



**KLASİK TÜRK MÜZİĞİ MAKAMLARININ SINIFLANDIRILMASI VE
TESPİTİ**

Mert KAYIŞ

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
ELEKTRİK ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ
ANA BİLİM DALI**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

KASIM 2021

ETİK BEYAN

Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,

bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

Mert KAYIŞ

15/11/2021

KLASİK TÜRK MÜZİĞİ MAKAMLARININ SINIFLANDIRILMASI VE TESPİTİ
(Yüksek Lisans Tezi)

Mert KAYIŞ

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Kasım 2021

ÖZET

Klasik Türk Müziği makamlarının sınıflandırılması üzerine geçmişten bu yana farklı çalışmalar yapılmıştır. Sınıflandırılma sürecinde birçok fikir ayrılığı olmuştur ve farklı sistemler geliştirilmiştir. Bunun yanı sıra nota çıkarımlarında da sıklıkla kişisel hatalar yaşanmıştır. Bu durum makamları öğrenmede ve dinlenen makamı tanımada sorunlar yaratmaktadır. Ayrıca sadece Klasik Türk Müziği eğitimi alanlar için değil bu müzik türüne ilgi duyan bireyler için de zorluk teşkil etmektedir. Teknolojinin gelişmesiyle birlikte bilgisayar tabanlı programlar ile sinyal işleme yöntemi kullanılarak problemlere çözüm aranmaktadır. Bu çalışmada Klasik Türk Müziğinde farklı makamlarda icra edilen parçaların makam türlerini sınıflandıracak bir müzik bilgisi alma (MIR) sistemi geliştirilmiştir. Sistem üzerinden ses sinyallerinin özniteliklerini çıkarmak için zaman dalgacık saçılımı yöntemi kullanılmıştır. Öznitelik çıkarımı yapılan parçaların makine öğrenmesi ile sınıflandırılması sağlanmaktadır. Sistem performansının geliştirilmesi için grafik işlem birimi hızlandırıcısı kullanılmıştır. Sınıflandırma işlemi sonrasında kullanıcı tarafından sisteme makam tespitinin yapılmasını istediği parça yüklenecek makam türü tespiti yapılabilmektedir. Bahsedilen Klasik Türk Müziği makamlarının sınıflandırılma gücüğü çalışmadaki makamlar için aşılmıştır. Sistemde öznitelik çıkarımı, sınıflandırma ve tespit işlemleri MATLAB üzerinden tasarlanmıştır.

Bilim Kodu : 90542
Anahtar Kelimeler : Müzik eğitimi, Makam tespiti, SVM, Klasik Türk Müziği Makamları
Sayfa Adedi : 73
Danışman : Prof. Dr. Fırat HARDALAÇ

CLASSIFICATION AND DETECTION OF CLASSIC TURKISH MUSIC MAQAMS
(M. Sc. Thesis)

Mert KAYIŞ

GAZİ UNIVERSITY
GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES
November 2021

ABSTRACT

Various studies have been carried out from past to present on the classification of Classical Turkish Music maqams. During the classification process, there were many disagreements and different systems were developed. In addition to this, personal mistakes were often experienced in the musical note extraction. This situation creates problems in learning the maqams and recognizing the makam being listened to. In addition, it poses a challenge not only for those who receive Classical Turkish Music education, but also for individuals who are interested in this music genre. With the development of technology, solutions are sought by using signal processing method with computer-based programs. In this study, a musical information retrieval (MIR) system has been developed to classify the makam types of songs performed in different maqams in Classical Turkish Music. Time wavelet scattering method was used to extract the features of the audio signals over the system. The songs with feature extraction are classified by machine learning. Graphics processing unit accelerator is used to improve system performance. After the classification process, the makam type can be determined by uploading the song that the user wants makam detection to be made into the system. The difficulty in classifying the mentioned Classical Turkish Music maqams has been overcome for the maqams in the study. In the system, feature extraction, classification and detection processes are designed over MATLAB.

Science Code : 90542
Key Words : Musical education, Detection Maqams, SVM, Classical Turkish Music Maqams
Page Number : 73
Supervisor : Prof. Dr. Fırat HARDALAÇ

TEŞEKKÜR

Tez çalışmam sürecinde benden desteğini esirgemeyen ve her zorluğumda yanımda olan danışmanın Prof. Dr. Fırat HARDALACI'ya, teşekkür ederim.

Arkadaşım olan Burak Emre ÜN, Hatice Büşra KAÇER ve Şeyma Nur KÜÇÜKCEYLAN'a bu zorlu süreçte yanımda oldukları ve ellerinden gelenin fazlasını yaptıkları için çok teşekkür ediyorum.

Ayrıca manevi olarak her zaman desteklerini hissettiğim ve tez süresi boyunca yanımda olup varlığıyla destek olan bugünlere gelmemi sağlayan çok değerli annem Ayşe ŞENER'e tezimi ithaf ediyorum.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	x
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	xi
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xii
1. GİRİŞ.....	1
1. KLASİK TÜRK MÜZİĞİ.....	7
2.1. Klasik Türk Müziği Devirleri.....	8
2.1.1. Hazırlık ve oluşum devri.....	9
2.1.2. Klasik öncesi devir.....	10
2.1.3. Klasik devir	11
2.1.4. Neoklasik devir	12
2.1.5. Romantik devir.....	12
2.1.6. Reform devri	13
2.2. Klasik Türk Müziğinde Makam	14
2.3. Klasik Türk Müziğinde Makamı Oluşturan Öğeler	15
2.4. Klasik Türk Müziğinde Makam Türleri.....	16
2.5. Klasik Türk Müziği Makam Sınıflandırma Çalışmaları	20
3. YAPAY ZEKA	23
3.1. Yapay Zeka Türleri	25
3.1.1. Güçlü ve zayıf yapay zeka	25

	Sayfa
3.1.2. İşlevlerine göre yapay zeka türleri	26
3.2. Yapay Zeka Yöntemleri.....	27
3.2.1. Doğal dil işleme	27
3.2.2. Uzman sistemler.....	28
3.2.3. Robotik.....	28
3.2.4. Bilgisayarla görüş	29
4. MAKİNE ÖĞRENMESİ	31
4.1. Makine Öğrenmesi Yöntemleri	33
4.1.1. Denetimli öğrenme.....	34
4.1.2. Denetimsiz öğrenme.....	35
4.1.3. Derin öğrenme.....	37
4.1.4. Diğer makine öğrenmesi yöntemleri	38
4.2. Destek Vektör Makineleri	40
4.2.1. Kernel metodu	42
5. ZAMAN DALGACIK SAÇILIMI	45
6. GRAFİK İŞLEME BİRİMİ.....	47
7. ESER MAKAMINI TESPİT VE SINIFLANDIRMA YAPAY ZEKA UYGULAMASI.....	49
7.1. Veri Seti	49
7.2. Örneklem Oluşumu	50
7.3. Öznitelik Çıkarımı	51
7.4. Sınıflandırıcı	54
8. TARTIŞMA.....	61
9. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	63

Sayfa

KAYNAKLAR 65

ÖZGEÇMİŞ 73



ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 2.1. Klasik Türk Müziği dönemleri.....	9
Çizelge 7.1. Belirlenen parametrelerin değerleri	57



ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. Muhayyer makamı dizi seyri	17
Şekil 2.2. Kürdi makamı dizi seyri	17
Şekil 2.3. Hüseyini makamı dizi seyri	17
Şekil 2.4. Segah makamı dizi seyri	18
Şekil 2.5. Hüzam makamı dizi seyri	18
Şekil 2.6. Saba makamı dizi seyri	19
Şekil 2.7. Nihavend makamı dizi seyri	19
Şekil 2.8. Hicazkar makamı dizi seyri	20
Şekil 3.1. Yapay zeka alt alanları ve uygulama alanları	27
Şekil 4.1. Makine öğrenmesi alt alanları ve uygulama alanları	33
Şekil 7.1. Veri kümesi sayıları MATLAB çıktısı.	51
Şekil 7.2. Veri kümesinden bir örnekleme ait ses sinyalinin MATLAB çıktısı	52
Şekil 7.3. Başarım yüzdesi MATLAB çıktısı	57
Şekil 7.4. Sınıflandırma başarım tablosunun MATLAB çıktısı	58
Şekil 7.5. Sisteme gönderilen örneklemlerin tahmin tablosunun MATLAB çıktısı	59

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler

Açıklamalar

Hz

Hertz

Kısaltmalar

Açıklamalar

CNN

Konvolüsyon Sinir Ağları

CPU

Merkezi İşlem Birimi

DVM

Destek Vektör Makineleri

GPU

Grafik İşleme Birimi

LSTM

Uzun Kısa Süreli Bellek

MIR

Müzik Bilgisi Alma

MLP

Çok Katmanlı Algılayıcı

MÖ

Makine Öğrenmesi

NLP

Doğal Dil İşleme

PCA

Temel Bileşen Analizi

RAM

Rastgele Erişimli Hafıza

TRT

Türkiye Radyo Televizyon

YSA

Yapay Sinir Ağları

YZ

Yapay Zeka

1. GİRİŞ

Klasik Türk Müziğinde makamların tanınması ve sınıflandırılması geçmişten günümüze kadar tartışmalı bir konu olmuştur. Klâsik Türk Müziği makamlarının eğitiminde makam sınıflandırılmasına yönelik birçok yaklaşımın varlığı, nota yazımındaki hatalar, kişilerin şarkı icrasında serbest yaklaşımları, sınıflandırma için gerekli bilgi ve tecrübe eksikliği gibi sorunlar bulunmaktadır. Sözü edilen zorluklar hem bu eğitimi alanlar hem de Klâsik Türk Müziği ile ilgilenenler için makamların tanınmasında ve sınıflandırılmasında zorluklara neden olmaktadır.

Klasik Türk Müziğinde nota yazımından kaynaklanan yanlışlıklar ve eksikliklerde, müzik öğretimi sırasında önemli bir sorun teşkil etmektedir. Farklı kişiler veya kurumlara bağlı olarak değişiklik gösteren nota yazımları, nüans işaretlerinin olmaması, dönüş işaretlerinin olmaması, eserin üstünde belirtilen makam adıyla seyir karakterinin birbirine zıt düşmesi ki birbirine benzer makamlarda bunun örneği oldukça fazla görülür, yazımda bulunan hatalar vb. sorunlar, önde gelen yanlışlıklar ve eksiklikler olarak sıralanabilir. Bu ve buna benzer sorunlar öğrenmeyi güçleştiren, hatta bazen öğrenmeyi olanaksız kılan etmenlerdir [1].

Klasik Türk Müziği Makamlarının eğitiminde geleneksel öğretim metodu olarak meşk oldukça önemli bir konumda bulunmaktadır [2]. Temelde Osmanlı Türk Müziğinin geleneğine bağlı ve bölgedeki diğer topluluklarda da görüldüğü gibi yazılı olmaktan öte işitsel hafıza sistemidir. Bu şekilde öğreticiden öğrenilen bilgiler kuşaktan kuşağa aktarılarak devam eder. İçerisinde belirli temelleri ve kuralları olan bu öğretim metodu sadece eser geçkileriyle açıklanamaz. Meşk usullere bağlı bir öğreti sistemidir [3].

Okuryazarlık, en temel haliyle, belirli bir alanda yeterlilik veya bilgi olarak tanımlanabilir. Öte yandan müzik okuryazarlığı, müzik eğitimi almadan bile notaları okuma ve anlama yeteneğidir. Müzik eğitimi olmayan kişiler için notaları okuyabilmek oldukça zordur. Müzik okuryazarlığı olmayan kişiler de yaşadıkları zorluklar nedeniyle bu alandan uzak durmaktadır. Klasik Türk Müziği makamlarının eğitimi ve okuryazarlığı bahsedilen çeşitli problemlerden dolayı zordur. Sınıflandırmanın zorluğunun nedenlerinden biri de şarkı içindeki makam geçişlerinden kaynaklanmaktadır.

Öğretim elemanın kendi müzikal bakış açısını tam anlamıyla öğrenciye yansıtan ve öğrenciyi bu yönde ilerlemeye teşvik eden bir yöntemdir. İşitsel belleğin çok önemli bir yer tuttuğu ve müzik yeteneğinin seçim, uygulama ve icra için ön koşul olduğu bu sistemde, müzik eğitimi ve okuryazarlığında teorik bilgilerin yanı sıra büyük önem taşımaktadır.

Nota yazma işleminin henüz yapılmadığı dönemlerde, müzik eğitiminde ve okuryazarlıkta şarkıların geçişi, makam öğretimi ve usul öğretimi olmak üzere iki temel bileşende gerçekleştirilmekte ve daha sonra şarkıların bölümleri seslendirilmektedir. Söz konusu dönemde eğitim çalışmalarında kelimelerin yazılması bir hatırlatma olsa da uygulama büyük ölçüde işitsel hafıza gücüne dayalı bir öğretim yöntemidir.

Bu noktadan hareketle Klasik Türk Müziği'nde makamların öğretimi için uygulanan yöntemde şarkı icrasının önemli bir yeri olduğunu görmekteyiz. Günümüzde Türk Müziği Teorisi ve Solfej olarak adlandırılan bu sistem, nota yazmanın gelişmesi, nota yazmanın kullanılması ve çeşitli kaynaklardan icra edilen müzik eserlerinin eskisinden farklı olarak dinlenebilmesi ile oldukça avantajlı hale gelmiştir.

Müzik notalarındaki gelişmeler, makam notalarının yazımı ile müzik eğitiminde makamın öğrenilmesini ve icra edilmesini kolaylaştırmıştır. Ancak birçok konuda yaşanan gelişmelere rağmen Klasik Türk Müziğinde makamlar konusu geçmişten günümüze incelenen bir konu olmaya devam etmektedir [2].

Müzikal algılama ve işitsel hafıza ile ilgili Klasik Türk Müziğinde makamları inceleyen birçok araştırmanın konusu genellikle perde kısmının anlaşılması olmuştur. Fakat yalnızca müzikal yeteneğin ses ve perde algılamasının olduğu söylenemez. Müzikal yetenek iyi düzeyde müzikal algılama ve işitsel hafıza ile de ilişkilidir. Müzikal algılama sesler, ses aralıkları, ritim, melodi vb. müziğin bileşenlerini algılamak ve işitsel hafıza sayesinde hatırlamakla mümkün olabilir [4].

Müziğin bütün olarak anlaşılmasıyla ilgili olarak işitsel hafızada melodinin nasıl anımsandığını araştıran çalışmalar da göstermiştir ki melodi hattı makamların anlaşılmasında çok önemlidir. İşitsel hafıza için önemli olan melodinin hattı ya da başka bir deyişle seyridir [4].

İşitsel hafıza, öğrenci eser icra etmeyip sadece çalgı çalıyor olsa bile önemli ve gerekli bir özelliktir. Müzikal çalışmaların büyük bir kısmında dizileri anlayabilmek ve birbirinden farklarını ayırt edebilmek gibi çalışmasının ve eğitiminin büyük kısmında ihtiyaç duyacağı bir özelliktir. Öğrenci, işitsel hafızasını geliştirebilmek için özel bir çalışmaya ve süreye ihtiyaç duyar [5].

Klasik Türk Müziği makamlarının tanınmasına yönelik iki deneysel çalışmanın sonuçları aşağıda verilmiştir:

Duyulan makamları tanımaya yönelik yapılan deneysel çalışmada, katılımcılara göre, bir makamı tanımada en önemli etkenin şarkının daha önce söylenmiş olması ve seyir sıralamasında yer aldığı görülmüştür. 17 faktörün puanlandığı listede uzmanların ve öğrencilerin makam tanımada en az etkiye sahip olduğunu düşündükleri faktör içsel bilgi olarak belirlenmiştir [2].

Konuyla ilgili bir başka deneysel çalışmada ise öğrencilerin basit makamları tanıma becerileri üzerine basit makam örnekleri oluşturulmuştur. Öğrencilere göre, şarkıyı daha önce dinlemenin veya daha önce icra etmenin, duyulan makamları tanımada önemli olduğu kadar, içsel bilginin de nispeten daha az önemli olduğu sonucuna varılmıştır. Bahsedilen 3. ve 4. sınıf öğrencileri ile yapılan deney sonucunda sıra tanıma başarısının %71,7 olduğu görülmüştür [6].

Bu iki deneysel çalışmada da görüleceği üzere uzmanlar ve öğrenciler makamı tanımada şarkının icrası, hareket tarzı ve melodik çizginin faktörlerini vurgulamışlardır. Bu aslında makam sınıflandırması ve tanıma için sonsuz bir eğitim sürecini vurgulamaktadır. Bu iki deneysel çalışma sonucunda araştırmaya katılan kişilerin sınıflandırma çalışmalarında %100 başarı sağlayamadığı gözlemlenmiştir.

Tüm bu zorluklar göz önüne alındığında, makamların sınıflandırılmasındaki sorunlar, çalışmalarda yapılan bireysel hatalar, öğrenciler ve uzmanlar üzerinde yapılan deneysel çalışmalar sınıflandırma işleminin zorluğunu ortaya koymuştur.

Bu çalışmada Klasik Türk Müziği makamlarının sınıflandırılması ve tespiti için farklı türde makamlardan oluşan eserler veri kümesi olarak oluşturulmuştur. Oluşturulan veri

kümesindeki ses dosyaları (eserler) belirli aralıklar ile örneklenmiştir. Örneklemelerin her birine zaman dalgacık saçılımı yöntemi uygulanarak öznitelik çıkarımı yapılmıştır.

Klâsik Türk Müziği Öğretmenlerinin okuryazarlık ve eğitiminde makam tasnifine yönelik birçok yaklaşımın varlığı, nota yazımındaki hatalar, kişilerin şarkı icrasında serbest yaklaşımları, tasnif için gerekli bilgi ve tecrübe eksikliği gibi sorunlar bulunmaktadır. Sözü edilen zorluklar hem bu eğitimi alanlar hem de Klâsik Türk Müziği ile ilgilenenler için makamların tanınmasında ve tasnifinde zorluklara neden olmaktadır. Çalışmanın amacı, bahsi geçen sorunlara Yapay Zeka uygulaması ile sınıflandırma yaparak çözüm geliştirmektir.

Çalışma, makamları sınıflandırıp teşhis etmek ve bilgisayar ortamında müzik öğrenimindeki sorunları kolaylaştırmak, makamları tanıma ve belirlemede hem öğrencilere hem de Klasik Türk Müziği ile ilgilenenlere kolaylık sağlamayı amaçlamaktadır.

Çalışmanın Müzik Bilgisi Alma (MIR) sisteminin otomatik makam sınıflandırma sürecini düzenlemeye, müzik eğitimi ve okuryazarlığını kolaylaştırmaya ve daha sonra müzik tavsiye programları geliştirmeye yardımcı olacağı düşünülmektedir. Ayrıca uygulamada Klasik Türk Müziği Makamlarının sınıflandırılması ve tanımlanması için GPU hızlandırıcı ile sınıflandırılan ses dosyalarının, Destek Vektör Makineleri ve Dalgacık Zaman Saçılımı özellikleri kullanılarak öznitelik çıkarımı ile çıkarılarak makama sınıflandırılması beklenmektedir. Sistemin bu işlemi mümkün olan en kısa sürede gerçekleştirmesi beklenmektedir.

Çalışmanın otomatik makam sınıflandırma işlemi Müzik Bilgilerinin Alınımı (MIR) sistemini düzenlemede, müzik eğitiminin kolaylaştırmada ve daha sonra müzik tavsiye programlarının gelişmesine yardımcı olacağı düşünülmektedir.

Ayrıca uygulamada Klasik Türk Müziği Makamlarını sınıflandırıp tespit edebilmek için Destek Vektör Makineleri ve Dalgacık Zaman Saçılma özelliklerini kullanarak grafik işleme birimi (GPU) hızlandırıcısı ile sınıflandırma yapılacak ses dosyalarının özellik çıkarımı, makam türleri içinde sınıflandırılmasını ve sistemin bu işlemi olabildiğince hızlı yapması beklenmektedir.

Klasik Türk Müziğinde makam kavramı dizi yapısı, aralık yapısı ve melodik özelliklerin birleşimi ile batı müziğindeki tonal ve modal dizilerden farklı bir kavramdır. Ayrıca seyir de makam için önemli bir yere sahiptir.

Klasik Türk Müziği'nde yaklaşık 600 makam türü olmasına rağmen icracılar 30 civarında makamı tanıyabilirler. Melodisi bu 30 makamdan birine sınıflandırılabilirken, batı müziği majör ve minör olmak üzere iki ana sınıflandırma grubunu içerir [7]. Aşağıda makam kavramı ve sınıflandırılması ile ilgili yapılan çalışmalar hakkında bilgi verilmektedir.

Klasik Türk Müziği şarkıları dijital ortama aktarılmış ve bu mecralarda yayınlanmıştır. Bu durum ve dijital medya teknolojisindeki (bilgisayar, internet vb.) gelişmeler dikkate alınarak Klasik Türk Müziği şarkıları dijital ortama aktarılmış ve daha fazla şarkıya ulaşılmıştır. Sözü edilen gelişmelere rağmen, batı müziğine kıyasla dijital ortamda sınırlı Klasik Türk Müziği makam örneklerine veya veri seti kaynaklarına ulaşılabilmektedir.

Ayrıca bu alandaki sembolik ve ses dosyaları veri seti ile farklı yöntemlerde yapılan çalışmalar ve başarı oranları incelenmiş olup başarı oranları ve yöntemleri aşağıda verilmiştir.

Sembolik veri setini kullanan [7], literatürde N-Gram Sınıflandırma yöntemi ile hem sembolik hem de ses dosyası veri setlerini kullananlara göre daha yüksek bir başarı oranı elde etmiştir.

Bir diğer çalışmada [8] ses dosyalarından oluşan veri setleri ile literatürde en yüksek başarı oranını %96,57 ile elde etmişlerdir. Çalışmalarında yedi farklı makamda toplam 93 şarkı ile birden fazla yöntem denenmiş ancak en yüksek başarı oranını DBN yöntemini kullanarak elde etmişlerdir.

Başka bir çalışmada [9], Kombine yapay sinir ağları (YSA) yöntemi kullanarak %95,8 başarımla elde etmiştir. Bu çalışmada ses sinyalleri veri seti olarak kullanılmış olup çalışmamızda yer alan beş makamda kullanılan makamlar arasındadır. Benzer olarak enstrümantal ses dosyaları tercih edilmiş ve ayrıca tanbur ve ney çalışmamızda yer alan müzik aletleriyle aynıdır.

Farklı bir çalışmada [10], sembolik veri seti kullanarak N Gram sınıflandırma yöntemiyle çalışmamızda yer alan yedi makamı sınıflandırarak %89,7 başarımla elde etmiştir.

Başka bir yaklaşım denenen çalışmada [11], Chroma Features yöntemini kullanarak %89 başarımla elde etmiştir. Ayrıca bu çalışmada ses sinyalleri veri seti olarak kullanılmış olup çalışmamızda yer alan yedi makamda kullanılan makamlar arasındadır.

Çalışmada [12], sembolik veri seti kullanarak Makine Öğrenmesi Algoritmaları yöntemiyle çalışmamızda yer alan yedi makamı sınıflandırarak %88,12 başarımla elde etmiştir.

Bir diğer çalışmada [13], Pitch Frequency Histogram yöntemi kullanarak %77,38 başarımla elde etmiştir. Bu çalışmada ses sinyalleri veri seti olarak kullanılmış olup çalışmamızda yer alan beş makamda kullanılan makamlar arasındadır. Benzer olarak enstrümental ses dosyaları tercih edilmiş ve ayrıca tanbur, kanun, ud ve ney çalışmamızda yer alan müzik aletleriyle aynıdır. Ayrıca [14], K en yakın ortalamalar yöntemini kullanarak %70 başarımla oranı elde etmişlerdir.

Bu alanda bir diğer sorunda Klasik Türk Müziği son yıllarda giderek dijitalleşse de batı müziğine göre görece eksik kalmıştır. Bilgisayar teknolojisinin gelişmesine rağmen elimizde sınırlı sayıda veri kümesi kaynağı bulunmaktadır. Çalışmada veri kümesi olarak ses dosyaları tercih edilmiştir.

2. KLASİK TÜRK MÜZİĞİ

Klasik Türk Müziği, tarihin ilk dönemleriyle beraber ortaya çıktığı düşünülmektedir. Türklerin tarihin farklı dönemlerinde yaşadığı yerlerle ilgili olarak, çeşitli karakteristik özelliklere ve farklı yapılarla ortaya çıkan Klasik Türk Müziği, çok geniş coğrafi sahalara yayılmıştır [3].

Tarihte Klasik Türk Müziğine ait ilk yazılı beste kaynaklarının Farabi'ye ait olduğu kabul görmektedir. Farabi'den sonra müzikologlarımız tarafından ses yapılarımızla farklı eserler ortaya çıkmış, çoğunluğu kaybolmuş fakat günümüze ulaşanlarla bile Klasik Türk Müziği dünyanın önemli müziklerinden sayılabilir. Yazılı olarak kaynaklarda geçmese de Klasik Türk Müziğinin yaklaşık 5000 yıl geçmişe sahip olduğu düşünülebilir [3].

Orta Asya'daki göçebe kültür yapısıyla müzikal teorinin dışında kalan, yöneticilerin bulunduğu toplantılarda çeşitli icralar ile gelişen bir müzikal kültür oluşmuştur [15].

Türklerin Orta Asya'dan Anadolu ve Balkanlara kadar uzanan göç devri ve savaşların etkisiyle beraber Klasik Türk Müziği farklı kültürler ile etkileşime geçmiştir. Anadolu tarihinde birçok medeniyet ve kültüre (Araplar, Persler, Romalılar, Yunanlılar, Bizanslılar vb.) ev sahipliği yapmıştır. Her medeniyet ardında farklı kalıntılar bırakmıştır [16].

Klasik Türk Müziğine ait dokümanlar 13. yüzyılda kadar uzanmaktadır. Bu dokümanlar Klasik Türk Müziğinin önceki zamanlardaki gelişim ve durumu üzerine bilgi vermektedir. Günümüze ulaşan dokümanlardan, Klasik Türk Müziğinin yüzyıllar önce de belli bir yapıya göre oluşmuş olduğu anlaşılmaktadır [16].

Orta Asya'dan gelen Klasik Türk Müziği, Pers ve Arap müzik yapıları yerine geçmiş ve bu yapı 13. yüzyılda olgunlaşmıştır. Bu süreçte kültürel etkileşimlerin sonucu olarak Klasik Türk Müziği de Pers ve Arap müzikal kültüründen etkilenmiştir ancak bu dönemden itibaren İslami dünyanın çoğunluğunda Klasik Türk Müziği kabul görmüştür [16].

Anadolu müzikal kültüründe Orta Asya'dan gelen Türklerin kültürel özellikleri önemli bir konumdaydı; törenlerde kullanılan davul ve çeşitlerinin yanı sıra Tuğ olarak adlandırılan

askeri müzikal gruplar, Osmanlı zamanında Mehter takımına çevrilmiştir. Kültürel etkileşimler sonucu batılı müzisyenler Klasik Türk Mziğiyle ilgilenmeye başlamışlardır. 18. yüzyılın başlarında, Mehter takımının Yeniçeri ordusuyla beraber kaldırılması ve yapılan reformlardan sonra Anadolu'da bandolar kurulmuştur [17,18]. Sonrasında Cumhuriyet dönemiyle beraber uluslararası sanat müziği dalında bestecilerin arayışları düzene oturmuştur.

Klasik Türk Müziğinin kökenine ilişkin iki farklı düşünce bulunmaktadır. Bunlardan birincisine göre bu müzik türü, Orta Asya kültüründen itibaren Osmanlı Kültürü ve Anadolu yerel kültürü ile beraber Arap ve Pers kültürlerinin etkisiyle oluşturmuştur [17,18].

Araştırmacılara göre bir diğer yaklaşıml ise Klasik Türk Müziğinin köklerini Yunan kültürü ya da Bizans kültüründen kaynaklandığını düşünüyorlar. Fakat Klasik Türk Müziği derecelendirme sistemi dahil bu kültürlerin sistemiyle örtüşmediği görülebilmektedir. Safiddin Urmevi'nin yazdığı 13. Yüzyıla ait Kitab'l Edvar adlı eserine göre Türk medeniyetlerinde en geç 13. yüzyıla kadar başlayan ve sistemi olan müzikal geleneğinin varlığına dair kanıtlar vardır [17,19].

2.1. Klasik Türk Müziği Devirleri

Klasik Türk Müziği dönemleri izelge 2.1'de verilen altı dönem başlığı altında incelenmektedir [16].

Çizelge 2.1. Klasik Türk Müziği dönemleri

DEVİR ADI	AÇIKLAMA	TARİH ARALIĞI
Hazırlık veya Oluşma	Başlangıçtan Abdülkadir Meragi'ye kadar	...- (1360 -1435)
Klasik Öncesi	Abdülkadir Meragi'den Itri'ye kadar	(1360-1435)- (1640-1712)
Klasik	Itri'den Dede Efendi'ye kadar	(1640-1712)- (1778-1846)
Neoklasik	Dede Efendi'den Hacı Arif Bey'e kadar	(1778-1846)- (1831-1884)
Romantik	Hacı Arif Bey'den Huseyin Sadettin Arel'e kadar	(1831-1884)- (1880-1955)
Reform	Huseyin Sadettin Arel ile başlayan ve devam eden	(1880-1955)- ...

2.1.1. Hazırlık ve oluşma devri

Türkler Orta Asya'dan göç eden ettiği için Klasik Türk Müziğinin ilk verilere Çin'e ait kaynaklarda rastlanmıştır. Çin kaynaklarından tercüme edilen yazıtlara dayanarak Orta Asya'dan göç eden Türklerin müzikal kültürlerine ait bilgileri de içerdiği için bu kaynaklar Çin müzikal kültürü açısından ne kadar önemli ise Klasik Türk Müziği tarihi açısından da bir o kadar önem arz etmektedir [16].

Tercüme edilen yazıtlara göre Hunların dönemlerinde İslamiyet'ten önceki müzikal kültürün düzeyini gösteren verilerinde bulunması sayesinde, Klasik Türk Müziği tarihini milattan öncesinden itibaren başladığı düşünülmektedir. Ayrıca Orta Asya kültür oluşumunda Türklerin katkı sağladığının anlaşılmasının yanı sıra İslamiyet'ten önceki dönemlerdeki Türk ve Çin saraylarındaki Türk Müzikal grupları ve birçok Türk sazı hakkında bilgi elde etmenin mümkün olduğu öne atılmıştır [20].

Fakat günümüzde Klasik Türk Müziğinin 10. yüzyılda Türklerin İslamiyet'i kabulünden sonra Batıdaki Türkler ile oluşuğu, göç ettiği ve yerleştiği yerlerin müzikal kültürlerinden doğal olarak etkilendiği, yine de özellikle Pers ve Arap müzikal kültürlerinden aldığı etkilere daha çok etki bıraktığı görülmektedir [20]. Bu şekilde oluşumu gerçekleşen

Klasik Türk Müziğine ait günümüze ulaşan kaynaklar 13. Yüzyıldan itibaren başlamaktadır [16].

Mevlevi kültürünün Klasik Türk Müziğine önem vermesi ve Sultan Veled'in başarılı bir besteci olması, bu devirlerde Klasik Türk Müziğinin gelişimini ve kültürel etkisini çoğaltan faktörlerden olmuştur [16].

Aynı dönemde Türk müzikolog ve sanatçı Safiyüddin Urmevi'in, Türk müzik tarihinde ilk kaynak olarak görülen kitabında [21], Klasik Türk Müziği sistemini kitap haline getirmesi oldukça önemlidir [16].

2.1.2. Klasik öncesi devir

Abdülkadir Meragi gençliğinden itibaren Klasik Türk Müziği alanında solist, icracı, besteci ve müzikolog olarak öne çıkmıştır. Ünü besteci ve Klasik Türk Müziği bilgini olarak yayılmıştır. Timur'un sarayında da baş solist olarak görev alan Abdülkadir Meragi bu süreçte Doğu Türklerinin müzikolojilerinden de yararlanma fırsatı bulmuştur [16].

Besteci, solist, icracı ve Klasik Türk Müziği alanında usta olarak ölümsüz olan Abdülkadir Meragi'nin en önemli yapıtlarından biri çok sayıda Klasik Türk Müziği parçasının ebced hesabından yararlanarak hazırlanmış notalarını kapsayan Nağmeler Hâzinesi isimli nota dergisidir. Halen hiçbir izine ve örneğine rast gelinmeyen yapıt gün yüzüne çıkarılabilirse Klasik Türk Müziği alanında farklı bilgiler elde edilecektir [16].

Abdülkadir Meragi'nin bir diğer yapıtı olan Şerhü'l-edvâr, Safiyüddin Urmevi'nin klasik yapıtının açıklaması niteliğinde olup Nuruosmaniye Kütüphanesinde bulunmaktadır. Abdülkadir Meragi'nin Türkçe yazdığı Kitâbü'l-Edvâr ise Leiden'dedir. Bu yapıtlarında Abdülkadir Meragi Klasik Türk Müziği alanında bilgiler vermiştir. Bunun yanı sıra Abdülkadir Meragi belli başlı Klasik Türk Müziği aletlerini üzerine de çalışarak müzik aletlerinde farklılıklar yapmıştır [16].

Osmanlı döneminde de yetişen birçok besteci Abdülkadir Meragi'yi örnek almıştır. Bu yüzden o dönemde kendisine büyük hoca denmektedir. Sayısız beste yapan Abdülkadir Meragi'den günümüze kadar ulaşanlar otuz eserden ibarettir. Abdülkadir Meragi'nin

yapıtları kendinden önceki dönemlere ait Klasik Türk Müziğinin düzeyi, formları ve müzik aletleri üzerinde bilgi içermesi açısından önem arz etmektedir [16].

17. yüzyıl Klasik Türk Müziğinin en çok geliştiği dönemdir. Bestecilik ve performans üzerinde büyük yol kat etmesine karşılık müzikoloji alanında 15. yüzyıl düzeyine ulaşamamış olsa da önemli edvarlar yazılmıştır. En önemlilerinden biri birçok yapıtı batı notası ile tespit eden Santuri Ali Ufki'nin edvarıdır. Bir diğer önemli edvar ise besteci Kantemiroğlu edvarıdır. Bu şekilde 17. yüzyıldan günümüze gelen yapıtların sayısı geçen yüzyıllara göre artmıştır [16].

Klasik öncesi dönemin 17. yüzyıldaki önemli bestecileri olarak, bu dönemi bitirerek klasik dönemi başlatan Buhurizade Mustafa Itri Efendi, dini müzikolojinin önemli temsilcilerinden Hatip Zakiri, saz yapıtları bestecisi Eyyübi Mehmet Çelebi gösterilebilir [16].

2.1.3. Klasik devir

17. yüzyılda Itri ile başlayıp Dede Efendi 'ye kadar gelen klasik dönemde durağanlığın oluşmasına, batının birçok alanda üstün gelmesine, medrese öğretiminin gerilemesine, kültürel olarak önceki dönemlerdeki parlaklığını kaybetmesine rağmen Klasik Türk Müziği Itri'nin yapıtlarıyla birlikte büyük oranda beste alanında kayda değer gelişmeler yaşamıştır [16].

17. yüzyılda olduğu gibi 18. yüzyılda da halk ve sanat müzikleri yakın olmasıyla birlikte 18. yüzyılın son dönemlerinde Üçüncü Selim ekolündeki Klasik Türk Müziğinin klasik geleneği üzerine devam etmesiyle iki türün ayrışması belirginleşmiştir. III. Selim'in yeni düzen olarak adlandırdığı Osmanlı İmparatorluğunda neredeyse tüm alanlarda yenileştirme çalışmaları içerisinde Klasik Türk Müziği de etkilenmiştir [16].

19. yüzyıldaki ıslahatlar ile birlikte klasik dönem yaklaşımları zayıflayarak, Klasik dönemi bitirip Neoklasik dönemi başlatan besteci Dede Efendi, Şakir Ağa, Emin Ağa vb. sanatçılar ıslahatlar ile yeni gördükleri batı müzikolojisi etkisinde kalmışlardır [16].

2.1.4. Neoklasik devir

Dede Efendi ile başlayıp Hacı Arif Bey'e uzanan bu dönemde besteciler klasik akımın etkisine bağlı olan ve büyük yapıtlar üretme geleneği yerine klasik akımdan kesin olarak ayrılmadan küçük yapıtlar üretmeye yönelmişlerdir [16].

Dönemi başlatan besteci Dede Efendi geniş ölçekte her alandan eser ortaya koymuş olup beş yüzden fazla bestesinden iki yüz civarında bestesi günümüze uzanmıştır. Dede Efendi, İtri'den sonra klasik dönemin en büyük bestecisi olarak görülmektedir [16].

Neoklasik dönemin bestecileri arasında Dede Efendi'nin öğrencileri olan İsmail Efendi ve Zekâi Dede Efendi, Vasilaki, Tanburi Ali Efendi, son olarak neoklasik dönemi bitirerek romantik dönemi başlatan besteci Hacı Arif Bey gösterilebilir [16].

2.1.5. Romantik devir

Hacı Arif Bey ile başlayıp Hüseyin Sadettin Arel'e uzanan bu dönemin özellikleri arasında büyük yapıda eserlerin yerine küçük yapıda eserlerin gelmesi, Üçüncü Selim döneminden itibaren çalışılan şarkı yapısının değer kazanması, klasik öğretilerin yerine halka yönelimlerin başlaması, duygusal yoğunluğa önem verilmesi örnek verilebilir [16].

Bahse konu dönem toplumda batılılaşmanın arttığı, her alanda ve müzikolojide batı etkisinin giderek arttığı, Klasik Türk Müziğinin resmi eğitimden kaldırıldığı kısa bir süreci içerdiği için bu devirde Klasik Türk Müziği üzerinde yürütülen resmi çalışmaların durağanlaşmasına karşın Rauf Yekta, Hüseyin Sadettin Arel ve Dr. Suphi Ezgi'nin uğraşlarıyla Klasik Türk Müziği alanında çalışmalar devam etmiş olup bu süreçte Rauf Yekta'nın yazdığı Klasik Türk Müziğine ait verilere bir batı ansiklopedisinde büyük oranda yer verilmiştir [16,22].

Bu dönemin önemli bestecileri arasında dönemi başlatan şarkı bestecisi Hacı Arif Bey, öğrencisi Şevki Bey, Nikoğos Ağa, Münir Nurettin Selçuk, Rahmi Bey, saz bestecisi Tanburi Cemil, Rauf Yekta, Dr. Suphi Ezgi, Hüseyin Sadettin Arel v.b. gösterilebilir [16].

2.1.6. Reform devri

20. yüzyılda Hüseyin Sadettin Arel ile başlayıp günümüzde devam eden reform döneminin önemli özellikleri, toplumun batılılaşma akımına kapılması ve topluca bir sürece geçilmesinin sonucunda Klasik Türk Müziği alanında yapılan hataların düzeltilmesi, Klasik Türk Müziğinde Batılılaşma akımından ziyade çağdaşlaşmaya çalışılmasıdır [16].

Hüseyin Sadettin Arel ile birlikte Dr. Suphi Ezgi, Prof. Dr. Salih Murad Uzdilek'in başını çektiği Klasik Türk Müziği alanındaki değerlendirme hatalarının giderilmesi, Klasik Türk Müziğinin tekrar denetime ve disipline geçmesiyle çağdaşlaştırılması için çalışma yürütmüşlerdir. Dönemin hedefi, Klasik Türk Müziği verilerini çağdaş yöntemler içerisinde topluma ve genç kesime yaymak, Klasik Türk Müziği alanındaki değerlendirme hatalarının bilgilerini ortaya çıkarmak, çok sesliliğe yönlendirmek olarak belirtilebilir [16].

Klasik Türk Müziği verilerini ilk derlemeye başlayan müzikolog Rauf Yekta Bey olmuştur. Dr. Suphi Ezgi'nin kaleme aldığı Nazari ve Ameli Türk Musikisi isimli beş ciltlik yapıtında Klasik Türk Müziği verilerini, sistemini, makamlar, usuller, notalar olarak belli bir sistem ile bir araya getirmiştir [16].

Hüseyin Sadettin Arel batı müziği eğitimi alması ve Klasik Türk Müziği Nazariyatını oluşturmak amacıyla Dr. Suphi Ezgi Bey'in yanı sıra Rauf Yekta ile çalıştıktan sonra yapıtlarını oluşturarak bunlara ek olarak besteciliğiyle reform dönemini başlatan besteci-müzikolog olmuştur. Hüseyin Sadettin Arel, eserlerinde Klasik Türk Müziği ritmini, usullerini ve makamlarını çağdaşlaştırarak belirli yapılar içerisinde yazarak, bu verileri genç kesime yaymıştır. Ayrıca Türk ses yapısına uygulanabilecek çok sesliliğin detaylarını araştırmaya başlamış, Türk Musikisi Kimindir [23], isimli yapıtında ise Klasik Türk Müziğinin farklı kültürler orijinli olduğunu savunan teorilerin yanlış olduğunu, Klasik Türk Müziğini Türklerin Orta Asya'dan getirerek Orta Doğuda genişlediğini, asıl olarak diğer kültürlerden doğmadığını bilimsel kanıtlarıyla sunmuştur [16].

Hüseyin Sadettin Arel bahsedilen çalışmalarıyla Klasik Türk Müziğinde çağdaşlaşma akımını başlatan kişi olarak görülmektedir. Hüseyin Sadettin Arel'in derlediği bilgilerin ışığında Klasik Türk Müziği geniş ölçekte eğitim olanaklarına erişerek öncelikle Belediye Konservatuarında, sonrasında Türk Musikisi Konservatuarında verdiği dersler aracılığıyla

yetiştirdiği öğrencilerin ve arkadaşlarının katkı sunmasıyla birlikte gerçekleştirilmiştir. Bu şekilde reform döneminde Klasik Türk Müziğinin kurumlaşması sağlanmıştır [16].

Ayrıca Klasik Türk Müziği ses yapısında bir sekizlinin yirmi dört eşit olmayan aralığa bölünmesi ve yirmi dört perde kapsadığının açığa kavuşturulmuştur. Dr. Suphi Ezgi ve Hüseyin Sadettin Arel'in bu alandaki çalışmaları sonucunda Türk dizisinde yirmi dört perde bulunması gerektiğini öne sürmüşler, sonradan gün yüzüne çıkan Hızır bin Abdullah'ın edvârında bu yapının dayanağını bulmuşlardır. Sonrasında bu alanda çalışan Prof. Salih Murad Uzdilek'de bu yapının sayısal gerekçesini İlim ve Musikî adlı eserinde [24] belirtmiştir [16].

2.2. Klasik Türk Müziğinde Makam

Klasik Türk Müziğinin, makamsal yapı ve usul (ritmik özellikler) olmak üzere iki temel öğesi vardır. [26] Klasik Türk Müziğinde metrik sistemle ilgili olan usul kavramı kuvvetli vuruşların, yarı kuvvetli vuruşların ve zayıf vuruşların belirli bir sistematik içerisinde art arda gelmesiyle oluşan sayı gruplarına verilen isimdir [25].

Klasik Türk Müziği günümüze kadar birçok çalışma ve araştırma ile sistematığe oturtulmaya çalışılmıştır. Klasik Türk Müziğinde makam; perde aralıkları, sınıflandırılması, dizisi, seyir özellikleri, dörtlü ve beşliler vb. gibi makamı oluşturan öğelerle birlikte incelenmesi gerekli olan bir konudur [26].

Geçmişte müzikoloji kitapları yani edvarlar içinde terki b, avaze, şube veya perde [27,28] olarak adlandırılmış olsa da günümüzde makam ismiyle incelenmektedir. Osmanlı döneminin başlarından beri kullanılan makam kavramı [29], müzik parçalarının üzerlerinde uzun duruşların yapıldığı perdeler için kullanılmıştır. Sonrasında ise kompleks müzikal yapıları anlamlandırarak şekilde anlam yüklenmesi açısından genişletilmiştir [26].

Kelime kökeni açısından Arapça olan makam [28], duraklar ve güçlü olarak adlandırılan nağmeler ile birlikte kendine özgü unsurlar olan perde, aralık, dörtlü ve beşliler ile oluşan dizilerin yanı sıra bu yapıyla beraber seyir kuralı olan müzikal çeşni olarak tanımlanabilir. [19,26,29-37] Klasik Türk Müziğinin diğer ana öğesi kabul edilen usul, makam yapısının yanında ikincil planda kalır [38].

Sistematik eğitimde makamdaki dörtlülere cins denmiştir. Dörtlüler üç aralığa bölünmüştür. Cinsler farklı yapılarda bölünüp sıralandığında farklı diziler ortaya çıkmış olup devirleri yani sekizli ölçü sistemindeki usulü meydana getirmişlerdir [26, 39].

2.3. Klasik Türk Müziğinde Makamı Oluşturan Öğeler

Makamların meydana gelmesini sağlayan, karakteristik yapılarını belirleyen, düzeni ve akışını ortaya koyan öğeler vardır. Makamı oluşturan öğelerden başlıca olanları makam yapısında kullanılan perdeler ve ses aralıklarıdır. Müzikte oluşan seslerin yükseklik açısından tanımı olan perdenin seyrin bittiği ve sona erdiği türüne karar perdesi denir [26]. Karar perdesinin tam karar, yarım karar ve asma karar olarak üç türü vardır [38].

Makam yapısı içerisinde bir tane karar perdesi bulunur. Makamda seyir yapısına dikkat edilerek istenen perde ile başlayabilir fakat bitirmek için istenen perde kullanımı doğru değildir. Makam yapısında kullanılan karar perdesi ve tiz durak perdesi gibi tanımlar Hüseyin Sadettin Arel ve Rauf Yekta tarafından isimlendirilmiştir. Bu perdeler Klasik Türk Müziği makamlarında geçmişten bu yana var olsa da isimlendirilmesi 20. yüzyılda gerçekleşmiştir [26]. Makamın karakteristik yapısının tanınmasında durak ve güçlü perdelerinin yanı sıra karar perdeleri de önemli bir rol oynar [38].

Ses dizisinin kısaltılmış terimi olan dizi makamların perdelerinin kendine özgü kurallara dayanarak müzikal sisteme temel oluşturan belirli bir şekilde sıralanmasıdır. Seyir ise Klasik Türk Müziğinde makamların karakteristiğini oluşturan akış anlamına gelmektedir. [26] Duraktan tize giden çıkıcı seyir, tizden pest sese giden inici ve güçlü perdesinden başlayarak genişleyen hem inici hem çıkıcı olarak üç tür seyir mevcuttur [38].

Makamda seyir olmadan tek başına dizi bir anlam oluşturmaz. Bu açıdan makamı oluşturan önemli öğelerden biridir. Klasik Türk Müziğinde dizileri aynı olan makamlar var olduğu halde seyir karakteristiklerinin farklılaşmasından kaynaklı birbirinden farklı isimlendirilen makamlar bulunur. Bu makamlara Muhayyer ve Hüseyini'yi örnek verebiliriz [26].

Çeşni, makamdaki seyre uygun olarak belli perdelerdeki duraklamalar ya da gecikmelerden kaynaklanan makamın karakteristiğini oluşturan önemli öğelerden biridir [26,40]. Çeşni belli yapıların dışına çıkmayan aralıklarından meydana gelen dört veya beş

art arda gelen sestten meydana gelen kalıplaşmış dizi yani dörtlü ve beşlilerden oluşmaktadır. Bu dörtlü ve beşliler basit makamların oluşumunda temel oluşturur [41]. Seyir olarak birbirine benzeyen makamları yalnızca çeşnileri analiz ederek ayrıştırılabilir [26,40].

Geçki, Klasik Türk Müziğinde bir makamın seyri esnasında farklı bir makama geçilmesi olarak adlandırılır [26,34]. Karakteristik özellikleri ve makamsal yapıları sayesinde geçkiye açık olması Klasik Türk Müziğinin özelliklerinden arasındadır [42]. Aynı zamanda konservatuvarlarda genel olarak performans öğretilerinde ders olarak gösterilmektedir [43].

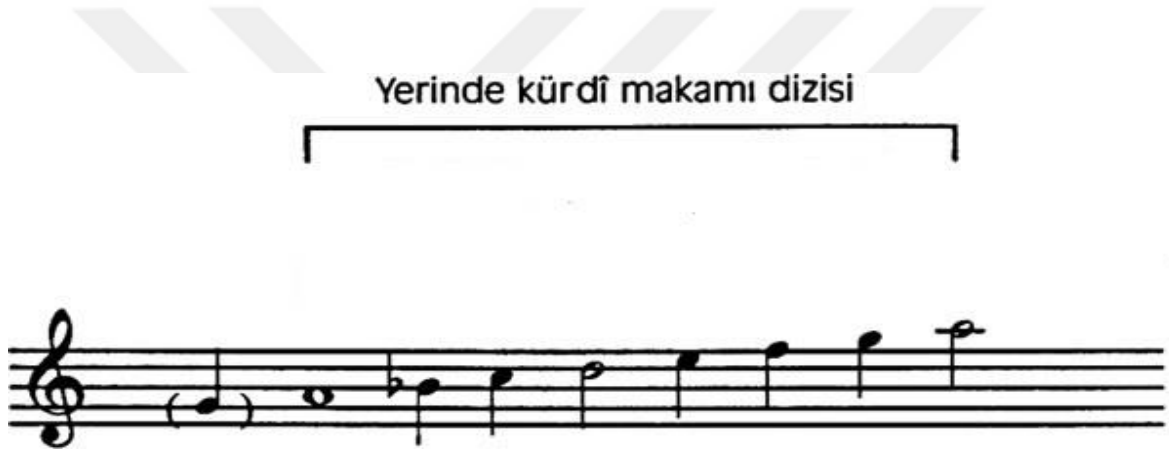
Dizileri içerisinde ortak ses veya karakteristik özellik olan makamlar arasındaki geçişe yakın geçki, bulunan makamlar yakın, dizileri birbirine benzer olan makamlar arasındaki geçişe uzak geçki denir. Geçki yapılabilmesi için dizideki ses yapılarının görevlerini değiştirmek veya dizideki ses yapılarının birkaçında karakteristik değişiklik yapmak olarak iki farklı yöntem bulunur [26,34]. Geçki için bu yöntemlerden bir tanesi yeterli gelebileceği gibi iki yöntem aynı anda da kullanılabilir. Geçki kısa süreli yapılsa süreksiz, uzun süreli yapılsa sürekli geçki olarak isimlendirilir. Ayrıca eseri durağanlıktan uzaklaştırma ve estetik amaçla gerçekleştirilir [19,43]. Geçkiler zamanla bileşik makamların sayısının artmasına olanak sağladığı söylenebilir [42].

2.4. Klasik Türk Müziği Makam Türleri

Ortak kanı olarak Klasik Türk Müziğinde makam ve usul oldukça zengindir. Çoğunluğun kabul ettiği Ezgi-Arel teorisinde makamlar basit makam, bileşik makam ve şed makam olmak üzere üç türde tasnif edilmiştir. En az bir dörtlü veya beşlinin yanı sıra sekiz sesli dizi ile karakteristikleri açıklanabilen makamlar Basit Makam olarak adlandırılır [38,43]. Basit makamlara Muhayyer, Kürdi, Hüseyini, Çargah, Uşşak ve Rast örnek olarak verilebilir [41]. Çalışmada kullanılan basit makamlardan Muhayyer, Kürdi ve Hüseyini'ye ait seyir ve dizi örnekleri aşağıda verilmiştir.



Şekil 2.1. Muhayyer makamı dizi seyri [44]



Şekil 2.2. Kürdi makamı dizi seyri [45]



Şekil 2.3. Hüseyini makamı dizi seyri [46]

Çoğunlukla sekiz sesli diziler ile oluşamayan, birden fazla makamdan ya da çeşniden birleştirilmiş makamlar Bileşik Makam olarak adlandırılır. Fakat basit makam olarak isimlendirilen makamların bazılarında geçkiler bulunmaktadır [38, 43]. Bileşik makamlara Segah, Saba, Hüzzam, Ferahfeza ve Dügah örnek olarak verilebilir [41]. Çalışmada kullanılan bileşik makamlardan Segah, Hüzzam ve Saba'ya ait seyir ve dizi örnekleri aşağıda verilmiştir.

Yerinde segâh makamı dizisi



Şekil 2.4. Segah makamı dizi seyri [47]



Şekil 2.5. Hüzzam makamı dizi seyri [48]



Şekil 2.6. Saba makamı dizi seyri [49]

Klasik Türk Müziğinde makamların oluşumundaki önemli öğelerinden dörtlü veya beşliler, sistematğin el vermesiyle ve aralıkların bozulmamasıyla farklı perdeler üstüne göçürme (aktarma) yapılabilir. Yani birtakım perdeler üstüne göçürme işlemi yapılamayabilir [41]. Basit veya Bileşik makamların seyir özellikleri ile birlikte durak bölgesinden başka bir perdeye aktarılması yani göçürülmesi sonucu elde edilen makamlara Şed Makam denir [38,43]. Şed makamlara Nihavend, Hicazkar, Mahur ve Evcara örnek olarak verilebilir [41]. Çalışmada kullanılan şed makamlardan Nihavend ve Hicazkar'a ait seyir ve dizi örnekleri aşağıda verilmiştir.



Şekil 2.7. Nihavend makamı dizi seyri [50]



Şekil 2.8. Hicazkar makamı dizi seyri [51]

Her makam için kendine özgü seyir ya da perdeler bulunması dolayısıyla orijinalliklerini korumaktadır. Buna rağmen oluşum şekillerine bakıldığında makamı oluşturan karakteristik özellikleri birbiri ile benzeyen ve bazı makam oluşturan öğeleri aynı olan birçok makam bulunmaktadır [38].

Klasik Türk Müziği geçmişinden günümüz tarihine kadar altı yüz civarında makam türü kullanımı gerçekleşmiştir. Fakat bu makam türlerinin yarısının örneği günümüze erişebilmiştir. Günümüzdeki makam türlerinin yüz civarının kendine özgü karakteristik özellikleri bulunduğu belirtilebilir. Süreç içinde bazı makam türlerinin adının değiştiği veya makam yapılarında değişimler oluşması 18. yüzyıldan itibaren Klasik Türk Müziği makamlarında zenginlik oluşmasına olanak sağlamıştır [38].

2.5. Klasik Türk Müziğinde Makam Sınıflandırma Çalışmaları

Klasik Türk Müziği Makamlarının eğitiminde sınıflandırmadaki farklı yaklaşımlar, yanlış nota yazımları, eser icralarında kişilerin serbest yaklaşımı, makam sınıflandırma için gerekli bilgi birikimi ve tecrübe eksikliği hem bu eğitimi alan kişiler için hem de Klasik Türk Müziğine ilgi duyan bireyler için makamların tanınması ve sınıflandırılmasında çeşitli zorluklara yol açmaktadır.

Klasik Türk Müziğinde makam türleri ve tanımı müzikal teoride oldukça önemli ve ihtilafli bir konudur [28].

Safiyüddin Urmevi'nin eseri olan edvarda belirtilen ve devir veya şube olarak sınıflandırılan makamlar mevcuttur [38].

Klasik Türk Müziğinde makamların sınıflandırma çalışmaları ve Türk müziğinde makamların tespiti 15. yüzyıldan itibaren gelmiştir. 15. yüzyılda Abdülkadir Meragi Klasik Türk Müziği'nde makam adını kullanan ilk müzikolog olarak kabul edilmiştir. Bu dönemden önce müzikologlar makam kelimesi yerine terkeb, avaze, şube, şed veya devir kelimelerini kullanırlardı [26,52].

17. yüzyılla birlikte müzikologların makamların tanımları, türleri ve tasnifleri ile makamların müzikal özellikleri konusunda farklı yaklaşımlar benimsemeye başladıkları gözlemlenmiştir. Bunun sonucunda Klasik Türk Musikisi makamlarının tasnifinde yeni yaklaşımlar ortaya çıkmıştır [53].

Müzikologlar tarafından yapılan makam tanımı günümüze yakın dönemlere geldiğinde daha ayrıntılı yapılmıştır. Kantemiroğlu Edvarı, Klasik Türk Müziği makamlarının süreçteki değişim çizgilerini inceleyerek yaptığı çalışmalarda sınıflandırmaların değiştiğini göstermiştir [54].

Kantemiroğlu Edvarı'nda açıklanan ifadelere göre geçen süreç içinde makam tanımı çeşni ve geçkiye kadar özelleşmiştir. 20. yüzyıla gelindiğinde yaptığı çalışmalarda Hüseyin Sadettin Arel, makamı dizide bulunan seslerin duraklar ile kendine özel etkileşimlerinden oluşan hususiyeti makam olarak açıklamıştır [55]. Kantemiroğlu'na göre on iki makam, yedi avaze ve dört şubeden oluşan bir sınıflandırma sistemi vardır [56].

Klasik Türk Müziğinde bir sekizliyi 24 farklı aralığa bölerek 25 perdeyi elde eden Hüseyin Sadettin Arel (1880 – 1955), Suphi Ezgi (1869 –1962) ve Salih Murat Uzdilek (1891 – 1967) yeni bir yaklaşım geliştirmişlerdir. Kaba Çargâh perdesinden başlayarak tiz kısmına kadar 11 tam beşliyi, 12 tane de tam dörtlüyü üst üste dizerek bir oktav aralığı içinde kalan perdeler elde edilmiştir. Hüseyin Sadettin Arel, Türk Mûsikîsi Nazariyatı Dersleri adlı çalışmasında sekizlinin 24 farklı aralığa bölünmesinin sebebini ve 24 sesi elde etmenin yollarını detaylı bir şekilde açıklamaktadır [53].

Ayrıca tarihte Fârâbî, Urmevî, Seydî, Hızır bin Abdullah, Abdûlbâkî Nasr Dede, Kantemiroğlu, Rauf Yekta gibi günümüze değin birçok ünlü müzikolog, Klasik Türk Müziğine ait makamlar ve yapısı üzerine çalışmalar yapmış ve edvârlar yazmışlardır. Günümüzde verilen müzik eğitiminde Arel-Ezgi-Uzdilek sistemi en yaygın olarak kullanılan sistem olmaya devam etmektedir [26].



3. YAPAY ZEKA

Yapay zeka (YZ) bilgisayar veya makineler aracılığıyla insanın analiz etme, problem çözme ve karar verme gibi yeteneklerini taklit ederek büyük miktardaki eğitim verisini alır, verileri analiz eder ve bu verilere dayanarak gelecekteki durumlar için tahminlerde bulunmaya çalışır. Bir sinyal tanıma modülü, birden fazla miktarda örneklemini inceleyerek sinyali tanımayı ve tanımlamayı öğrenebilir. Basite indirgersek yapay zeka, problem çözümü sağlamak için bilgisayar bilimi ve veri kümelerini birleştiren bir alandır [57].

Tamamen yeni bir disiplin olmasa da günümüzde bilim ve iş alanlarında giderek yaygınlaşan aynı zamanda birçok doğal probleme çözüm üretmede yardımcı olan yapay zeka için günümüze kadar çeşitli çalışmalar ve tanımlar yapılmıştır.

Yapay zeka kavramı tarih öncesi dönemlere kadar uzanan bir olgudur. Modern yapay zeka kavramı öncelikle A. M. Turing'in 1950 de yayımlanan makalesine dayanır. Turing makinelerin düşünüp düşünemeyeceği sorusuna odaklanmıştır. Turing makine ve düşünme terimlerinin tanımlarının belirsizliğe yol açabileceğini fark ederek tanımları ve altında yatan sorunu dikkate almak yerine insanları taklit ederek soruyu cevaplamak için Turing testini modellemiştir [58].

M. Turing'in yapay zeka tanımına göre perdenin arkasında bir makine varsa ve insan makineyle herhangi bir şekilde etkileşime giriyorsa o zaman makine yapay olarak zekidir. Doğrudan zeka kavramını hedeflemez, daha çok insani davranışlara odaklanır. Bu açıdan yapay zeka, herhangi bir sorunu anında çözebilecek olağanüstü derecede akıllı bir makine inşa etmek anlamına gelmez, daha ziyade insan benzeri davranışlarda bulunabilen bir makine inşa etmek anlamına gelir [59].

1956 yılına gelindiğinde yapay zeka kavramını ilk kez kullanan kişi ise J. McCarthy olmuştur. J. McCarthy'e göre yapay zeka akıllı makineler ve akıllı bilgisayar programları yapma bilimi ve mühendisliğidir. İnsan zekasını algılamak için bilgisayar kullanma göreviyle ilgilidir fakat yapay zeka kendisini gözlemlenebilir yöntemlerle sınırlamasına gerek yoktur [60].

YZ hakkındaki çağdaş tanımlar insan zekası kavramına dayanmaktadır. Modern bakış açısına göre, ne zaman yapay zekadan bahsedilirse insan dilini anlamak, karmaşık manevralar içeren mekanik görevleri gerçekleştirmek, çok kısa sürede büyük veri içeren bilgisayar tabanlı karmaşık sorunları çözmek gibi görevlerin birini ya da daha fazlasını gerçekleştirebilen makineler olarak tanımlanmaktadır [59].

İnsan benzeri davranış açısından bakıldığında yapay zekanın iki yönü vardır. Birincisi makinenin akıllı olduğu ve insanlarla iletişim kurabildiği ancak yönlendirme yapamadığı yöndür. Diğer yön ise robotik alanını ifade eden insan benzeri hareket yetenekleriyle fiziksel etkileşimlere sahip olmayı içerir [59].

Avrupa Komisyonuna [61] göre yapay zeka çevrelerini analiz ederek ve belirli hedeflere ulaşmak için eylemler gerçekleştirerek akıllı davranışlar sergileyen sistemlere verilen isimdir. Yapay zeka yazılım tabanlı olabilir veya belirli bir donanım ekipmanına gömülebilir. Karmaşık bir amaç verilen, veri toplama yoluyla çevrelerini algılayarak, toplanan yapılandırılmış veya yapılandırılmamış verileri yorumlayarak, bilgi üzerinde akıl yürütürken veya bu verilerden elde edilen bilgileri işleyerek ve en iyi eyleme karar vererek fiziksel veya dijital boyutta hareket edebilen sistemlerdir [62].

Yapay zeka programlama üç beceriye odaklanır. Bunlardan ilki olan öğrenme süreci YZ programlamanın öğrenme süreci veri toplamaya ve verilerin nasıl eyleme geçirilebilir bilgilere dönüştürüleceğine ilişkin kurallar oluşturma aşamasıdır. Bu kurallar algoritmalar olarak adlandırılır ve makinelerin belirli bir görevi nasıl tamamlayacaklarına ilişkin talimatlar oluştururlar [63].

İkinci beceri ise akıl yürütme süreçleri olarak adlandırılır. YZ programlamanın akıl yürütme süreci, istenen sonuca ulaşmak için uygun algoritmaya karar verme aşamasıdır [63].

Son beceri ise kendini düzeltme becerisidir. YZ programlamanın kendini düzeltme süreci, öğrenme aşaması ile birlikte algoritmalara sürekli olarak ayarlamalar yapmak ve mümkün olan en doğru sonuçları vermelerini sağlamak için tasarlanmıştır [63].

YZ teknolojisi, sayısız deneme yanılma turu yoluyla görevlerin nasıl gerçekleştirileceğini öğrenecektir. YZ ileriye dönük olup insanların verileri nasıl analiz ettiklerini ve bilgileri nasıl entegre ettiklerini yeniden gözden geçirmelerine ve ardından daha iyi kararlar almak için bu bilgileri kullanmalarına olanak tanıyan bir araçtır [63].

YZ 1980 döneminden sonra laboratuvarlarda kısıtlı alanlarda kullanımından ziyade insanın doğal problemlerinde kullanılmak üzere daha karmaşık halde kullanılmaya devam edilmektedir [64].

YZ alanı işletmelere operasyonları hakkında daha önce farkında olmayabilecekleri iç görüler sunabilmesi ve bazı durumlarda görevleri insanlardan daha iyi yerine getirebilmesi nedeniyle bilgisayar bilimi, matematik, psikoloji, dilbilim, felsefe, sinirbilim, yapay psikoloji vb. bilim dalları ile ortak çalışmaktadır [65].

Bu alanlarda YZ ile yapılan çalışmaların çoğu, paralel işlemeyi daha hızlı hale getiren GPU 'ların (grafik işleme birimleri) geniş kullanılabilirliği büyük miktarda veriyi çok daha hızlı işlemesi ve tahminleri insan tarafından mümkün olandan daha doğru bir şekilde yapması nedeniyle hızla gelişmektedir [65].

Bunun yanı sıra YZ 'nin yükselişi, internet ve veri depolama araçlarının kullanımının artması ile neredeyse sonsuz sayıda veri (görüntüler, video, ses, metin, işlemler ve jeo-uzamsal veriler) akışı ile sağlanmıştır [65].

3.1. Yapay Zeka Türleri

Yapay zeka türleri genellikle iki farklı şekilde tanımlanmaktadır. Birinci ayrım şekline bakarsak yapay zeka güçlü ve zayıf olarak ikiye ayrılır.

3.1.1. Güçlü ve zayıf yapay zeka

Zihin felsefesi dalına göre YZ, güçlü yapay zeka ve zayıf yapay zeka olarak iki farklı türe ayrılır. Her ne kadar hepsi olmasa da çoğu felsefi teori gibi, aynı fikirde olmayan insanlar olduğunu belirtmek gerekir. Zayıf YZ, programın görevi ne olursa olsun, yalnızca bu görevi kopyalamaya veya çoğu görev için yeterli olacak çoğaltma yapmaya çalıştığı

kavramdır. Güçlü YZ, bu durumda zeka olan kavramın gerçek bir örneğidir. Basitçe söylemek gerekirse, zayıf YZ simüle ederken, güçlü YZ gerçekleştirmeyi hedefler [66].

3.1.2. İşlevlerine göre yapay zeka türleri

İkinci ayırım şekli ise işlevselliklerine göre yapılmıştır. Salt tepkisel, limitli hafıza, zihin teorisi ve öz farkındalığı olan olarak dört başlıkta incelenir.

YZ' nın basit formu olan salt tepkisel, hafızası olmadığı için geçmişteki deneyimlerine göre gerçek zamandaki konular için karar veremez. Sadece çevresini veya çevresindeki durumları tam olarak algılayarak bu verilere dayanarak davranış geliştirirler. Tam olarak tepkisel davranışı olan bu yapay zeka türü, verileri şekillendiremez. Sadece bir alanda uzmanlık geliştirebilir. IBM'in geliştirdiği ve satrançta Kasparov'u mağlup eden programı Deep Blue, satranç tahtasındaki taşları gören ve onlara tepki veren tepkisel yapay zeka örneğidir. Önceki hafızasından (deneyimlerinden) yararlanarak uygulama yardımıyla kendini geliştiremez [63].

Limitli hafızalı makineler daha önceden öğrendiği bilgileri toplayarak ve önceden işlenmiş olan bilgilerinin üzerine ekleyerek verileri kısa bir süre için saklayabilir. Oluşturduğu verileri belli bir süre tutarak işleyebilseler de öğrenimlerinden oluşan bir kütüphaneye ekleyemezler. Doğru seçimleri yapmak ve başarılı biçimde aksiyon almak için uygun hafızaya sahiptir. Kendi kendini süren sürücüsüz araçlar limitli hafıza teknolojisini kullanarak çevresindeki araçların son hızı, hız sınırı, mesafesi gibi bilgileri ve yolda hareketine yardımcı olabilecek diğer verileri işlerler [63].

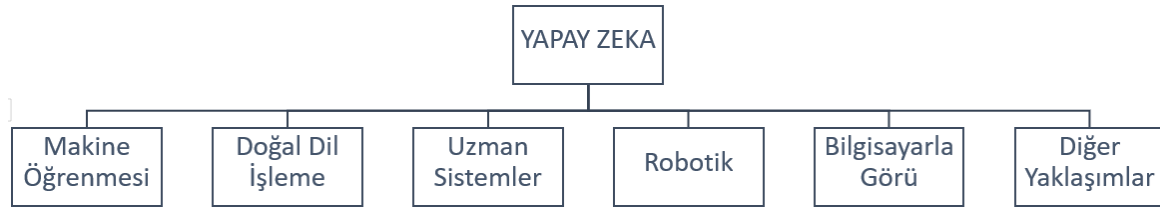
Psikoloji bize insanların davranışlarını yönlendiren düşünceleri, duyguları, anıları ve zihinsel modelleri olduğunu söyler. Zihin teorisi çevresindeki insanların davranışlarını ve zihinsel modellerini analiz ederek taklit edebilmeyi hedefler. Araştırmacıların amaçlarından biri insanlarla ilgili, insan zekasını ve insanların duygularının olaylardan ve çevreden nasıl etkilendiğini algılayan bilgisayarlar inşa etmektir. Birden fazla modelleme yapılsa da şimdiye kadar gerçekleştirilememiştir [63].

Yapay zeka ile ilgilenen birçok kişi öz farkındalığı olan yapay zeka geliştirmeyi son hedef olarak düşünse de şu ana kadar bu türde geliştirilememiştir. Zihin teorisinin devamı

niteliğindeki bu tür programlar içindeki durumu analiz edebilen, kendi kendisinin farkına varabilen, insanların hislerini anlayabilen ve sonuç çıkarabilecek şekilde olabilmelidir. Bu yapay zeka türü gelecek nesil olarak tanımlanmaktadır [63].

3.2. Yapay Zeka Yöntemleri

Yapay zeka oldukça geniş bir alan olmakla birlikte probleme göre uygulanan yöntemler değişmektedir. Bunlar yapay zekanın alt dalları veya uygulama alanlarıdır. Makine öğrenmesi (MÖ), Doğal Dil İşleme (NLP), Uzman Sistemler, Robotik ve Bilgisayarla Görü bunlardan bazılarıdır. Makine öğrenmesi çalışmada kullanılan yöntem olduğu için aşağıda detaylı olarak açıklanmıştır.



Şekil 3.1. Yapay zeka alt alanları ve uygulama alanları

3.2.1. Doğal dil işleme

Doğal Dil İşleme (NLP) sistemleri çoğunlukla konuşma ve yazı (metin) gibi doğal olarak açıklanabilir tekniklerle otomatik işlenmesi olarak tanımlanmaktadır. Genellikle beyaz kutu teknikleri olarak adlandırılan bu tür yaklaşımların örnekleri arasında kurallar, karar ağaçları, gizli Markov modelleri, lojistik regresyonlar ve diğerleri bulunur. Ancak günümüzde derin öğrenme modelleri ve dil gömmelerinin özellik olarak kullanılması gibi kara kutu tekniklerinin ortaya çıkışı ile popüler olmuştur. Doğal Dil İşlemenin bilinen örneklerinden biri, e-posta sisteminde gelişen spam e-postaları algılamasıdır [67].

3.2.2. Uzman sistemler

Uzman Sistemler daha çok belli bir sorun üzerine kullanımda yaygındır ve yapay zekanın (YZ) alt dalıdır. Uzman Sistemlerin öğrenme bileşenleri olabilir. Uzman Sistemler, insan uzmanlardan öğrenilen bilgileri depolayan yapay zeka alt dalıdır. Bu sayede Uzman Sistemler, belli bir alandaki insan uzmanların bilgilerini ve davranışlarını taklit etmektedir. Erken Uzman Sistemler, insan uzmanların davranışlarını ve kararlarını kopyalamaya odaklanmıştır [68].

Uzman Sistemler, yapay zekanın aksine temel varsayımlar geliştirmeye ve bunları akıllı davranışa dönüştürmeye çalışmaz. İnsan deneyimini temel olarak kabul eder ve toplu davranış biçimini işletmeye çalışır. Erken Uzman Sistemlerin çoğu, bilgiyi kurallar biçiminde ele aldı ve bu kuralları birkaç aşamalı karar sisteminde bir araya getirmek için algoritmalar kullanır [68].

Yeni Uzman Sistemlerin çoğu insan uzmanlardan birleşik dağınık bilgiye ve diğer bilgi temsil biçimlerine kadar olan tüm kuralları birleştirir. Uzman Sistemler, normalde insan uzmanlar tarafından çözülen sorunları çözerek belirli bir problem üzerine bir insan uzmanıinkiyle karşılaştırılabilir bir sorun çözme uzmanlığı derecesi sergileyen yapay zeka alt dalı olarak da tanımlanabilir [68].

Uzman Sistemlerin bilgilerini verilen problemlere uygulamak için bir veya daha fazla akıl yürütme mekanizmasından yararlanmaları gerekir. Bu sayede problem çözmek için insan uzmanlığının bilgi tabanını kullanan veya normalde bir veya daha fazla insan uzmana danışılması gereken durumlarda belirsizlikleri netleştirebilir. Ardından, kullanıcılara yaptıklarını açıklamak için bir mekanizmaya ihtiyaçları vardır [68].

3.2.3. Robotik

Robotik, algılama görevi için yapay zekanın bir diğer önemli uygulaması ve ortak çalışma alanıdır. Robotlar, sensörler veya bilgisayar görüşü yardımıyla çevresini algılayarak veri elde edebilirler. Günümüzde bilgisayar sistemleri algılama ve çevresine ait verileri işleme konusunda gelişmiştir [69].

Algılama işlemi sadece planlama için değil, robotta yapay bir öz farkındalık yaratmak için de önemlidir. Bu durumla birlikte, robot aynı ortamdaki diğer varlıklarla etkileşimi desteklemeye başlar. Bu disiplin sosyal robotik olarak bilinir. Sosyal robotik insan-robot etkileşimleri ve bilişsel robotik olarak iki alanı kapsar. YZ, tüm alanlarda kullanımını artırarak on yıldan daha kısa bir süre önce düşünülemez olan birçok zorluğun üstesinden gelmeye başlamıştır. Bu ilerlemelerle beraber robotik çalışmaları da hızla gelişmiştir [69].

3.2.4. Bilgisayarla görü

Bilgisayarla görü, ham bilgilerin kaydedilmesi, görüntü örüntüsünün çıkarılması ve bilgi yorumlanmasına kadar geniş bir alana yayılan yapay zeka ortak çalışma alanıdır. Dijital görüntü işleme, yapay zeka, örüntü tanıma ve bilgisayar grafiklerinden gelen kavram, teknik ve fikirlerin bir kombinasyonuna sahiptir [70].

Bilgisayarla görüdeki işlemlerin hemen hemen tamamı, dijital görüntülerden ve özellik çıkarmadan olaylar veya açıklamalar hakkında bilgi edinme süreci ile ilgilidir. Bilgisayarla görüdeki sorunları çözmek için kullanılan yöntemler, uygulama alanına ve analiz edilen verilerin niteliğine bağlıdır [70].

Bilgisayarla görme, dijital görüntü işleme ve örüntü tanımanın bir kombinasyonudur. Bilgisayarla Görme sürecinin sonuç verisi, görüntünün algılanmasıdır. Bilgisayarla görme alanının gelişimi, bilgiyi alma başarımının insan yeteneklerine uyarlanmasıyla yapılır. Bilgisayarlı görünün gelişimi, verilerin kalitesiyle doğrudan ilişkili olsa da teknoloji sistemine de bağlıdır [70].

Bilgisayarla görünün birincil amacı, görüntülerden modeller ve veri öznitelikleri ve bilgiler oluşturmak iken, görüntü işleme, diğerlerinin yanı sıra keskinleştirme, kontrast gibi görüntüler için matematiksel dönüşümler uygulamayla açıklanabilir. Aynı zamanda benzer bir anlama sahiptir ve bazen insan ve bilgisayar etkileşimi kavramı ile örtüşmektedir. İnsan bilgisayar etkileşiminin kapsamı, insan ve bilgisayar arasındaki etkileşimle ilgili teknolojilerin tam tasarımına, ara yüzüne ve tüm yönlerine odaklanır [70].

İşlevsel olarak, bilgisayar görüşü ile insan görüşü benzerdir. Birden fazla boyut tarafından indekslenen verileri işlemek amacıyla tasarlanmıştır. Bununla birlikte, bilgisayar görüşünün insan gözü gibi kopyalanması beklenemez [70].

Bunun nedeni, bilgisayarlı görme sisteminin insan gözüyle kıyaslandığında limitli performansa ve işleve sahip olmasıdır. Çoğu bilim insanı, insan gözünü kopyalamak için geniş bilgisayarlı görme teknikleri alanı önermiş olsa da bilgisayarlı görme sisteminin performansında belli bir sınırlama vardır. Tasarlanan sistemdeki önemli sıkıntılardan bazıları parametrelerin hassasiyeti, algoritmanın gücü ve sonuçların doğruluğudur. Bilgisayarlı görme sistemlerinin performans değerlendirmesinin karmaşıklığını etkiler. Bu yüzden genel olarak performans değerlendirmesi, doğruluk yüzdesi elde etmek için bir algoritmanın bazı temel davranışlarının ölçülmesini içerir [70].

Bilgisayarlı görü sisteminin performansı, uygulama sisteminin tasarımına bağlı olduğu için birçok alana ve montaj hattında otomasyon, uzaktan algılama, robotik gibi belirli uygulamalara genişletmek ve sınıflandırmak için birçok bilim insanı tarafından önerilen kapsamlı çalışmalar vardır [70].

4. MAKİNE ÖĞRENMESİ

Büyük ve daha az yapılandırılmış veri kümeleri, genellikle basit elektronik tablo çalışması ve dağılım grafiği çizelgeleri ile analiz edilemez. Yeni veri kümelerinin karmaşıklığı ve hacminin üstesinden gelmek için yeni yöntemlere ihtiyaç vardır. Örneğin, görseller, sosyal medya ve basın bültenleri gibi yapılandırılmamış verilerin otomatik analizi, finansal analistlerin standart araçlarıyla mümkün değildir. Büyük bir geleneksel veri kümesiyle bile, basit bir doğrusal regresyon kullanmak çoğu zaman fazla uydurmaya veya tutarsız sonuçlara yol açabilir. MÖ yöntemleri, büyük verileri analiz etmenin yanı sıra geleneksel veri kümelerini daha verimli bir şekilde analiz etmek için kullanılabilir [17].

Algoritmalar ve uygulamaları söz konusu olduğunda yapay zekanın en önemli alanı makine öğrenmesidir. Makine Öğrenimi terimi 1959 yılında Dama Oyunu Kullanarak Makine Öğreniminde Bazı Çalışmalar [72] başlıklı makalesinin ardından ortaya atılmıştır. Başka bir deyişle MÖ, bilgisayarlara açıkça programlanmadan öğrenme yeteneği veren bir çalışma alanıdır [73].

Başka bir tanıma göre MÖ, bilgisayar programlarının deneyim yoluyla otomatik olarak gelişmesine izin veren algoritmaların çalışması olarak tanımlanabilir [74]. Bunların her ikisi de belirli bir yazılımın, sınırlı bir insan müdahalesi ile sınırlı bir sorunu çözeceği anlamına gelir [62].

MÖ üretici tarafından programlanmayan bir işlevi üretmeyi öğrenebilen bir bilgisayar programını karşılar. Program üreticisinin tam anlamıyla farkında olmadığı işlevleri yapabilmektedir. Bu işlevler, üç etkene bağlı olarak öğrenilir; etkenlerden ilki program tarafından kullanılan verilerdir, ikincisi mevcut davranış ile ideal davranış arasındaki hatayı veya karşılaştırılmasını sağlayan analiz ve üçüncüsü ise öğrenim sonrası kararlarda daha iyi davranış geliştirmektir. Ayrıca programa öncü olup rehberlik etmek için nicelleştirilmiş hataları kullanır [59].

İkinci ve üçüncü etkenler kavramı soyutlayıp matematiksel köklerini vurgulamaktadır. MÖ teorisindeki yöntemler, yapay olarak akıllı sistemler oluşturmak için gereklidir [59].

MÖ, veri kümelerinden öğrenebilen ve veriler üzerinde karar veya tahminde bulunabilen algoritmaların incelenmesini ve oluşturulmasını araştırır [59]. Bu tür algoritmalar, örneklem girdi setlerinden bir model oluşturarak, girdi setlerine bağlı tahminler veya kararlar verip program talimatlarını uygulayarak tanımlanan problemin çözümüne katkı sunar. Görece iyi performans sergileyen açık yazılımları yazmanın ve programlamanın zor ya da mümkün olmadığı hesaplama işlemlerinde kullanılan MÖ tekniklerinin, görüntü ve ses sinyallerinin işlenmesi, doğal dil işleme ve otomasyon gibi karmaşık işlevlerin sorunlarının çözümü üzere uygulandığında önemli çıktılar ürettiği görülmüştür [71].

Bilgisayar görevlerinin simülasyonu MÖ olarak kabul edilmemelidir. Bir bilgisayara kodlarla sabit bir sıralı kurallara bağlı olarak belli işlemleri gerçekleştirmesi talimatı verilebilir [71].

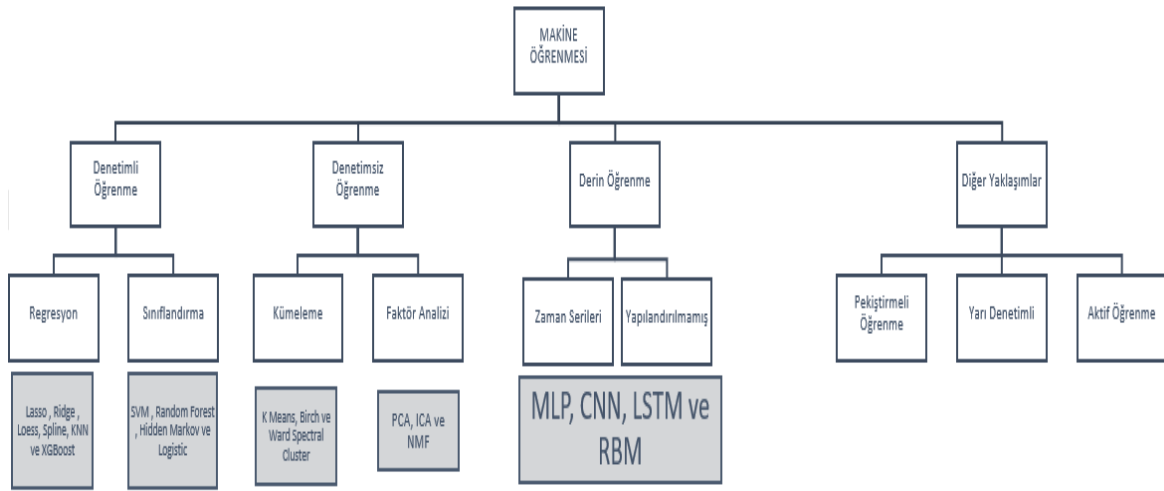
Bir makineye fazla miktarda kompleks kurallar vermek bile sembolik olarak YZ olarak kabul edilebilir. Bu durum MÖ olarak değil bir çeşit otomasyon olarak adlandırılır. Bu sembolik YZ ile makine, önceden programlanmış sıralı görevlerle tam anlamıyla eşleşmeyen bir problem ile karşı karşıya geldiğinde donacaktır [71].

MÖ, bilgisayara bir girdi yani veri kümesi ve değişkenler girilerek girdinin ve değişkenlerinin bir sonucu olan çıktıların üretilmesini sağlar. Makine sonrasında girdi seti ile çıktılar arasında bir yaklaşım üreterek bir kural elde eder bir başka deyişle öğrenim işlemini gerçekleştirir. Sonuçta bu öğrenim sürecinin test edilerek başarısının belirlenmesi işleminde öğrenim girdileri dışında test veri setleri kullanılarak test edilir. Bu şekilde değişkenler arasındaki matematiksel bağlar üzerine bilgi edinerek karşısına ilk kez çıkan olaylarda sonuçları tahmin etmeyi gerçekleştirir [71].

MÖ uygulamaları günümüzde oldukça yaygınlaşmıştır. Bu uygulamalara örnek vermek gerekirse mail kutlarında filtre uygulaması, kısaca siber güvenliğe yönelik olarak ağa izinsiz girmeye çalışanların belirlenmesi [75], optik karakter tanıma [76], belli sıralamaların öğrenilmesi örnek verilebilir. MÖ, bilgisayar aracılığıyla tahminler yapmaya odaklanan muhasebe istatistikleri alanında da kullanılır. Bu alandaki yöntem ve uygulamaları sağlayan optimizasyonlarda sıkça rastlanır [65].

Ayrıca veri analitiği alanında, ileriye dönük tahmine uyumlu modeller ve algoritmalar üreten yöntemdir. Ticari kullanımlarda, tahmin bazlı analitik olarak bilinir. Bu analitik modeller üzerine, veri bilimcilerin, mühendislerin ve analistlerin güvenilir kararlar ve sonuçlar elde etmelerine ve verilerdeki geçmişe dönük ilgilerle eğilimlerden öğrenerek tahminlerin ortaya çıkarmasına olanak sağlar [65].

Makine Öğrenmesini Denetimli Öğrenme, Denetimsiz Öğrenme, Derin Öğrenme ve Güçlendirmeli Öğrenme gibi diğer yaklaşımlar olarak sınıflandırır.



Şekil 4.1. Makine öğrenmesi alt alanları ve uygulama alanları

4.1. Makine Öğrenmesi Yöntemleri

Günümüzde en yaygın olarak benimsenen MÖ yöntemlerinden üçü denetimli öğrenme, derin öğrenme ve denetimsiz öğrenmedir. Büyük orandaki MÖ uygulamalarının (yaklaşık olarak yüzde yetmişi) denetimli öğrenmedir. Uygulamalardaki denetimsiz öğrenme oranı ise yüzde on ile yirmi arasında değişmektedir. Fakat derin öğrenme farklı uygulama alanlarının etkisiyle birlikte giderek yaygınlaşmaktadır. Yaygın olarak kullanılsa da yarı denetimli öğrenme ve pekiştirmeli öğrenme, uygulamalarda kullanılan diğer iki yöntemlerdir [65].

4.1.1. Denetimli öğrenme

Denetimli Öğrenme algoritmaları, verilerin bir kısmını çoğunlukla hem girdi hem de çıktı değişkenleriyle beraber süreçsel verileri barındıran bir modeli oluşturup eğitmek için kullanılan veri kümelerine bağlıdır [62,77].

Sistem istenen çıktıları girdilerle eğitir. Öğrenme modeli çıktılar ile beraber veri setini işleme alarak hataları bulup kendi ürettiği çıktıları doğru çıktılar ile karşılaştırarak öğrenme işlemini gerçekleştirir [65]. Uygulama sonrasında bir dizi girdi değişkeninden çıktılarına ulaşmak için kullanılan yöntemi öğrenir [71,95].

Denetimli öğrenme yöntemi eğitici ile öğrenmeyi içeren problemlerle ilgilenir. Daha da açarsak, denetimli öğrenme yöntemlerindeki eğitim veri setlerinin etiketlenmiş örneklere yani bir denetime ihtiyacı vardır [59]. Denetimli öğrenme yöntemleri arasında sınıflandırma, tahmin ve regresyon yer alır. Denetimli öğrenme genellikle sınıflandırma problemlerinde yaygın olarak kullanılır [65].

Ayrıca herhangi bir değişkenin sonuç çıktıları üzerine tahmin elde etmek için oluşturulabilen bir çeşit kural veya bir matematiksel sistem belirlenmeye çalışılır. Bu türdeki uygulamalar ile ileriye dönük piyasalar üzerine tahminlerde bulunma becerisine sahip yönelimler analiz edinilebilir. Bu türde uygulamalar regresyon çalışmaları ile sağlanabilir [71].

Örnek vermek gerekirse, herhangi bir sınıflandırma sorununda sınıfların etiketli örneklemelerine ihtiyacımız vardır veya bir regresyon uygulamasında her örneklem için istenen çıktı değerlerine sahip örneklemelere ihtiyacımız vardır. Oluşturulan matematiksel modellemeler sonrasında eğitim veri örneklemelerini kullanıp parametre öğrenim işlemini tamamlar sonrasında uygulama çalışmaya hazır hale gelir [59].

Denetimli öğrenme uygulamaları, karşılaşılan soruna ait sistemi öğrenmek ve doğru çıktıları türetmek için örneklem sağlar. Bu çeşit YZ örnekleri görsel veya işitsel içerikleri tanımlamak, çeşitli alanlarda sayısal tahminlerde bulunmak veya farklı alanlarda risk analizi için kullanılabilir [79].

Oluşturulan öğrenim modelinin daha önce karşılaşmadığı test veri seti örneklemi üstünde tahminler yapar. MÖ uygulamaların büyük çoğunluğu anlatılan biçimlerde bir çeşit denetim içerir [59].

Denetimli öğrenme teknikleri kendi içinde sınıflandırma ve regresyon şeklinde sınıflandırılır. Regresyonlar, bir dizi giriş değişkenine bağlı olarak çıktı değişkenleri üstünde tahmin geliştirmeye çalışır. Sınıflandırma yöntemleri ise çıktı verilerini kategoriler şeklinde gruplandırır ya da sınıflandırır. Basitçe olan lineer regresyon dahi denetimli MÖ yöntemi olduğu varsayılabilir. Bununla beraber lineer regresyonlar değişkenler ve veri kümeleri arasındaki ilintiyi ortaya koymak adına basit olabilir [71].

MÖ regresyonunun kolay yöntemi Kement regresyonu olarak adlandırılır. Kement regresyonu minimum boyuttaki küçük ve alakalı giriş değişkenleri ve veri kümesini seçerek tahminler türetmeye çalışır. K en yakın komşular regresyonları ise sadece geçmişteki örneklemi inceleyerek benzer durumlarda tahminleri ve çıktıdaki en iyi tahmini şeklinde çıkarım yaparak veri kümelerini tahmin etmektedir [71].

Bir diğer algoritma türü olan Lojistik regresyon çıktı verilerinin ikili karar olduğu algoritmalarıdır. Karar ağacı sınıflandırmaları bir dize basit karar basamaklarına dayanan sonucu tahmin etmek amacıyla en uygun yöntemi bulmayı hedefler. Bu şekildeki karar ağacı geçmişteki girdileri anlamlandırabilir fakat örneklemelerin haricinde verimli çalışmayabilir [71].

Rastgele ormanlar karar ağaçlarına dayalı sınıflandırma alanındaki MÖ yöntemidir. Rastgele ormanlar, basit karar ağacı modellemelerinin ortalamasını alarak çoğunlukla karar ağaçlarıyla kıyaslandığında oldukça başarılı ve güvenilir tahmin çıktıları üretirler [71].

4.1.2. Denetimsiz öğrenme

Denetimsiz öğrenme algoritmaları farklı türde sorunlar için geliştirilerek denetimli öğrenmenin ötesine geçer. Girdi ve çıktılardaki veri seti çiftlerindeki incelemelerin yerine, sisteme etiketlenmiş değişkenler olmaksızın tüm veri seti gönderilir [62,80].

Sisteme geriye dönük etiketi olan doğru çıktılar girilmez. Uygulama hangisinin gösterildiğine kendi karar vermelidir. Buradaki amaç veri kümelerini keşfederek kendi içerisinde belirli bir yapı bulmaktır [65].

Kullanıcılar, denetimsiz öğrenmeye göre daha fazla veri elde ederken denetimli öğrenmeye göre az sayıda veri elde ederler. Öncelikle girdi olarak etiketlenmemiş veriler kullanılırken aynı zamanda uygulamanın öğrenmesini destekleyen geri bildirim elde ederler [62,78].

Denetimsiz öğrenme, etiketsiz verileri içermekte olan problemlerle ilgilenir. Bir farklı açıdan geçmiş deneyimlerden yani öğrenme işlemlerinden öğrenilecek bir veri bulunmadığı için bu MÖ'de sorun olmadığı düşünülebilir. Denetimsiz öğrenmede eğitim veri kümesinde bir yapı ya da belli bir çeşit oluşum bulmak hedeflenerek veri kümesinin kökeni anlaşılmaya çalışılır [59].

Denetimsiz öğrenmede oluşturulan modele çok sayıda örneklem sunarak öğrenme ve probleme çözüm bulma hedeflenir. [79] Bu tarz uygulamalara örnek verirsek, belli grupları benzerliklere göre ayırma, sistemlerde bulunan anomalileri bulma, işlem verileri üzerine uygulamalar alanlarında iyi sonuçlar vermektedir [65].

Denetimsiz öğrenme algoritmaları öncelikle veri setini inceler ardından değişkenlerle girdi ve çıktıların ortak öznitelikleri arasındaki bağları belirler. Denetimsiz öğrenmede makineye verilerdeki özniteliklerin tamamı gönderilir ve algoritma hangi veri kümesinin bağımlı veya bağımsız olduğunu bilmez. Denetimsiz öğrenme yöntemleri çoğunlukla Kümeleme veya Faktör analizleri şeklinde sınıflandırılır [71].

Kümeleme yöntemi veri kümesini belirli benzerlik özniteliklerini bazında daha küçük gruplara şeklinde bölümlmeyi hedefler. Faktör analizleri ise veri kümelerinin temel ayrıştırıcı özniteliklerini belirlemeyi ya da veri kümesinin olabilecek en iyi çıktısını belirlemeyi hedefler. En yaygın türü olan ve bir faktör analizi algoritması olan Temel Bileşen Analizidir (PCA). PCA yöntemi istatistik disiplinin denetimsiz MÖ'e hiçbir değişim uygulanmadan geçiş yapar [71].

4.1.3. Derin öğrenme

Derin öğrenme algoritmaları, veri setlerini çok katmanlı yapay sinir ağlarından geçirip insani davranışların işleyişlerini türetmeye çalışır. [77] Derin öğrenme algoritmalarının daha net anlaşılmasına yardımcı olabilecek başka YZ sınıflandırmaları mevcuttur. Özetlemek gerekirse, YZ uygulamaları genellikle tahmin, örüntü tanıma ve kategorize gibi işlevlerin farklı kombinasyonlarını kullanır [62,81].

Diğer taraftan derin öğrenme YZ sistemlerinin hedefi insanlar tarafından tanımlaması bir o kadar zor fakat gerçekleştirmesi basit görevleri gerçekleyebilmektir. Derin öğrenme basitçe insanların ne şekilde öğrendiğine benzer ve bu sebeple insan zekasını yapay olarak yeniden gerçekleştirmeye yönelik girişimdir [71].

Örnek olarak görüntüleri analiz ederek ve bazı basit özellikleri çıkartarak verinin genel olarak tanımlanmasını sağlayacaktır. Basit özelliklerden özellikler içindeki ilişki kurulur ve bunların görece önemi gibi daha karışık bir kavram ortaya çıkarılır. Bu özellikleri tanıma ve bunları benzetme süreciyle daha önce karşılaşılmamış örneklemeleri tanıyabilmektedir. Yalnızca esnek bir öğrenim sistemi bu ölçüde örüntü tanıma ve genelleme elde edebilir [71].

Derin öğrenme işlenmemiş büyük veri setlerinin ön işleminde kullanılır. Bunun yanı sıra derin öğrenme algoritmaları basit öznelilikler içindeki kalıpları ve bunlar arasındaki lineer olmayan ilintileri tanımlayabilir [71].

Başlangıçta sadece bir sefer sinyal örneklemin veri kümesinden değişkenlerin parametrelerin ayarlanması sağlandığında örneklemin tahmin etme seviyesi hariç başarılıdır. Çok katmanlı nöronlar yani sinyal işleme birimleri bu modellemelerin basit olaylardan daha kompleks olaylara aşamalı şekilde öğrenme sürecini geliştirir. Derin öğrenme yapılarının belli çeşitleri zaman serisi veri kümelerinin analizi işlemi, görüntü ve metin işleme işlemleri gibi yapılandırılmamış veri kümelerinin analizi işlemi açısından daha uygundur [71].

Çok Katmanlı Algılayıcı (MLP), birden fazla katmanlı nöron sisteminin öncül tasarımları arasındadır. Giriş sinyalinin yani girdi veri kümelerinin ağı tüm düğümlerinden sadece tek sefer geçeceği yapıda tasarlanmış ağlardır [71].

Konvolüsyon Sinir Ağları (CNN) çoğunlukla görüntü sinyallerinden oluşan giriş veri kümelerini sınıflandırma problemlerinin çözüm çıktılarını elde etmek hedefiyle kullanılır. Veri kümelerinin çakışan kısımları üzerinden çok sayıda filtre geçirip veri kümesi özniteliklerini çıkarırlar [71].

Uzun Kısa Süreli Bellek (LSTM), unsurlar içerisinde geri besleme döngüleri barındıran sinir ağı yapısıdır. Bu yaklaşım aynı zamanda geçmişteki sinyalleri yani veri kümelerini aynı düğümler üzerinden geçişini sağlayarak belleğin simülasyonu sağlayabilir. LSTM sinir ağları, değişik zamanlarda kalıpları ve belirli düzenleri daha etkin bir biçimde tanıyabildikleri için zaman serilerinin analizi problemleri için oldukça uygundur [71].

Genel olarak MÖ tekniklerinden en önemli üç yöntem olan Denetimli MÖ, Denetimsiz MÖ ve Derin Öğrenme yöntemleri incelenmiştir. Bu yöntemlerin gerçekleştirmeyi hedeflediği problemlere ve bazı belli modellerden bahsedilmiştir [71].

Özet olarak Denetimli ve Denetimsiz öğrenme çoğunlukla Klasik MÖ şeklinde isimlendirilir. Denetimli öğrenmede bir algoritmaya önceki veri kümesi girdi ve çıktı değişkenleri verilir ve örnek dışı veri kümesi için en iyi tahmine sahip ilintiyi bulmaya çalışılır.

4.1.4. Diğer makine öğrenmesi yöntemleri

Diğer Makine Öğrenimi yaklaşımları, pekiştirmeli öğrenme, yarı denetimli öğrenme ve aktif öğrenme olarak söylenebilir. Pekiştirmeli öğrenme yöntemi çıktıların verimliliğini en üst seviyeye ulaştırmak amacıyla art arda işlemlerden oluşan bir yol belirlemek olduğu yöntemidir. Bahse konu model, çoğunlukla tek basamaklı bir süreç olan denetimli öğrenmenin tersine her basamakta doğru yaklaşımı bilmemektedir [71]. Pekiştirmeli öğrenme bir sistemin fiziksel ya da sanal ortamda oluşmasına izin verir. Oluşturulan sistem ceza ve ödül uygulamaları şeklinde gelişim sağlamaktadır. Örnek olarak robotun kendi kendine yürümeyi öğrenmesi verilebilir [79].

Pekiştirmeli öğrenmenin temelinde algoritmanın çözümlemesi zorunlu iki problem bulunmaktadır. Bunlardan ilki keşfetme ikilemi, çıktı verimliliğini en üst seviyeye çıkarabilecek alternatif yaklaşımları keşfetmeli midir yoksa anlık basamak verimliliğini en üst seviyeye ulaştıran yerleşik yaklaşımlara bağımlı kalmalı mıdır sorusudur. İkincisi ise kredi atama sorunudur. Bu sorun çıktı verimliliğini sadece son basamakta bildiğimiz düşünüldüğüne, çıktı için hangi basamağın önemli olduğunun analizini yapmanın zorluğudur [71].

Pekiştirmeli öğrenim algoritmaları çoğunlukla navigasyon, oyun ve robotik alanlarındaki problemlerin çözümünde kullanılır. Algoritma hangi tür işlemlerin en büyük ödülleri elde ettiğini deneme yanılma yolunu gerçekleştirerek keşfeder. Bu öğrenim yönteminin üç ana unsuru karar veren mekanizma yani öğrenen, etkileşimde bulunulan veriler yani kaynaklar ve işlemler algoritmanın neler yapabileceğidir. Hedef ise belli bir süreçte beklenen ödülü maksimize ederek olabildiğince üst düzeye ulaştıran işlemleri seçmesidir. Bu sayede istenilen amaç hızlı bir şekilde gerçekleşebilir [65].

Yarı denetimli öğrenme, denetimli ve denetimsiz öğrenmenin öğelerini birleştirerek bir modelleme oluşturur [71]. Gerçekleştirilen sisteme birden fazla örneklem sunarak belirli veri çıktıları için doğru sonucu vermektir [79]. Genellikle denetimli öğrenme ile aynı problemlerin çözümünde geliştirilir. Eğitim aşamasında ise ayrışırklar yarı denetimli öğrenme eğitim veri kümesi olarak etiketli veya etiketsiz verileri kullanabilir [65].

Bu öğrenme türü de regresyon, sınıflandırma ve tahmin problemlerinin çözümünde kullanılabilir. Giriş veri kümelerinin tam anlamıyla etiketlenmiş bir eğitim aşamasında boyut sorunu yaşandığında bu iki veri türünü kullanabilen yarı denetimli öğrenme algoritması geliştirmek problemin çözümü için kullanılabilir. Bu şekilde geliştirilen uygulamalara kameradan görüntü işleme ve tanıma örnek olarak verilebilir [65].

Aktif öğrenme, hali hazırdaki problemi çözmek için olabilecek en uygun olan veri kümelerini aktif şekilde belirleyen analizini gerçekleştiren bir yöntemdir [71].

4.2. Destek Vektör Makineleri

Destek vektör makineleri (DVM) teorik açıdan V. Vapnik tarafından 20. yüzyılın ortalarında yürütülen çeşitli istatistiki yöntemlerle optimum veri tanıma üzerine çalışmalarına dayandırılabilir. Sonrasında genelleştirilmiş optimum düzey algoritmaları üstüne Lerner [82] ile yayımladığı makale destek vektör makinelerinin başlangıcını oluşturduğunu göstermektedir. Bahsedilen yöntemle iki farklı türü maksimum ayırıştırma düzeyiyle ayırştıran optimum hiper düzlem sisteminin yardımıyla iki farklı türün sınıflandırma sorununa çözüm üretmek amacıyla tasarlanmıştır [59].

Destek vektör makineleri, çoklu boyut uzayında birden fazla değişkenin içerisinde iki farklı türe ait sınıfın bulunduğu sınıflandırma çalışmaları üzerine tasarlanmıştır. Türlerle ait sınıflar içerisinde ayırıştırma yapabilmek adına sonuç kategorizelerini yani sınıfları maksimum seviyede ayırştıran bir sınır hattı olarak değerlendirilen hiper düzlem tanımlar. Destek vektör makineleri, ayırştırmacı karar düzlemi belirlemek için veri kümelerini olduğundan büyük boyutta uzay düzlemine yansıtan bilgisel bir dönüşümü uygular [83].

DVM sınıflandırma problemi için kullanılan en popüler algoritma başka bir deyişle yöntemlerden biridir. Popüleriteleri kullanımın yanı sıra parametrelerin ayarlanırken kolaylık sağlamasından kaynaklanmaktadır [71].

Uygulanan dönüşüm çekirdek yöntemi olarak adlandırılır. Destek vektör makineleri, lineer olmayan esnek çekirdekler kullanarak doğru çıktı tahminleriyle sonuç elde edebilse de hiper düzlemi ayarlamak adına tahminlerin hangi şekilde oluştuğuna ilişik metriklerin elde edilmesi açısından sınırlıdır [83].

DVM algoritması geliştirildiğinde yalnızca iki türü sınıflandırma amacıyla geliştirilmiştir. DVM algoritması, destek vektörleri şeklinde isimlendirilen olabildiğince az sayıda veri kullanıp en üst düzeyde ayırıştırma ile iki tür sınıfı ayırştırmayı hedefler. Şekilde bulunan düz ayırım çizgisi iki tür sınıfı uygun şekilde ayırştıran hiper düzlemi sembolize etmektedir. Noktasal çizgiler ise destek vektörlerinin tanımladığı türlerle ait sınıfların sınır çizgilerini sembolize etmektedir [59].

Türler ait sınıfların ayrıştırıcısı olan hiper düzlem, türlere ait sınıf sınır çizgileri arasındaki aralığı olabildiğince büyütmeyi hedefler. Bununla beraber sınıfların tam anlamıyla lineer ayrılmadığı durumlarda, DVM algoritması optimum destek vektörlerini elde etmektedir. Destek vektörleri belirlendikten sonra, sınıflandırma işlemi sonrasında ise örneklemin ait olduğu sınıfı belirlemek amacıyla örneklemelerin geri kısmına gerek duymaz. DVM algoritmasının avantajı ise eğitim örneklemelerinin toplam sayısına göre destek vektörlerinin sayısındaki büyük oranda azalmasıdır [59].

DVM'nin kavramsal yapısı, çok sınıflı tür sınıflandırma sorununu çözümlmek amacıyla direkt büyütülebilir halde değildir. Bununla beraber bu durum için sınıflandırıcıyı geliştirmek amacıyla kullanılan birkaç yöntem bulunmaktadır. Bu yöntemlerden biri, her bir tür ikilisini ayrıştırmak amacıyla DVM'i iki türü ayıran sınıflandırıcı şeklinde kullanarak her örneklem için türü belirlemek üzere çeşitli yöntemler uygulanabilir. Bu yöntem oldukça zaman harcayan bir yöntem olduğu için genellikle tercih edilmez [59].

Açıklamak gerekirse üç türün sınıflandırılması için teker teker birbirleri ile karşılaştırılması yapılarak üç ayrı DVM'i eğitilmesi gerekmektedir. Bu süreç daha fazla tür ile gerçekleştirilirse polinom oranında artacaktır. Bir diğer yöntemde her türü diğer türlerden ayrıştırmak amacıyla ikili DVM kullanılabilir. Bununla beraber tür sayısının artmasıyla süreçteki karmaşıklık da lineer olarak artmaktadır [59].

Lineer olmayan ayrışma hali belirli çekirdekler kullanılarak çözümlenebilir. Veriler uygun çekirdek fonksiyonlarının kullanılıp daha büyük boyutlu vektörlere çevrilebilir. Bu çevrimin sonrasında optimum sınıflandırmayı sağlayan lineer DVM denklemleriyle sağlanabilir [59].

DVM oldukça farklı disiplinlere uygulanabilmektedir. Psiko-patoloji alanındaki sınıflandırma çalışmalarından [84], belirli semptomlar gösteren bireyleri sınıflandırmak amacıyla DVM ile verileri analiz etmiştir [83,84].

DVM'in bir diğer uygulaması [85], online terapi gören bireylerin bir dönem sonrasında anksiyete sorunu olan bireylerde uzun süreli tedavi sonuçlarının çıktılarını değerlendirmişlerdir [83].

4.2.1. Kernel metodu

Kernel metodu MÖ alanında oldukça önemli yaklaşımlardan biridir. Bu metodun sayesinde, lineer olmayan bir sorun oldukça basit bir yaklaşımla lineer bir probleme çevrilebilir [59].

DVM'in ikili formülasyonunda sadece giriş vektörlerinin çarpımları önem arz etmektedir. Giriş vektörlerinin açık bir kullanımı veya giriş vektörünün başka önemli bir görevi yoktur. Bu durum lineer olmayan fonksiyonlarla sınıflandırma probleminin çözümü amacıyla Kernel yöntemi olarak adlandırılan fonksiyon kullanımını tavsiye etmektedir.

Kernel metodunun ilkesi çarpımları lineer olmayan çekirdek işlemleriyle değişim sağlayarak lineer algoritmaların lineer olmayan türlerini oluşturmaktır. Belli durumlarda bu işlem temel vektörlerin bazı daha büyük boyuttaki uzayının üstüne eşlenmesi olarak anlatılabilir.

Kernel fonksiyonlarının en yaygın kullanılan türü polinomik Kernel fonksiyonudur. Diğer türlerine örnek olarak Gaussian ve üstel Kernel fonksiyonları verilebilir. Girdi vektörlerinin sadece çarpımlar türünden görünecek biçimde tekrardan gösterilse çarpımlar bu şekilde Kernel türeviyle yerleştirilebilir. Oluşan Kernel algoritması, baştaki algoritmayı eşleştirilen verilerin alanı fonksiyon üstünde çalıştırmaktadır [86].

Derecesi A olan polinom için Kernel fonksiyonu aşağıdaki biçimde sembolize edilerek ifade edilebilir. X bu eşitlikte giriş sinyallerini işaret etmektedir.

$$K(x_g, x_h) = (x_g \cdot x_h + 1)^A \quad (4.1)$$

Bu yaklaşımda girdi vektörüyle bir noktanın iç çarpımı alınır ve sonuçta reel sayı üretilir. Kernel fonksiyonunun kullanımı çarpım işlemini çift parametre varsayan bir fonksiyonla çevirebileceğimizi belirtir. Matematiksel biçimde Kernel yöntemi aşağıdaki biçimde kurulur.

$$K: G(x) \cdot G(x) \rightarrow R \quad (4.2)$$

Gösterim baştaki veri setini dönüştürmek amacıyla herhangi bir Kernel işleminin kullanılmasına olanak sağlasa da oluşumlarda cevaplar elde etmek amacıyla Kernel işleminin pozitif işlem olması gerekmektedir. Pozitif fonksiyonun Mercer teorisince tanımlanan herhangi bir özelliği gerçekleştirmesi gerekir. Mercer teoremi girdi noktalarının sonlu dizilerinin tamamı için olduğunu belirtmektedir. X , sonlu dizileri ifade ederken p reel sayılara işaret etmektedir.

$$\sum_{g=1}^m \sum_{h=1}^m K(x_g, x_h) p_g p_h \geq 0 \quad (4.3)$$

Pozitif tanımlı Kernel fonksiyonunun seçimiyle belli boyutlu girdi verisini reel değerli başka bir çıktı verisine lineer şekilde eşlenebilir. Veri setindeki belli lineer olmayan eğilimler biliniyorsa lineer DVM sayesinde çözüme uygun problemi çevirebilecek bir Kernel işlemi oluşturabilir [59].



5. ZAMAN DALGACIK SAÇILIMI

Günümüzde, görüntü ve ses gibi sinyallerin işlenmesi çalışmalarında dalgacık yöntemlerinin uygulanmasında artan bir yönelim bulunmaktadır. Bu alandaki yapılan çalışmalar dalgacık saçılma dönüşümü, dalgacık dönüşümü ve dalgacık sinyal gürültü gidermekten oluşur [87,88].

Dalgacık saçılma dönüşümünün çeşitli ölçeklerde güvenilir verilerin öz niteliklerini çıkarabilir. Saçılma dönüşümü, öncelikle iyi sonuçlar elde edilen öz nitelikleri çıkarmak için görüntü verilerini işleyerek test edilmiştir [88-92].

Literatürde dalgacık saçılım katsayılarının, küçük boyutta varyasyon sinyalleri şeklinde ya da küçük bozulmalar ile uğraşırken Fourier dönüşümünden daha çok veri elde edilebileceği kanıtlanmıştır [88,93,94].



6. GRAFİK İŞLEME BİRİMİ

Belli durumlarda görsel işlem birimi olarak isimlendirilen grafik işleme birimi (GPU), görüntüleme cihazlarına çıktı amacıyla tasarlanmış çerçeve arabelleğinde sinyallerin oluşumunu hızlandırmak için verileri hızlı şekilde işlemek ve değiştirmek için tasarlanmış özel elektronik devredir.

GPU'lar gömülü sistemlerde, telefonlarında, bilgisayarlarda ve oyun konsollarında kullanılır. Bilgisayar grafiklerinde ve görüntü işlemekte çok verimlidir. Yüksek boyutta paralel yapıları, büyük veri kümesi bloklarının işlenmesinin paralel şekilde işlendiği algoritmalarda genel işlemlerde kullanılan merkezi işlem birimi (CPU)'lardan daha verimli olmasını sağlar.

Bilgisayarlarda ekran kartında GPU bulunabilir ya da belli CPU'larda CPU bloğuna yerleştirilebilir [65]. Bilgisayar işlemcileri genel olarak her veriyi işlemek amacıyla tasarlanmıştır. Fakat merkezi işlem birimleri çok sınırlı çalışırlar ve bu nedenle sadece belli işlemleri yapabilirler. Kompleks kombinasyonlar, büyük boyutta olmaları sebebiyle pratik ve kullanışlı değildir. Diğer taraftan GPU'lar fazlaca uzmanlaştığı için büyük miktarlarda kompleks analizleri işlemede geleneksel işlemcileri geride bırakmaktadır.

GPU kullanımına çeşitli örnekler sunarsak tıbbi görüntüleme, otonom sürüş ve makine öğrenimi kullanıldığı alanlar arasındadır. GPU'lar geleneksel CPU'lara göre yüz kata varan işlem gücü sunabilir. Bu nedenle grafik kartlarının MÖ algoritmalarında kullanılan gelişmiş işlemlerde kullanılmasının ana sebeplerinden biridir.

Bazı görüşler bu nedenin paralellik ile bağlı olduğunu düşünse de asıl neden belleğin bant genişliği ile ilintilidir. CPU'lar küçük bellek işlemlerinde verileri hızlı bir şekilde işleyebilirken GPU'lar bu işlevlerde büyük gecikme süreleri ile daha yavaş kalmaktadır. Fakat çok büyük miktarda verilerle işlemler söz konusu olduğunda GPU'lar daha verimlidir.

GPU'lar, CPU'ların tersine binlerce çekirdekten meydana gelir ve büyük miktarlarda bellek ve veri içeren bir problemi çözmek amacıyla sadece ilk getirmenin gerçekleşmesini

beklemek gereklidir. Boşaltma işlevi fazla miktarda zaman aldığından her GPU'nun boşaltma işlemine devam etmek amacıyla belli sırada olması gerektiğinden, sonraki her getirme büyük ve önemli ölçüde daha hızlı olacaktır. Fazlaca işlem gücüyle, GPU'nun yüksek bant genişliğini işlemesini onaylamak amacıyla gecikme etkin biçimde gizlenir. Bu durum iş parçacığı paralellliği olarak tanımlanır ve GPU'ların geleneksel CPU'lardan daha verimli ve iyi performans sergilemesinin ikincil sebebidir.

Üçüncül nedeni incelersek performans olarak etkileyen mühim bir neden olmasa da GPU'ların CPU'lar üzerindeki kesinkes üstünlüğü üzerine ek bir veri sunmaktadır. İşlemin birinci bölümü, ana bellekten ya da rastgele erişimli hafıza (RAM) bellekten verinin alınarak çip üzerindeki belleğe ve kayıtlara gönderilmesini içermektedir. Veriler GPU'lar adına akış olarak adlandırılan yürütme birimine direkt eklenmektedir.

İşlemci ve CPU'lar için çekirdek hesaplamasının tamamının yapıldığı birim olarak söylenebilir. Normalde verilerin yürütme motoruna yakın olmasını ve verileri küçük tutup hızlı erişime olanak sağlanması hedeflenmektedir. Veri ne kadar büyükse, veriye erişimde o düzeyde fazla zaman gerektirir.

GPU teknolojisindeki ilerlemeler otonom sürüş teknolojisinin ilerlemesine yardımcı olmuştur. [95] Son dönemde GPU'lar YZ çalışmaları için popüler konuma geldi ve birçok alanda veri işlemek için YZ yöntemlerini oldukça kolaylaştıracak bir yönde ilerlemeye devam etmektedir [65,96].

7. ESER MAKAMINI TESPİT VE SINIFLANDIRMA YAPAY ZEKA UYGULAMASI

7.1. Veri Seti

Klasik Türk Müziği makamlarının sınıflandırılması ve tespiti işlemi için literatürde yapılan çalışmalarda sembolik veriler, ses tabanlı veriler ve tek bir enstrüman ile icra edilen ses dosyaları tercih edilmiştir. Yapılan çalışmalarda, ses tabanlı veri seti çok fazla bulunmadığı için ses tabanlı çalışmalar yapan araştırmacılar genellikle kendi veri setlerini oluşturmuşlardır.

Şarkının performansı sırasında benzersiz yaklaşımlar ve kişilerin ses tonlarının farklılıkları (bas-tiz tonları) ses sinyalini değiştirebilir. Bu durum aynı makama ait ses sinyallerini etkileyerek ses sinyallerinin formunu bozabilir. YZ uygulamasının bu etmenlerden etkilenerek kararlarında yanlış sonuçlar elde etmemek için enstrümantal ses dosyaları tercih edilmiştir.

Çalışmada veri seti oluşturmak için internet ortamında bulunan ve ücretsiz erişime sahip Ney, Kanun, Ud, Keman ve Tanburdan oluşan birden fazla müzik aletinin ayrı ayrı kullanılarak icra edilen ses dosyaları tercih edilmiştir.

Müzik aletleri (enstrümanla) ile icra edilen şarkıları tercih edilmiştir fakat veri seti için rastgele farklı makamlara ait tercih edilen şarkılar arasında beş farklı türde enstrümanın ayrı icraları (örneğin ilk örneklem kanun ve ikinci örneklem ney icrası vb.) tercih edilmiştir. Bu şekilde çalışmada beş farklı müzik aleti türünün performansları birbirleriyle karşılaştırılır. Sonuç olarak, bir tür müzik aleti yerine birden fazla müzik aletinin icralarını karşılaştırmak, makamların sınıflandırılması ve tespiti için daha güvenilir sonuçlar vermektedir.

Farklı müzik aletlerinden elde edilen dosyalar sekiz farklı makamda icra edilmiştir. Tercih edilen basit makamlar Muhayyer, Kürdi ve Hüseyini'dir. Tercih edilen bileşik makamlar Segah, Hüzzam ve Saba'dır. Tercih edilen şed makamlar ise Nihavend ve Hicazkar'dır. Bu sekiz makam, Türkiye Radyo Televizyon (TRT)'nin istatistik arşivindeki şarkıların yaklaşık yüzde ellisini oluşturmaktadır [10,97].

Klasik Türk Müziği makamlarının arasından en çok enstrümantal örneklem elde edebilen sekiz makam, aynı zamanda kullanım popülerliklerinin de etkisiyle seçilmiştir. Özetle bu sekiz makamı çalışma için seçilmesinin nedeni, belli bir oranda popüler olmaları ve daha fazla örneklem elde edebilmesidir. Şarkının performansını gerçekleştirenlerin farklı yaklaşımları bulunsa da her bir makamın kendine özgü karakteristiği ve makamı oluşturan öğelerinde farklı dağılımları vardır.

7.2. Örneklem Oluşumu

Ayrıca birden fazla enstrümantal parça kullanıldığı için performans sergileyenlerin serbest yaklaşımlarındaki ton problemlerinin sınıflandırma ve tespit işlemine etkisi bu sayede azaltılmış olur. Bir ses dosyası formatı olan mp3 olarak ücretsiz olarak erişilebilen internet ortamından elde edilen veriler, MATLAB tabanlı YZ uygulamasında kullanılmak üzere başka bir ses dosyası formatı olan wav formatındaki dosyalara dönüştürülmüştür.

Bu işlemten sonra tüm wav formatlı ses dosyalarından eşit büyüklükte örneklem alınmıştır. Örneklem çalışması sırasında ses dosyalarının frekansı 22050 Hz olarak seçilmiştir. Alınan örneklem daha gerçekçi bir sonuç elde etmek için ses dosyasının tamamı örtüşmeyen parçalara bölünerek ve ses dosyasının tamamı kullanılarak elde edilmiştir.

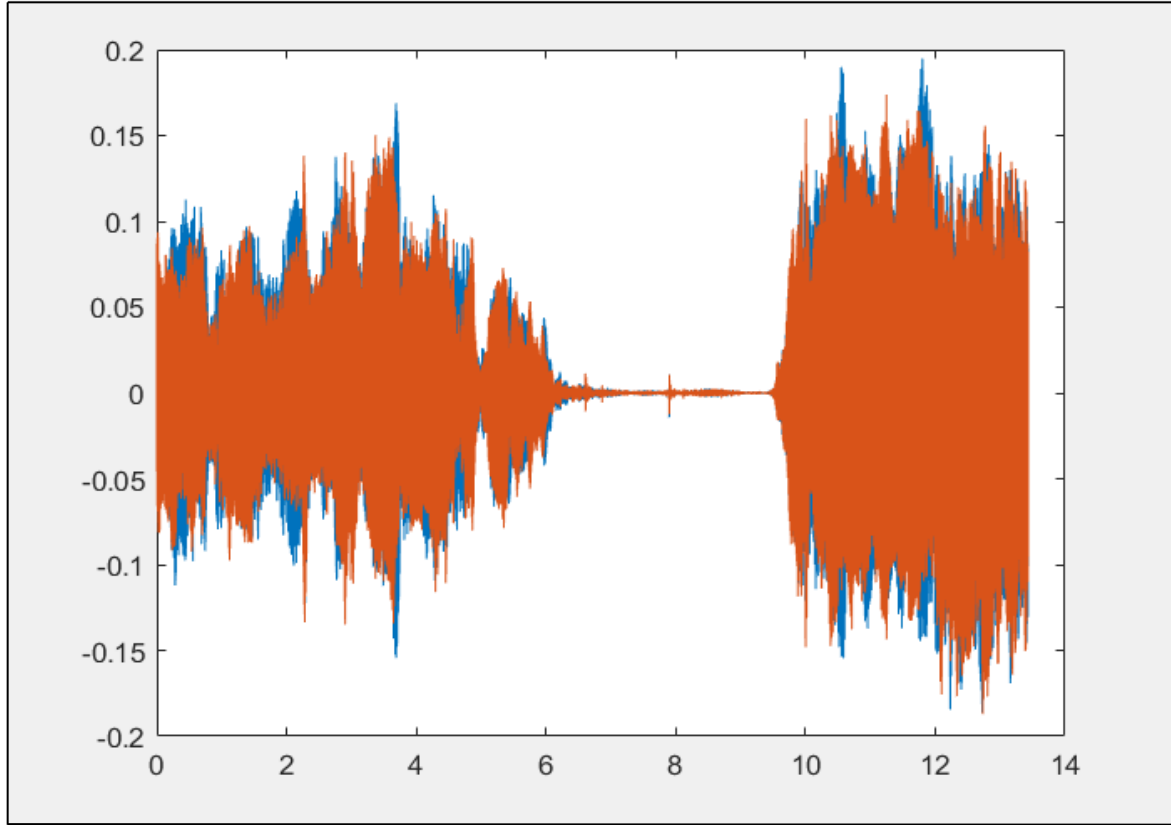
Örnekleme sonrasında sistemde kullanılacak kullanılan makamların her birinden toplam elli altı adet dört yüz kırk sekiz wav uzantılı ses dosyası elde edilmiş olup bunlar aşağıdaki Şekil 7.1’de MATLAB çıktı ekranından elde edilen görsel olarak gösterilmiştir.

Label	Count
HICAZKAR	56
HUSEYNI	56
HUZZAM	56
KURDI	56
MUHAYYER	56
NIHAVEND	56
SABA	56
SEGAH	56

Şekil 7.1. Veri kümesi sayıları MATLAB çıktısı

7.3. Öznitelik Çıkarımı

Örneklemlerden oluşan veri seti wav formatındaki dosyalar olarak oluşturulduktan sonra bu verilerin sınıflandırılması için öznitelik çıkarımı işlemine geçilmiştir. MATLAB sistemine yüklenen veri kümesinden bir örnekleme ait ses sinyalinin görseli aşağıdaki Şekil 7.2’de verilmiştir. Özellik çıkarımı için sınıflandırma ve tespit işlemine giren veriler dalgacık saçılma yöntemi ile elde edilmiştir. Ayrıca Destek Vektör Makinelerinin (DVM) çoklu sınıflandırıcısında işleme girmek için vektörel formuna dönüştürülmüştür.



Şekil 7.2. Veri kümesinden bir örnekleme ait ses sinyalinin MATLAB çıktısı

Sınıflandırma ve tespit sürecinde kullanılacak Destek Vektör Makineleri (DVM) yönteminde kullanılacak dalgacık saçılımı yöntemi ile saçılma özelliklerini elde etmek için her bir örnekleme 2^{19} eğitim setinin parçası olarak saçılım özelliklerinin doğal logaritması elde edilmiştir. Ayrıca saçılma pencerelerinin sayısı sekiz ile alt örnekleştirilmiştir.

Daha önce bahsedildiği gibi, veri setinin öznetelik çıkarımı için dalgacık saçılım yöntemi kullanılmıştır. Dalgacık saçılımı ile öznetelik çıkarımı yapılırken GPU hızlandırıcı ile süreç hızlandırılır. GPU, çoğu daha küçük ve daha özel çekirdeklerden yapılmış bir işlemcidir. Çekirdekler, veri işleme görevini birçok çekirdek arasında dağıtmak ve verileri işlemek için birlikte çalışarak yüksek performans sağlar.

GPU'lar, derin öğrenme ve yapay zeka gibi alanlarda kullanılmaktadır. GPU veya diğer hızlandırıcılar, çeşitli sinir ağı katmanlarıyla veya iki boyutlu görseller gibi oldukça spesifik verilerle derin öğrenme eğitimi için idealdir. GPU'yu hızlandıran bir yaklaşımla derin öğrenme algoritmalarının benimsenmesi, performansta önemli bir artışı sağlayarak birçok gerçek dünya sorununa uygulanmış ve geçerli çözümlere yol açmıştır.

Dalgacık saçılması yöntemi, makine öğrenimi ve derin öğrenme uygulamalarında kullanım için gerçek değerli zaman serilerinden minimum konfigürasyonlar, düşük varyanslar ile özellikler türetmemizi sağlar. Öznitelikler, tanımlanan değişmezlik ölçeğinde girişin döngülerine karşı duyarsızdır ve bozulmalara göre sürekli dir.

Dalgacık saçılması yöntemi, çok ölçekli yapıların hiyerarşik simetrilerinin doğrusallaştırılmasını ve aralıklı temsillerin özniteliklerini gösterir. Türleri farklı ölçeklerde ayırarak sinyallerdeki küçük bozulmaları da doğrusallaştırır.

Dalgacık saçılım yönteminin matematiksel modellemesi için f giriş sinyali, ψ dalgacık fonksiyonu, ϕ filtreleme işlemi, $T = x^m$ maksimum dalgacık ölçeği, $*$ konvolüsyon işlemi ve R_m dalgacık modülü operatörü. [98]

$$|f * \psi_m| * \phi_m(t) \quad (7.1)$$

Bu konvolüsyon işlemiyle, m tarafından kapsanan sinyal genliği ölçülür ve $T = x^m$ süresinin t 'si üzerinden ortalaması alınır. Ortalama alınması işlemi tarafından kaybedilen bilgiyi kurtarmak için, $|f * \psi_{m1}| * \phi_m$ ifadesinde $|f * \psi_{m1}|$ hesabının dalgacık dönüşümünün düşük frekanslı bileşeni olarak yazılabilir.

Dalgacık dönüşümü tersine çevrilebilir olduğundan, ϕ_m ile konvolüsyon sürecinde kaybolan bilgi dalgacık katsayıları olan $|f * \psi_{m1}| * \psi_{m2}$ ile geri kazanılır. Ortalamalı ölçümler, bu karmaşık dalgacık katsayılarının modülünün alçak geçiren filtre ile filtrelmesiyle elde edilir.

$$|f * \psi_{m1}| * \psi_{m2} * \phi_m(t) \quad (7.2)$$

Bu işlemle birlikte x^{m1} ve x^{m2} ölçeklerinde birlikte oluşum bilgileri sağlanır. Bu katsayılara saçılma katsayıları denir. Çünkü bu katsayılar, ardışık iki dalgacık olan ψ_{m1} ve ψ_{m2} ile f sinyalinin girişimlerini hesaplarlar. Bunun yanı sıra ψ_{m2} dalgacıklarının kapsadığı frekans aralıklarında $f * \psi_{m1}(t)$ 'nin zaman değişimlerinin genliğini ölçer.

Verilen ikinci formülün $|f * \psi_{m1}| * \psi_{m2}|$ ile ϕ_m 'in yeniden ortalamasını alınırsa bir kez daha yüksek frekans kaybına neden olur ve bu yeni bir dalgacık dönüşümü ile telafi

edilebilir. Aynı prosedür bir dizi filtre bankası ve modül operatörü tanımlanarak tekrarlanır.

Eğer $R_m f(t)$, $f * \phi_m$ fazını korurken karmaşık dalgacık katsayılarının modülünü hesaplayan dalgacık modülü operatörü ise, konvolüsyon sürecindeki saçılma dönüşümü önce $R_m f(t)$ 'yi hesaplar ve düşük frekans sinyali $f * \phi_m$ 'yi çıkarır. Bir sonraki katmanda, her $f * \psi_m$ R_m tarafından geri dönüştürülür, ortaya çıkan $|f * \psi_{m1}| * \phi_m$ ve $|f * \psi_{m1}| * \psi_{m2}|$ hesaplanır.

Bu katsayılar tekrar $R_m f(t)$ ile dönüştürülür ve $|f * \psi_{m1}| * \psi_{m2}| * \phi_m$ çıktıları üretir. Ayrıca üçüncü dereceden dalgacık sinyalini hesaplar. Bu dalgacık dönüşümünün k kere tekrarlanması ve filtrelenmemiş katsayıların ϕ_m ile çıkarılması ile bir t anında $k + 1$ saçılma vektörü oluşturur [99].

Bu sayede dalgacık saçılımı yöntemi ile veri kümesinden özneliklerin çıkarıldığı saçılma vektörünü elde edilmiştir.

7.4. Sınıflandırıcı

Önceki bölümlerde anlatıldığı üzere Destek Vektör Makineleri (DVM), sinyal işleme, görüntü ve konuşma tanıma uygulamaları gibi birçok sınıflandırma problemi için kullanılan denetimli bir öğrenme algoritmasıdır. Destek Vektör Makinelerinin (DVM) amacı, iki sınıf arasında veri noktalarını ayıran bir hiper düzlem oluşturmaktır. Hiper düzlem, iki sınıf arasındaki bölgeye verilen isimdir. Çoğu sorun için az sayıda yanlış sınıflandırmaya izin vererek sınırı en büyük değere ayarlar.

Yardımcı vektörler, sınıfları ayıran hiper düzlemin konumunu belirleyen bir eğitim verisi alt kümesine atıfta bulunur. Destek Vektör Makineleri (DVM), özneliklerin bir Kernel fonksiyonu ile dönüştürüldüğü, Kernel yöntemi adı verilen makine öğrenimi sınıfına girer. Kernel fonksiyonları, dönüşüm sonrası sınıflandırma için daha yüksek boyutlu haritalanmış özellik alanındaki sınırlarla veri kümesini basitleştirir. Bu şekilde sınıflandırma sürecinde iyi performans gösterir.

Destek Vektör Makineleri yönteminin avantajı, eğitim sürecinin daha az zaman almasıdır.

K-Nearest Neighbors yönteminden çok daha hızlıdır. Ayrıca doğru sınıflandırma oranı da daha iyidir.

Destek Vektör Makineleri (DVM) ikili sınıflandırma için formüle edilmiş olsa da birden çok ikili sınıflandırıcının birleştirilmesiyle çok sınıflı bir DVM oluşturulabilir. Kernel fonksiyonu, Destek Vektör Makinelerini daha esnek hale getirir ve doğrusal olmayan sorunları çözmek için kullanılabilir. Tanımlanan yöntemin gerçek problemlere çok sınıflı matematiksel yaklaşımı için izlenen adımlar aşağıda açıklanmıştır [100].

N ikili sınıflandırma işleminde $f_m(x)$ ($m = 1, 2, \dots, z$), m sınıfın eğitim vektörlerini diğer sınıfların eğitim vektörlerinden ayırırsak:

$$f_m(x_g) = (x * \omega^m) + b_m \quad m = 1, 2, \dots, z \quad (7.3)$$

Eğitim veri setini hatasız ayıracak olan a işlemi j adet fonksiyon oluşturur.

$$c = \operatorname{argmax} [(x * \omega^1) + b_1], \dots, [(x * \omega^z) + b_z] \quad (7.4)$$

Yani $(x_g^m * \omega^m) + b_m - (x_g^m * \omega^m) - b_c \geq 1$ eşitsizlikleri tüm parametreler için geçerlidir ($m=1,2,\dots,z$; $c \neq m$; $g=1,\dots, l_m$). (ω^m, b_m) çiftlerini seçerek ve $m=1,2,\dots,z$ için $\sum_{m=1}^z (\omega^m * \omega^m)$ fonksiyonu minimum hale gelir.

Eğitim veri seti hatasız ayıramıyorsa, aynı parametreler üzerindeki kısıtlamalara tabi olan fonksiyon en aza indirilir. Bu optimizasyon problemini çözmek için, Lagrange çarpanları ile aynı tekniği kullanır ve hiper düzlemi belirleyen girdi vektörlerini yani $f_m(x)$ 'in destek vektörü elde edilir:

$$\sum_{c \neq m} \left[\sum_{g=1}^{l_m} h_g(m, c) (x * x_g^m) - \sum_{v=1}^{l_c} h_v(c, m) (x * x_g^c) \right] + b_m \quad (7.5)$$

Çok sınıflı Destek Vektör Makineleri için $l = \sum_{k=1}^l l_k$ fonksiyonundaki $l(z_1)$, $h_g(m, c)$, $g=1,2,\dots, l_m$, $c \neq m$, $m=1, 2,\dots, z$ parametrelerinin eş zamanlı olarak belirlenmesi gereklidir.

Daha önce de belirtildiği gibi, eğer problem lineer değilse, girdi vektörlerine Kernel fonksiyonu uygulanmalıdır. Destek Vektör Makineleri oluşturmak için ilgili denklemlerdeki $x_g^m * x_g^c$ ifadeleri $A(x_g^m * x_g^c)$ ile değiştirilmelidir. Böylece problem dönüştürülmüş uzayda ayrılabilir:

$$A(x_g, x_v) = \omega(x_g) * \omega(x_v) \quad (7.6)$$

Sınıflandırma ve tespit işlemi DVM yöntemini çoklu sınıflandırıcı işlemine çevirerek Kernel fonksiyonu ve yukarıdaki matematiksel modelleme ile MATLAB programında YZ uygulamasında gerçekleştirilmiştir.

Dalgacık Saçılımı yöntemi ile çıkardığımız veriler, test ve öğrenme veri seti olarak ikiye ayrılmaktadır. Her iki veri kümesinin de belirli bir sırada işlenmesini önlemek için MATLAB üzerinde tüm veri seti rastgele karıştırılarak işleme girdi olarak hazırlanmıştır.

Her veri setinden 2^{19} örneklem için saçılım özelliklerinin doğal logaritması elde edilmiş ve dağılım penceresi sayısı sekize kadar alt örneklenmiştir. Destek Vektör Makineleri modelinde kullanılacak her veri seti için (eğitim ve test veri seti) öznelik çıkarımı yapılmıştır.

GPU uygulaması ile saçılma özelliklerini hesaplamak için geçen süre önemli ölçüde azalır [67].

Destek Vektör Makineleri (DVM) modeli kullanılarak her bir veri seti için simülasyon süreci başlatılmıştır. Simülasyonda kullanılan Destek Vektör Makineleri (DVM) ve veri seti oluşumu için belirlenen parametreler Çizelge 7.1'de verilmiştir.

Çizelge 7.1. Belirlenen parametrelerin değerleri

PARAMETRE ADI	BELİRLENEN DEĞER
Frekans	22050 Hz
Değişmezlik Ölçeği	0.5
Kernel Polinomu Derecesi	3

Test verilerinin hangi makam tipine ait olduğunu belirlemek ve eğitim verilerinin saçılım dönüşümlerini eşleştirmek için verilen parametrelerle hazırlanan Destek Vektör Makineleri (DVM) modeli kullanılmıştır.

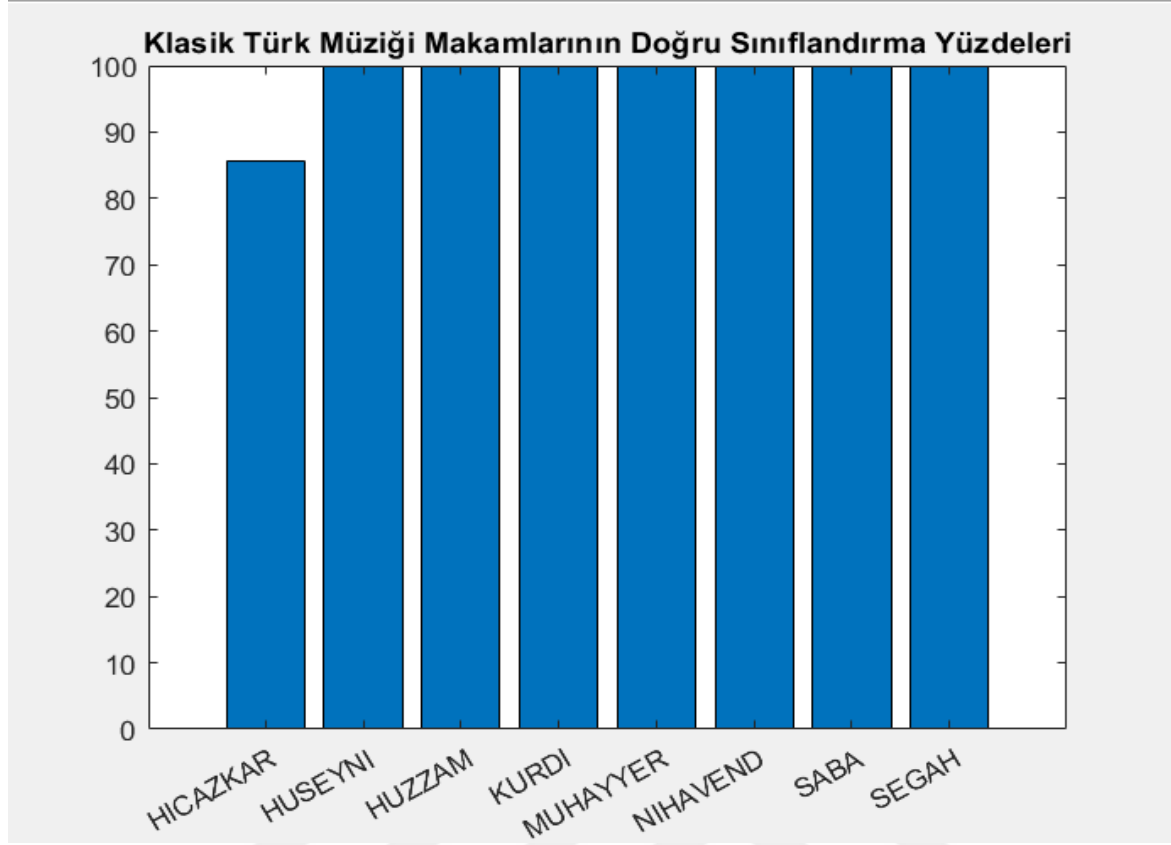
MATLAB tabanlı YZ uygulamasındaki test veri setinde yer alan bir makama ait örneklem için eşleştirme aşamasında makam türü belirlenemezse, makam türleri dışında bir bölmeye (farklı makam bölmesi) yerleştirilmesi sağlanmıştır. Simülasyon sonrasında sınıflandırma başarıları %98,21 olarak gözlenmiştir. Sınıflandırma başarımının MATLAB çıktı görseli Şekil 7.3’de verilmiştir.

```
SiniflandirmaYuzdesi =  
  
98.2143
```

Şekil 7.3. Başarım yüzdesi MATLAB çıktısı

Çalışmaya dahil edilen sekiz makam türünden Saba, Hüseyini, Segah, Hüzam, Muhayyer, Kürdi ve Nihavend yüzde yüz, Hicazkar makam türü ise %85,71 başarı oranı ile sınıflandırılmıştır.

Başarı oranı literatürde bulunan çalışmalardan daha başarılı bir sonuç elde ettiğimizi göstermektedir. Simülasyon sonucunda makam tiplerinin belirlenmesini gösteren sınıflandırma başarım tablosu Şekil 7.4’de verilmiştir.



Şekil 7.4. Sınıflandırma başarımlar tablosunun MATLAB çıktısı

MATLAB tabanlı YZ uygulaması, kullanıcının makamını belirlemek istediği veri kümesi dışında bir ses dosyasından (wav dosya türü) alınan bir örnek için de kullanılabilir.

Kullanıcı dilerse çalışma kapsamındaki makam tiplerine ait ses dosyasını sisteme yükleyerek hangi makama ait olduğunu belirleyebilir. İstenen tespit işlemi için kullanıcı tarafından MATLAB tabanlı YZ uygulamasına farklı bir örneklem yüklendiğinde, bu ses dosyası için Destek Vektör Makineleri (DVM) modelinde kullanılmak üzere aynı öznitelik çıkarma işlemi tekrarlanır.

Öznitelik çıkarımı tamamlanan ses dosyası, sınıflandırma işleminde kullanılan makam tipleri ile karşılaştırılır ve sınıflandırma işleminin sonuçlarından ayrı olarak yüklenen ses dosyasının hangi makam tipine ait olduğu çıktısı verilir.

Ayrıca tespit işlemi kullanıcının isteğine göre tek bir ses dosyası için olabileceği gibi, kullanıcı isterse uygulamaya birden fazla ses dosyası göndererek tespit işlemini gerçekleştirebilir.

Tespit işleminin test edilmesi için veri setinde yer almayan on adet ses dosyası sisteme girdi olarak gönderilmiş ve tamamı doğru tespit edilmiştir. Sisteme rastgele gönderdiğimiz örneklerin tahmin tablosunun MATLAB çıktısı Şekil 7.5’de verilmiştir.

Tahmin

HUZZAM
HUSEYNI
SABA
SEGAH
HICAZKAR
MUHAYYER
NIHAVEND
KURDI
HUSEYNI
SEGAH

Şekil 7.5. Sisteme gönderilen örneklerin tahmin tablosunun MATLAB çıktısı



8. TARTIŞMA

Günümüzde giderek yaygınlaşan yapay zeka çalışmaları birçok bilimsel disipline yardımcı olmaktadır. Daha önce de belirttiğimiz gibi makam sınıflandırma ve tespit alanındaki sorunlar, makam sınıflandırma alanındaki çalışmalara temel teşkil edebilir. Ayrıca makamlar farklı makamların ortak belirli kurallarını içerebilir.

Çalışmada basit, bileşik ve şed makamlar yer almaktadır. Daha önce belirtildiği üzere basit makamların farklı perdelerde makamlar üzerine göçürülmesi ile değişik makam türleri oluşturulmuştur. Bu durum yapay zekanın sınıflandırma sürecinde karar vermesini zorlaştırmaktadır. Bu zorluğun üstesinden gelebilmek için veri miktarı mümkün olduğunca artırılmalıdır. Veri miktarı yüksek olduğunda yapay zeka uygulamasının öğrenme düzeyi de artacaktır.

Çalışmada veri setini ikiye bölerek bir eğitim ve test seti oluşturulmuştur. Eğitim setindeki örneklem sayısı artırıldığında başarı yüzdesinin arttığını gözlemlenmiştir. Başlangıçta daha az örneklemle denendiğinde başarı oranı %96,42 olarak gözlenmiştir. Kullandığımız veri setini artırıp daha fazla örneklem kullanılıp test edildiğinde %98,21 başarı oranı elde edilmiştir.

Değişmezlik ölçeği sabiti birkaç değerde değiştirildiğinde en yüksek performansa sahip optimum değeri bulunmuştur. Kernel polinom derecesi artırıldığında yapay zekanın karar verme sürecinin uzadığını ve çıktı verme süresinin arttığı gözlemlenmiştir.

Bu işlem sonucunda performans yüzdesinde önemli bir değişiklik gözlenmemiştir. Yapay zeka uygulamasının performansına ve başarı yüzdesine göre Kernel polinom derecesi optimum değer olarak üç olarak seçilmiştir.

Çalışmada yer alan makamlar, kullanım oranlarının yani popülaritelerinin de etkisiyle literatürdeki diğer çalışmalarla büyük ölçüde örtüşmektedir. Kullandığımız sekiz makamdan yedisi [10], [11] ve [12] ile, altısı [101] ile, beşi [13] ve [9] ile, dördü [7] ile örtüşmektedir.

Literatürdeki diğer çalışmalardan farklı olarak dalgacık saçılım yöntemi ile bir veri seti oluşturulmuş ve destek vektör makineleri ile sınıflandırma işlemini gerçekleştirilmiştir. Kullanılan makamlar büyük ölçüde aynı olsa da yöntem farkı ile daha yüksek bir performans oranı elde edilmiştir.

Çalışmayı geliştirmek için müzik eğitimi öğrencileri ve bu müziğe ilgi duyan bireylerle birlikte yazılımı yapılan MATLAB tabanlı YZ uygulaması kullanılarak etkilerinin gözlemlenmesi amaçlanmaktadır.

Yazılımı yapılan MATLAB tabanlı YZ uygulaması müzik eğitiminde kullanarak etkilerinin incelenmesi hedeflenen müzik eğitime katkısını gözlemlenebilir. Ayrıca kullanılan makam sayısı ve veri seti artırılarak diğer makamların sınıflandırılması ve başarımlarının geliştirilmesi amaçlanmaktadır.

9. SONUÇ VE ÖNERİLER

Klasik Türk Müziği Makamlarının okuma yazma ve eğitiminde karşılaşılan sorunlar için bilgisayar disiplinlerinin gelişmesiyle birlikte makamların sınıflandırılmasını ve belirlenmesini kolaylaştırmak için Müzik Bilgi Alma (MIR) sistemi tasarlanmıştır.

Tasarlanan sistem için dalgacık saçılımı yöntemi kullanılarak bir veri seti kümesi oluşturulmuştur. Oluşturulan veri setini sınıflandırmak için Destek Vektör Makineleri (DVM) sınıflandırıcısı kullanılmıştır. Çalışmada, literatürdeki diğer çalışmalarda daha çok örneklem elde edilebilen popüleritesi yanı kullanım oranı yüksek makamları seçerek benzer makamlar üzerinde bir sınıflandırma yapılmıştır.

Sınıflandırma sonucunda başarımlarının %98,21 olduğu gözlemlenmiştir. Başarımlar oranı literatürdeki benzer çalışmalara göre daha yüksektir.

Sınıflandırmanın başarısı göz önünde bulundurularak, Klasik Türk Müziği Makamlarının eğitiminde karşılaşılan sınıflandırma ve tespit sorunları ve eğitim çalışmalarında bireysel hatalar gibi zorluklar karşısında müzik eğitime ve okuryazarlığına yardımcı olacak bir MATLAB tabanlı YZ uygulaması elde edilmiştir. Ayrıca çalışma GPU ile yapılarak, GPU uygulaması ile saçılma özelliklerinin hesaplanması için geçen süre önemli ölçüde azalmıştır [102].

Ayrıca çalışma hem bu türe ilgi duyan hem de eğitim almış kişiler için makam türlerini sınıflandırıp tespit edebildiği için bu alanda eğitim alan kişilere müzik eğitiminde kolaylık sağladığı gibi müzik okuryazarlığı açısından da kolaylıklar sağlamaktadır.

Bu durum müzik eğitimi almayanlarda müzik okuryazarlığının zorluklarını ortadan kaldırarak bu alanda müzik okuryazarlığına katkı sağlayabilir. Klasik Türk Müziği ile ilgilenen ve bu kültürü korumak isteyen bireyler, makam türlerini sınıflandırıp tespit ederek makamların özelliklerini daha iyi anlayabilir.

Bu durum kişiyi Klasik Türk Müziği zerine çalışmaya sevk edebilir. Aynı şekilde müzik okuryazarlığına da katkı sağladığı gibi, müzik eğitimi olmayan kişilerin de bu türe olan ilgilerini artırarak müziğe yönelmelerine yardımcı olabilir.

MATLAB tabanlı YZ uygulaması sayesinde müzik eğitimi ve okuryazarlığı olanlar veya bu müzik türüne ilgi duyanlar için bazı Klasik Türk Müziği makamlarını ayırt etmek ve sınıflandırmak daha kolay olacaktır.

Klasik Türk Müziği makamlarını ayırt edemeyen bireyler için yazılımı yapılan MATLAB tabanlı YZ uygulamasına gönderdikleri şarkılar çoğaldıkça ve doğru makam türünü belirledike işitsel hafızaları glenebilecek ve bu alanda eğitim almamış olsalar bile doğru sınıflandırma yapabileceklerdir.

Gönderilen ses dosyası uygulamadaki makam tiplerinden birine ait değilse yazılımı yapılan uygulama bu dosyayı ayırt eder ve bu makamlara ait olmadığı çıktısını verir. Çalışmayı geliştirmek için veri setinin daha da genişletilmesi ve farklı makamların eklenmesi planlanmaktadır.

Son olarak, çalışmanın geliştirilmesi için, ses sinyali işleme çalışması geliştirilerek, nota yazım hatalarından kaynaklanan sınıflandırma problemlerinin etkisinin gözlemlenmesi ve notaları görüntü işleme yöntemi ile karşılaştırmak suretiyle görsel ve işitsel karşılaştırma yapılabilir.

KAYNAKLAR

1. Ergöz, H. (2008). Türk Müziği Nazariyesi ve Solfeji Derslerinde Metodoloji. *Motif Akademi Halkbilimi Dergisi*, 1(1), 41-51.
2. İnternet: Başuğur, İ.D. (2016). İşitilen Makamı Tanımda Önem Taşıyan Faktörler. URL: <https://dergipark.org.tr/en/pub/smead/issue/24705/261297>, Son Erişim Tarihi: 03.11.2021
3. İnternet: Beşiroğlu, Ş., Sarı, A., Balakbabalar, A., ve Çevikoğlu, T. (2008). Klasik Türk Musikisinin Dünü, Bugünü ve Yarını. URL: <https://www.ayk.gov.tr/paneller-panel/>, Son Erişim Tarihi: 18.10.2021.
4. İnternet: Yayla, F. (2006). Müziksel İşitmenin Temel Prensipleri. URL: <https://app.trdizin.gov.tr/publication/paper/detail/T0RVNE1EQXc>, Son Erişim Tarihi: 28.10.2021
5. Babacan, M.D. (2015). Çevrimiçi İşitme Eğitimi Uygulamalarının Karşılaştırılmalı İncelemesi. *Eğitim ve Öğretim Araştırmaları Dergisi*, 4(3), 24-35.
6. Şen, Y., ve Burç, N. (2016). Makam Tanımda Önem Taşıyan Faktörler ve Öğrencilerin Basit Makamları Tanımdaki Yeterlilikleri. *İDİL Sanat ve Dil Dergisi*, 5(27), 1937-1965.
7. İnternet: Alpkoçak, A., ve Gedik, A.C. (2005). Classification of Turkish Songs According to Makams by Using N Grams. URL: https://scholar.google.com.tr/citations?view_op=view_citation&hl=tr&user=DFBjKnUAAAAJ&citation_for_view=DFBjKnUAAAAJ:Qo2XoVZTnwC, Son Erişim Tarihi: 03.11.2021.
8. Kızrak, M. A., and Bolat, B. (2017). A Musical Information Retrieval System for Classical Turkish Music Makams. *SAGE Journals*, 93(9), 749-757.
9. Kalender, N., Ceylan, M., ve Karakaya, O. (2012). *Türk Müziği Makamlarının Sınıflandırılması için Yeni Bir Yaklaşım: Kombine YSA*. ASYU Akıllı Sistemler Yenilikler ve Uygulamaları Sempozyumu, Trabzon, Türkiye, 25-29.
10. Ünal, E., Bozkurt, B., and Karaosmanoğlu, M.K. (2014). A hierarchical approach to makam classification of Turkish makam music using symbolic data. *Journal of New Music Research*, 43(1), 132–146.
11. Demirel, E., Bozkurt, B., and Serra, X. (2018). *Automatic makam recognition using chroma features*. Proceedings of Folk Music Analysis Conference, Thessaloniki, Greece 19 – 24.
12. Öztürk, Ö., Abidin, D., and Özacar, T. (2018). Using Classification Algorithms for Turkish Music Makam Recognition. *Selçuk Üniversitesi Mühendislik, Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 6(3), 377-393.
13. Gedik, A. C., and Bozkurt, B. (2010). Pitch Frequency Histogram Based Music Information Retrieval for Turkish Music. *Signal Processing*, 90(4), 1049-1063.

14. Kalaycı, I., and Korukoğlu, S. (2012). *Classification of Turkish maqam music using k-means algorithm and artificial neural networks*. 20th IEEE Signal Processing and Communications Applications Conference (SIU), Muğla, Türkiye, 1 – 4.
15. İnternet: Aydar, D. (2018). Türk Müziği Nazariyatına Genel Bir Bakış. URL: https://www.researchgate.net/publication/339901646_Turk_Muzigi_Nazariyatina_Genel_Bir_Bakis_Deniz_Aydar_bilig_Turk_Dunyasi_Sosyal_Bilimler_Dergisi_84, Son Erişim Tarihi: 04.11.2021
16. Berker, E. (1985). Türk Musikisinde Dönemler. *Erdem*, 1(1), 147-168.
17. İnternet: Usta, Ö. (2018). Traditional Forms and Genres of Turkish Music in the Creations of International Art Music Composers of Turkey. URL: <https://dergipark.org.tr/en/pub/konservatuvardergisi/issue/40591/468152>, Son Erişim Tarihi: 01.11.2021
18. İnternet: Yılmaz A. (2003). Bir Seveda Geldi Başıma – Köçekçe Notası. *Türk Beşleri*. Ankara: Müzik Ansiklopedisi Yayınları, Şen Matbaası. URL: <https://www.turksanatmuzigi.org/notalarimiz/hicaznotalari/bir-sevda-geldi-basima-kocekce-notasi>, Son Erişim Tarihi: 19.10.2021.
19. Özkan, İ. H. (2003). *Türk Musıkîsi Nazariyatı ve Usûlleri Kudüm Velveleleri*. İstanbul: Ötüken Neşriyat A.Ş., 816.
20. Kösemihal, M.R. (1932). *Türk Musikisi Tarihi*. Ankara: Türk Tarih Kurumu, 6.
21. Urmevî, S. (1268). *Risâletü's-Şerefiyye fi'n-Nisabi't-Telifiyye*, Beyazıt Devlet Kütüphanesi, Nr.2167, İstanbul, 4524.
22. Yekta, R. (1922). *La Musique Turque*. Encyclopedie de la Musique et dictionnaire du conservatoire, 2845-3064.
23. Arel, H.S. (1969). *Türk Musikisi Kimindir*. İstanbul: Millî Eğitim Bakanlığı yayınevi, 13.
24. Uzdilek, S.M. (1977). *İlim ve Musiki*. İstanbul: Kültür Bakanlığı yayını, 75.
25. Boynukalın, M. (2012). Usul. *İslam Ansiklopedisi*, 42(1), 199-201.
26. İnternet: Yahya Kaçar, G. (2008). Türk Musikisinde Makam. URL: <https://dergipark.org.tr/tr/pub/istem/issue/26538/279406>, Son Erişim Tarihi: 01.11.2021
27. Dzhumajev, A. (1992). From Parda to Maqam: A Problem of The Origin of The Regional Systems. In *Regio-nale Maqam-Traditionen in Gesc-hichte und Gegenwart edited by Els-ner and Jahnichen*, 1(2), 145–162.
28. Öztürk, O.M. (2018). How was the traditional makam theory westernized fort he sake of modernization? *Rast Müzikoloji Dergisi*, 6(1), 1769-1787.
29. Can, M.C. (1993). Türk Müziğinde Makam Üzerine Bir İnceleme, Basılmamış Yüksek Lisans Tezi, Erciyes Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Kayseri, 1.

30. Dede, A.N. (1794). *Tedkik ü Tahkik*, Süleymaniye Kütüphanesi, Nafiz Paşa Kitapları, İstanbul, 88.
31. Hakkı, Ö. İ. (2006). *Türk Mûsikîsi Nazariyatı ve Usûlleri*, İstanbul: Ötüken Yayınları, 94.
32. Yekta, R. (1986). *Türk Mûsikîsi*, Çeviren: Orhan Nasuhioğlu, İstanbul: Pan Yayınları, 67.
33. Ezgi, S. (1933). *Nazarî ve Amelî Türk Musikisi*, C.1, İstanbul: Milli Mecmua Matbaası, 48.
34. Arel, H.S. (1968). *Türk Mûsikîsi Nazariyatı Dersleri*, İstanbul: Hüsnütabîât Matbaası, 14.
35. Karadeniz, M.E. (1983). *Türk Mûsikîsinin Nazariye ve Esasları*, Ankara: İş Bankası Yayınları, 64.
36. Türk Dil Kurumu (1974) Türkçe Sözlük, Ankara: TDK, 549.
37. Yahya Kaçar, G. (2002). *Ud Metodu*, Ankara: Yurt renkleri Yayınları, 71.
38. Ulunağ, S. (2003). Makam. *İslam Ansiklopedisi* 27(1), 410-412.
39. Urmevi, S. (1236). *Kitabü'l Edvâr*, Nuruosmaniye Kitaplığı, Nr.3653/1, İstanbul, 448.
40. Karadeniz, E. (2013). *Türk Mûsikîsinin Nazariye ve Esasları*, Ankara: İş Bankası Kültür Yayınları, 647.
41. Salgar, M.F. (2017). *Türk Müziğinde Makamlar, Usuller ve Seyir Örnekleri*. İstanbul: Ötüken Yayınları, 288.
42. İnternet: Paçacı Tunçay, G. (2017). Osmanlı Müziği'nde Külliyyat ve Fihristler. *OMAR*, İstanbul. URL: <https://osmanlimuzigi.istanbul.edu.tr/tr/content/yayinlar/osmanli-muziginde-kulliyat-ve-fihristler>, Son Erişim Tarihi: 04.11.2021.
43. İnternet: Altınköprü, H. (2018). Geleneksel Türk Sanat Müziğinde Makam Geçkileri. URL: <https://dergipark.org.tr/tr/pub/konservatuvardergisi/issue/40591/467218>, Son Erişim Tarihi: 02.11.2021
44. İnternet: Muhayyer. *İslam Ansiklopedisi*. URL: <https://islamansiklopedisi.org.tr/muhayyer>, Son Erişim Tarihi: 21.10.2021.
45. İnternet: Kürdi. *İslam Ansiklopedisi*. URL: <https://islamansiklopedisi.org.tr/kurdi>, Son Erişim Tarihi: 21.10.2021.
46. İnternet: Hüseyinî. *İslam Ansiklopedisi*. URL: <https://islamansiklopedisi.org.tr/huseyni>, Son Erişim Tarihi: 21.10.2021.
47. İnternet: Segah. *İslam Ansiklopedisi*. URL: <https://islamansiklopedisi.org.tr/segah>, Son Erişim Tarihi: 21.10.2021.

48. İnternet: Hüzzam. *İslam Ansiklopedisi*. URL: <https://islamansiklopedisi.org.tr/huzzam>, Son Erişim Tarihi: 21.10.2021.
49. İnternet: Saba. *İslam Ansiklopedisi*. URL: <https://islamansiklopedisi.org.tr/saba>, Son Erişim Tarihi: 21.10.2021.
50. İnternet: Nihavend. *İslam Ansiklopedisi* URL: <https://islamansiklopedisi.org.tr/nihavend--iran>, Son Erişim Tarihi: 21.10.2021.
51. İnternet: Hicazkar. *İslam Ansiklopedisi* URL: <https://islamansiklopedisi.org.tr/hicazkar>, Son Erişim Tarihi: 21.10.2021.
52. Safiyyuddin, U. (1236). *Kitabül Edvar*, Nuruosmaniye Kitaplığı, Nr3653/1, İstanbul, 73.
53. Arel, H. S. (1993). *Türk Musikisi Nazariyatı Dersleri*. Ankara: Kültür Bakanlığı yayınları, 17-18.
54. Levendoğlu, O. (2004). XIII. Yüzyıldan Bugüne Uzanan Makamlar ve Değişim Çizgileri. *Erciyes Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi* 1(17), 131-138.
55. İnternet: Karaduman, İ. (2011). Mehmet Zekâi Dede Efendi'nin Makam Anlayışının Türk Din Mûsikisine Etkileri (*Yayımlanmamış Doktora Tezi*). Ankara Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü *İslam Tarihi ve Sanatları Anabilim Dalı*, Ankara. URL: https://dspace.ankara.edu.tr/xmlui/bitstream/handle/20.500.12575/33967/400645_tez.pdf?sequence=1&isAllowed=y, Son Erişim Tarihi: 19.10.2021.
56. İnternet: Eskitaş, N. (2019). Mahmut Ekrem Karadeniz'in Türk Musikisinin Nazariye ve Esasları Adlı Kitabında Basit ve Birleşik Uşşak Makamı Çeşitleri. URL: <https://dergipark.org.tr/tr/pub/ejmd/issue/46559/584368>, Son Erişim Tarihi: 27.10.2021
57. İnternet: Yapay Zeka Nedir? IBM. URL: <https://www.ibm.com/tr-tr/cloud/learn/what-is-artificial-intelligence>, Son Erişim Tarihi: 20.10.2021.
58. Turing, A.M. (1950). *Computing Machinery and Intelligence*. Mind 49, 433-460.
59. Joshi, A.V. (2019). *Machine Learning and Artificial Intelligence*. Switzerland: Springer Nature, 261.
60. İnternet: McCarthy J. (2004). What Is Artificial Intelligence? URL: <http://jmc.stanford.edu/articles/whatisai/whatisai.pdf>, Son Erişim Tarihi: 01.11.2021.
61. İnternet: European Commission (2018). *Communication from the Commission: Artificial Intelligence for Europe*. URL: https://ec.europa.eu/knowledge4policy/publication/communication-artificial-intelligence-europe_en, Son Erişim Tarihi: 08.10.2021.
62. Brozovic, V. (2019). Application of Artificial Intelligence in the Sector of Investment Funds. Unpublished Thesis. University of Zagreb, Zagreb, 58.

63. İnternet: Mohammed, Z. (2019). Artificial Intelligence Definition, Ethics and Standards. URL: https://www.researchgate.net/publication/332548325_Artificial_Intelligence_Definition_Ethics_and_Standards, Son Erişim Tarihi: 26.10.2021.
64. Pirim, H. (2006). Yapay Zeka. *Journal Of Yaşar University*, 1(1), 81 – 93.
65. İnternet: Ongsulee, P. (2017). Artificial Intelligence, Machine Learning and Deep Learning. URL: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8259629>, Son Erişim Tarihi: 18.10.2021.
66. Martinez R. (2019). Artificial Intelligence: Distinguishing Between Types and Definitions. *Nevada Law Journal*, 19(3), 1016-1042.
67. İnternet: Danilevsky, M., Qian, K., Aharonov, R., Katsis, Y., Kawas, B., and Sen P. (2020). A Survey of the State of Explainable AI for Natural Language Processing. URL: <https://arxiv.org/abs/2010.00711>, Son Erişim Tarihi: 04.11.2021.
68. ArabChadegani, R., and ArabChadegani, Z. (2013). A Review On Expert Systems And Their Usage In Management. *Advances in Environmental Biology*, 7(8), 1460-1465.
69. Mihret, T.M. (2020). Robotics And Artificial Intelligence. *International Journal of Artificial Intelligence and Machine Learning*, 10(2), 57-78.
70. Wiley, V., and Lucas, T. (2018). Computer Vision and Image Processing: A Paper Review. *Internatioanal Journal Of Artificial Intellegence Research*, 2(1), 28-36.
71. İnternet: Morgan, J.P. (2017). Big Data and AI Strategies. URL: https://www.cfasociety.org/cleveland/Lists/Events%20Calendar/Attachments/1045/BI-G-Data_AI-JPMmay2017.pdf, Son Erişim Tarihi: 21.10.2021.
72. İnternet: Buchanan, B. G. (2019). Artificial intelligence in finance. *London: The Alan Turing Institute*. URL: <https://zenodo.org/record/2612537#.YZk8odBBxPY>, Son Erişim Tarihi: 15.10.2021.
73. İnternet: Puget, J. F. (2016). What Is Machine Learning? URL: https://www.ibm.com/developerworks/community/blogs/jfp/entry/What_Is_Machine_Learning?lang=en, Son Erişim Tarihi: 06.10.2021.
74. Mitchell, T. (1997). Does Machine Learning Really Work? *AI Magazine*, 18(3), 11-20.
75. İnternet: Dickson, B. (2017). Exploiting machine learning in cybersecurity. URL: <https://techcrunch.com/2016/07/01/exploiting-machine-learning-in-cybersecurity>, Son Erişim Tarihi: 19.10.2021.
76. Wernick, M.N., Yang, Y., Brankov, J.G., Yourganov, G., and Strother, S.C. (2010). Machine Learning in Medical Imaging. *IEEE Signal Processing Magazine*, 27(4), 25–38.

77. İnternet: Kolanović, M. and Krishnamachari, R. T. (2017). Big Data and AI Strategies: Machine Learning and Alternative Data Approach to Investing. Global Quantitative and Derivatives Strategy. URL: <https://www.cfasociety.org/cleveland/Lists/Events%20Calendar/Attachments/1045/>, Son Erişim Tarihi: 17.10.2021.
78. Russel, S. and Norvig, P. (2009). *Artificial Intelligence: A Modern Approach*. Harlow: Pearson, 1132.
79. İnternet: Mijwil, M. M. (2016). Yapay Zekâ Nedir? URL: https://www.researchgate.net/publication/323292529_Yapay_Zeka_Nedir, Son Erişim Tarihi: 28.10.2021.
80. İnternet: FSB, Financial Stability Board (2017a) *Artificial intelligence and machine learning in financial services: Market developments and financial stability implications*. URL: <https://www.fsb.org/2017/11/artificial-intelligence-and-machine-learning-in-financial-service>, Son Erişim Tarihi: 12.10.2021.
81. İnternet: McWaters, J. R. (2018). The New Physics of Financial Services: Understanding how artificial intelligence is transforming the financial ecosystem. World Economic Forum Deloitte. URL: http://www3.weforum.org/docs/WEF_New_Physics_of_Financial_Services.pdf, Son Erişim Tarihi: 02.10.2021.
82. Vapnik, N. V. and Lerner, A. Y. (1963). Pattern recognition using generalized portrait method. *Automation and Remote Control*, 24(6), 774-780.
83. İnternet: TJiang, J.L., Gradus, J.L., and Rosellini, A.J. (2020). Supervised machine learning: A brief primer, *Behavior Therapy*. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0005789420300678?via%3Dihub>, Son Erişim Tarihi: 01.10.2021.
84. Galatzer -Levy, I. R., Karstoft, K.I., Statnikov, A., and Shalev, A. Y. (2014). Quantitative forecasting of PTSD from early trauma responses: A machine learning application. *Journal of Psychiatric Research*, 59(5), 68 –76.
85. Mansson, K. N. T., Frick, A., Boraxbekk, C. J., Marquand, A. F., Williams, S. C. R., Carlbring, P., Andersson, G., and Furmark, T. (2015). Predicting longterm outcome of Internet- delivered cognitive behavior therapy for social anxiety disorder using FMRI and support vector machine learning. *Translational Psychiatry*, 5(3), 530-530.
86. Shashua, A. (2008). Introduction to Machine Learning. School of Computer Science and Engineering. Unpublished Thesis. The Hebrew University of Jerusalem. Jerusalem, Israel, 105.
87. İnternet: Mallat, S. (2012). Group Invariant Scattering. URL: <https://arxiv.org/abs/1101.2286>, Son Erişim Tarihi: 29.10.2021
88. Soro, B., and Lee, C. (2018). *Performance Comparison of Indoor Fingerprinting Techniques Based on Artificial Neural Network*. In Proceedings of the TENCON IEEE Region 10 Conference. Jeju, Korea, 56 – 61.

89. Andén, J., Lostanlen, V., and Mallat, S. (2019). Joint Time-Frequency Scattering for Audio Classification. *IEEE Transactions on Signal Processing*, 67(14), 3704-3718.
90. Andén, J., and Mallat, S. (2014). Deep Scattering Spectrum. *IEEE Transactions on Signal Processing*, 62(16), 4114-4128.
91. Bruna, A., and Mallat, S. (2013). Invariant Scattering Convolution Networks. *IEEE Transactions on Pattern Analysis Machine Intelligence*, 35(8), 1872-1886.
92. İnternet: Oyallon, E., Mallat, S., and Sifre, L. (2013). *Generic Deep Networks with Wavelet Scattering*. URL: <https://arxiv.org/pdf/1312.5940.pdf>, Son Erişim Tarihi: 04.11.2021.
93. Oyallon, E., Belilovsky, E., and Zagoruyko, S. (2017). *Scaling the Scattering Transform: Deep Hybrid Networks*. Proceedings of the IEEE International Conference on Computer Vision. Venice, Italy, 5619-5628.
94. Wang, J., Zhang, X., Gao, Q., Ma, X., Feng, X., and Wang, H. (2017). Device-Free Simultaneous Wireless Localization and Activity Recognition with Wavelet Feature. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 66(2), 1659-1669.
95. İnternet: Brown, B. (2016). School's in session — Nvidia's driverless system learns by watching. URL: <https://www.digitaltrends.com/cars/nvidia-gpu-driverless-car/>, Son Erişim Tarihi: 21.10.2021.
96. İnternet: Hanley, S. (2016). Nvidia introduces supercomputer for self driving cars. URL: <http://gas2.org/2016/01/06/nvidiaintroduces-supercomputer-for-self-driving-cars/>, Son Erişim Tarihi: 17.10.2021.
97. İnternet: Çevikoğlu, T. (2007). Klasik türk müziğinin bugünkü sorunları URL: <http://www.arsiv2007.musikidergisi.net/?p=75>, Son Erişim Tarihi: 03.11.2021.
98. Andén, J., and Mallat, S. (2011). *Multiscale scattering for audio classification*. International Society for Music Information Retrieval Conference, Miami, Florida, USA, 657-662.
99. İnternet: Mallat, S. (2016). Understanding deep convolutional networks. URL: <https://royalsocietypublishing.org/doi/10.1098/rsta.2015.0203>, Son Erişim Tarihi: 16.10.2021.
100. Vapnik, V.N. (1998). *Statistical Learning Theory*. Hoboken, NJ: Wiley Interscience, 732.
101. Ioannidis, L., Gómez, E., and Herrera, P. (2011). *Tonal Based Retrieval of Arabic and Middle-East Music by Automatic Makam Description*. 9th International Workshop on Content based Multimedia Indexing, Madrid, Spain, 31 – 36.
102. Gao, B., Dellandréa, E., and Chen, L. (2012). *Accelerated dictionary learning with GPU/Multi-core CPU and its application to music classification*. IEEE 11th International Conference on Signal Processing, Beijing, China, 1188- 1193.





GAZİ GELECEKTİR..