'trainlm', öğrenme için 'learnngdm', hata için 'mse' tipleri tercih edilmiştir. Oluşturulan FFN'de tek katmanlı bir mimari kullanılmış olup, ara katmanda nöron sayısı: 100, epoch sayısı: 1000000, goal: 0.01, lr: 0.01, min_grad: 1.000000e-010; mu: 0.01, mu_dec: 0.10, mu_inc: 10, mu_max: 1.000000e+010 olarak belirlenmiştir.

'trainlm' komutu Levenberg-Marquardt optimizasyonuna göre bias ve ağırlıkları güncelleyen bir ağ öğrenme fonksiyonudur. Levenberg-Marquardt optimizasyonu genelde en hızlı geri yayılım algoritmasıdır ve sıkça diğer algoritmalarından daha fazla hafıza gerektirmesine rağmen denetimli algoritmanın ilk seçeneği olarak kullanılır.

PNN, Donald Specht tarafından geliştirilen olasılıksal yoğunluk kestiriminin bir ağ formülasyonudur (Specht, 1990). PNN, temel kavram olarak olasılığa ve 'kazanan hepsini alır' mantığı ile rekabetçi öğrenmeye dayalı bir modeldir. PNN Bayes sınıflandırıcısı olarak adlandırılan istatistikte geliştirilen yaklaşımı takip ederek örüntü sınıflandırma problemleri için genel bir çözüm sağlar. PNN denetimli öğrenme kullanır, PNN'in eğitimi çok katmanlı ağlardan çok daha basittir (Temurtaş, 2009). PNN'de spread faktör 0.02 olarak belirlenmiştir. PNN'de eğitim çıkış değerleri -1 ile +1 arasında değil, pozitif sayılardan oluşmaktadır. Bu çalışmada PNN için eğitim çıkış değerleri; APC= 1, LBBB= 2, NORMAL= 3, RBBB= 4 ve RBBB= 5 olarak belirlenmiştir.

CFBN, katmanlarında nöronlar, giriş fonksiyonu ve özel transfer fonksiyonları içerir. İlk katman girişten gelen ağırlıklara sahiptir. Her alt katman girişten gelen ağırlıklar ve önceki katmanlardan gelen ağırlıklara sahiptir. Bütün katmanlar bias içerir. Son katman çıkış katmanıdır. Uyarlama, özelleşmiş öğrenme fonksiyonları ile ağırlıklar güncellenip eğitimler ile yapılır. Performans özelleşmiş performans fonksiyonuna göre ölçülendirilir (Beale, 2012).

Çalışmada standart bir ağ yapısı kullanılmış olup, tek yapılı bir mimaride 100 adet nöron kullanılmıştır.

RBN, iki katmanlı bir ağdır. İlk katman “radbas” nöronlarına sahiptir ve “dist” ile ilk katmanın ağırlıklı girişlerini, “netprod” ile ağ girişini hesaplar. İkinci katman purelin nöronlarına sahiptir ve “dotprod” ile ikinci katmanın ağırlıklı girişlerini, “netsum” ile ağ girişlerini hesaplar. Her iki katmanda bias mevcuttur (Beale, 2012). Çalışmada goal: 0.01, spread: 1, nöron sayısı: 500 olarak verilmektedir.

4.5. Sonuçların Değerlendirilmesi

Özellikle sağlık alanında yapılan çalışmalarda ortaya konulan sistemin güvenilirliği çok önemlidir. Bu nedenle doğruluk, hassasiyet ve kesinliklerinin tespit edilmesi gerekir. Tablo 4.11’ de LBBB için hassasiyet, kesinlik ve doğruluk için kullanılan hata matrisi gösterilmektedir.

Tablo 4.11. ROC parametreleri

Hata Matrisi		Sınıflandırıcının Sonuçları				
		APC	LBBB	NORMAL	RBBB	SVTA
Gerçek Sonuçlar	APC	TN	FP	TN	TN	TN
	LBBB	FN	TP	FN	FN	FN
	NORMAL	TN	FP	TN	TN	TN
	RBBB	TN	FP	TN	TN	TN
	SVTA	TN	FP	TN	TN	TN

TP: True Positive, FP: False Positive, TN: True Negative, FN: FalseNegative.

LBBB_TP: Gerçek sonuçlarda LBBB olanlardan, Sınıflandırıcı sonucunda LBBB çıkanların sayısı.

LBBB_FP: Gerçek sonuçlarda APC, NORMAL, RBBB, SVTA olanlardan, Sınıflandırıcı sonucunda LBBB çıkanların sayısı.

LBBB_FN: Gerçek sonuçlarda LBBB olanlardan, Sınıflandırıcı sonucunda APC, NORMAL, RBBB, SVTA sayısı.

LBBB_TN: Gerçek sonuçlarda APC, NORMAL, RBBB, SVTA olanlardan, Sınıflandırıcı sonucunda APC, NORMAL, RBBB, SVTA sayısı.

Sistemin güvenilirliğini gösteren formüller aşağıda verilmektedir. Sistemin çıkışında ikiden daha fazla sonuç varsa hassasiyet değerini temel almak gerekir. Bu çalışmada sistem çıkışı olarak aritmi sayısı olan beş farklı çıkış değeri mevcuttur. Bu nedenle hassasiyet değeri önemlidir. Eşitlik (4.2), (4.3) ve (4.4)'de gerekli formüller verilmektedir (Al-Fahoum,1999; Wang, 2001; Weinstein,2005; Fawcett, 2006).

$$\text{Doğruluk} = \frac{TP + TN}{(TP + TN + FP + FN)} \quad (4.2)$$

$$\text{Hassasiyet} = \frac{TP}{(TP + FN)} \quad (4.3)$$

$$\text{Kesinlik} = \frac{TN}{(TN + FP)} \quad (4.4)$$

Aşağıdaki gibi 15 farklı giriş öznitelikleri Yapay Sinir Ağlarından FFN, PNN, CFBN ve RBN olmak üzere dört farklı ağa, Yapay Bağışıklık Sistemi KSA'na ve KT-KSA olmak üzere altı farklı sınıflandırıcı sistemine giriş verileri olarak verilmektedir.

1. Şekilsel öznitelikler (QRS genlik, RR aralığı, QRS genişliği ve QRS alanı)
2. Coiflets2 dalgacık ailesine ait 4. seviye ayrıntı katsayıları
3. Daubechies2 dalgacık ailesine ait 4. seviye ayrıntı katsayıları
4. Daubechies4 dalgacık ailesine ait 4. seviye ayrıntı katsayıları
5. Daubechies5 dalgacık ailesine ait 4. seviye ayrıntı katsayıları
6. Daubechies6 dalgacık ailesine ait 4. seviye ayrıntı katsayıları
7. Daubechies10 dalgacık ailesine ait 4. seviye ayrıntı katsayıları
8. Symlets6 dalgacık ailesine ait 4. seviye ayrıntı katsayıları
9. Şekilsel öznitelikler ve Coiflets2 dalgacık ailesine ait 4. seviye ayrıntı katsayıları
10. Şekilsel öznitelikler ve Daubechies2 dalgacık ailesine ait 4. seviye ayrıntı katsayıları

11. Şekilsel öznitelikler ve Daubechies4 dalgacık ailesine ait 4. seviye ayrıntı katsayıları
12. Şekilsel öznitelikler ve Daubechies5 dalgacık ailesine ait 4. seviye ayrıntı katsayıları
13. Şekilsel öznitelikler ve Daubechies6 dalgacık ailesine ait 4. seviye ayrıntı katsayıları
14. Şekilsel öznitelikler ve Daubechies10 dalgacık ailesine ait 4. seviye ayrıntı katsayıları
15. Şekilsel öznitelikler ve Symlets6 dalgacık ailesine ait 4. seviye ayrıntı katsayıları

Yukarıdaki 15 farklı öznitelik kullanılarak 6 farklı sınıflandırıcıda sınıflandırma işlemi gerçekleştirilmiştir. Bu nedenle 90 adet hassasiyet tablosu, 90 adette ROC tablosu oluşmuştur. Toplamda 180 adet olan bu tablolar Ek A'da verilmektedir. Ayrıca sınıflandırıcılara ait ROC parametrelerinin değerleride Ek B'de verilmektedir.

4.6. Ortalama Hassasiyet Sonuçları

Uygulamada kullanılan sistemin çıkışları APC, LBBB, Normal, RBBB ve SVTA olmak üzere beş tanedir. Sistem çıkışı ikiden fazla olduğu durumlarda doğruluk yerine hassasiyet parametresi önem arz etmektedir. Bu nedenle sistemin ortalama hassasiyeti baz alınarak Tablo 4.12 oluşturulmuştur.

Ortalama hassasiyet sonuçları Tablo 4.12’de verilmektedir.

Tablo 4.12. Ortalama hassasiyet sonucu

No	Öznitelik Grupları / Sınıflandırıcılar	FFN(%)	PNN(%)	CFBN(%)	RBN(%)	KSA(%)	KT-KSA (%)
1	Şekilsel Öznitelikler	90,36	88,79	85,33	88,71	80,84	90,98
2	Coiflets2 katsayıları	88,87	95,66	77,20	80,65	90,22	96,29
3	Daubechies2 katsayıları	86,33	93,87	85,53	73,15	90,41	92,87
4	Daubechies4 katsayıları	87,16	87,20	87,59	78,80	71,65	86,12
5	Daubechies5 katsayıları	89,59	96,54	91,45	78,47	88,39	94,77
6	Daubechies6 katsayıları	86,11	95,62	87,40	82,30	83,95	92,87
7	Daubechies10 katsayıları	85,55	92,20	82,49	73,51	81,02	81,93
8	Symlets6 katsayıları	90,30	85,25	76,11	72,56	84,46	87,55
9	Şekilsel Öznitelikler ve Coiflets2 katsayıları	91,79	95,56	93,74	91,43	95,76	98,02
10	Şekilsel Öznitelikler ve Daubechies2 katsayıları	96,38	99,28	96,67	89,07	83,42	97,43
11	Şekilsel Öznitelikler ve Daubechies4 katsayıları	95,28	98,97	96,35	94,30	88,02	99,08
12	Şekilsel Öznitelikler ve Daubechies5 katsayıları	97,55	98,32	97,41	97,58	86,24	98,33
13	Şekilsel Öznitelikler ve Daubechies6 katsayıları	97,31	99,17	94,91	97,93	98,82	98,37
14	Şekilsel Öznitelikler ve Daubechies10 katsayıları	99,27	99,38	97,95	91,12	98,42	98,37
15	Şekilsel Öznitelikler ve Symlets6 katsayıları	96,76	89,91	90,49	87,35	98,29	98,42

Tablo 4.12’ye bakıldığında öznitelik numarası 1 olan satır şekilsel özniteliklerin olduğu öznitelik grubudur. Öznitelik numaraları 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 olan satırlar dalgacık aileleri katsayılarından oluşan öznitelik gruplarıdır. Öznitelik numaraları 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15 olan satırlar hem şekilsel öznitelik hem de dalgacık aileleri katsayılarının birlikte kullanımının oluşturduğu karma öznitelik gruplarıdır.

Şekilsel öznitelikler, dalgacık aileleri katsayılarından oluşan öznitelik grupları ve karma öznitelik grupları karşılaştırıldığında, karma öznitelik gruplarına ait başarı

oranlarının daha yüksek olduğu görülmektedir. Karma öznelik gruplarında frekans alanı öznelikleri ile şekilsel özellikler bir arada kullanılmıştır. Literatürde bulunmayan bu tarz bir kullanım bu tez çalışmasının getirdiği yeniliklerden biridir.

Öznelik grupları açısından incelendiğinde; 1 numaralı öznelik grubu olan şekilsel özneliklerin bulunduğu grubun en iyi sınıflandırıcısı olarak KT-KSA'nın olduğu görülmektedir. ADD katsayılarının bulunduğu 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 numaralı özneliklerin bulunduğu 7 adet gruptan 4 tanesinde PNN'nin en iyi sınıflandırıcı olduğu görülmektedir. Diğer 3 tanesinin birinde KT-KSA, birinde CFBN ve birinde de FFN en iyi sonuç verdiği görülmektedir. Hem şekilsel öznelik hem de dalgacık aileleri katsayılarının birlikte kullanımının oluşturduğu 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15 numaralı özneliklerin bulunduğu 7 adet gruptan 4 tanesinde KT-KSA'nın en iyi sınıflandırıcı olduğu görülmektedir. Geri kalan 3 tanesinde PNN'nin en iyi sonuç verdiği görülmektedir.

Bütün öznelik grupları teker teker incelendiğinde sınıflandırıcılara ait aşağıdaki sonuçlar elde edilmektedir.

Öznelik numarası 1 olan şekilsel özneliklerin bulunduğu öznelik grubunda en iyi sonucu 90,98 hassasiyet değeri ile KT-KSA'nın verdiği görülmektedir. İkinci en iyi sonucu 90,36 hassasiyet değeri FFN'nin verdiği ve üçüncü en iyi sonucu 88,79 hassasiyet ile PNN'nin verdiği görülmektedir.

Öznelik numarası 2 olan Coiflets2 dalgacık ailesi dördüncü seviye ayrıtı katsayılarının olduğu öznelik grubunda en iyi sonucu 96,29 hassasiyet değeri ile KT-KSA'nın verdiği görülmektedir. İkinci en iyi sonucu 95,66 hassasiyet değeri PNN'nin verdiği ve üçüncü en iyi sonucu 90,22 hassasiyet ile KSA'nın verdiği görülmektedir.

Öznelik numarası 3 olan Daubechies2 dalgacık ailesi dördüncü seviye ayrıtı katsayılarının olduğu öznelik grubunda en iyi sonucu 93,87 hassasiyet değeri ile PNN'nin verdiği görülmektedir. İkinci en iyi sonucu 92,87 hassasiyet değeri KT-KSA'nın verdiği ve üçüncü en iyi sonucu 90,41 hassasiyet ile KSA'nın verdiği görülmektedir.

Öznelik numarası 4 olan Daubechies4 dalgacık ailesi dördüncü seviye ayrını katsayılarının olduğu öznelik grubunda en iyi sonucu 87,59 hassasiyet değeri ile CFBN'nin verdiği görölmektedir. İkinci en iyi sonucu 87,20 hassasiyet değeri PNN'nin verdiği ve üçüncü en iyi sonucu 87,16 hassasiyet ile FNN'nin verdiği görölmektedir.

Öznelik numarası 5 olan Daubechies5 dalgacık ailesi dördüncü seviye ayrını katsayılarının olduğu öznelik grubunda en iyi sonucu 96,54 hassasiyet değeri ile PNN'nin verdiği görölmektedir. İkinci en iyi sonucu 94,77 hassasiyet değeri KT-KSA'nın verdiği ve üçüncü en iyi sonucu 91,45 hassasiyet ile CFBN'nin verdiği görölmektedir.

Öznelik numarası 6 olan Daubechies6 dalgacık ailesi dördüncü seviye ayrını katsayılarının olduğu öznelik grubunda en iyi sonucu 95,62 hassasiyet değeri ile PNN'nin verdiği görölmektedir. İkinci en iyi sonucu 92,87 hassasiyet değeri KT-KSA'nın verdiği ve üçüncü en iyi sonucu 87,40 hassasiyet ile CFBN'nin verdiği görölmektedir.

Öznelik numarası 7 olan Daubechies10 dalgacık ailesi dördüncü seviye ayrını katsayılarının olduğu öznelik grubunda en iyi sonucu 92,20 hassasiyet değeri ile PNN'nin verdiği görölmektedir. İkinci en iyi sonucu 85,55 hassasiyet değeri FFN'nin verdiği ve üçüncü en iyi sonucu 82,49 hassasiyet ile CFBN'nin verdiği görölmektedir.

Öznelik numarası 8 olan Symlets6 dalgacık ailesi dördüncü seviye ayrını katsayılarının olduğu öznelik grubunda en iyi sonucu 90,30 hassasiyet değeri ile FNN'nin verdiği görölmektedir. İkinci en iyi sonucu 87,55 hassasiyet değeri KT-KSA'nın verdiği ve üçüncü en iyi sonucu 85,25 hassasiyet ile PNN'nin verdiği görölmektedir.

Öznelik numarası 9 olan şekilsel öznelikler ve Coiflets2 dalgacık ailesi dördüncü seviye ayrını katsayılarının birlikte kullanılması ile oluşan öznelik grubunda en iyi

sonucu 98,02 hassasiyet değeri ile KT-KSA'nın verdiği grlmektedir. İkinci en iyi sonucu 95,76 hassasiyet değeri KSA'nın verdiği ve üçüncü en iyi sonucu 95,56 hassasiyet ile PNN'nin verdiği grlmektedir.

Öznitelik numarası 10 olan Şekilsel znitelikler ve Daubechies2 dalgacık ailesi dördüncü seviye ayrntı katsayılarının birlikte kullanılması ile oluşan öznitelik grubunda en iyi sonucu 99,28 hassasiyet değeri ile PNN'nin verdiği grlmektedir. İkinci en iyi sonucu 97,43 hassasiyet değeri KT-KSA'nın verdiği ve üçüncü en iyi sonucu 96,67 hassasiyet ile CFBN'nin verdiği grlmektedir.

Öznitelik numarası 11 olan Şekilsel znitelikler ve Daubechies4 dalgacık ailesi dördüncü seviye ayrntı katsayılarının birlikte kullanılması ile oluşan öznitelik grubunda en iyi sonucu 99,08 hassasiyet değeri ile KT-KSA'nın verdiği grlmektedir. İkinci en iyi sonucu 98,97 hassasiyet değeri PNN'nin verdiği ve üçüncü en iyi sonucu 96,35 hassasiyet ile CFBN'nin verdiği grlmektedir.

Öznitelik numarası 12 olan Şekilsel znitelikler ve Daubechies5 dalgacık ailesi dördüncü seviye ayrntı katsayılarının birlikte kullanılması ile oluşan öznitelik grubunda en iyi sonucu 98,33 hassasiyet değeri ile KT-KSA'nın verdiği grlmektedir. İkinci en iyi sonucu 98,32 hassasiyet değeri PNN'nin verdiği ve üçüncü en iyi sonucu 97,58 hassasiyet ile RBN'nin verdiği grlmektedir.

Öznitelik numarası 13 olan Şekilsel znitelikler ve Daubechies6 dalgacık ailesi dördüncü seviye ayrntı katsayılarının birlikte kullanılması ile oluşan öznitelik grubunda en iyi sonucu 99,17 hassasiyet değeri ile PNN'nin verdiği grlmektedir. İkinci en iyi sonucu 98,82 hassasiyet değeri KSA'nın verdiği ve üçüncü en iyi sonucu 98,37 hassasiyet ile KT-KSA'nın verdiği grlmektedir.

Öznitelik numarası 14 olan Şekilsel znitelikler ve Daubechies10 dalgacık ailesi dördüncü seviye ayrntı katsayılarının birlikte kullanılması ile oluşan öznitelik grubunda en iyi sonucu 99,38 hassasiyet değeri ile PNN'nin verdiği grlmektedir. İkinci en iyi sonucu 92,27 hassasiyet değeri FFN'nin verdiği ve üçüncü en iyi sonucu 98,42 hassasiyet ile KSA'nın verdiği grlmektedir.

Öznelik numarası 15 olan şekilsel öznelikler ve Symlets6 dalgacık ailesi dördüncü seviye ayrınıt katsayılarının birlikte kullanılması ile oluşan öznelik grubunda en iyi sonucu 98,42 hassasiyet değeri ile KT-KSA'nın verdiği görülmektedir. İkinci en iyi sonucu 98,29 hassasiyet değeri KSA'nın verdiği ve üçüncü en iyi sonucu 96,76 hassasiyet ile FFN'nin verdiği görülmektedir.

Tüm sınıflandırıcılar teker teker incelendiğinde de öznelik gruplarına ait aşağıdaki sonuçlar elde edilmektedir.

FFN sınıflandırıcısı; şekilsel özneliklerde ortalama hassasiyet değerini 90,36 bulmuş olup, frekans alanı öznelik gruplarında en iyi sonucu 8 numaralı öznelik grubunda ortalama hassasiyet değerini 90,30 bulmuş ve son olarak karma öznelik gruplarında en iyi sonucu 14 numaralı öznelikte ortalama hassasiyet değerini 99,27 olarak bulmuştur.

PNN sınıflandırıcısı; şekilsel özneliklerde ortalama hassasiyet değerini 88,79 bulmuş olup, frekans alanı öznelik gruplarında en iyi sonucu 5 numaralı öznelik grubunda ortalama hassasiyet değerini 96,54 bulmuş ve son olarak karma öznelik gruplarında en iyi sonucu 14 numaralı öznelikte ortalama hassasiyet değerini 99,38 olarak bulmuştur.

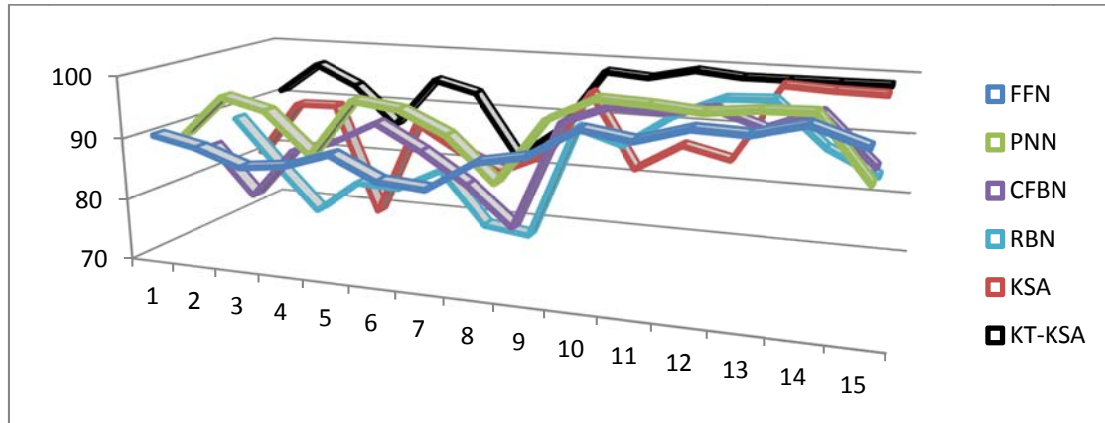
CFBN sınıflandırıcısı; şekilsel özneliklerde ortalama hassasiyet değerini 85,33 bulmuş olup, frekans alanı öznelik gruplarında en iyi sonucu 5 numaralı öznelik grubunda ortalama hassasiyet değerini 91,45 bulmuş ve son olarak karma öznelik gruplarında en iyi sonucu 14 numaralı öznelikte ortalama hassasiyet değerini 97,95 olarak bulmuştur.

RBN sınıflandırıcısı; şekilsel özneliklerde ortalama hassasiyet değerini 88,71 bulmuş olup, frekans alanı öznelik gruplarında en iyi sonucu 6 numaralı öznelik grubunda ortalama hassasiyet değerini 82,30 bulmuş ve son olarak karma öznelik gruplarında en iyi sonucu 13 numaralı öznelikte ortalama hassasiyet değerini 97,93 olarak bulmuştur.

KSA sınıflandırıcısı; şekilsel özniteliklerde ortalama hassasiyet değerini 80,84 bulmuş olup, frekans alanı öznitelik gruplarında en iyi sonucu 3 numaralı öznitelik grubunda ortalama hassasiyet değerini 90,41 bulmuş ve son olarak karma öznitelik gruplarında en iyi sonucu 13 numaralı öznitelikte ortalama hassasiyet değerini 98,82 olarak bulmuştur.

KT-KSA sınıflandırıcısı; şekilsel özniteliklerde ortalama hassasiyet değerini 90,98 bulmuş olup, frekans alanı öznitelik gruplarında en iyi sonucu 2 numaralı öznitelik grubunda ortalama hassasiyet değerini 96,29 bulmuş ve son olarak karma öznitelik gruplarında en iyi sonucu 11 numaralı öznitelikte 99,08 olarak bulmuştur.

Tablo 4.12.'e ait çizgi grafik Şekil 4.6'da verilmektedir.



Şekil 4.6. Ortalama hassasiyet sonucu tablosunun çizgi grafiği

Şekil 4.6'da yataydaki 1'den 15'e kadar olan numaralar Tablo 4.12'deki "Öznitelik No" sunu, dikeydeki 70-100 sayıları ortalama hassasiyet yüzdelerini ifade etmektedir. Şekil 4.6 incelendiğinde önerilen KT-KSA'nın klasik KSA'dan çok daha iyi sonuç verdiği açıkça görülmektedir. Ayrıca 9. öznitelik grubundan başlayarak 15. öznitelik grubuna kadar her sınıflandırıcının diğer öznitelik gruplarına göre daha iyi sonuç verdiği görülmektedir. Bu da şekilsel ve dalgacık dönüşümü özniteliklerinin birlikte kullanımının daha iyi sonuç verdiği sonucunu ortaya koymaktadır. KSA, RBN hariç diğer tüm ağların gerisinde kalırken KT-KSA, PNN hariç diğer tüm ağlarda en iyi sırada yerini almaktadır.

BÖLÜM 5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Tez çalışmasında, aritmilerin teşhisi için YBS algoritmalarından KSA'na dayalı yeni bir KT-KSA geliştirilmiştir. Çalışmada, Physionet veri tabanından elde edilen EKG kayıtları kullanılmıştır. Aritmi tipleri olarak 446 adet APC vurusu, 796 adet LBBB vurusu, 587 adet normal vuru, 348 adet RBBB vurusu, 176 adet SVTA vurusu olmak üzere toplamda 2353 adet vuru kullanılmıştır. Bu vurulardan 1716 adet vuru eğitim işleminde, 637 adet vuru ise test işleminde kullanılmıştır.

İlk adım olarak EKG işaretleri üzerinde aritmi tiplerine göre manuel olarak bir ayrıştırma işlemi gerçekleştirilmiş ve bu aritmi sinyalleri üzerine gürültü arındırma işlemi yapılmıştır.

İkinci adım olarak, öznitelik çıkarma işlemine geçilmiştir. Zaman alanı öznitelikleri, frekans alanı öznitelikleri ve bu iki özneliğin birleşiminden oluşan karma öznitelikler elde edilmiştir.

Zaman alanı özniteliklerini tespit etmek amacıyla sinyal üzerindeki genlik, genişlik, QRS alanı ve RR aralığını bulmak için Pan-Tompkins algoritması kullanılmıştır. Pan-Tompkins QRS algılama algoritması eğimler, genlik ve genişliğin sayısal analizlerine dayanmaktadır. Algoritma, bant geçiren filtre, türev operatörü, kare alma işlemi, kayan pencere integrasyonu ve eşik ayarlama olmak üzere beş aşamadan oluşmaktadır.

Frekans alanına ait öznitelikleri bulmak amacıyla ADD tekniği kullanılmıştır. ADD tekniği içerisinde 7 farklı dalgacık ailesi kullanılmış, elde edilen dördüncü seviye ayrıştırma katsayıları hesaplanmış ve öznitelik olarak kabul edilmiştir.

Üçüncü adım olarak eğitimde kullanılmak üzere KSA, KT-KSA, testte kullanılmak üzere kNN algoritmaları Matlab ortamında programlanarak yazılımları

gerçekleştirilmiştir. Karşılaştırma yapma amacıyla YSA içerisindeki FFN, PNN, CFBN, RBN ağlarının da hazır fonksiyonları kullanılmıştır. Ayrıca ROC formüllerinin sonuçlarını veren ve sonuç tablolarını oluşturmak için kullanılan parametreler de Matlab ortamında programlanan bir yazılım ile gerçekleştirilmiştir. Aritimleri sınıflandırmak için aşağıdaki 15 farklı öznelik grubu kullanılmıştır.

1. Şekilsel Öznelikler
2. Coiflets2 dalgacık ailesi dördüncü seviye ayrıntı katsayıları
3. Daubechies2 dalgacık ailesi dördüncü seviye ayrıntı katsayıları
4. Daubechies4 dalgacık ailesi dördüncü seviye ayrıntı katsayıları
5. Daubechies5 dalgacık ailesi dördüncü seviye ayrıntı katsayıları
6. Daubechies6 dalgacık ailesi dördüncü seviye ayrıntı katsayıları
7. Daubechies10 dalgacık ailesi dördüncü seviye ayrıntı katsayıları
8. Symlets6 dalgacık ailesi dördüncü seviye ayrıntı katsayıları
9. Şekilsel Öznelikler ve Coiflets2 dalgacık ailesi dördüncü seviye ayrıntı katsayıları
10. Şekilsel Öznelikler ve Daubechies2 dalgacık ailesi dördüncü seviye ayrıntı katsayıları
11. Şekilsel Öznelikler ve Daubechies4 dalgacık ailesi dördüncü seviye ayrıntı katsayıları
12. Şekilsel Öznelikler ve Daubechies5 dalgacık ailesi dördüncü seviye ayrıntı katsayıları
13. Şekilsel Öznelikler ve Daubechies6 dalgacık ailesi dördüncü seviye ayrıntı katsayıları
14. Şekilsel Öznelikler ve Daubechies10 dalgacık ailesi dördüncü seviye ayrıntı katsayıları
15. Şekilsel Öznelikler ve Symlets6 dalgacık ailesi dördüncü seviye ayrıntı katsayıları

Yukarıda verilen öznelik gruplarının hepsi teker teker KT-KSA ve KSA ile eğilmiş ve kNN ile test işlemine sokulmuştur. Aynı şekilde FFN, PNN, CFBN, RBN ile de sınıflandırma işlemi yapılmıştır.

Özellikle sağlık alanında yapılan çalışmalarda ortaya konulan sistemin güvenilirliği çok önemlidir. Bu nedenle doğruluk, hassasiyet ve kesinliklerinin tespit edilmesi gerekir. Sistemin güvenilirliğini gösteren ROC formülleri bulunmaktadır. Bunlar; “Doğruluk”, “Hassasiyet” ve “Kesinlik” parametreleridir. Eğer sistem bu çalışmada olduğu gibi ikiden daha fazla çıkış üretiyorsa “Hassasiyet” değerini temel almak gerekir.

Çalışma sonuçları Ek A ve Ek B’de ROC tabloları ve hata matrisi tablolarında verilmiştir. Toplamda 180 adet olmak üzere; 90 adet ROC tablosu ve 90 adet de hata matrisi tablosu elde edilmiştir. Bütün çalışmanın sonucu genel hassasiyet tablosunda verilmektedir. Ayrıca görsel olarak daha rahat gözükmesi açısından ortalama hassasiyet tablosunun grafiği çizilmiştir.

Ortalama hassasiyet tablosunun grafiği incelendiğinde KT-KSA’nın klasik KSA’dan daha yüksek bir başarımla elde ettiği açıkça görülmektedir. Ayrıca hem zaman hem de frekans özniteliklerinin birlikte kullanımının tüm sınıflandırıcılarda başarımla arttırdığı da ortaya çıkmıştır.

Tez kapsamında, aritmi sınıflandırılması açısından hem öznitelik olarak hem de sınıflandırıcılar olarak karşılaştırmalı bir çalışma gerçekleştirilmiştir. Geliştirilen KT-KSA’nın hem koşul tabanlı kısmının hem de algoritmanın son adımında gerçekleştirilen yüksek duyarlılıktaki hafıza hücrelerinin tamamının popülasyona eklenmesinin başarımla arttırdığı anlaşılmaktadır.

15 adet öznitelik grubundan en iyi sonucu 7 adet öznitelik grubunda PNN, 6 adet öznitelik grubunda KT-KSA, 1 adet öznitelik grubunda CFBN ve 1 adet öznitelik grubunda FFN’nin verdiği görülmektedir. 15 adet öznitelik grubunun hiçbirinde KSA ve RBN en iyi sonucu verememiştir. KSA 3 adet öznitelik grubunda 2. sırada iyi sonuç verirken, 1 adet öznitelik grubunda 3. sırada iyi sonuç vermiştir. RBN ise 1 adet öznitelik grubunda 3.sırada iyi sonuç verdiği gözükmektedir. Bunlara bakıldığında öznitelik gruplarını sınıflandırmada en kötü ağın RBN olduğu görülmektedir ve ikinci en kötü ağın ise KSA olduğu görülmektedir.

Çalışma sonucu göstermiştir ki; 15 adet öznelik grubundan en iyi ikinci sonucu KT-KSA verirken, KSA en kötü ikinci sırada yerini alabilmiştir. En iyi sınıflandırıcı olarak PNN gözükürken, en kötü sınıflandırıcı RBN gözükmektedir. KSA ile YSA'nın diğer ağları karşılaştırıldığında RBN hariç diğer tüm ağlarda en kötü sonucu KSA vermiştir. Geliştirilen KT-KSA ise YSA'nın diğer ağları ile karşılaştırıldığında PNN hariç en iyi sonucu KT-KSA vermiştir. KSA ile KT-KSA'nın karşılaştırılması yapıldığında klasik KSA'nın başarımı gözle görülür bir biçimde artmıştır. Klasik KSA, PNN gibi bir ağla yarışamayacak durumda iken KT-KSA PNN ile yarışacak hale gelmiştir.

Bu çalışmada KSA ile KT-KSA'nın kıyaslanması yapıldığından KT-KSA'nın sınıflandırıcısı olarak standart KSA'nın sınıflandırıcısı olan kNN kullanımı tercih edilmiştir. Sonraki çalışmalarda KT-KSA'nın sınıflandırıcısı olarak farklı sınıflandırıcılar kullanılarak da çalışmanın başarımı incelenebilir.

Tez çalışmasında geliştirilen KT-KSA gerek uygulamalarda sağladıkları başarılar ile gerekse modellemede barındırdığı özgün değerler ile literatürde YBS alanında yeni bir algoritma olarak yer edinme potansiyeline sahiptir. Sadece YBS alanında geliştirilmiş KSA'ya göre sağladığı performans artışı ile kalmayıp, literatürde YSA gibi iyi bilinen diğer yöntemlere göre de başarılar elde etmiştir. Böylece çözümü zor olan problemlerde diğer yöntemlere göre tercihen kullanılacak ve onlardan daha yüksek performanslar sağlayabilecek yeni bir algoritma olarak yerini almıştır.

KAYNAKLAR

ACIR, N., Classification of ECG beats by using a fast least square support vector machines with a dynamic programming feature selection algorithm, *Neural Comput. Appl.* 14 (4), 299–309, 2005.

ADDISON, P.S., Wavelet transforms and the ECG: A review. Institute Of Physics Publishing, *Physiological Measurement*, 155-159, 2005.

AL-FAHOUM, A.S., HOWITT, I. Combined wavelet transformation and radial basis neural networks for classifying life-threatening cardiac arrhythmias, *Med. Biol. Eng. Comput.*, 37, 566–573, 1999.

AL-ENEZI, J.R., ABBOD, M.F., ALSHARHAN, S., Artificial immune systems-models, algorithms and applications, *IJRRAS* 3(2), 2010.

ALPTEKİN, O., EKG Sinyallerinin Analizi İle Bazı Kalp Hastalıklarının Tespiti, Yüksek Lisans Tezi, Biyomedikal Mühendisliği, İstanbul Üniversitesi. İstanbul, 2010.

AZEMİ, A., SABZEVARİ, V.R., KHADEMİ, M., GHOLIZADE, H., KİANİ, A., DASTGHEİB, Z.S., Intelligent Arrhythmia Detection and Classification Using ICA, *Engineering in Medicine and Biology Society, EMBS '06. 28th Annual International Conference of the IEEE* , 2163-2166, 2006.

BEALE, M.H., HAGAN, M.T., DEMUTH, H.B. *Neural Network Toolbox*. 383, 2012.

BERETA, M., BURCZYNSKI, T., Comparing binary and real-valued coding in hybrid immune algorithm for feature selection and classification of ECG signals, *Engineering Applications of Artificial Intelligence* 20, 571–585, 2007.

BESROUR R., LACHIRI Z., ELLOUZE N., ECG beat classifier using support vector machine, in: *Proceedings of the Third International Conference on Information and Communication Technologies: From Theory to Applications, ICTTA*, 1–5, 2008.

BURNET, S.M., The clonal selection theory of acquired immunity, *The Abraham Flexner Lectures of Vanderbilt University*, 1959.

CEYLAN, R., ÖZBAY, Y., Comparison of FCM, PCA and WT techniques for classification ECG arrhythmias using artificial neural network, *Expert Systems with Applications* 33, 286–295, 2007.

CEYLAN, R., OZBAY, Y., KARLIK, B., A novel approach for classification of ECG arrhythmias: Type-2 fuzzy clustering neural network, *Expert Systems with Applications*, 36 (3), 6721-6726, 2009.

CHEN, Y.H., YU, S.N., Selection of effective features for ECG beat recognition based on nonlinear Correlations, *Artificial Intelligence in Medicine* 54, 43– 52, 2012.

CHUDACEK, V., PETRIK M., GEORGOULAS, G., CEPEK, M., LHOTSKA, L., STYLIOS, C., Comparison of seven approaches for holter ECG clustering and classification, *Engineering in Medicine and Biology Society*, 2007. EMBS 2007. 29th Annual International Conference of the IEEE , 3844-3847, 2007.

COVER, T.M, HART, P.E., Nearest neighbour pattern classification, *IEEE Transactions on Information Theory*; 1967, 13 (1), 21-27, 1968.

CVETKOVIC, D., ÜBEYLİ, E.D., COSIC I., Wavelet transform feature extraction from human PPG, ECG, and EEG signal responses to ELF PEMF exposures: A pilot study *Digital Signal Processing* 18, 861–874, 2008.

ÇANKAYA, İ., VATANSEVER, F. , Fourier ve dalgacık dönüşümünün karşılaştırılması, *Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 6-3, 14-24, 2002.

DASGUPTA, D., YU, S., NINO, F., Recent advances in artificial immune systems: Models and applications, *Applied Soft Computing* 11, 2011.

DE CASTRO, L.N., VON ZUBEN, F.J, Artificial immune systems: Part I - Basic theory and application, *Technical Report*, 1999.

DE CASTRO, L.N. , VON ZUBEN, F.J., Artificial immune systems: Part II - A Survey of applications, *Technical Report*, 2000.

DE CASTRO, L.N. , VON ZUBEN, F.J., The clonal selection algorithm with engineering applications, *Workshop on Artificial Immune Systems and Their Applications*, GECCO 2000, 2000.

DE CASTRO, L.N. , Artificial immune systems: Theory and applications, *SBRN*, 2000.

DE CASTRO, L.N. , VON ZUBEN, F.J., Immune and neural network models: Theoretical and empirical comparisons, *IJCIA*, 1(3), 2001.

DE CASTRO, L. N., Immune, Swarm, And Evolutionary Algorithms Part I: Basic Models, *International Conference on Neural Information Processing*, Workshop on Artificial Immune Systems, 3, 1464-1468, Singapore, 2002.

DEBBABI, N., EL ASMI, S., ARFA, H., Correction of ECG baseline wander application to the Pan & Tompkins QRS detection algorithm, *5th International Symposium on I/V Communications and Mobile Networks*, ISIVC 2010, 1-4, 2010.

DOKUR, Z., OLMEZ, T., ECG beat classification by a novel hybrid neural network, *Computer Methods & Programs in Biomedicine*, 66, 167-181, 2001.

EKG, 2014, <http://www.todayifoundout.com/index.php/2011/10/how-to-read-an-ekg-electrocardiograph/>

EMANET, N., ECG beat classification by using discrete wavelet transform and random forest algorithm, 5th International Conference on Soft Computing, Computing with Words and Perceptions in System Analysis, Decision and Control, 2009.

ENGİN, O., DÖYEN, A., Artificial immune systems and applications in industrial problems, *G.U. Journal of Science* 17 (1), 71-84, 2004.

FAK, A.S., Aritmilerin ayırıcı tanısında EKG; Dar QRS kompleksli taşikardiler, Aritmiler, Nedenleri, Güncel tanı ve Tedavi yöntemleri, Nobel Tıp Kitabevi, 2010.

FAWCETT, T., An introduction to ROC analysis, *Pattern Recognition Letters*, 27, 861-874, 2006.

GEZER, B.L., KUNTALP, D., KUNTALP, M., Aritmik EKG vurularının morfolojik özellikleri ve pencerelenmiş ham EKG verilerini kullanarak gruplanması, 2011 IEEE 19th Signal Processing and Communications Applications Conference, 2011.

GHONGADE, R., GHATOL, A., A Robust and Reliable ECG Pattern Classification using QRS Morphological Features and ANN, *TENCON 2008 - 2008 IEEE Region 10 Conference* Nov. 18 – 21 India, 2008.

GOLDBERGER AL, AMARAL LAN, GLASS L, HAUSDORFF JM, IVANOV PCH, MARK RG, MIETUS JE, MOODY GB, PENG C-K, STANLEY HE., *PhysioBank, PhysioToolkit, and PhysioNet: Components of a New Research Resource for Complex Physiologic Signals. Circulation* 101 (23), e215-e220, 2000.

GÜLER, H., UBEYLİ, E.D., "ECG beat classifier designed by combined neural network model," *Pattern Recognition*, 38 (2), 199-208, 2005.

GÜMÜŞ, B., YAZGI, S., Yapay Sinir Ağı Kullanılarak Elektrokardiyogram Sinyallerinde Otomatik Kardiyak Aritmi Tespiti, *ELECO*, 2008.

HAIJIAN, Z., HAI, W., JIARUI, L., QRS classification using adaptive Hermite decomposition and radial basis function network, *Engineering in Medicine and Biology Society*, 1998. *Proceedings of the 20th Annual International Conference of the IEEE*, 1, 147-150, 1998.

HOMAEINEZHAD, M.R., ATYABI, S.A., TAVAKKOLI, E., TOOSI, H.N., GHAFFARI, A., EBRAHIMPOUR, R., ECG arrhythmia recognition via a neuro-SVM-KNN hybrid classifier with virtual QRS image-based geometrical features, *Expert Systems with Applications*, 39, 2047–2058, 2012.

HU, Y.H., PALREDDY, S., TOMPKINS W.J., A patient-adaptable ECG beat classifier using a mixture of experts approach, IEEE Trans. Biomed. Eng. 44, 891–900, 1997.

ISLAM, S.Md.R., SARKER, R., HOSSAIN, Md.S.M., Design a digital system for detection of abnormality condition of heart from ECG waveforms, International Journal of Wireless Communication and Information Systems (IJWCIS) , 1 (2), 2011.

JAVADI, M., ARANI, S.A.A.A., SAJEDIN, A., EBRAHIMPOUR, R., Classification of ECG arrhythmia by a modular neural network based on Mixture of Experts and Negatively Correlated Learning, Biomedical Signal Processing and Control 8, 289– 296, 2013.

JIAPU, P., TOMPKINS, W. J., A real-time QRS detection algorithm, IEEE Transactions on Biomedical Engineering, 32 (3),1985.

KALLAS, M., FRANCIS,C., KANAAN, L., MERHEB, D., HONEINE, P., AMOUD, H., Multi-Class SVM Classification Combined with Kernel PCA Feature Extraction of ECG Signals, 19th International Conference on Telecommunications, 2012.

KARADAĞ, A., Dalgacık ağlarıyla elektrokardiyografik aritmilerin sınıflandırılması, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 2009.

KORÜREK, M., NİZAM, A., A new arrhythmia clustering technique based on Ant Colony Optimization, Journal of Biomedical Informatics, 41 (6), 874-881, 2008.

KUTLU, Y., KUNTALP, M., KUNTALP, D., EKG vurularının morfolojik özniteliklerin topografik analizi,14th National Biomedical Engineering Meeting, Biyomut 2009, 2009.

KUTLU, Y., KUNTALP, D., A multi-stage automatic arrhythmia recognition and classification system, Computers in Biology and Medicine 41, 37–45, 2011.

KUTLU, Y., KUNTALP, D., Feature extraction for ECG heartbeats using higher order statistics of WPD coefficients, Computer Methods and Programs in Biomedicine 105, 257–267, 2012.

LI, N., LI, P., A switching method based on FD and WTMM for ECG signal real-time feature extraction, 2009 International Joint Conference on Computational Sciences and Optimization, 2009.

LUZ, E.J.D.S., NUNES, T.M., ALBUQUERQUE, V.H.C., PAPA, J.P., ECG arrhythmia classification based on optimum-path forest. Expert Systems with Applications, 40, 3561–3573, 2013.

MAHMOODABADI, S.Z., AHMADIAN, A., ABOLHASANI, M.D., BİDGOLİ, J.H., ECG feature extraction based on multiresolution wavelet transform, Proceedings of the 2005 IEEE Engineering in Medicine and Biology 27th Annual Conference Shanghai, China, September 1-4, 2005.

MELGANI, F., BAZI, Y., Classification of Electrocardiogram Signals With Support Vector Machines and Particle Swarm Optimization, *Information Technology in Biomedicine*, IEEE Transactions on , 12 (5), 667-677, 2008.

MOAVENIAN, M., KHORRAMI, H., A qualitative comparison of Artificial Neural Networks and Support Vector Machines in ECG arrhythmias classification, *Expert Systems with Applications* 37, 3088–3093, 2010.

MOODY, GB, MARK, RG. The impact of the MIT-BIH Arrhythmia Database. *IEEE Eng in Med and Biol* 20 (3), 45-50, 2001.

NASIRI, J.A., NAGHIBZADEH, M., , YAZDI, H.S., NAGHIBZADEH, B., ECG arrhythmia classification with support vector machines and genetic algorithm, computer modeling and simulation, EMS '09, in: *Third UKSim European Symposium*, 187–192, 2009.

NİZAM, A., Karınca koloni optimizasyonuna dayalı yeni bir aritmi sınıflama tekniği, *İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi*, 2008.

OSOWSKI, S., LINH, T.H., ECG beat recognition using fuzzy hybrid neural network, *IEEE Trans. Biomed. Eng.*,48, 1265–1271, 2001.

ÖZBAY, Y., A new approach to detection of ECG arrhythmias: Complex discrete wavelet transform based complex valued artificial neural network, *J Med Syst*, 33:435–445, 2009.

ÖZBAY, Y., TEZEL, G., A new method for classification of ECG arrhythmias using neural network with adaptive activation function, *Digital Signal Processing*, 20, 1040–1049, 2010.

ÖZKAN, Y., *Veri Madenciliği Yöntemleri*, Papatya Yayıncılık, 117-118, 2008.

PEKÇAKAR, A., Dalgacık dönüşümü ile EKG sinyallerinin işlenmesi ve özellik çıkarımı, *Düzce Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Yüksek Lisans Tezi*, 2008.

PERELSON, A.S., OSTER, G.F., Theoretical studies of clonal selection: Minimal antibody repertoire size and Reliability of self-non-self-discrimination, *J.Theor. Biol.* 81, 645-670, 1979.

POLAT, K., AKDEMİR, B., GÜNEŞ, S., Computer aided diagnosis of ECG data on the least square support vector machine, *Digital Signal Processing*, 18, 25–32, 2008.

POLAT, K., GÜNEŞ, S., Detection of ECG Arrhythmia using a differential expert system approach based on principal component analysis and least square support vector machine, *Applied Mathematics and Computation*, 186, 898–906, 2007.

POLAT, K., ŞAHAN, S., GÜNEŞ, S., A new method to medical diagnosis: artificial immune recognition system (AIRS) with fuzzy weighted pre-processing and application to ECG arrhythmia, *Expert Systems with Applications*, 31, 264–269, 2006.

POLAT, K., Özellik seçme ile yapay bağışıklık tanıma sistemi kullanılarak medikal teşhise gidiş, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 2004.

PRASAD, G.K., SAHAMBI, J.S., Classification of ECG arrhythmias using multi-resolution analysis and neural networks. IEEE, 2003.

RODRIGUEZ J., GONI, A., ILLARRAMENDI, A., Real-time classification of ECGs on a PDA, *IEEE Trans. Inform. Technol. Biomed.*, 9 (1), 23–33, 2005.

SAHAB, A.R., GILMALEK, Y.M., ECG Arrhythmias classification using wavelet transform and neural networks, *Mathematical Models for Engineering Science*, 2010.

SARKALEH, M.K., SHAHBAHRAMI, A., Classification of ECG arrhythmias using discrete wavelet transform and neural networks. *International Journal of Computer Science, Engineering and Applications (IJCSEA)*, 2 (1), 2012.

SAZLI, M.H., EKG sinyallerinin korelasyon analizi ile bazı kalp aritmilerinin belirlenmesi, *KSÜ Fen ve Mühendislik Dergisi*, 10 (1), 2007.

SPECHT, D. F., Probabilistic neural networks, *Neural Networks*, 3, 109–118, 1990.

TEPE, C., SEZGİN, H., EKG sinyallerinde gürültü gidermede ayrık dalgacık dönüşümünde farklı ana dalgacıkların ve ayrıştırma seviyelerinin karşılaştırılması, *Elektrik-Elektronik-Bilgisayar ve Biyomedikal Mühendisliği 12. Ulusal Kongresi*, 2007.

TEMURTAŞ, F. A comparative study on thyroid disease diagnosis using neural networks”, *Expert Systems with Applications*, 2009.

THANAPATAY, D., SUWANSAROJ, C., THANAWATTANO, C., ECG beat classification method for ECG printout with principle components analysis and support vector machines, 2010 International Conference on Electronics and Information Engineering (ICEIE 2010), 2010.

TIMMIS, J., Artificial Immune Systems - Today and Tomorrow, Department of Computer Science and Department of Electronics, University of York, 1-37, 2006.

TIMMIS, J., HONE, A., STIBOR, T., CLARK, E., Theoretical advances in artificial immune systems, *Theoretical Computer Science* 403, 11–32, 2008.

TORUN, M.U., İŞLER, Y., KUNTALP, D., KUNTALP, M., Dal bloğu vuruların yüksek mertebeden izgel çözümleme ve yapay sinir ağları ile sınıflandırılması, IEEE, 2006.

ÜBEYLİ, E.D., ECG beats classification using multiclass support vector machines with error correcting output codes, *Digital Signal Processing*, 17(3), 675-684, 2007.

VURAL H., ECG Arrhythmia Classification Using Class-Modular Mlp, Yüksek Lisans Tezi, Boğaziçi Üniversitesi. İstanbul, 2010.

WANG, Y., ZHU, Y.S., THAKOR, N.V., XU, Y.H., A short-time multifractal approach for arrhythmia detection based on fuzzy neural network, *IEEE Trans. Biomed. Eng.*, 48, 989–995, 2001.

WEI, J., SEONG G. K., Block-Based Neural Networks for Personalized ECG Signal Classification, *Neural Networks, IEEE Transactions on Neural Networks*, 18 (6), 1750-1761, 2007.

WEINSTEIN S., Obuchowski, N.A., M. L. Lieber, Fundamentals of Clinical Research for Radiologists, *American Journal of Roentgenology*, 184, 14 -19, 2005.

YILMAZ, Z., BOZKURT M.R., Feature extraction of ECG signals with waveform shape, *International Science and Technology Conference*, Dubai, 2012.

YU, S., CHOU, K., Integration of independent component analysis and neural networks for ECG beat classification, *Expert Syst. Appl.* 34, 4 2841-2846, 2008.

ZEYBEKOĞLU, S., Classification Of ECG Arrhythmia Beats With Artificial Neural Networks, Yüksek Lisans Tezi, Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği, Yıldız Teknik Üniversitesi. İstanbul, 2005.

EKLER

EK A: FFN, PNN, CFBN, RBN, KSA ve KT-KSA Sınıflandırıcıların Sonuçları

Şekilsel özniteliklerin FFN hassasiyet sonucu hata matrisi

Aritmi Tipi	Test	APC	LBBB	NORMAL	RBBB	SVTA	Başarım (%)
APC	112	104	7	1	0	0	92,85
LBBB	196	0	182	8	4	2	92,85
NORMAL	187	0	13	158	16	0	84,49
RBBB	98	0	0	16	80	2	81,63
SVTA	44	0	0	0	0	44	100
Genel Ortalama Başarım (%)							90,36

Şekilsel özniteliklerin FFN ROC sonucu

	Doğruluk	Hassasiyet	Kesinlik
APC	98,74	92,85	100
LBBB	94,66	92,85	95,46
NORMAL	91,52	84,49	94,44
RBBB	94,03	81,63	96,28
SVTA	99,37	100	99,32

Şekilsel özniteliklerin PNN hassasiyet sonucu hata matrisi

Aritmi Tipi	Test	APC	LBBB	NORMAL	RBBB	SVTA	Başarım (%)
APC	112	111	0	1	0	0	99,10
LBBB	196	1	189	3	2	1	96,42
NORMAL	187	0	31	125	31	0	66,84
RBBB	98	0	2	14	80	2	81,63
SVTA	44	0	0	0	0	44	100
Genel Ortalama Başarım (%)							88,80

Şekilsel özniteliklerin PNN ROC sonucu

	Doğruluk	Hassasiyet	Kesinlik
APC	99,68	99,10	99,80
LBBB	93,72	96,42	92,51
NORMAL	87,44	66,84	96
RBBB	91,99	81,63	93,87
SVTA	99,52	100	99,49

Şekilsel özniteliklerin CFBN hassasiyet sonucu hata matrisi

Aritmi Tipi	Test	APC	LBBB	NORMAL	RBBB	SVTA	Başarım (%)
APC	112	106	5	1	0	0	94,64
LBBB	196	0	184	8	2	2	93,87
NORMAL	187	0	29	142	16	0	75,93
RBBB	98	1	1	28	61	7	62,24
SVTA	44	0	0	0	0	44	100
Genel Ortalama Başarım (%)							85,34

Şekilsel özniteliklerin CFBN ROC sonucu

	Doğruluk	Hassasiyet	Kesinlik
APC	98,90	94,64	99,80
LBBB	92,62	93,87	92,06
NORMAL	87,12	75,93	91,77
RBBB	91,36	62,24	96,66
SVTA	98,58	100	98,48

Şekilsel özniteliklerin RBN hassasiyet sonucu hata matrisi

Aritmi Tipi	Test	APC	LBBB	NORMAL	RBBB	SVTA	Başarım (%)
APC	112	107	5	0	0	0	95,53
LBBB	196	0	178	13	3	2	90,81
NORMAL	187	0	22	149	16	0	79,67
RBBB	98	0	0	22	76	0	77,55
SVTA	44	0	0	0	0	44	100
Genel Ortalama Başarım (%)							88,71

Şekilsel özniteliklerin RBN ROC sonucu

	Doğruluk	Hassasiyet	Kesinlik
APC	99,21	95,53	100
LBBB	92,93	90,81	93,87
NORMAL	88,54	79,67	92,22
RBBB	93,56	77,55	96,47
SVTA	99,68	100	99,66

Şekilsel özniteliklerin KSA hassasiyet sonucu hata matrisi

Aritmi Tipi	Test	APC	LBBB	NORMAL	RBBB	SVTA	Başarım (%)
APC	112	107	0	5	0	0	95,53
LBBB	196	0	188	4	3	1	95,91
NORMAL	187	0	106	43	38	0	22,99
RBBB	98	0	2	8	88	0	89,79
SVTA	44	0	0	0	0	44	100
Genel Ortalama Başarım (%)							80,84

Şekilsel özniteliklerin KSA ROC sonucu

	Doğruluk	Hassasiyet	Kesinlik
APC	99,21	95,53	100
LBBB	81,78	95,91	75,51
NORMAL	74,72	22,99	96,22
RBBB	91,99	89,79	92,39
SVTA	99,84	100	99,83

Şekilsel Özniteliklerin KT-KSA Hassasiyet sonucu hata matrisi

Aritmi Tipi	Test	APC	LBBB	NORMAL	RBBB	SVTA	Başarım (%)
APC	112	107	0	5	0	0	95,53
LBBB	196	0	184	8	3	1	93,87
NORMAL	187	0	10	153	24	0	81,81
RBBB	98	0	2	14	82	0	83,67
SVTA	44	0	0	0	0	44	100
Genel Ortalama Başarım (%)							90,98

Şekilsel özniteliklerin KT-KSA ROC sonucu

	Doğruluk	Hassasiyet	Kesinlik
APC	99,21	95,53	100
LBBB	96,23	93,87	97,27
NORMAL	90,42	81,81	94
RBBB	93,24	83,67	94,99
SVTA	99,84	100	99,83

Coiflets2 dalgacık fonksiyonu öznitelikleri FFN ile hassasiyet sonucu hata matrisi

Aritmi Tipi	Test	APC	LBBB	NORMAL	RBBB	SVTA	Başarım (%)
APC	112	106	4	0	1	1	94,64
LBBB	196	0	195	1	0	0	99,48
NORMAL	187	0	49	138	0	0	73,79
RBBB	98	0	2	0	95	1	96,93
SVTA	44	0	1	3	5	35	79,54
Genel Ortalama Başarım (%)							88,88

Coiflets2 dalgacık fonksiyonu öznitelikleri FFN ile ROC sonucu

	Doğruluk	Hassasiyet	Kesinlik
APC	99,05	94,64	100
LBBB	91,05	99,48	87,30
NORMAL	91,67	73,79	99,11
RBBB	98,58	96,93	98,88
SVTA	98,27	79,54	99,66

Coiflets2 dalgacık fonksiyonu öznitelikleri PNN ile hassasiyet sonucu hata matrisi

Aritmi Tipi	Test	APC	LBBB	NORMAL	RBBB	SVTA	Başarım (%)
APC	112	111	0	0	0	1	99,10
LBBB	196	0	196	0	0	0	100
NORMAL	187	5	3	179	0	0	95,72
RBBB	98	3	1	1	93	0	94,89
SVTA	44	4	0	1	0	39	88,63
Genel Ortalama Başarım (%)							95,67

Coiflets2 dalgacık fonksiyonu öznitelikleri PNN ile ROC sonucu

	Doğruluk	Hassasiyet	Kesinlik
APC	97,95	99,10	97,71
LBBB	99,37	100	99,09
NORMAL	98,43	95,72	99,55
RBBB	99,21	94,89	100
SVTA	99,05	88,63	99,83

Coiflets2 dalgacık fonksiyonu öznitelikleri CFBN ile hassasiyet sonucu hata matrisi

Aritmi Tipi	Test	APC	LBBB	NORMAL	RBBB	SVTA	Başarım (%)
APC	112	82	17	1	1	0	81,18
LBBB	196	0	196	0	0	0	100
NORMAL	187	0	64	123	0	0	65,77
RBBB	98	0	3	10	81	4	82,65
SVTA	44	0	2	6	9	22	56,41
Genel Ortalama Başarım (%)							77,20

Coiflets2 dalgacık fonksiyonu öznitelikleri CFBN ile ROC sonucu

	Doğruluk	Hassasiyet	Kesinlik
APC	96,96	81,18	100
LBBB	86,49	100	80,49
NORMAL	87,28	65,77	96,22
RBBB	95,76	82,65	98,14
SVTA	96,67	56,41	99,32

Coiflets2 dalgacık fonksiyonu öznitelikleri RBN ile hassasiyet sonucu hata matrisi

Aritmi Tipi	Test	APC	LBBB	NORMAL	RBBB	SVTA	Başarım (%)
APC	112	86	20	0	1	1	79,62
LBBB	196	0	196	0	0	0	100
NORMAL	187	3	69	115	0	0	61,49
RBBB	98	2	0	4	92	0	93,87
SVTA	44	0	1	2	10	28	68,29
Genel Ortalama Başarım (%)							80,65

Coiflets2 dalgacık fonksiyonu öznitelikleri RBN ile ROC sonucu

	Doğruluk	Hassasiyet	Kesinlik
APC	95,73	79,62	99,04
LBBB	85,87	100	79,59
NORMAL	87,75	61,49	98,66
RBBB	97,33	93,87	97,95
SVTA	97,79	68,29	99,83

Coiflets2 dalgacık fonksiyonu öznitelikleri KSA ile hassasiyet sonucu hata matrisi

Aritmi Tipi	Test	APC	LBBB	NORMAL	RBBB	SVTA	Başarım (%)
APC	112	102	0	0	10	0	91,07
LBBB	196	0	196	0	0	0	100
NORMAL	187	0	1	186	0	0	99,46
RBBB	98	0	2	1	95	0	96,93
SVTA	44	13	0	3	0	28	63,63
Genel Ortalama Başarım (%)							90,22

Coiflets2 dalgacık fonksiyonu öznitelikleri KSA ile ROC sonucu

	Doğruluk	Hassasiyet	Kesinlik
APC	96,38	91,07	97,52
LBBB	99,52	100	99,31
NORMAL	99,21	99,46	99,11
RBBB	97,95	96,93	98,14
SVTA	97,48	63,63	100

Coiflets2 dalgacık fonksiyonu öznelikleri KT-KSA ile hassasiyet sonucu hata matrisi

Aritmi Tipi	Test	APC	LBBB	NORMAL	RBBB	SVTA	Başarım (%)
APC	112	108	0	0	4	0	96,42
LBBB	196	0	196	0	0	0	100
NORMAL	187	0	1	186	0	0	99,46
RBBB	98	0	2	1	95	0	96,93
SVTA	44	3	0	2	0	39	88,63
Genel Ortalama Başarım (%)							96,29

Coiflets2 dalgacık fonksiyonu öznelikleri KT-KSA ile ROC sonucu

	Doğruluk	Hassasiyet	Kesinlik
APC	98,90	96,42	99,42
LBBB	99,52	100	99,31
NORMAL	99,37	99,46	99,33
RBBB	98,90	96,93	99,25
SVTA	99,21	88,63	100

Daubechies2 dalgacık fonksiyonu öznelikleri FFN ile hassasiyet sonucu hata matrisi

Aritmi Tipi	Test	APC	LBBB	NORMAL	RBBB	SVTA	Başarım (%)
APC	112	110	1	0	1	0	98,21
LBBB	196	0	195	1	0	0	99,48
NORMAL	187	0	22	164	1	0	87,70
RBBB	98	0	3	9	81	5	82,65
SVTA	44	0	4	4	8	28	63,63
Genel Ortalama Başarım (%)							86,33

Daubechies2 dalgacık fonksiyonu öznelikleri FFN ile ROC sonucu

	Doğruluk	Hassasiyet	Kesinlik
APC	99,68	98,21	100
LBBB	95,13	99,48	93,19
NORMAL	94,19	87,70	96,88
RBBB	95,76	82,65	98,14
SVTA	96,70	63,63	99,15

Daubechies2 dalgacık fonksiyonu öznelikleri PNN ile hassasiyet sonucu hata matrisi

Aritmi Tipi	Test	APC	LBBB	NORMAL	RBBB	SVTA	Başarım (%)
APC	112	108	0	1	3	0	96,42
LBBB	196	0	196	0	0	0	100
NORMAL	187	0	0	187	0	0	100
RBBB	98	0	2	0	96	0	97,95
SVTA	44	3	0	8	0	33	75
Genel Ortalama Başarım (%)							93,87

Daubechies2 dalgacık fonksiyonu öznelikleri PNN ile ROC sonucu

	Doğruluk	Hassasiyet	Kesinlik
APC	98,90	96,42	99,42
LBBB	99,68	100	99,54
NORMAL	98,58	100	98
RBBB	99,21	97,95	99,44
SVTA	98,27	75	100

Daubechies2 dalgacık fonksiyonu öznelikleri CFBN ile hassasiyet sonucu hata matrisi

Aritmi Tipi	Test	APC	LBBB	NORMAL	RBBB	SVTA	Başarım (%)
APC	112	85	16	6	1	0	78,70
LBBB	196	5	190	1	0	0	93,93
NORMAL	187	0	0	187	0	0	100
RBBB	98	0	0	5	93	0	94,89
SVTA	44	0	1	4	10	20	57,14
Genel Ortalama Başarım (%)							85,53

Daubechies2 dalgacık fonksiyonu öznelikleri CFBN ile ROC sonucu

	Doğruluk	Hassasiyet	Kesinlik
APC	95,57	78,70	99,04
LBBB	96,38	93,93	96,14
NORMAL	97,48	100	96,44
RBBB	97,48	94,89	97,95
SVTA	97,61	57,14	100

Daubechies2 dalgacık fonksiyonu öznelikleri RBN ile hassasiyet sonucu hata matrisi

Aritmi Tipi	Test	APC	LBBB	NORMAL	RBBB	SVTA	Başarım (%)
APC	112	77	14	5	0	0	80,20
LBBB	196	3	190	2	0	0	97,43
NORMAL	187	2	27	157	1	0	83,95
RBBB	98	6	6	18	64	2	66,66
SVTA	44	0	1	3	16	12	37,50
Genel Ortalama Başarım (%)							73,15

Daubechies2 dalgacık fonksiyonu öznelikleri RBN ile ROC sonucu

	Doğruluk	Hassasiyet	Kesinlik
APC	95,16	80,20	97,90
LBBB	91,66	97,43	89,11
NORMAL	90,89	83,95	93,77
RBBB	92,28	66,66	96,84
SVTA	96,48	37,50	99,66

Daubechies2 dalgacık fonksiyonu öznelikleri KSA ile hassasiyet sonucu hata matrisi

Aritmi Tipi	Test	APC	LBBB	NORMAL	RBBB	SVTA	Başarım (%)
APC	112	107	1	0	3	1	95,53
LBBB	196	0	196	0	0	0	100
NORMAL	187	0	0	186	0	1	99,46
RBBB	98	0	2	0	96	0	97,95
SVTA	44	3	12	3	0	26	59,09
Genel Ortalama Başarım (%)							90,41

Daubechies2 dalgacık fonksiyonu öznelikleri KSA ile ROC sonucu

	Doğruluk	Hassasiyet	Kesinlik
APC	98,74	95,53	99,42
LBBB	97,64	100	96,59
NORMAL	99,37	99,46	99,33
RBBB	99,21	97,95	99,44
SVTA	96,86	59,09	99,66

Daubechies2 dalgacık fonksiyonu öznitelikleri KT-KSA ile hassasiyet sonucu hata matrisi

Aritmi Tipi	Test	APC	LBBB	NORMAL	RBBB	SVTA	Başarım (%)
APC	112	110	0	0	1	1	98,21
LBBB	196	0	196	0	0	0	100
NORMAL	187	0	0	187	0	0	100
RBBB	98	0	1	1	96	0	97,95
SVTA	44	3	5	6	0	30	68,18
Genel Ortalama Başarım (%)							92,87

Daubechies2 dalgacık fonksiyonu öznitelikleri KT-KSA ile ROC sonucu

	Doğruluk	Hassasiyet	Kesinlik
APC	99,21	98,21	99,42
LBBB	99,05	100	98,63
NORMAL	98,90	100	98,44
RBBB	99,52	97,95	99,81
SVTA	97,64	68,18	99,83

Daubechies4 dalgacık fonksiyonu öznitelikleri FFN ile hassasiyet sonucu hata matrisi

Aritmi Tipi	Test	APC	LBBB	NORMAL	RBBB	SVTA	Başarım (%)
APC	112	111	0	0	0	1	99,10
LBBB	196	0	195	1	0	0	99,48
NORMAL	187	14	29	139	5	0	74,33
RBBB	98	2	7	14	75	0	76,53
SVTA	44	0	2	1	3	38	86,36
Genel Ortalama Başarım (%)							87,16

Daubechies4 dalgacık fonksiyonu öznitelikleri FFN ile ROC sonucu

	Doğruluk	Hassasiyet	Kesinlik
APC	97,33	99,10	96,95
LBBB	93,87	99,48	91,38
NORMAL	89,95	74,33	96,44
RBBB	95,13	76,53	98,51
SVTA	98,90	86,36	99,83

Daubechies4 dalgacık fonksiyonu öznitelikleri PNN ile hassasiyet sonucu hata matrisi

Aritmi Tipi	Test	APC	LBBB	NORMAL	RBBB	SVTA	Başarım (%)
APC	112	109	1	0	1	1	97,32
LBBB	196	0	196	0	0	0	100
NORMAL	187	0	73	114	0	0	60,96
RBBB	98	2	0	1	94	1	95,91
SVTA	44	4	0	4	0	36	81,81
Genel Ortalama Başarım (%)							87,20

Daubechies4 dalgacık fonksiyonu öznitelikleri PNN ile ROC sonucu

	Doğruluk	Hassasiyet	Kesinlik
APC	98,58	97,32	98,85
LBBB	88,38	100	83,22
NORMAL	87,75	60,96	98,88
RBBB	99,21	95,91	99,81
SVTA	98,43	81,81	99,66

Daubechies4 dalgacık fonksiyonu öznelikleri CFBN ile hassasiyet sonucu hata matrisi

Aritmi Tipi	Test	APC	LBBB	NORMAL	RBBB	SVTA	Başarım (%)
APC	112	97	9	5	0	0	87,38
LBBB	196	3	191	1	0	0	97,94
NORMAL	187	0	7	180	0	0	96,25
RBBB	98	0	0	3	95	0	96,93
SVTA	44	0	1	3	11	22	59,45
Genel Ortalama Başarım (%)							87,59

Daubechies4 dalgacık fonksiyonu öznelikleri CFBN ile ROC sonucu

	Doğruluk	Hassasiyet	Kesinlik
APC	97,32	87,38	99,42
LBBB	96,69	97,94	96,14
NORMAL	97,01	96,25	97,33
RBBB	97,80	96,93	97,95
SVTA	97,61	59,45	100

Daubechies4 dalgacık fonksiyonu öznelikleri RBN ile hassasiyet sonucu hata matrisi

Aritmi Tipi	Test	APC	LBBB	NORMAL	RBBB	SVTA	Başarım (%)
APC	112	84	16	2	1	0	81,55
LBBB	196	2	191	1	0	0	98,45
NORMAL	187	0	6	181	0	0	96,79
RBBB	98	0	1	1	77	18	79,38
SVTA	44	1	1	6	15	14	37,83
Genel Ortalama Başarım (%)							78,80

Daubechies4 dalgacık fonksiyonu öznelikleri RBN ile ROC sonucu

	Doğruluk	Hassasiyet	Kesinlik
APC	96,49	81,55	96,42
LBBB	95,74	98,45	94,55
NORMAL	97,48	96,79	97,77
RBBB	94,33	79,38	97,03
SVTA	93,49	37,83	96,96

Daubechies2 dalgacık fonksiyonu öznelikleri KSA ile hassasiyet sonucu hata matrisi

Aritmi Tipi	Test	APC	LBBB	NORMAL	RBBB	SVTA	Başarım (%)
APC	112	102	0	1	9	0	91,07
LBBB	196	0	0	196	0	0	100
NORMAL	187	0	80	107	0	0	57,21
RBBB	98	34	0	3	61	0	62,24
SVTA	44	21	0	2	0	21	47,72
Genel Ortalama Başarım (%)							71,65

Daubechies4 dalgacık fonksiyonu öznelikleri KSA ile ROC sonucu

	Doğruluk	Hassasiyet	Kesinlik
APC	89,79	91,07	89,52
LBBB	87,44	100	81,85
NORMAL	86,49	57,21	98,66
RBBB	92,77	62,24	98,33
SVTA	96,38	47,72	100

Daubechies4 dalgacık fonksiyonu öznelikleri KT-KSA ile hassasiyet sonucu hata matrisi

Aritmi Tipi	Test	APC	LBBB	NORMAL	RBBB	SVTA	Başarım (%)
APC	112	110	0	0	1	1	98,21
LBBB	196	0	196	0	0	0	100
NORMAL	187	0	79	108	0	0	57,75
RBBB	98	5	0	2	91	0	92,85
SVTA	44	6	0	2	0	36	81,81
Genel Ortalama Başarım (%)							86,12

Daubechies4 dalgacık fonksiyonu öznelikleri KT-KSA ile ROC sonucu

	Doğruluk	Hassasiyet	Kesinlik
APC	97,95	98,21	97,90
LBBB	87,59	100	82,08
NORMAL	86,97	57,75	99,11
RBBB	98,74	92,85	99,81
SVTA	98,58	81,81	99,83

Daubechies5 dalgacık fonksiyonu öznelikleri FFN ile hassasiyet sonucu hata matrisi

Aritmi Tipi	Test	APC	LBBB	NORMAL	RBBB	SVTA	Başarım (%)
APC	112	112	0	0	0	0	100
LBBB	196	1	191	4	0	0	97,44
NORMAL	187	30	22	125	10	0	66,84
RBBB	98	1	0	0	82	15	83,67
SVTA	44	0	0	0	0	44	100
Genel Ortalama Başarım (%)							89,59

Daubechies5 dalgacık fonksiyonu öznelikleri FFN ile ROC sonucu

	Doğruluk	Hassasiyet	Kesinlik
APC	94,97	100	93,90
LBBB	95,76	97,44	95,01
NORMAL	89,63	66,84	99,11
RBBB	95,91	83,67	98,14
SVTA	97,64	100	97,47

Daubechies5 dalgacık fonksiyonu öznelikleri PNN ile hassasiyet sonucu hata matrisi

Aritmi Tipi	Test	APC	LBBB	NORMAL	RBBB	SVTA	Başarım (%)
APC	112	112	0	0	0	0	100
LBBB	196	1	192	0	3	0	97,95
NORMAL	187	0	0	179	8	0	95,72
RBBB	98	0	1	1	96	0	97,95
SVTA	44	0	0	0	0	44	100
Genel Ortalama Başarım (%)							98,32

Daubechies5 dalgacık fonksiyonu öznelikleri PNN ile ROC sonucu

	Doğruluk	Hassasiyet	Kesinlik
APC	99,84	100	99,80
LBBB	99,21	97,95	99,77
NORMAL	98,58	95,72	99,77
RBBB	97,95	97,95	97,95
SVTA	100	100	100

Daubechies5 dalgacık fonksiyonu öznelikleri CFBN ile hassasiyet sonucu hata matrisi

Aritmi Tipi	Test	APC	LBBB	NORMAL	RBBB	SVTA	Başarım (%)
APC	112	103	5	1	0	0	94,49
LBBB	196	2	193	1	0	0	98,46
NORMAL	187	0	0	105	1	0	99,05
RBBB	98	2	0	0	92	4	93,87
SVTA	44	0	0	0	12	30	71,42
Genel Ortalama Başarım (%)							91,46

Daubechies5 dalgacık fonksiyonu öznelikleri CFBN ile ROC sonucu

	Doğruluk	Hassasiyet	Kesinlik
APC	98,42	94,49	99,23
LBBB	98,74	98,46	98,86
NORMAL	99,46	99,05	99,55
RBBB	97,01	93,87	97,58
SVTA	97,48	71,42	99,32

Daubechies5 dalgacık fonksiyonu öznelikleri RBN ile hassasiyet sonucu hata matrisi

Aritmi Tipi	Test	APC	LBBB	NORMAL	RBBB	SVTA	Başarım (%)
APC	112	86	14	3	0	1	82,69
LBBB	196	1	194	1	0	0	98,97
NORMAL	187	1	9	139	32	5	74,73
RBBB	98	2	0	0	92	4	93,87
SVTA	44	0	0	3	19	16	42,10
Genel Ortalama Başarım (%)							78,47

Daubechies5 dalgacık fonksiyonu öznelikleri RBN ile ROC sonucu

	Doğruluk	Hassasiyet	Kesinlik
APC	96,50	82,69	99,23
LBBB	96,07	98,97	94,78
NORMAL	91,50	74,73	98,44
RBBB	91,05	93,87	90,53
SVTA	94,92	42,10	98,31

Daubechies5 dalgacık fonksiyonu öznelikleri KSA ile hassasiyet sonucu hata matrisi

Aritmi Tipi	Test	APC	LBBB	NORMAL	RBBB	SVTA	Başarım (%)
APC	112	112	0	0	0	0	100
LBBB	196	0	195	0	1	0	99,48
NORMAL	187	0	13	174	0	0	93,04
RBBB	98	1	2	2	93	0	94,89
SVTA	44	13	0	7	0	24	54,54
Genel Ortalama Başarım (%)							88,39

Daubechies5 dalgacık fonksiyonu öznelikleri KSA ile ROC sonucu

	Doğruluk	Hassasiyet	Kesinlik
APC	97,80	100	97,33
LBBB	97,48	99,48	96,59
NORMAL	96,54	93,04	98
RBBB	99,05	94,89	99,81
SVTA	96,86	54,54	100

Daubechies5 dalgacık fonksiyonu öz nitelikleri KT-KSA ile hassasiyet sonucu hata matrisi

Aritmi Tipi	Test	APC	LBBB	NORMAL	RBBB	SVTA	Başarım (%)
APC	112	112	0	0	0	0	100
LBBB	196	0	195	0	1	0	99,48
NORMAL	187	0	9	178	0	0	95,18
RBBB	98	0	4	3	91	0	92,85
SVTA	44	3	0	3	0	38	86,36
Genel Ortalama Başarım (%)							94,77

Daubechies5 dalgacık fonksiyonu öz nitelikleri KT-KSA ile ROC sonucu

	Doğruluk	Hassasiyet	Kesinlik
APC	99,52	100	99,42
LBBB	97,80	99,48	97,05
NORMAL	97,64	95,18	98,66
RBBB	98,74	92,85	99,81
SVTA	99,05	86,36	100

Daubechies6 dalgacık fonksiyonu öz nitelikleri FFN ile hassasiyet sonucu hata matrisi

Aritmi Tipi	Test	APC	LBBB	NORMAL	RBBB	SVTA	Başarım (%)
APC	112	110	1	1	0	0	98,21
LBBB	196	10	183	3	0	0	93,36
NORMAL	187	0	9	142	36	0	75,93
RBBB	98	0	2	0	93	3	94,89
SVTA	44	0	4	6	4	30	68,18
Genel Ortalama Başarım (%)							86,11

Daubechies6 dalgacık fonksiyonu öz nitelikleri FFN ile ROC sonucu

	Doğruluk	Hassasiyet	Kesinlik
APC	98,11	98,21	98,09
LBBB	95,44	93,36	96,37
NORMAL	91,36	75,93	97,77
RBBB	92,93	94,89	92,57
SVTA	97,33	68,18	99,49

Daubechies6 dalgacık fonksiyonu öz nitelikleri PNN ile hassasiyet sonucu hata matrisi

Aritmi Tipi	Test	APC	LBBB	NORMAL	RBBB	SVTA	Başarım (%)
APC	112	110	0	0	0	2	98,21
LBBB	196	0	196	0	0	0	100
NORMAL	187	0	4	183	0	0	97,86
RBBB	98	0	0	2	96	0	97,95
SVTA	44	5	0	2	0	37	84,09
Genel Ortalama Başarım (%)							95,62

Daubechies6 dalgacık fonksiyonu öz nitelikleri PNN ile ROC sonucu

	Doğruluk	Hassasiyet	Kesinlik
APC	98,90	98,21	99,04
LBBB	99,37	100	99,09
NORMAL	98,74	97,86	99,11
RBBB	99,68	97,95	100
SVTA	98,58	84,09	99,66

Daubechies6 dalgacık fonksiyonu öznitelikleri CFBN ile hassasiyet sonucu hata matrisi

Aritmi Tipi	Test	APC	LBBB	NORMAL	RBBB	SVTA	Başarım (%)
APC	112	107	4	0	0	0	96,39
LBBB	196	2	193	1	0	0	98,46
NORMAL	187	26	21	118	3	0	70,23
RBBB	98	1	1	1	95	0	96,93
SVTA	44	0	1	3	6	30	75
Genel Ortalama Başarım (%)							87,40

Daubechies6 dalgacık fonksiyonu öznitelikleri CFBN ile ROC sonucu

	Doğruluk	Hassasiyet	Kesinlik
APC	94,81	96,39	94,47
LBBB	95,29	98,46	93,87
NORMAL	91,10	70,23	98,88
RBBB	98,11	96,93	98,33
SVTA	98,42	75	100

Daubechies6 dalgacık fonksiyonu öznitelikleri RBN ile hassasiyet sonucu hata matrisi

Aritmi Tipi	Test	APC	LBBB	NORMAL	RBBB	SVTA	Başarım (%)
APC	112	89	8	3	0	0	89
LBBB	196	0	190	6	0	0	96,93
NORMAL	187	0	10	149	27	1	79,67
RBBB	98	1	0	1	90	6	91,83
SVTA	44	0	0	5	12	20	54,05
Genel Ortalama Başarım (%)							82,30

Daubechies6 dalgacık fonksiyonu öznitelikleri RBN ile ROC sonucu

	Doğruluk	Hassasiyet	Kesinlik
APC	98,08	89	99,80
LBBB	96,23	96,93	95,91
NORMAL	91,67	79,67	96,66
RBBB	92,62	91,83	92,76
SVTA	96,19	54,05	98,81

Daubechies6 dalgacık fonksiyonu öznitelikleri KSA Hassasiyet sonucu hata matrisi

Aritmi Tipi	Test	APC	LBBB	NORMAL	RBBB	SVTA	Başarım (%)
APC	112	111	0	1	0	0	99,10
LBBB	196	0	196	0	0	0	100
NORMAL	187	0	0	187	0	0	100
RBBB	98	0	0	2	96	0	97,95
SVTA	44	33	0	1	0	10	22,72
Genel Ortalama Başarım (%)							83,95

Daubechies6 dalgacık fonksiyonu öznitelikleri KSA ROC sonucu

	Doğruluk	Hassasiyet	Kesinlik
APC	94,66	99,10	93,71
LBBB	100	100	100
NORMAL	99,37	100	99,11
RBBB	99,68	97,95	100
SVTA	94,66	22,72	100

Daubechies6 dalgacık fonksiyonu öz nitelikleri KT-KSA ile hassasiyet sonucu hata matrisi

Aritmi Tipi	Test	APC	LBBB	NORMAL	RBBB	SVTA	Başarım (%)
APC	112	110	0	2	0	0	98,21
LBBB	196	0	196	0	0	0	100
NORMAL	187	0	0	187	0	0	100
RBBB	98	0	0	2	96	0	97,95
SVTA	44	12	0	2	0	30	68,18
Genel Ortalama Başarım (%)							92,87

Daubechies6 dalgacık fonksiyonu öz nitelikleri KT-KSA ile ROC sonucu

	Doğruluk	Hassasiyet	Kesinlik
APC	97,80	98,21	97,71
LBBB	100	100	100
NORMAL	99,05	100	98,66
RBBB	99,68	97,95	100
SVTA	97,80	68,18	100

Daubechies10 dalgacık fonksiyonu öz nitelikleri FFN ile hassasiyet sonucu hata matrisi

Aritmi Tipi	Test	APC	LBBB	NORMAL	RBBB	SVTA	Başarım (%)
APC	112	110	1	0	0	1	98,21
LBBB	196	1	194	1	0	0	98,97
NORMAL	187	1	16	121	43	6	64,70
RBBB	98	0	0	0	98	0	100
SVTA	44	1	4	2	8	29	65,90
Genel Ortalama Başarım (%)							85,56

Daubechies10 dalgacık fonksiyonu öz nitelikleri FFN ile ROC sonucu

	Doğruluk	Hassasiyet	Kesinlik
APC	99,21	98,21	99,42
LBBB	96,38	98,97	95,23
NORMAL	89,16	64,70	99,33
RBBB	91,99	100	90,53
SVTA	96,54	65,90	98,81

Daubechies10 dalgacık fonksiyonu öz nitelikleri PNN ile hassasiyet sonucu hata matrisi

Aritmi Tipi	Test	APC	LBBB	NORMAL	RBBB	SVTA	Başarım (%)
APC	112	112	0	0	0	0	100
LBBB	196	0	196	0	0	0	100
NORMAL	187	0	0	186	0	1	99,46
RBBB	98	0	1	1	96	0	97,95
SVTA	44	16	0	0	0	28	63,63
Genel Ortalama Başarım (%)							92,21

Daubechies10 dalgacık fonksiyonu öz nitelikleri PNN ile ROC sonucu

	Doğruluk	Hassasiyet	Kesinlik
APC	97,48	100	96,95
LBBB	99,84	100	99,77
NORMAL	99,68	99,46	99,77
RBBB	99,68	97,95	100
SVTA	97,33	63,63	99,83

Daubechies10 dalgacık fonksiyonu öz nitelikleri CFBN ile hassasiyet sonucu hata matrisi

Aritmi Tipi	Test	APC	LBBB	NORMAL	RBBB	SVTA	Başarım (%)
APC	112	95	4	0	0	0	95,95
LBBB	196	1	192	2	0	1	97,95
NORMAL	187	9	43	126	7	1	67,74
RBBB	98	0	1	8	89	0	90,81
SVTA	44	0	1	2	13	24	60
Genel Ortalama Başarım (%)							82,49

Daubechies10 dalgacık fonksiyonu öz nitelikleri CFBN ile ROC sonucu

	Doğruluk	Hassasiyet	Kesinlik
APC	97,75	95,95	98,09
LBBB	91,67	97,95	88,88
NORMAL	88,67	67,74	97,33
RBBB	95,44	90,81	96,28
SVTA	97,15	60	99,66

Daubechies10 dalgacık fonksiyonu öz nitelikleri RBN ile hassasiyet sonucu hata matrisi

Aritmi Tipi	Test	APC	LBBB	NORMAL	RBBB	SVTA	Başarım (%)
APC	112	79	8	1	1	0	88,76
LBBB	196	3	190	2	0	0	97,43
NORMAL	187	29	50	101	5	0	54,59
RBBB	98	1	0	1	81	15	82,65
SVTA	44	0	0	7	12	15	44,11
Genel Ortalama Başarım (%)							73,51

Daubechies10 dalgacık fonksiyonu öz nitelikleri RBN ile ROC sonucu

	Doğruluk	Hassasiyet	Kesinlik
APC	92,99	88,76	93,71
LBBB	90,09	97,43	86,84
NORMAL	85,03	54,59	97,55
RBBB	94,50	82,65	96,66
SVTA	94,57	44,11	97,47

Daubechies10 dalgacık fonksiyonu öz nitelikleri KSA ile hassasiyet sonucu hata matrisi

Aritmi Tipi	Test	APC	LBBB	NORMAL	RBBB	SVTA	Başarım (%)
APC	112	111	0	1	0	0	99,10
LBBB	196	0	196	0	0	0	100
NORMAL	187	0	0	187	0	0	100
RBBB	98	0	2	1	95	0	96,93
SVTA	44	37	0	3	0	4	9,09
Genel Ortalama Başarım (%)							81,02

Daubechies10 dalgacık fonksiyonu öz nitelikleri KSA ile ROC sonucu

	Doğruluk	Hassasiyet	Kesinlik
APC	94,03	99,10	92,95
LBBB	99,68	100	99,54
NORMAL	99,21	100	98,88
RBBB	99,52	96,93	100
SVTA	93,72	9,09	100

Daubechies10 dalgacık fonksiyonu öznelikleri KT-KSA ile hassasiyet sonucu hata matrisi

Aritmi Tipi	Test	APC	LBBB	NORMAL	RBBB	SVTA	Başarım (%)
APC	112	111	0	1	0	0	99,10
LBBB	196	0	196	0	0	0	100
NORMAL	187	0	0	187	0	0	100
RBBB	98	0	2	1	95	0	96,93
SVTA	44	36	0	2	0	6	13,63
Genel Ortalama Başarım (%)							81,93

Daubechies10 dalgacık fonksiyonu öznelikleri KT-KSA ile ROC sonucu

	Doğruluk	Hassasiyet	Kesinlik
APC	94,19	99,10	93,14
LBBB	99,68	100	99,54
NORMAL	99,37	100	99,11
RBBB	99,52	96,93	100
SVTA	94,03	13,63	100

Symlets6 dalgacık fonksiyonu öznelikleri FFN ile hassasiyet sonucu hata matrisi

Aritmi Tipi	Test	APC	LBBB	NORMAL	RBBB	SVTA	Başarım (%)
APC	112	110	0	1	0	1	98,21
LBBB	196	0	196	0	0	0	100
NORMAL	187	2	19	150	16	0	80,21
RBBB	98	0	5	5	85	3	86,73
SVTA	44	0	2	2	2	38	86,36
Genel Ortalama Başarım (%)							90,30

Symlets6 dalgacık fonksiyonu öznelikleri FFN ile ROC sonucu

	Doğruluk	Hassasiyet	Kesinlik
APC	99,37	98,21	99,61
LBBB	95,91	100	94,10
NORMAL	92,93	80,21	98,22
RBBB	95,13	86,73	96,66
SVTA	98,43	86,36	99,32

Symlets6 dalgacık fonksiyonu öznelikleri PNN ile hassasiyet sonucu hata matrisi

Aritmi Tipi	Test	APC	LBBB	NORMAL	RBBB	SVTA	Başarım (%)
APC	112	109	0	0	0	3	97,32
LBBB	196	0	196	0	0	0	100
NORMAL	187	77	0	110	0	0	58,82
RBBB	98	6	0	1	91	0	92,85
SVTA	44	6	0	4	0	34	77,27
Genel Ortalama Başarım (%)							82,25

Symlets6 dalgacık fonksiyonu öznelikleri PNN ile ROC sonucu

	Doğruluk	Hassasiyet	Kesinlik
APC	85,55	97,32	83,04
LBBB	100	100	100
NORMAL	87,12	58,82	98,88
RBBB	98,90	92,85	100
SVTA	97,95	77,27	99,49

Symlets6 dalgacık fonksiyonu öznitelikleri CFBN ile hassasiyet sonucu hata matrisi

Aritmi Tipi	Test	APC	LBBB	NORMAL	RBBB	SVTA	Başarım (%)
APC	112	64	12	1	1	0	82,05
LBBB	196	0	196	0	0	0	100
NORMAL	187	3	75	109	0	0	58,28
RBBB	98	0	1	10	86	1	87,75
SVTA	44	0	2	1	16	21	52,50
Genel Ortalama Başarım (%)							76,11

Symlets6 dalgacık fonksiyonu öznitelikleri CFBN ile ROC sonucu

	Doğruluk	Hassasiyet	Kesinlik
APC	97,18	82,05	99,42
LBBB	85,87	100	79,59
NORMAL	85,87	58,28	97,33
RBBB	95,44	87,75	96,84
SVTA	96,84	52,50	99,83

Symlets6 dalgacık fonksiyonu öznitelikleri RBN ile hassasiyet sonucu hata matrisi

Aritmi Tipi	Test	APC	LBBB	NORMAL	RBBB	SVTA	Başarım (%)
APC	112	77	16	3	1	1	78,57
LBBB	196	0	195	1	0	0	99,48
NORMAL	187	51	30	99	7	0	52,94
RBBB	98	0	2	6	90	0	91,83
SVTA	44	0	4	4	13	14	40
Genel Ortalama Başarım (%)							72,56

Symlets6 dalgacık fonksiyonu öznitelikleri RBN ile ROC sonucu

	Doğruluk	Hassasiyet	Kesinlik
APC	88,44	78,57	90,28
LBBB	91,67	99,48	88,20
NORMAL	83,98	52,94	96,88
RBBB	95,44	91,83	96,10
SVTA	96,49	40	99,83

Symlets6 dalgacık fonksiyonu öznitelikleri KSA ile hassasiyet sonucu hata matrisi

Aritmi Tipi	Test	APC	LBBB	NORMAL	RBBB	SVTA	Başarım (%)
APC	112	108	0	1	3	0	96,42
LBBB	196	0	196	0	0	0	100
NORMAL	187	0	3	184	0	0	98,39
RBBB	98	0	1	1	96	0	97,95
SVTA	44	29	0	2	0	13	29,54
Genel Ortalama Başarım (%)							84,46

Symlets6 dalgacık fonksiyonu öznitelikleri KSA ile ROC sonucu

	Doğruluk	Hassasiyet	Kesinlik
APC	94,81	96,42	94,47
LBBB	99,37	100	99,09
NORMAL	98,90	98,39	99,11
RBBB	99,21	97,95	99,44
SVTA	95,13	29,54	100

Symlets6 dalgacık fonksiyonu öznitelikleri KT-KSA ile hassasiyet sonucu hata matrisi

Aritmi Tipi	Test	APC	LBBB	NORMAL	RBBB	SVTA	Başarım (%)
APC	112	110	0	1	0	1	98,21
LBBB	196	0	196	0	0	0	100
NORMAL	187	0	3	184	0	0	98,39
RBBB	98	0	1	1	96	0	97,95
SVTA	44	22	0	3	0	19	43,18
Genel Ortalama Başarım (%)							87,55

Symlets6 dalgacık fonksiyonu öznitelikleri KT-KSA ile ROC sonucu

	Doğruluk	Hassasiyet	Kesinlik
APC	96,23	98,21	95,80
LBBB	99,37	100	99,09
NORMAL	98,74	98,39	98,88
RBBB	99,68	97,95	100
SVTA	95,91	43,18	99,83

Şekilsel öznitelikler ve Coiflets2 dalgacık fonksiyonu öznitelikleri FFN ile hassasiyet sonucu hata matrisi

Aritmi Tipi	Test	APC	LBBB	NORMAL	RBBB	SVTA	Başarım (%)
APC	112	112	0	0	0	0	100
LBBB	196	0	195	1	0	0	99,48
NORMAL	187	0	69	117	1	0	62,56
RBBB	98	0	1	2	95	0	96,93
SVTA	44	0	0	0	0	44	100
Genel Ortalama Başarım (%)							91,79

Şekilsel öznitelikler ve Coiflets2 dalgacık fonksiyonu öznitelikleri FFN ile ROC sonucu

	Doğruluk	Hassasiyet	Kesinlik
APC	100	100	100
LBBB	88,85	99,48	84,12
NORMAL	88,54	62,56	99,33
RBBB	99,37	96,93	99,81
SVTA	100	100	100

Şekilsel öznitelikler ve Coiflets2 dalgacık fonksiyonu öznitelikleri PNN ile hassasiyet sonucu hata matrisi

Aritmi Tipi	Test	APC	LBBB	NORMAL	RBBB	SVTA	Başarım (%)
APC	112	112	0	0	0	0	100
LBBB	196	2	194	0	0	0	98,97
NORMAL	187	13	0	174	0	0	93,04
RBBB	98	3	1	1	93	0	94,89
SVTA	44	4	0	0	0	40	90,90
Genel Ortalama Başarım (%)							95,56

Şekilsel öznitelikler ve Coiflets2 dalgacık fonksiyonu öznitelikleri PNN ile ROC sonucu

	Doğruluk	Hassasiyet	Kesinlik
APC	96,54	100	95,80
LBBB	99,52	98,97	99,77
NORMAL	97,80	93,04	99,77
RBBB	99,21	94,89	100
SVTA	99,37	90,90	100

Şekilsel öznitelikler ve Coiflets2 dalgacık fonksiyonu öznitelikleri CFBN ile hassasiyet sonucu hata matrisi

Aritmi Tipi	Test	APC	LBBB	NORMAL	RBBB	SVTA	Başarım (%)
APC	112	71	15	0	0	0	82,55
LBBB	196	0	194	2	0	0	98,97
NORMAL	187	0	0	187	0	0	100
RBBB	98	0	0	3	88	7	89,79
SVTA	44	0	0	0	1	37	97,36
Genel Ortalama Başarım (%)							93,74

Şekilsel öznitelikler ve Coiflets2 dalgacık fonksiyonu öznitelikleri CFBN ile ROC sonucu

	Doğruluk	Hassasiyet	Kesinlik
APC	97,54	82,55	100
LBBB	97,33	98,97	96,59
NORMAL	99,21	100	98,88
RBBB	98,27	89,79	99,81
SVTA	98,73	97,36	98,81

Şekilsel öznitelikler ve Coiflets2 dalgacık fonksiyonu öznitelikleri RBN ile hassasiyet sonucu hata matrisi

Aritmi Tipi	Test	APC	LBBB	NORMAL	RBBB	SVTA	Başarım (%)
APC	112	90	21	0	0	0	81,08
LBBB	196	0	195	1	0	0	99,48
NORMAL	187	0	20	167	0	0	89,30
RBBB	98	0	0	8	90	0	91,83
SVTA	44	0	0	0	2	42	95,45
Genel Ortalama Başarım (%)							91,43

Şekilsel öznitelikler ve Coiflets2 dalgacık fonksiyonu öznitelikleri RBN ile ROC sonucu

	Doğruluk	Hassasiyet	Kesinlik
APC	96,69	81,08	100
LBBB	93,40	99,48	90,70
NORMAL	95,44	89,30	98
RBBB	98,43	91,83	99,62
SVTA	99,68	95,45	100

Şekilsel öznitelikler ve Coiflets2 dalgacık fonksiyonu öznitelikleri KSA ile hassasiyet sonucu hata matrisi

Aritmi Tipi	Test	APC	LBBB	NORMAL	RBBB	SVTA	Başarım (%)
APC	112	107	0	0	5	0	95,53
LBBB	196	0	196	0	0	0	100
NORMAL	187	0	0	187	0	0	100
RBBB	98	0	1	2	95	0	96,93
SVTA	44	1	0	5	0	38	86,36
Genel Ortalama Başarım (%)							95,76

Şekilsel öznitelikler ve Coiflets2 dalgacık fonksiyonu öznitelikleri KSA ile ROC sonucu

Aritmi Tipi	Doğruluk	Hassasiyet	Kesinlik
APC	99,05	95,53	99,80
LBBB	99,84	100	99,77
NORMAL	98,90	100	98,44
RBBB	98,74	96,93	99,07
SVTA	99,05	86,36	100

Şekilsel öznitelikler ve Coiflets2 dalgacık fonksiyonu öznitelikleri KT-KSA ile hassasiyet sonucu hata matrisi

Aritmi Tipi	Test	APC	LBBB	NORMAL	RBBB	SVTA	Başarım (%)
APC	112	112	0	0	0	0	100
LBBB	196	0	196	0	0	0	100
NORMAL	187	0	0	187	0	0	100
RBBB	98	0	1	2	95	0	96,93
SVTA	44	1	0	2	0	41	93,18
Genel Ortalama Başarım (%)							98,02

Şekilsel öznitelikler ve Coiflets2 dalgacık fonksiyonu öznitelikleri KT-KSA ile ROC sonucu

	Doğruluk	Hassasiyet	Kesinlik
APC	99,84	100	99,80
LBBB	99,84	100	99,77
NORMAL	99,37	100	99,11
RBBB	99,52	96,93	100
SVTA	99,52	93,18	100

Şekilsel öznitelikler ve Daubechies2 dalgacık fonksiyonu öznitelikleri FFN ile hassasiyet sonucu hata matrisi

Aritmi Tipi	Test	APC	LBBB	NORMAL	RBBB	SVTA	Başarım (%)
APC	112	112	0	0	0	0	100
LBBB	196	3	191	1	0	1	97,44
NORMAL	187	0	0	158	29	0	84,49
RBBB	98	0	0	0	98	0	100
SVTA	44	0	0	0	0	44	100
Genel Ortalama Başarım (%)							96,38

Şekilsel öznitelikler ve Daubechies2 dalgacık fonksiyonu öznitelikleri FFN ile ROC sonucu

	Doğruluk	Hassasiyet	Kesinlik
APC	99,52	100	99,42
LBBB	99,21	97,44	100
NORMAL	95,29	84,49	99,77
RBBB	95,44	100	94,61
SVTA	99,84	100	99,83

Şekilsel öznitelikler ve Daubechies2 dalgacık fonksiyonu öznitelikleri PNN ile hassasiyet sonucu hata matrisi

Aritmi Tipi	Test	APC	LBBB	NORMAL	RBBB	SVTA	Başarım (%)
APC	112	112	0	0	0	0	100
LBBB	196	2	193	0	0	1	98,46
NORMAL	187	0	0	187	0	0	100
RBBB	98	0	2	0	96	0	97,95
SVTA	44	0	0	0	0	44	100
Genel Ortalama Başarım (%)							99,28

Şekilsel öznitelikler ve Daubechies2 dalgacık fonksiyonu öznitelikleri PNN ile ROC sonucu

	Doğruluk	Hassasiyet	Kesinlik
APC	99,68	100	99,61
LBBB	99,21	98,46	99,54
NORMAL	100	100	100
RBBB	99,68	97,95	100
SVTA	99,84	100	99,83

Şekilsel öznitelikler ve Daubechies2 dalgacık fonksiyonu öznitelikleri CFBN ile hassasiyet sonucu hata matrisi

Aritmi Tipi	Test	APC	LBBB	NORMAL	RBBB	SVTA	Başarım (%)
APC	112	112	0	0	0	0	100
LBBB	196	1	192	3	0	0	97,95
NORMAL	187	0	12	175	0	0	93,58
RBBB	98	0	0	1	97	0	98,97
SVTA	44	0	0	0	3	39	92,85
Genel Ortalama Başarım (%)							96,67

Şekilsel öznitelikler ve Daubechies2 dalgacık fonksiyonu öznitelikleri CFBN ile ROC sonucu

	Doğruluk	Hassasiyet	Kesinlik
APC	99,84	100	99,80
LBBB	97,48	97,95	97,27
NORMAL	97,48	93,58	99,11
RBBB	99,37	98,97	99,44
SVTA	99,52	92,85	100

Şekilsel öznitelikler ve Daubechies2 dalgacık fonksiyonu öznitelikleri RBN ile hassasiyet sonucu hata matrisi

Aritmi Tipi	Test	APC	LBBB	NORMAL	RBBB	SVTA	Başarım (%)
APC	112	111	1	0	0	0	99,10
LBBB	196	2	194	0	0	0	98,97
NORMAL	187	0	10	165	12	0	88,23
RBBB	98	0	1	3	75	19	76,53
SVTA	44	0	0	0	7	33	82,50
Genel Ortalama Başarım (%)							89,07

Şekilsel öznitelikler ve Daubechies2 dalgacık fonksiyonu öznitelikleri RBN ile ROC sonucu

	Doğruluk	Hassasiyet	Kesinlik
APC	99,52	99,10	99,61
LBBB	97,80	98,97	97,27
NORMAL	96,07	88,23	99,33
RBBB	93,40	76,53	96,47
SVTA	95,89	82,50	96,79

Şekilsel öznitelikler ve Daubechies2 dalgacık fonksiyonu öznitelikleri KSA ile hassasiyet sonucu hata matrisi

Aritmi Tipi	Test	APC	LBBB	NORMAL	RBBB	SVTA	Başarım (%)
APC	112	112	0	0	0	0	100
LBBB	196	2	191	3	0	0	97,44
NORMAL	187	7	23	85	0	72	45,45
RBBB	98	1	2	0	95	0	96,93
SVTA	44	0	10	0	0	34	77,27
Genel Ortalama Başarım (%)							83,42

Şekilsel öznitelikler ve Daubechies2 dalgacık fonksiyonu öznitelikleri KSA ile ROC sonucu

	Doğruluk	Hassasiyet	Kesinlik
APC	98,43	100	98,09
LBBB	93,72	97,44	92,06
NORMAL	83,51	45,45	99,33
RBBB	99,52	96,93	100
SVTA	87,12	77,27	87,85

Şekilsel öznitelikler ve Daubechies2 dalgacık fonksiyonu öznitelikleri KT-KSA ile hassasiyet sonucu hata matrisi

Aritmi Tipi	Test	APC	LBBB	NORMAL	RBBB	SVTA	Başarım (%)
APC	112	112	0	0	0	0	100
LBBB	196	2	191	2	0	1	97,44
NORMAL	187	5	0	182	0	0	97,32
RBBB	98	1	2	0	95	0	96,93
SVTA	44	0	2	0	0	42	95,45
Genel Ortalama Başarım (%)							97,43

Şekilsel öznitelikler ve Daubechies2 dalgacık fonksiyonu öznitelikleri KT-KSA ile ROC sonucu

	Doğruluk	Hassasiyet	Kesinlik
APC	98,74	100	98,47
LBBB	98,58	97,44	99,09
NORMAL	98,90	97,32	99,55
RBBB	99,52	96,93	100
SVTA	99,52	95,45	99,83

Şekilsel öznitelikler ve Daubechies4 dalgacık fonksiyonu öznitelikleri FFN ile hassasiyet sonucu hata matrisi

Aritmi Tipi	Test	APC	LBBB	NORMAL	RBBB	SVTA	Başarım (%)
APC	112	112	0	0	0	0	100
LBBB	196	0	195	1	0	0	99,48
NORMAL	187	0	0	161	26	0	86,09
RBBB	98	0	0	9	89	0	90,81
SVTA	44	0	0	0	0	44	100
Genel Ortalama Başarım (%)							95,28

Şekilsel öznitelikler ve Daubechies4 dalgacık fonksiyonu öznitelikleri FFN ile ROC sonucu

	Doğruluk	Hassasiyet	Kesinlik
APC	100	100	100
LBBB	99,84	99,48	100
NORMAL	94,34	86,09	97,77
RBBB	94,50	90,81	95,17
SVTA	100	100	100

Şekilsel öznitelikler ve Daubechies4 dalgacık fonksiyonu öznitelikleri PNN ile hassasiyet sonucu hata matrisi

Aritmi Tipi	Test	APC	LBBB	NORMAL	RBBB	SVTA	Başarım (%)
APC	112	112	0	0	0	0	100
LBBB	196	2	194	0	0	0	98,97
NORMAL	187	0	0	187	0	0	100
RBBB	98	1	0	3	94	0	95,91
SVTA	44	0	0	0	0	44	100
Genel Ortalama Başarım (%)							98,97

Şekilsel öznitelikler ve Daubechies4 dalgacık fonksiyonu öznitelikleri PNN ile ROC sonucu

	Doğruluk	Hassasiyet	Kesinlik
APC	99,52	100	99,42
LBBB	99,68	98,97	100
NORMAL	99,52	100	99,33
RBBB	99,37	95,91	100
SVTA	100	100	100

Şekilsel öznitelikler ve Daubechies4 dalgacık fonksiyonu öznitelikleri CFBN ile hassasiyet sonucu hata matrisi

Aritmi Tipi	Test	APC	LBBB	NORMAL	RBBB	SVTA	Başarım (%)
APC	112	109	2	1	0	0	97,32
LBBB	196	2	191	0	0	0	98,96
NORMAL	187	0	10	177	0	0	94,65
RBBB	98	0	0	9	89	0	90,81
SVTA	44	0	0	0	0	44	100
Genel Ortalama Başarım (%)							96,35

Şekilsel öznitelikler ve Daubechies4 dalgacık fonksiyonu öznitelikleri CFBN ile ROC sonucu

	Doğruluk	Hassasiyet	Kesinlik
APC	99,21	97,32	99,61
LBBB	97,79	98,96	97,27
NORMAL	96,86	94,65	97,77
RBBB	98,58	90,81	100
SVTA	100	100	100

Şekilsel öznitelikler ve Daubechies4 dalgacık fonksiyonu öznitelikleri RBN ile hassasiyet sonucu hata matrisi

Aritmi Tipi	Test	APC	LBBB	NORMAL	RBBB	SVTA	Başarım (%)
APC	112	104	8	0	0	0	92,85
LBBB	196	3	190	2	1	0	96,93
NORMAL	187	0	1	170	16	0	90,90
RBBB	98	0	0	8	89	1	90,81
SVTA	44	0	0	0	0	44	100
Genel Ortalama Başarım (%)							94,30

Şekilsel öznitelikler ve Daubechies4 dalgacık fonksiyonu öznitelikleri RBN ile ROC sonucu

	Doğruluk	Hassasiyet	Kesinlik
APC	98,27	92,85	99,42
LBBB	97,64	96,93	97,95
NORMAL	95,76	90,90	97,77
RBBB	95,91	90,81	96,84
SVTA	99,84	100	99,83

Şekilsel öznitelikler ve Daubechies4 dalgacık fonksiyonu öznitelikleri KSA ile hassasiyet sonucu hata matrisi

Aritmi Tipi	Test	APC	LBBB	NORMAL	RBBB	SVTA	Başarım (%)
APC	112	112	0	0	0	0	100
LBBB	196	0	195	1	0	0	99,48
NORMAL	187	0	93	94	0	0	50,26
RBBB	98	2	0	2	93	1	94,89
SVTA	44	0	0	2	0	42	95,45
Genel Ortalama Başarım (%)							88,02

Şekilsel öznitelikler ve Daubechies4 dalgacık fonksiyonu öznitelikleri KSA ile ROC sonucu

	Doğruluk	Hassasiyet	Kesinlik
APC	99,68	100	99,61
LBBB	85,24	99,48	78,91
NORMAL	84,61	50,26	98,88
RBBB	99,21	94,89	100
SVTA	99,52	95,45	99,83

Şekilsel öznitelikler ve Daubechies4 dalgacık fonksiyonu öznitelikleri KT-KSA ile hassasiyet sonucu hata matrisi

Aritmi Tipi	Test	APC	LBBB	NORMAL	RBBB	SVTA	Başarım (%)
APC	112	112	0	0	0	0	100
LBBB	196	0	195	1	0	0	99,48
NORMAL	187	0	0	187	0	0	100
RBBB	98	2	0	2	94	0	95,91
SVTA	44	0	0	0	0	44	100
Genel Ortalama Başarım (%)							99,08

Şekilsel öznitelikler ve Daubechies4 dalgacık fonksiyonu öznitelikleri KT-KSA ile ROC sonucu

	Doğruluk	Hassasiyet	Kesinlik
APC	99,68	100	99,61
LBBB	99,84	99,48	100
NORMAL	99,52	100	99,33
RBBB	99,37	95,91	100
SVTA	100	100	100

Şekilsel öznitelikler ve Daubechies5 dalgacık fonksiyonu öznitelikleri FFN ile hassasiyet sonucu hata matrisi

Aritmi Tipi	Test	APC	LBBB	NORMAL	RBBB	SVTA	Başarım (%)
APC	112	112	0	0	0	0	100
LBBB	196	0	196	0	0	0	100
NORMAL	187	0	18	168	1	0	89,83
RBBB	98	0	1	1	96	0	97,95
SVTA	44	0	0	0	0	44	100
Genel Ortalama Başarım (%)							97,55

Şekilsel öznitelikler ve Daubechies5 dalgacık fonksiyonu öznitelikleri FFN ile ROC sonucu

	Doğruluk	Hassasiyet	Kesinlik
APC	100	100	100
LBBB	97,01	100	95,69
NORMAL	96,86	89,83	99,77
RBBB	99,52	97,95	99,81
SVTA	100	100	100

Şekilsel öznitelikler ve Daubechies5 dalgacık fonksiyonu öznitelikleri PNN ile hassasiyet sonucu hata matrisi

Aritmi Tipi	Test	APC	LBBB	NORMAL	RBBB	SVTA	Başarım (%)
APC	112	112	0	0	0	0	100
LBBB	196	1	192	0	3	0	97,95
NORMAL	187	0	0	179	8	0	95,72
RBBB	98	0	1	1	96	0	97,95
SVTA	44	0	0	0	0	44	100
Genel Ortalama Başarım (%)							98,32

Şekilsel öznitelikler ve Daubechies5 dalgacık fonksiyonu öznitelikleri PNN ile ROC sonucu

	Doğruluk	Hassasiyet	Kesinlik
APC	99,84	100	99,80
LBBB	99,21	97,95	99,77
NORMAL	98,58	95,72	99,77
RBBB	97,95	97,95	97,95
SVTA	100	100	100

Şekilsel öznitelikler ve Daubechies5 dalgacık fonksiyonu öznitelikleri CFBN ile hassasiyet sonucu hata matrisi

Aritmi Tipi	Test	APC	LBBB	NORMAL	RBBB	SVTA	Başarım (%)
APC	112	112	0	0	0	0	100
LBBB	196	1	194	1	0	0	98,97
NORMAL	187	0	7	179	1	0	95,72
RBBB	98	0	1	1	95	1	96,93
SVTA	44	0	0	0	2	42	95,45
Genel Ortalama Başarım (%)							97,41

Şekilsel öznitelikler ve Daubechies5 dalgacık fonksiyonu öznitelikleri CFBN ile ROC sonucu

	Doğruluk	Hassasiyet	Kesinlik
APC	99,84	100	99,80
LBBB	98,43	98,97	98,18
NORMAL	98,43	95,72	99,55
RBBB	99,05	96,93	99,44
SVTA	99,52	95,45	99,83

Şekilsel öznitelikler ve Daubechies5 dalgacık fonksiyonu öznitelikleri RBN ile hassasiyet sonucu hata matrisi

Aritmi Tipi	Test	APC	LBBB	NORMAL	RBBB	SVTA	Başarım (%)
APC	112	111	1	0	0	0	99,10
LBBB	196	0	194	2	0	0	98,97
NORMAL	187	0	7	178	2	0	95,18
RBBB	98	0	1	2	95	0	96,93
SVTA	44	0	0	0	1	43	97,72
Genel Ortalama Başarım (%)							97,58

Şekilsel öznitelikler ve Daubechies5 dalgacık fonksiyonu öznitelikleri RBN ile ROC sonucu

	Doğruluk	Hassasiyet	Kesinlik
APC	99,84	99,10	100
LBBB	98,27	98,97	97,95
NORMAL	97,95	95,18	99,11
RBBB	99,05	96,93	99,44
SVTA	99,84	97,72	100

Şekilsel öznitelikler ve Daubechies5 dalgacık fonksiyonu öznitelikleri KSA ile hassasiyet sonucu hata matrisi

Aritmi Tipi	Test	APC	LBBB	NORMAL	RBBB	SVTA	Başarım (%)
APC	112	112	0	0	0	0	100
LBBB	196	0	191	0	5	0	97,44
NORMAL	187	10	0	67	4	106	35,82
RBBB	98	0	1	1	96	0	97,95
SVTA	44	0	0	0	0	44	100
Genel Ortalama Başarım (%)							86,24

Şekilsel öznitelikler ve Daubechies5 dalgacık fonksiyonu öznitelikleri KSA ile ROC sonucu

	Doğruluk	Hassasiyet	Kesinlik
APC	98,43	100	98,09
LBBB	99,05	97,44	99,77
NORMAL	81,00	35,82	99,77
RBBB	98,27	97,95	98,33
SVTA	83,35	100	82,12

Şekilsel öznitelikler ve Daubechies5 dalgacık fonksiyonu öznitelikleri KT-KSA ile hassasiyet sonucu hata matrisi

Aritmi Tipi	Test	APC	LBBB	NORMAL	RBBB	SVTA	Başarım (%)
APC	112	112	0	0	0	0	100
LBBB	196	0	191	0	5	0	97,44
NORMAL	187	7	0	180	0	0	96,25
RBBB	98	0	1	0	96	1	97,95
SVTA	44	0	0	0	0	44	100
Genel Ortalama Başarım (%)							98,33

Şekilsel öznitelikler ve Daubechies5 dalgacık fonksiyonu öznitelikleri KT-KSA ile ROC sonucu

	Doğruluk	Hassasiyet	Kesinlik
APC	98,90	100	98,66
LBBB	99,05	97,44	99,77
NORMAL	98,90	96,25	100
RBBB	98,90	97,95	99,07
SVTA	99,84	100	99,83

Şekilsel öznitelikler ve Daubechies6 dalgacık fonksiyonu öznitelikleri FFN ile hassasiyet sonucu hata matrisi

Aritmi Tipi	Test	APC	LBBB	NORMAL	RBBB	SVTA	Başarım (%)
APC	112	112	0	0	0	0	100
LBBB	196	2	191	3	0	0	97,44
NORMAL	187	0	1	182	4	0	97,32
RBBB	98	0	0	3	90	5	91,83
SVTA	44	0	0	0	0	44	100
Genel Ortalama Başarım (%)							97,32

Şekilsel öznitelikler ve Daubechies6 dalgacık fonksiyonu öznitelikleri FFN ile ROC sonucu

	Doğruluk	Hassasiyet	Kesinlik
APC	99,68	100	99,61
LBBB	99,05	97,44	99,77
NORMAL	98,27	97,32	98,66
RBBB	98,11	91,83	99,25
SVTA	99,21	100	99,15

Şekilsel öznitelikler ve Daubechies6 dalgacık fonksiyonu öznitelikleri PNN ile hassasiyet sonucu hata matrisi

Aritmi Tipi	Test	APC	LBBB	NORMAL	RBBB	SVTA	Başarım (%)
APC	112	112	0	0	0	0	100
LBBB	196	2	194	0	0	0	98,97
NORMAL	187	2	0	185	0	0	98,93
RBBB	98	0	0	2	96	0	97,95
SVTA	44	0	0	0	0	44	100
Genel Ortalama Başarım (%)							99,17

Şekilsel öznitelikler ve Daubechies6 dalgacık fonksiyonu öznitelikleri PNN ile ROC sonucu

	Doğruluk	Hassasiyet	Kesinlik
APC	99,37	100	99,23
LBBB	99,68	98,97	100
NORMAL	99,37	98,93	99,55
RBBB	99,68	97,95	100
SVTA	100	100	100

Şekilsel öznitelikler ve Daubechies6 dalgacık fonksiyonu öznitelikleri CFBN ile hassasiyet sonucu hata matrisi

Aritmi Tipi	Test	APC	LBBB	NORMAL	RBBB	SVTA	Başarım (%)
APC	112	109	3	0	0	0	97,32
LBBB	196	2	190	2	1	1	96,93
NORMAL	187	0	0	154	33	0	82,35
RBBB	98	0	0	2	96	0	97,95
SVTA	44	0	0	0	0	44	100
Genel Ortalama Başarım (%)							94,91

Şekilsel öznitelikler ve Daubechies6 dalgacık fonksiyonu öznitelikleri CFBN ile ROC sonucu

	Doğruluk	Hassasiyet	Kesinlik
APC	99,21	97,32	99,61
LBBB	98,58	96,93	99,31
NORMAL	94,19	82,35	99,11
RBBB	94,34	97,95	93,69
SVTA	99,84	100	99,83

Şekilsel öznitelikler ve Daubechies6 dalgacık fonksiyonu öznitelikleri RBN ile hassasiyet sonucu hata matrisi

Aritmi Tipi	Test	APC	LBBB	NORMAL	RBBB	SVTA	Başarım (%)
APC	112	106	4	0	0	0	96,36
LBBB	196	0	191	5	0	0	97,44
NORMAL	187	0	0	185	2	0	98,93
RBBB	98	0	0	3	95	0	96,93
SVTA	44	0	0	0	0	44	100
Genel Ortalama Başarım (%)							97,93

Şekilsel öznitelikler ve Daubechies6 dalgacık fonksiyonu öznitelikleri RBN ile ROC sonucu

	Doğruluk	Hassasiyet	Kesinlik
APC	99,37	96,36	100
LBBB	98,58	97,44	99,09
NORMAL	98,43	98,93	98,22
RBBB	99,21	96,93	99,62
SVTA	100	100	100

Şekilsel öznitelikler ve Daubechies6 dalgacık fonksiyonu öznitelikleri KSA ile hassasiyet sonucu hata matrisi

Aritmi Tipi	Test	APC	LBBB	NORMAL	RBBB	SVTA	Başarım (%)
APC	112	112	0	0	0	0	100
LBBB	196	0	194	0	2	0	98,97
NORMAL	187	1	0	186	0	0	99,46
RBBB	98	0	0	2	96	0	97,95
SVTA	44	0	0	1	0	43	97,72
Genel Ortalama Başarım (%)							98,82

Şekilsel öznitelikler ve Daubechies6 dalgacık fonksiyonu öznitelikleri KSA ile ROC sonucu

	Doğruluk	Hassasiyet	Kesinlik
APC	99,84	100	99,80
LBBB	99,68	98,97	100
NORMAL	99,37	99,46	99,33
RBBB	99,37	97,95	99,62
SVTA	99,84	97,72	100

Şekilsel öznitelikler ve Daubechies6 dalgacık fonksiyonu öznitelikleri KT-KSA ile hassasiyet sonucu hata matrisi

Aritmi Tipi	Test	APC	LBBB	NORMAL	RBBB	SVTA	Başarım (%)
APC	112	112	0	0	0	0	100
LBBB	196	0	194	0	2	0	98,97
NORMAL	187	1	0	186	0	0	99,46
RBBB	98	0	0	2	96	0	97,95
SVTA	44	0	0	2	0	42	95,45
Genel Ortalama Başarım (%)							98,37

Şekilsel öznitelikler ve Daubechies6 dalgacık fonksiyonu öznitelikleri KT-KSA ile ROC sonucu

	Doğruluk	Hassasiyet	Kesinlik
APC	99,84	100	99,80
LBBB	99,68	98,97	100
NORMAL	99,21	99,46	99,11
RBBB	99,37	97,95	99,62
SVTA	99,68	95,45	100

Şekilsel öznitelikler ve Daubechies10 dalgacık fonksiyonu öznitelikleri FFN ile hassasiyet sonucu hata matrisi

Aritmi Tipi	Test	APC	LBBB	NORMAL	RBBB	SVTA	Başarım (%)
APC	112	112	0	0	0	0	100
LBBB	196	2	193	1	0	0	98,46
NORMAL	187	0	1	185	1	0	98,93
RBBB	98	0	0	1	97	0	98,97
SVTA	44	0	0	0	0	44	100
Genel Ortalama Başarım (%)							99,27

Şekilsel öznitelikler ve Daubechies10 dalgacık fonksiyonu öznitelikleri FFN ile ROC sonucu

	Doğruluk	Hassasiyet	Kesinlik
APC	99,68	100	99,61
LBBB	99,37	98,46	99,77
NORMAL	99,37	98,93	99,55
RBBB	99,68	98,97	99,81
SVTA	100	100	100

Şekilsel öznitelikler ve Daubechies10 dalgacık fonksiyonu öznitelikleri PNN ile hassasiyet sonucu hata matrisi

Aritmi Tipi	Test	APC	LBBB	NORMAL	RBBB	SVTA	Başarım (%)
APC	112	112	0	0	0	0	100
LBBB	196	2	194	0	0	0	98,97
NORMAL	187	0	0	187	0	0	100
RBBB	98	0	1	1	96	0	97,95
SVTA	44	0	0	0	0	44	100
Genel Ortalama Başarım (%)							99,38

Şekilsel öznitelikler ve Daubechies10 dalgacık fonksiyonu öznitelikleri PNN ile ROC sonucu

	Doğruluk	Hassasiyet	Kesinlik
APC	99,68	100	99,61
LBBB	99,52	98,97	99,77
NORMAL	99,84	100	99,77
RBBB	99,68	97,95	100
SVTA	100	100	100

Şekilsel öznitelikler ve Daubechies10 dalgacık fonksiyonu öznitelikleri CFBN ile hassasiyet sonucu hata matrisi

Aritmi Tipi	Test	APC	LBBB	NORMAL	RBBB	SVTA	Başarım (%)
APC	112	112	0	0	0	0	100
LBBB	196	0	195	1	0	0	99,48
NORMAL	187	0	8	177	2	0	94,65
RBBB	98	0	1	1	96	0	97,95
SVTA	44	0	0	0	1	42	97,67
Genel Ortalama Başarım (%)							97,95

Şekilsel öznitelikler ve Daubechies10 dalgacık fonksiyonu öznitelikleri CFBN ile ROC sonucu

	Doğruluk	Hassasiyet	Kesinlik
APC	100	100	100
LBBB	98,43	99,48	97,95
NORMAL	98,11	94,65	99,55
RBBB	99,21	97,95	99,44
SVTA	99,84	97,64	100

Şekilsel öznitelikler ve Daubechies10 dalgacık fonksiyonu öznitelikleri RBN ile hassasiyet sonucu hata matrisi

Aritmi Tipi	Test	APC	LBBB	NORMAL	RBBB	SVTA	Başarım (%)
APC	112	109	3	0	0	0	97,32
LBBB	196	0	191	5	0	0	97,44
NORMAL	187	0	59	127	1	0	67,91
RBBB	98	0	0	2	96	0	97,95
SVTA	44	0	0	2	0	38	95
Genel Ortalama Başarım (%)							91,12

Şekilsel öznitelikler ve Daubechies10 dalgacık fonksiyonu öznitelikleri RBN ile ROC sonucu

	Doğruluk	Hassasiyet	Kesinlik
APC	99,52	97,32	100
LBBB	89,48	97,44	85,94
NORMAL	89,48	67,91	98,44
RBBB	99,21	97,95	99,44
SVTA	99,68	95	100

Şekilsel öznitelikler ve Daubechies10 dalgacık fonksiyonu öznitelikleri KSA ile hassasiyet sonucu hata matrisi

Aritmi Tipi	Test	APC	LBBB	NORMAL	RBBB	SVTA	Başarım (%)
APC	112	112	0	0	0	0	100
LBBB	196	0	194	0	2	0	98,97
NORMAL	187	1	0	178	0	8	95,18
RBBB	98	0	1	1	96	0	97,95
SVTA	44	0	0	0	0	44	100
Genel Ortalama Başarım (%)							98,42

Şekilsel öznitelikler ve Daubechies10 dalgacık fonksiyonu öznitelikleri KSA ile ROC sonucu

	Doğruluk	Hassasiyet	Kesinlik
APC	99,84	100	99,80
LBBB	99,52	98,97	99,77
NORMAL	98,43	95,18	99,77
RBBB	99,37	97,95	99,62
SVTA	98,74	100	98,65

Şekilsel öznitelikler ve Daubechies10 dalgacık fonksiyonu öznitelikleri KT-KSA ile hassasiyet sonucu hata matrisi

Aritmi Tipi	Test	APC	LBBB	NORMAL	RBBB	SVTA	Başarım (%)
APC	112	112	0	0	0	0	100
LBBB	196	0	194	0	2	0	98,97
NORMAL	187	1	0	186	0	0	99,46
RBBB	98	0	1	1	96	0	97,95
SVTA	44	0	0	2	0	42	95,45
Genel Ortalama Başarım (%)							98,37

Şekilsel öznitelikler ve Daubechies10 dalgacık fonksiyonu öznitelikleri KT-KSA ile ROC sonucu

	Doğruluk	Hassasiyet	Kesinlik
APC	99,84	100	99,80
LBBB	99,52	98,97	99,77
NORMAL	99,37	99,46	99,33
RBBB	99,37	97,95	99,62
SVTA	99,68	95,45	100

Şekilsel öznitelikler ve Symlets6 dalgacık fonksiyonu öznitelikleri FFN ile hassasiyet sonucu hata matrisi

Aritmi Tipi	Test	APC	LBBB	NORMAL	RBBB	SVTA	Başarım (%)
APC	112	111	1	0	0	0	99,10
LBBB	196	2	194	0	0	0	98,97
NORMAL	187	0	2	168	17	0	89,83
RBBB	98	0	2	2	94	0	95,91
SVTA	44	0	0	0	0	44	100
Genel Ortalama Başarım (%)							96,76

Şekilsel öznitelikler ve Symlets6 dalgacık fonksiyonu öznitelikleri FFN ile ROC sonucu

	Doğruluk	Hassasiyet	Kesinlik
APC	99,52	99,10	99,61
LBBB	98,90	98,97	98,86
NORMAL	96,70	89,83	99,55
RBBB	96,70	95,91	96,84
SVTA	100	100	100

Şekilsel öznitelikler ve Symlets6 dalgacık fonksiyonu öznitelikleri PNN ile hassasiyet sonucu hata matrisi

Aritmi Tipi	Test	APC	LBBB	NORMAL	RBBB	SVTA	Başarım (%)
APC	112	112	0	0	0	0	100
LBBB	196	2	194	0	0	0	98,97
NORMAL	187	79	0	108	0	0	57,75
RBBB	98	6	0	0	91	1	92,85
SVTA	44	0	0	0	0	44	100
Genel Ortalama Başarım (%)							89,91

Şekilsel öznitelikler ve Symlets6 dalgacık fonksiyonu öznitelikleri PNN ile ROC sonucu

	Doğruluk	Hassasiyet	Kesinlik
APC	86,34	100	83,42
LBBB	99,68	98,97	100
NORMAL	87,59	57,75	100
RBBB	98,90	92,85	100
SVTA	99,84	100	99,83

Şekilsel öznitelikler ve Symlets6 dalgacık fonksiyonu öznitelikleri CFBN ile hassasiyet sonucu hata matrisi

Aritmi Tipi	Test	APC	LBBB	NORMAL	RBBB	SVTA	Başarım (%)
APC	112	110	1	0	0	0	99,09
LBBB	196	0	195	1	0	0	99,48
NORMAL	187	0	66	118	3	0	63,10
RBBB	98	0	0	9	89	0	90,81
SVTA	44	0	0	0	0	44	100
Genel Ortalama Başarım (%)							90,50

Şekilsel öznitelikler ve Symlets6 dalgacık fonksiyonu öznitelikleri CFBN ile ROC sonucu

	Doğruluk	Hassasiyet	Kesinlik
APC	99,84	99,09	100
LBBB	89,32	99,48	84,80
NORMAL	87,59	63,10	97,77
RBBB	98,11	90,81	99,44
SVTA	100	100	100

Şekilsel öznitelikler ve Symlets6 dalgacık fonksiyonu öznitelikleri RBN ile hassasiyet sonucu hata matrisi

Aritmi Tipi	Test	APC	LBBB	NORMAL	RBBB	SVTA	Başarım (%)
APC	112	98	14	0	0	0	87,50
LBBB	196	0	194	2	0	0	98,97
NORMAL	187	0	76	108	3	0	57,75
RBBB	98	0	0	5	93	0	94,89
SVTA	44	0	0	0	1	41	97,61
Genel Ortalama Başarım (%)							87,35

Şekilsel öznitelikler ve Symlets6 dalgacık fonksiyonu öznitelikleri RBN ile ROC sonucu

	Doğruluk	Hassasiyet	Kesinlik
APC	97,80	87,50	100
LBBB	85,55	98,97	79,59
NORMAL	86,49	57,75	98,44
RBBB	98,58	94,89	99,25
SVTA	99,84	97,61	100

Şekilsel öznitelikler ve Symlets6 dalgacık fonksiyonu öznitelikleri KSA ile hassasiyet sonucu hata matrisi

Aritmi Tipi	Test	APC	LBBB	NORMAL	RBBB	SVTA	Başarım (%)
APC	112	111	0	1	0	0	99,10
LBBB	196	0	196	0	0	0	100
NORMAL	187	0	2	185	0	0	98,93
RBBB	98	0	1	1	96	0	97,95
SVTA	44	0	0	2	0	42	95,45
Genel Ortalama Başarım (%)							98,29

Şekilsel öznitelikler ve Symlets6 dalgacık fonksiyonu öznitelikleri KSA ile ROC sonucu

	Doğruluk	Hassasiyet	Kesinlik
APC	99,84	99,10	100
LBBB	99,52	100	99,31
NORMAL	99,05	98,93	99,11
RBBB	99,68	97,95	100
SVTA	99,68	95,45	100

Şekilsel öznitelikler ve Symlets6 dalgacık fonksiyonu öznitelikleri KT-KSA ile hassasiyet sonucu hata matrisi

Aritmi Tipi	Test	APC	LBBB	NORMAL	RBBB	SVTA	Başarım (%)
APC	112	111	0	1	0	0	99,10
LBBB	196	0	196	0	0	0	100
NORMAL	187	0	2	182	0	3	97,32
RBBB	98	0	1	1	96	0	97,95
SVTA	44	0	0	1	0	43	97,72
Genel Ortalama Başarım (%)							98,42

Şekilsel öznitelikler ve Symlets6 dalgacık fonksiyonu öznitelikleri KT-KSA ile ROC sonucu

	Doğruluk	Hassasiyet	Kesinlik
APC	99,84	99,10	100
LBBB	99,52	100	99,31
NORMAL	98,74	97,32	99,33
RBBB	99,68	97,95	100
SVTA	99,37	97,72	99,49

EK B: Sınıflandırıcılara ait ROC parametreleri

FFN sınıflandırıcısına ait ROC parametre değerleri

No	FN					FP					TN					TP				
	APC	LBBB	Normal	RBBB	SVTA	APC	LBBB	Normal	RBBB	SVTA	APC	LBBB	Normal	RBBB	SVTA	APC	LBBB	Normal	RBBB	SVTA
1	8	14	29	18	0	0	20	25	20	4	525	421	425	519	589	104	182	158	80	44
2	6	1	49	3	9	0	56	4	6	2	525	385	446	533	591	106	195	138	95	35
3	2	1	23	17	16	0	30	14	10	5	525	411	436	529	588	110	195	164	81	28
4	1	1	48	23	6	16	38	16	8	1	509	403	434	531	592	111	195	139	75	38
5	0	5	62	16	0	32	22	4	10	15	493	419	446	529	578	112	191	125	82	44
6	2	13	45	5	14	10	16	10	40	3	515	425	440	499	590	110	183	142	93	30
7	2	2	66	0	15	3	21	3	51	7	522	420	447	488	586	110	194	121	98	29
8	2	0	37	13	6	2	26	8	18	4	523	415	442	521	589	110	196	150	85	38
9	0	1	70	3	0	0	70	3	1	0	525	371	447	538	593	112	195	117	95	44
10	0	5	29	0	0	3	0	1	29	1	522	441	449	510	592	112	191	158	98	44
11	0	1	26	9	0	0	0	10	26	0	525	441	440	513	593	112	195	161	89	44
12	0	0	19	2	0	0	19	1	1	0	525	422	449	538	593	112	196	168	96	44
13	0	5	5	8	0	2	1	6	4	5	523	440	444	535	588	112	191	182	90	44
14	0	3	2	1	0	2	1	2	1	0	523	440	448	538	593	112	193	185	97	44
15	1	2	19	4	0	2	5	2	17	0	523	436	448	522	593	111	194	168	94	44

PNN sınıflandırıcısına ait ROC parametre değerleri

No	FN					FP					TN					TP				
	APC	LBBB	Normal	RBBB	SVTA	APC	LBBB	Normal	RBBB	SVTA	APC	LBBB	Normal	RBBB	SVTA	APC	LBBB	Normal	RBBB	SVTA
1	1	7	62	18	0	1	33	18	33	3	524	408	432	506	590	111	189	125	80	44
2	1	0	8	5	5	12	4	2	0	1	513	437	448	539	592	111	196	179	93	39
3	4	0	0	2	11	3	2	9	3	0	522	439	441	536	593	108	196	187	96	33
4	1	1	48	23	6	16	38	16	8	1	509	403	434	531	592	111	195	139	75	38
5	0	5	62	16	0	32	22	4	10	15	493	419	446	529	578	112	191	125	82	44
6	2	0	4	2	7	5	1	4	0	2	520	437	446	539	591	110	196	183	96	37
7	0	0	1	2	16	16	1	1	0	1	509	440	449	539	592	112	196	186	96	28
8	3	0	77	7	10	89	0	5	0	3	436	441	445	539	590	109	196	110	91	34
9	0	2	13	5	4	22	1	1	0	0	503	440	449	539	593	112	194	174	93	40
10	0	3	0	2	0	2	2	0	0	1	523	439	450	539	592	112	193	187	96	44
11	0	2	0	4	0	3	0	3	0	0	522	441	447	539	593	112	194	187	94	44
12	0	4	8	2	0	1	1	1	11	0	524	440	449	528	593	112	192	179	96	44
13	0	2	2	2	0	1	0	2	0	0	521	441	448	539	593	112	194	185	96	44
14	0	2	0	2	0	2	1	1	0	0	523	440	449	539	593	112	194	187	96	44
15	0	2	79	7	0	87	0	0	0	1	438	441	450	539	592	112	194	108	91	44

CFBN sınıflandırıcısına ait ROC parametre değerleri

No	FN					FP					TN					TP				
	APC	LBBB	Normal	RBBB	SVTA	APC	LBBB	Normal	RBBB	SVTA	APC	LBBB	Normal	RBBB	SVTA	APC	LBBB	Normal	RBBB	SVTA
1	6	12	45	37	0	1	35	37	18	9	524	406	413	521	584	106	184	142	61	44
2	19	0	64	17	17	0	86	17	10	4	525	355	433	529	589	82	196	123	81	22
3	23	6	0	5	15	5	17	16	11	0	520	424	434	528	593	85	190	187	93	20
4	14	4	7	3	15	3	17	12	11	0	522	424	438	528	593	97	191	180	95	226
5	6	3	1	6	12	4	5	2	13	4	521	436	448	526	589	103	193	105	92	30
6	4	3	50	3	10	29	27	5	9	0	496	414	445	530	593	107	193	118	95	30
7	4	4	60	9	16	10	49	12	20	2	515	392	438	519	591	95	192	126	89	24
8	14	0	78	12	19	3	90	12	17	1	522	351	438	522	592	64	196	109	86	21
9	15	2	0	10	1	0	15	5	1	7	525	426	445	538	586	71	194	187	88	37
10	0	4	12	1	3	1	12	4	3	0	524	429	446	536	593	109	192	175	97	39
11	3	2	10	9	0	2	12	10	0	0	523	429	440	539	593	109	191	177	89	42
12	0	2	8	3	2	1	8	2	3	1	524	433	448	536	592	111	194	179	95	42
13	3	6	33	2	0	2	3	4	34	1	523	438	446	505	592	109	190	154	96	44
14	0	1	10	2	1	0	9	2	3	0	525	432	448	536	593	111	195	177	96	42
15	1	1	69	9	0	0	67	10	3	0	525	374	440	536	593	110	195	118	89	44

RBN sınıflandırıcısına ait ROC parametre değerleri

No	FN					FP					TN					TP				
	APC	LBBB	Normal	RBBB	SVTA	APC	LBBB	Normal	RBBB	SVTA	APC	LBBB	Normal	RBBB	SVTA	APC	LBBB	Normal	RBBB	SVTA
1	5	18	38	22	0	0	27	35	19	2	525	414	415	520	591	107	178	149	76	44
2	22	0	72	6	13	5	90	6	11	1	520	351	444	528	592	86	196	115	92	28
3	19	5	30	32	20	11	48	28	17	2	514	393	422	522	591	77	190	157	64	12
4	19	3	6	20	23	3	24	10	16	18	522	417	440	523	575	84	191	181	77	14
5	18	2	47	6	22	4	23	7	51	10	521	418	443	488	583	86	194	139	92	16
6	11	6	38	8	17	1	18	15	39	7	524	423	435	500	586	89	190	149	90	20
7	10	5	84	17	19	33	58	11	18	15	492	383	439	521	578	79	190	101	81	15
8	21	1	88	8	21	51	52	14	21	1	474	389	436	518	592	77	195	99	90	14
9	21	1	20	8	2	0	41	9	2	0	525	400	441	537	593	90	195	167	90	42
10	1	2	22	23	7	2	12	3	19	19	523	429	447	520	574	111	194	165	75	33
11	8	6	17	9	0	3	9	10	17	1	522	432	440	522	592	104	190	170	89	42
12	1	2	9	3	1	0	9	4	3	0	525	432	446	536	593	111	194	178	95	43
13	4	5	2	3	0	0	4	8	2	0	525	437	442	537	593	106	191	185	95	44
14	3	5	60	2	2	0	62	7	3	0	525	379	443	536	593	109	191	127	96	38
15	14	2	79	5	1	0	90	7	4	0	525	351	443	535	593	98	194	108	93	41

KSA ile eğitilip kNN ile sınıflandırıldığı durumdaki ROC parametre değerleri

No	FN					FP					TN					TP				
	APC	LBBB	Normal	RBBB	SVTA	APC	LBBB	Normal	RBBB	SVTA	APC	LBBB	Normal	RBBB	SVTA	APC	LBBB	Normal	RBBB	SVTA
1	5	8	144	10	0	0	108	17	41	1	525	333	433	498	592	107	188	43	88	44
2	10	0	1	3	16	13	3	4	10	0	512	438	446	529	593	102	196	186	95	28
3	5	0	1	2	18	3	15	3	3	2	522	426	447	536	591	107	196	186	96	26
4	10	0	80	37	23	55	80	6	9	0	470	361	444	530	593	102	196	107	61	21
5	0	1	13	5	20	14	15	9	1	0	511	426	441	538	593	112	195	174	93	24
6	1	0	0	2	34	33	0	4	0	0	492	441	446	539	593	111	196	187	96	10
7	1	0	0	3	40	37	2	5	0	0	488	439	445	539	593	111	196	187	95	4
8	4	0	3	2	31	29	4	4	3	0	496	437	446	536	593	108	196	184	96	13
9	5	0	0	3	6	1	1	7	5	0	524	440	443	534	593	107	196	187	95	38
10	0	5	102	3	10	10	35	3	0	72	515	406	447	539	521	112	191	85	95	34
11	0	1	93	5	2	2	93	5	0	1	523	348	445	539	592	112	195	94	93	42
12	0	5	120	2	0	10	1	1	9	106	515	440	449	530	487	112	191	67	96	44
13	0	2	1	2	1	1	0	3	2	0	524	441	447	537	593	112	194	186	96	43
14	0	2	9	2	0	1	1	1	2	8	524	440	449	537	585	112	194	178	96	44
15	1	0	2	2	2	0	3	4	0	0	525	438	446	539	593	111	196	185	96	42

KT-KSA ile eğitilip, kNN ile sınıflandırıldığı durumdaki ROC parametre değerleri

No	FN					FP					TN					TP				
	APC	LBBB	Normal	RBBB	SVTA	APC	LBBB	Normal	RBBB	SVTA	APC	LBBB	Normal	RBBB	SVTA	APC	LBBB	Normal	RBBB	SVTA
1	5	12	34	16	0	0	12	27	27	1	525	429	423	512	592	107	184	153	82	44
2	4	0	1	3	5	3	3	3	4	0	522	438	447	535	593	108	196	186	95	39
3	2	0	0	2	14	3	6	7	1	1	522	435	443	538	592	110	196	187	96	30
4	2	0	79	7	8	11	79	4	1	1	514	362	446	538	592	110	196	108	91	36
5	0	1	9	7	6	3	13	6	1	0	522	428	444	538	593	112	195	178	91	38
6	2	0	0	2	14	12	0	6	0	0	513	441	444	539	593	110	196	187	96	30
7	1	0	0	3	38	36	2	4	0	0	489	439	446	539	593	111	196	187	95	6
8	2	0	3	2	25	22	4	5	0	1	503	437	445	539	592	110	196	184	96	19
9	0	0	0	3	3	1	1	4	0	0	524	440	446	539	593	112	196	187	95	41
10	0	5	5	3	2	8	4	2	0	1	517	437	448	539	592	112	191	182	95	42
11	0	1	0	4	0	2	0	3	0	0	523	441	447	539	593	112	195	187	94	44
12	0	5	7	2	0	7	1	0	5	1	518	440	450	534	592	112	191	180	96	44
13	0	2	1	2	2	1	0	4	2	0	524	441	446	537	593	112	194	186	96	42
14	0	2	1	2	2	1	1	3	2	0	524	440	447	537	593	112	194	186	96	42
15	1	0	5	2	1	0	3	3	0	3	525	438	447	539	590	111	196	182	96	43

ÖZGEÇMİŞ

Ziynet Pamuk, 04.02.1980 yılında Zonguldak'ta doğdu. İlk, orta ve lise eğitimini Zonguldak'ta tamamladı. 1997-1999 yılları arası Yüzüncü Yıl Üniversitesi Bilgisayar Programcılığı ön lisans eğitimini tamamladı. 1999-2002 yılları arasında Sakarya Üniversitesi Bilgisayar Mühendisliği bölümünde lisans eğitimini tamamladı. 2004 yılında Sakarya Üniversitesi'nde uzman kadrosunda çalışmaya başladı. 2006-2008 yılları arasında Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Bilgisayar ve Bilişim Mühendisliği Ana Bilim Dalı'nda yüksek lisans eğitimini tamamladı. 2010-2014 yılları arasında Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik - Elektronik Mühendisliği Ana Bilim Dalı'nda doktora eğitimini tamamladı. Halen Sakarya Üniversite'sinde çalışmaya devam etmektedir.