Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University 32:4 (2017) 1221-1232

Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi
Journal of The Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University

Elektronik / Online ISSN : 1304 - 4915
Basılı / Printed ISSN : 1300 - 1884

Klasik Türk müziğinde makam tanıma için veri madenciliği kullanımı

Didem Abidin*, Övünç Öztürk, Tuğba Özacar Öztürk
Manisa Celal Bayar Üniversitesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, 45140, Manisa, Türkiye

ÖNEÇIKANLAR

- Müzik eserleri sembolik veriye dönüştürülmüştür
- Makam tanıma için veri madenciliği algoritmaları kullanılmıştır
- "Random Forest" algoritması ile %89,7 oranında başarım gözlemlenmiştir

Makale Bilgileri
Geliş: 05.08.2016
Kabul: 09.05.2017

DOI:
10.17341/gazimmfd.369557

Anahtar Kelimeler:
Makine öğrenmesi,
dizi madenciliği,
WEKA,
random forest,
makam tanıma

ÖZET

Müzik eserlerinin sayısal ortama aktarılmasıyla birlikte, bilgisayar bilimleri müzikoloji çalışmalarının içerisinde kendine yer bulmaya başlamıştır. Müzik eserleri bilimsel araştırmalarda veri olarak kullanılmakta ve hesaplamalı müzik alanı bu alanda yapılan çalışmalar ile hızla gelişmektedir. Her ne kadar yapılan çalışmaların büyük bir bölümü sembolik olarak ifade edilmesi daha kolay olan Batı Müziği eserleri üzerine olsa da, Türk Müziği eserleri de artık çeşitli çalışmaların konusu olmaktadır. Türk Müziğinin temeli olan makam sistemi, bilgisayar bilimleri ile uğraşan araştırmacıların dikkatini çekmiş ve Türk Müziği eserleri veri madenciliği, makine öğrenmesi, sınıflandırma gibi çalışmaların konusu olmuştur. Bu çalışmada, bir ses dosyasından nota tanıma ile elde edildiği varsayılan ve 1261 Türk Müziği eserine ait sadece nota dizilerini içeren veri dosyası üzerinde makine öğrenmesi metodu ile makam tahmini yapmaya yönelik deneysel bir çalışma gerçekleştirilmiştir. MusicXML biçimindeki eserlerin makine öğrenmesi uygulamasında kullanılabilmesi amacıyla bir yazılım geliştirilmiş, bu yazılımla makine öğrenmesinde başarımı arttırmak için özgün veri kümesine dört farklı türetilmiş veri sahası eklenmiştir. Sonuç olarak, 'Rastgele Orman' algoritması ile makam tanımada %89,7 oranında başarım gözlemlenmiştir.

Using data mining for makam recognition in Turkish traditional art music

HIGHLIGHTS

- Music pieces are converted to symbolic data
- Data mining algorithms are used for makam recognition
- The performance of the "Random Forest" algorithm is observed as 89.7%

Article Info
Received: 05.08.2016
Accepted: 09.05.2017

DOI:
10.17341/gazimmfd.369557

Keywords:
Machine learning,
sequence mining,
WEKA,
random forest,
makam recognition

ABSTRACT

Computer science has become a popular reseach topic in musicology with the transfer of musical works to digital media. Musical works are used as data in scientific researches and the computational music field is developing rapidly with the work done in this area. Representing Western musical works in symbolic form is easier than Turkish musical works and as a result most of the studies in this area focus on Western Music. However, in the last few years there are some interesting studies on using data mining, machine learning and classification techniques on Turkish maqam system. This study represents an experimental work that uses machine learning to recognize the maqams of the 1261 Turkish musical works. These musical works are assumed to be obtained by note recognition from audio files. We developed a software for using the data in MusicXML format with machine learning. This software also adds four different derived variables to the original data set in order to incerase the performance of the machine learning process. As a result of the study, we observed the perfomance of the "Random Forest" algorithm as 89.7%.

*Sorumlu Yazar/Corresponding Author: didem.abidin@cbu.edu.tr / Tel: +90 236 201 2110

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

İnternetin hayatımıza yoğun bir şekilde girmesiyle birlikte, müzik eserlerinin dinlenmesi, paylaşımı ve transferi büyük ölçüde sayısal ortamda yapılmaya başlamıştır. Bu sebeple, önceden sadece nota kâğıtları üzerinde yer alan eserler artık sayısal ortama yüklenmekte ve tüm dünyada hızla dolaşabilmektedir. Yazılı müzik eserlerinin sayısal ortama geçirilmesi sadece nota kâğıtlarının taranmasından ibaret değildir. Günümüzde bir müzik eseri hakkında pek çok bilginin nota kâğıdından sayısal ortama aktarımı gerçekleşmektedir. Bu amaçla geliştirilmiş yazılım araçları büyük ölçüde Batı Müziği nota yazım kuralları ve Batı Müziği eserleri ile uyumludur. Batı müziği üzerinde yapılan sayısallaştırma çalışmaları, otomatik müzik transkripsiyonu denilen akustik bir müzik sinyalini müzikal gösterime dönüştürme noktasına varmıştır [1]. Bu konu üzerinde literatürde birçok çalışma bulunmaktadır [2, 3]. Klasik Türk Müziği birçok yapısal özelliği ile Batı Müziğinden oldukça farklıdır. Bu sebeple, Türk Müziği eserlerinin sayısal ortama aktarılması notaların taranarak. PDF, .TIF veya .JPG formatına dönüştürülmesinden öteye götürülememiştir. Oysaki Batı Müziği eserleri, yapısal olarak yine Batı Müziğine uygun yazılım araçları ile taranmakta, eserler hakkında elde edilen tüm veriler (metadata) işlenebilmekte ve pek çok bilimsel çalışmada kullanılabilmektedirler. Türk Müziği eserleri, hem makam düzeni itibariyle Batı Müziğinden daha karmaşık olduğu için hem de Türk Müziği eserlerinin sayısal ortama doğru biçimde aktarımını sağlayacak bir araç olmadığından dolayı bilimsel çalışmalarda Batı Müziği eserleri kadar yer bulamamaktadır. Günümüzde müzik eserlerinin sembolik gösterimi için en çok kullanılan dosya biçimlerinden biri MusicXML'dir. MusicXML formatı, müzik eserlerinden elde edilebilecek bilgiyi sayısal ortama aktarmak ve farklı platformlar arasında taşınmasını sağlamak için geliştirilmiştir [4]. W3C standardı olarak kabul edilen 3.0 sürümü 2011 yılında yayınlanan MusicXML, bir müzik eserini sembolik veri olarak saklama ve çeşitli uygulama ortamlarına taşıma konusunda çok etkin bir araç haline gelmiştir [5]. Örneğin bu çalışmalardan birinde, oluşturulan MusicXML veri tabanı üzerinde XQuery kullanılarak sorgulama yapılabilmektedir [6].

Uyar vd. [7] tarafından gerçekleştirilen çalışma Türk Müziğinin hesaplamalı müzik araştırmalarında kullanılabilmesi için öncülük edecek düzeydedir. CompMusic; kültürel özgünlüğü vurgulayarak, müzik bilgi işleme alanında araştırma yürütmek suretiyle müziğin otomatik tanımlamasında ilerlemeyi hedefleyen bir projedir [8]. CompMusic projesi kapsamında, Türk, Hint, Çin, Arap ve İspanyol müziği eserlerini içeren veri kümeleri oluşturulmuştur. Gulati vd. [9] proje kapsamında Hint Müziği ile ilgili çalışmalar yürütmektedir. Dünya, CompMusic projesinin bir protipidir [10]. Projenin Arap-Endülüs müziği (Mağrip) ile ilgili sonuçları internet üzerinden yayınlanmaktadır [11]. Türk Müziği eserlerinin sembolik gösterimlerini içeren veri kümesi "SymbTr" olarak adlandırılmıştır [12, 13]. SymbTr veri kümesinin kullanıldığı çalışmaların sayısı giderek artmaktadır [14]. SymbTr, bu çalışmada da veri kümesi olarak kullanılmıştır. Müzik eserlerinin nota dizilerinin incelenmesi, metin dili tanıma üzerine yapılan çalışmalar ile benzerlik gösterir [15, 16]. Benzerlik gösteren bir diğer alan metin sınıflandırmadır [17]. Müzik biliminde, bilgisayar bilimi yöntemlerinin kullanılmaya başlanmasıyla, sınıflandırma teknikleri müzik eserlerinin tanınması için bir çözüm oluşturmuştur [18]. Sınıflandırma teknikleri dışında yapay sinir ağları gibi tekniklerin de müzik eserlerinin tanınması için kullanıldığı çalışmalar ortaya çıkmıştır [19, 20]. Hatta bu teknikler, müzik eserlerinin icrasında kullanılmış enstrümanların tanımlanabilmesi için de kullanılmıştır [21]. Karar ağaçlarının kullanıldığı sınıflandırma ile ilgili çalışmalar daha fazla tür (pop, rock, jazz vb.) sınıflandırması üzerine yoğunlaşmıştır [22]. Hesaplamalı müzik çalışmalarının önemli bir bölümü ise örüntü madenciliği (pattern mining) konusunda yapılmaktadır. Örüntü madenciliği, bir veri örneği içerisinde belirli bir örüntünün tespit edilmesi tekniğidir. Müzik eserleri de birbirini takip eden seslerden oluşan bir veri olarak ele alınırsa, bu verinin içerisinde belli bir örüntünün tespiti yapılabilir [23, 24]. İran müziğinde kullanılan ve Türk Müziğindeki makam sistemine benzer bir model olan Dastgah sistemi ile ilgili olarak literatürde Dastgah tanıma ve Dastgah sınıflandırma konusunda yapılmış çalışmalar bulunmaktadır [25, 26]. Koduri vd. [27] Karnatik müzik alanında çalışmalar yürütmektedir. Bunun dışında, Hint müziği ve Avrupa halk müziği gibi farklı etnik müzikler üzerinde uygulanmış sınıflandırma ve ton tanıma çalışmaları da bulunmaktadır [28, 29].

Türk Müziği eserlerinin notası ile kayda alınmış icralarının eşleştirilmesi konusunda gerçekleştirilen bir çalışma, 44 farklı ses kaydı için %89 oranında eserin bitiş sesi ve karakteristik özelliklerinden birisi olan karar sesini ayırt etme başarısı göstermiştir [30]. Klasik Türk Müziği eserlerinin makamlarına göre sınıflandırılması konusunda literatürdeki ilk çalışmayı yapan Gedik ve Bozkurt [31], sonraki çalışmalarında, ses frekans histogramları kullanılarak otomatik ton tespiti ile makam tanıma yapmıştır [32]. Bu çalışmada yazarlar, ses frekans histogramlarının Batı Müziği eserlerine başarı ile uygulanan bir teknik olmasına rağmen, Türk Müziği eserlerinde histogramların yanı sıra makam tahmininde önemli bir yere sahip nota dizilişleri ve kalıplar bulunduğundan bahsetmektedirler. Aynı çalışmada yazarlar, perde histogramlarının Türk ve Orta Doğu makam sistemlerine uygulanmasında karşılaşılan zorlukları özetlemektedirler. Her makamın kendine özgü karar sesini makam tanımada kullanan bir diğer çalışma ise 14 şarkının farklı icralarından oluşan 57 kayıt, 24 peşrevin farklı icralarından oluşan 116 kayıt ve 19 saz semaisinin farklı icralarından oluşan 84 ses kaydı üzerinde %94,9 oranında başarıyla makam tespiti yapmıştır [33]. Aynı araştırmacılar, geliştirdikleri tekniğin Türk Müziği eserleri üzerinde güvenilir bir biçimde kullanılabileceğini göstermişlerdir [34]. Ünal vd. [35], Türk Müziğinde makam tanıması üzerine yapılmış en temel çalışmalardan biridir. Bu çalışmada N-gram temelli istatistiksel bir analiz

gerçekleştirilmiştir [36]. Seçilen 13 makamda toplam 847 eser ile ortalama %86 ila %88 arasında makam tanıma başarısı elde edilmiştir. N-gram tekniği bir dizi içerisindeki tekrar oranını bulmak için kullanıldığından, söz konusu çalışmada nota dizisi içerisinde belli bir makama ait tekrar eden yapıları bulmada kullanılmıştır. Bu teknikte kullanılan *n* değerinin arttırılması, birbiri ile karıştırılması muhtemel makamlarda olumsuz etki yaparken, birbiri ile karıştırılması mümkün olmayan makamlarda başarımı yükseltmiştir. Tablo 1, literatürde yer alan makam tanıma, karar sesi tespiti ve ton tanıma konuları üzerinde yapılmış bazı araştırmaları ve kullanılan veri biçimleri ile teknikleri göstermektedir. Bu çalışmada, literatürde yer alan tekniklerden farklı olarak, MusicXML formatındaki Türk Müziği eserlerinin nota dizilerinin bir veri işleme sürecinden geçirilmesi ve nota dizileri üzerinde bir makine öğrenmesi ve veri madenciliği aracı olan WEKA ile makam sınıflandırması yapılması amaçlanmıştır. WEKA (Waikato Environment for Knowledge Analysis) aracı, 2000 yılında Yeni Zelanda Waikato Üniversitesi'nde geliştirilmiş, açık kaynak kodlu ve veri madenciliği uygulamalarında kullanılan bir makine öğrenmesi platformudur [37]. WEKA bünyesinde C4.5, ID3, SVM, Naive Bayes ve J48 gibi pek çok sınıflandırma algoritmasını barındırmaktadır. C4.5 algoritması, karar ağaçlarına bir örnektir [38]. ID3 algoritması, klasik karar ağaçlarının iyileştirilmesi sonucu ortaya çıkmıştır [39]. SVM, değişkenler arasındaki örüntülerin bilinmediği veri setlerindeki sınıflama problemleri için önerilmiş bir makine öğrenmesi yöntemidir [40]. Naive Bayes sınıflandırıcı bağımsız varsayımlarla Bayes teoremini temel alan olasılıklı bir sınıflayıcıdır [41]. J48, C4.5 algoritmasını temel alıp, iyileştiren bir algoritmadır [42]. Wisaeng [43] WEKA'yı pazarlama alanına yönelik bir uygulama kapsamında kullanmıştır. Bunun dışında, WEKA tarımdan sağlık alanına kadar çok geniş bir uygulama alanında veri madenciliği araştırmaları ve makine öğrenmesi için kullanılmaktadır [44, 45]. Üç temel veri madenciliği işlemi olan sınıflandırma (classification), bölütleme (clustering) ve ilişkilendirme (association) işlemlerinin WEKA ile gerçekleştirilmesi mümkündür. Makale içeriği şu şekilde düzenlenmiştir: 2. bölümde, çalışmada kullanılan veri kümesinin elde edilmesi ve makine öğrenmesi aracı olan WEKA için nasıl hazırlandığı anlatılmıştır. 3. bölümde WEKA içerisinde bulunan sınıflandırma algoritmasının veri kümesi üzerinde çalışması ve elde edilen bulgular yer almaktadır. 4. bölümde ise sonuçlar tartışılmış, çalışmanın bir sonraki aşaması ile ilgili bilgi verilmiştir.

2. VERİ KÜMESİNİN ELDE EDİLMESİ (OBTAINING THE DATA SET)

Bu çalışmada kullanılan Türk Müziği eserleri literatürde belirtilen SymbTr veri kümesinden alınmıştır. Bu veri kümesinde Kürdi ve Muhayyer Kürdi makamları için az sayıda örnek bulunması yüzünden, bu iki makamdaki eserlere sırasıyla 53 ve 52 adet eser eklemesi yapılmıştır. Bu eklemeler, PDF uzantılı nota dosyalarının bir nota tarama yazılımı olan Capella-Scan 8.0 ile taranması ve eserlerin MusicXML formatına dönüştürülmesi ile elde edilmiştir [46]. Bu çalışmada kullanılan makamlar ve eser sayıları Tablo 2'de gösterilmektedir. TRT repertuvarında en çok esere sahip ilk on makam olan Hicaz, Nihavent, Hüzzam, Rast, Kürdilihicazkar, Uşşak, Hüseyni, Mahur, Muhayyerkürdi ve Hicazkar makamları çalışmaya dahil edilmiştir [47]. Bu çalışmada aşağıda anlatılacak olan nota dönüşümü ve türetilmiş değişkenlerin eklenmesi işlemlerinin otomatik gerçekleştirilebilmesi için bir Java uygulaması geliştirilmiştir. Şekil 1, bu yazılıma ait iş akışını göstermektedir. Yazılım, MusicXML dosyalarının okunarak nota dizilerinin elde edildiği birinci adım ve .arff dosyası için gerekli değişkenlerin hesaplandığı ikinci adımdan oluşmaktadır.

2.1. Nota Dönüşümü (Note Transformation)

Çok sesli Batı Müziğinde kullanılan nota değerleri, 1691 yılında Andreas Werckmeister tarafından geliştirilen Tampere Sistemi ile açıklanır [48]. Kullanılan 12 tonluk

Tablo 1. Literatürdeki çalışmalar (Studies in literature)

Referans	Amaç	Algoritma/Teknik	Veri Biçimi
	Makam tanıma	Karar ağaçları	MusicXML
Ünal vd. [35]	Makam tanıma	N-gram modeli	MusicXML
Gedik ve Bozkurt [32]	Makam tanıma	Ses frekans histogramı	Ses dosyaları
Darabi vd. [25]	Dastgah ve makam tanıma	Örüntü tanıma	Ses dosyaları
Abdoli [26]	Dastgah sınıflandırma	Bulanık mantık	Ses dosyaları
Şentürk vd. [30]	Karar sesi tespiti	Hierarchical linking	Ses dosyaları
Şentürk vd. [33]	Ton tanıma	Distribution matching	MusicXML

Tablo 2. Çalışmada Kullanılan Türk Müziği Makamları ve Eserlerin Makamlara Dağılımı (Turkish Music Makams and Number of Pieces for Makams)

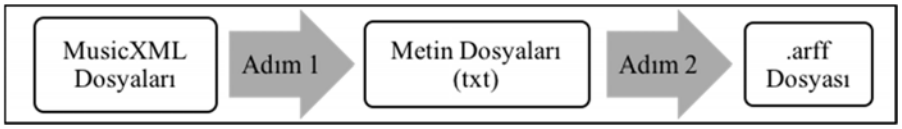
Makam Adı	Hicaz	Kürdi	Hüzzam	Nihavend	Rast	Uşşak	Hicazkar	Kürdilihicazkar	Hüseyni	Acemaşiran	Mahur	Muhayyerkürdi	Segah	Toplam
Eser Sayısı	158	67	97	128	112	119	80	70	97	63	89	84	97	1261

(notalık) diziye kromatik dizi denir. 12 nota olmasına rağmen 7 tane nota adı kullanılır. Geriye kalan 5 ses diyez ve bemollerle isimlendirilir. Kromatik dizideki nota aralıkları yarım olduğu için bir tam aralık iki yarım aralığın birleşiminden oluşur [49]. Bir önceki sesin diyezi (uygulanan sesi yarım ses tizleştiren) ile bir sonraki sesin bemolü (uygulanan sesi yarım ses pesleştiren) elde edilir. Batı Müziği sisteminde yer alan notalar harflerle isimlendirilir. La – Si – Do – Re – Mi – Fa – Sol sesleri için sırasıyla A - B - C - D - E - F - G harfleri kullanılır.

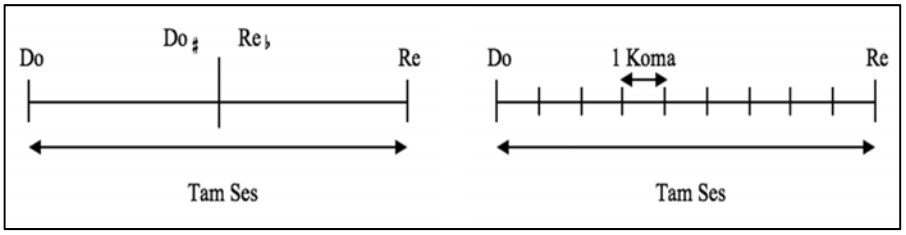
Türk Müziğinde ise, bugün kullanılan makam sistemi, Arel-Ezgi-Uzdilek sistemine göre (AEU) birbirine eşit uzaklıkta olmayan 24 aralık üzerinde yer alan 25 ses üzerine kurulmuştur [50, 51]. Türk Müziğinde iki ses arası, Batı Müziğinden farklı olarak 9 eşit parçanın birleşiminden oluşur. Bu 9 parçadan her birine "koma" adı verilmektedir ve bir makama ait karakteristik özellikler belli notaların kaç koma tiz veya pes olarak çalındığı ile belirlenir. Şekil 2, sol kısımda ses aralığının Batı Müziği'nde nasıl bölündüğü, sağ kısımda ise ses aralığının Türk Müziği'nde nasıl bölündüğü gösterilmektedir. Bu çalışma kapsamında yer alan eserlerde iki sesi 1, 4, 5 ve 8 koma olmak üzere ayıran ara sesler yer almaktadır. Bir sesin kaç koma bemol veya diyez çalınacağını göstermek için nota sembolünün önüne "#" veya "b" işaretleri getirilir. Sayısal nota gösterim araçları Batı Müziği standartlarında düzenlendiği için Klasik Türk Müziği eserlerinin nota gösteriminde bu çalışma kapsamında sözü edilen bir dönüştürme işlemine ihtiyaç duyulmuştur. Bu düzenlemeye göre kullanılan ara sesler Tablo 3 ile gösterilmektedir. Bu tabloda A (la), B (si), C (do), D (re), E (mi), F (Fa) ve G (sol) olmak üzere toplam 7 tam nota ve 28 ara ses, karşılık olarak belirlenen sembollerle gösterilmektedir. Java ile geliştirdiğimiz uygulamanın ilk adımında veri setindeki 1261 adet eserin Tablo 3'e uygun olarak otomatik dönüşümü gerçekleştirilmiştir. Şekil 3, Hicaz makamına ait ilk 7 eserin orijinalini, Şekil 4 ise bu eserlerin dönüştürülmüş hallerini kısmi olarak göstermektedir. Satırlar çok uzun olduğu için kısmi gösterim tercih edilmiş, eserlerin en başındaki belirli uzunluktaki karakterler gösterilerek satırların devamı kesilmiştir. Nota dönüşümü sürecinin ilk aşamasında, eserlerin makamını belirten donanım kısmı veri dosyasından silinmiştir. Bu donanımlar, Şekil 3'te soldaki büyük kutucukla gösterilen, örneğin hicaz makamı için *B-2slash-flatC2sharp*, gibidir. Donanım bilgisi makam için önemli ve ayırt ediciliği yüksek bir sahadır. Bu çalışmanın devamında eserlerin makamlarının icradan tanınması hedeflendiği için eserlere ait dosyalarda donanım bilgisi olmayacaktır. Bu nedenle kullanılan 1261 adet eseri donanım bilgisi silinerek dosyaların donanım içermeyen durumu modellenmektedir. Nota dönüşümü sürecinin son aşamasında ise, nota gösterimleri Tablo 3'e göre yeniden düzenlenmiştir. Örneğin Şekil 3'te sağdaki küçük kutucukta yer alan nota, dönüşümden sonra Şekil 4'teki küçük kutucuktaki harfe dönüştürülmüştür.

2.2. Türetilmiş Değişkenlerin Eklenmesi
(Adding Derived Variables)

Dönüştürülmüş nota dizileri üzerinde WEKA tarafından makam tanıma işleminin yapılabilmesi ve veri madenciliği başarımını arttırmak için, veri kümesine eklenmesi gereken türetilmiş değişkenler aynı Java uygulamasının ikinci adımında kullanılan bir algoritma ile elde edilmiştir. Bu sahaların eklenmesinden önce başarım %66 iken, sahalar eklendikten sonra başarım %89,7 seviyesine ulaşmıştır. Türetilmiş değişkenlerin eklenmesi ile .arff dosyası son



Şekil 1. Java uygulaması iş akışı (Java Application Workflow)



Şekil 2. Tampere Sistemi ve Arel-Ezgi-Uzdilek Sistemi (Tempered System and Arel-Ezgi-Uzdilek System)

Tablo 3. Türk Müziğinde yer alan koma sesler için isimlendirme tablosu (A naming scheme for tones in Turkish Music)

A		B		C		D		E		F		G	
A1b	H	B1b	J	C1#	L	D1b	U	E1b	O	F4#	Fd	G4b	Gb
A4b	Ab	B4b	Bb	C4#	Cd	D4b	Db	E4b	Eb	F5#	Q	G5b	R
A5b	I	B5b	K	C5#	M	D5b	T	E5b	P			G4#	Gd
A4#	Ad	B4#	Bd			D4#	Dd	E4#	Ed			G5#	S
						D5#	N						

şeklini almıştır. Değişkenlerin eklenmesinde yardımcı olarak kullanılan makam nitelik değerleri Tablo 4'te verilmektedir [51]. Her bir türetilmiş değişken takip eden alt başlıklarda incelenmektedir.

2.2.1. Dizi frekansını gösteren değişkenler
(Variables for scale frequencies)

Klasik Türk Müziğinde her makamın kendine özgü belirleyici bir nota dizisi vardır. Bu nota dizisinin bir eser içerisinde tekrarlanma sıklığı arttıkça eserin o makama ait olma olasılığı artmaktadır. Tablo 4'te çalışmada incelenen makamlar ve belirleyici dizileri (iki bölüm halinde) gösterilmektedir. Belirleyici dizinin iki adet olmasının sebebi, bu iki dizinin Türk Müziğinin temelini oluşturan dörtlü ve beşli sesleri içermesidir. Her makam için dörtlü ve beşliler farklılık gösterir. Örneğin Hicaz makamı dizisi, Hicaz dörtlüsü (la- si 5 koma bemol- do 4 koma diyez- re) ve Rast beşlisinin (re - mi - fa 4 koma diyez - sol - la) birleşiminden meydana gelmiştir. Buna göre .arff dosyasında her değişken bir makama ait olmak üzere toplam 13 adet frekans değişkeni vardır (Şekil 8, birinci veri satırında işaretlenen değişkenler). Örneğin bu değişkenlerden ilki Hicaz makamına ait dizi1 (AKCdD) ve dizi2 (DEFdGA) değerleri, eserin içerisindeki tekrarlanma sıklıklarının toplamıdır.

Java yazılımı içerisinde yer alan ve Şekil 5'te algoritması verilen 'MakamSıklığıHesapla' metodu ile incelenen 13 makama ait Tablo 4 ile gösterilen Dizi1 ve Dizi2 kalıplarının esere ait nota dizisi (ND) içerisindeki sıklığını hesaplar. Fakat dizinin ND içerisinde aranması sırasında basit bir altdizge (substring) testi yapılmaz, bu test esnetilerek uygulanır.

Türk Müziği kurallarına göre diziye ait altdizgelerin, nota dizisi içerisinde sırayla bulunması yeterlidir. Kullanılan algoritma Şekil 6 ile verilen örnek dizge için "elma" kelimesinin sıklık değerini 2 olarak hesaplayabilmektedir. Bulunan sıklık değerleri .arff dosyasındaki HicazFreq, KurdiFreq, HuzFreq, NihavFreq, RastFreq, UssakFreq, HicazkarFreq, KHicFreq, HuseyFreq, AAsirFreq, MahFreq, MKurdFreq ve SegahFreq değişkenlerine karşılık gelen değerler olarak yazdırılmıştır.

```
B-2slash-flatC2,A4B4A4G4G4D5C5D5E5E5E5F5G5G5F5E5E5F5E5D5C5B4A4A4B4A4G4G4D
B-2slash-flatC2,E5C5A4F4A4B4B4A4C5B4D5D5C5B4A4E5F5E5E5F5D5E5C5C5D5G5F5E5D5
B-2slash-flatC2,A4B4A4B4G4A4G4F4G4A4A4B4A4B4G4A4G4A4B4D5C5B4A4G4C5A4B4G4
B-2slash-flatC2,A4A4D5D5A4B4A4B4C5D5C5D5D5C5D5E5E5E5C5D5C5B4A4A4A4B4C5B4
B-2slash-flatC2,E5F5G5F5E5G5F5E5D5F5E5D5C5E5F5G5F5E5G5F5E5D5C5D5E5E5F5G5F5E
B-2slash-flatC2,G5A5A5A5A4G5A5B5A5G5F5E5F5G5G5F5E5E5F5G5A5G5F5E5F5G5F5E5D
```

Şekil 3. Hicaz makamına ait ilk 7 eserin orijinal nota dizisi (Note sequences of first 7 hicaz songs)

```
A4K4A4G4G4D5Cd5D5E5E5E5F5G5G5F5E5E5F5E5D5Cd5K4A4A4K4A4G4G4D5Cd5D5E5E5
E5Cd5A4F4A4K4K4A4Cd5K4D5D5Cd5K4A4E5F5E5E5F5D5E5Cd5Cd5D5G5F5E5D5Cd5K4A
A4K4A4K4G4A4G4F4G4A4A4K4A4K4G4A4G4A4K4D5Cd5K4A4G4Cd5A4K4G4A4K4Cd5D5
A4A4D5D5A4K4A4K4Cd5D5Cd5D5D5Cd5D5E5E5E5Cd5D5Cd5K4A4A4A4K4Cd5K4Cd5K4A
E5F5G5F5E5G5F5E5D5F5E5D5Cd5E5F5G5F5E5G5F5E5D5Cd5D5E5E5F5G5F5E5G5F5E5D5F
G5A5A5A5A4G5A5B5A5G5F5E5F5G5G5F5E5E5F5G5A5G5F5E5F5G5F5E5D5E5F5A5G5F5E
```

Şekil 4. İlk 7 Hicaz eserin dönüştürülmüş hali (Transformed version of first 7 Hicaz songs)

Tablo 4. Makamlara ait nitelik değerleri (Makam attribute values)

Makam Adı	Öncelik	Dizi1	Dizi2	Güçlü Ses	Karar Sesi	Seyir
Hicaz	6	AKCdD	DEFdGA	D	A	UpDown
Kürdi	7	ABbCD	DEFGA	D	A	Up
Hüzzam	7	JCDPFd	FdGAdJ	Fd	J	UpDown
Nihavend	1	GABbCD	DEbFG	D	G	UpDown
Rast	3	GAJCD	DEFdG	D	G	Up
Uşşak	7	AJCD	DEFGA	D	A	Up
Hicazkar	5	GFdPD	DCJAbG	D	G	Down
Kürdilihicazkar	2	GFEbDC	CBbAbG	D	G	Down
Hüseyni	7	AJCDE	EFdGA	E	A	UpDown
Acemaşiran	7	FGABbC	CDEF	C	F	Down
Mahur	4	GQED	DCBAG	D	G	Down
Muhayyerkürdi	7	AGFED	DCBbA	E	A	Down
Segah	7	JCDOFd	FdGAdJ	Fd	J	Up

```
ALGORİTMA
MakamSıklığıHesapla (String dizi, String ND, int sıklık)
//Girdi: Nota dizisi, Dizi1 veya Dizi2 kalıplarından birisi
//Çıktı: Dizi kalıbının tekrar sayısını gösterir sıklık değeri
x ← 0; y ← 0;
while (y<ND.length)
 if (dizi[x]==ND[y])
  x++; y++; NDkonum++;
  while ((dizi[x]==ND[y]) && (y<ND.length) && (x<dizi.length))
   x++; y++;
   if (x==dizi.length-1)
    sıklık++;
    MakamSıklığıHesapla(dizi, ND.substring(NDkonum), sıklık);
MakamSıklığıHesapla(dizi, ND.substring(NDkonum), sıklık);
return sıklık;
```

Şekil 5. MakamSıklığıHesapla Metodu Algoritması (Algorithm of MakamSıklığıHesapla Method)

x e l a b c x y z m e l a m a

Şekil 6. "elma" dizgesi için sıklık
(Frequency for the string "elma")

2.2.2. Güçlü sesleri (asma karar) gösteren değişkenler
(Variables for mainly emphasized notes)

Tüm makamlarda, makamı oluşturan dörtlü ile beşlinin ortak sesi, yani dizinin ek yerinde olan ses güçlü sestir. Örneğin Hicaz makamında hicaz dörtlüsü (la - si 5 koma bemol - do 4 koma diyez - re) ve Rast beşlisinin (re - mi - fa 4 koma diyez - sol - la) ek yeri "re" notası olduğu için bu makama göre güçlü ses re olur. Çalışmada incelenen 13 makamda beş farklı güçlü ses yer almaktadır. Her bir güçlü ses için, bu seslerin tüm nota dizilerinin içerisindeki tekrarlanma sıklıkları hesaplanmış ve Şekil 8'de dikdörtgen kutucuk içerisinde gösterilen 5 değişken Java yazılımında bulunan ve Şekil 7'de algoritması verilen 'GüçlüSesSıklığıHesapla' metodu ile bulunarak .arff dosyasına eklenmiştir.

2.2.3. Karar sesini gösteren değişken
(Variable for the final resolution pitch)

Klasik Türk Müziğinde her eser ait olduğu makamın belirleyici notası ile sonlanır. Bu notaya karar sesi denir. Makamlara karşılık gelen karar sesleri Tablo 4'te gösterilmektedir. Bu ses .arff dosyasına nota dizisinin sonundaki notadan Java uygulaması ile aktarılır.

2.2.4. Seyir gösteren değişken
(Variable for melodic progression)

Notaların makamı meydana getirmek üzere dizilmesine seyir denir. Bir eser makamına göre İnici (Down), Çıkıcı (Up) veya İnici/Çıkıcı (burada UpDown olarak adlandırılmıştır) olmak üzere üç farklı seyirden birisine sahiptir. Seyir sahasını hesaplamak için öncelikle *2.2.1*'de hesaplanmış frekans değişken değeri en yüksek olan makam bulunur. Bu makama ait seyir değeri, makama ait dizinin (dizi1 + dizi2) değerine Tablo 4'te karşılık gelen değer olarak hesaplanır ve .arff dosyasına yazılım ile otomatik olarak eklenir.

3. BULGULAR (FINDINGS)

Kullanılan tüm eserlerin verilerinden oluşan .arff dosyası, etkin bir makine öğrenmesi aracı olarak kabul edilen WEKA yazılımında kullanmak üzere hazırlanır. Kullanılan .arff dosyasında sahaların tanımı Şekil 8'de gösterilen şekilde yapılmıştır. Oluşturulan dosyadaki HicazFreq, KurdiFreq, HuzFreq, NihavFreq, RastFreq, UssakFreq, HicazkarFreq, KHicFreq, HuseyFreq, AAsirFreq, MahFreq, MKurdFreq ve SegahFreq değişkenleri sırasıyla eserde yer alan dizi frekanslarını, S1, S2, S3, S4 ve S5 sahaları eserlerdeki güçlü ses frekanslarını, "karar" sahası karar sesini ve "seyir" sahası makamın seyir bilgisini ifade eder.

Oluşturulan .arff dosyası, WEKA Explorer ile açıldığında, kullanılacak karar ağacı mekanizmasını içeren "Classify" sekmesinden "Random Forest" algoritması seçilerek WEKA'nın verileri sınıflandırması işlemi gerçekleştirilir (weka/classifiers/trees/RandomForest). Test seçeneği olarak "Cross Validation", yani k-katlamalı çapraz doğrulama seçilir ve katlama, yani "Folds" (k) parametresi 10 olarak verilir. Bu test tekniğinin iki önemli avantajı vardır. Bunlardan ilki, elde edilecek veri kümelerinin büyüklüklerinin birbirinden farklı olabilmesi ve ikincisi de veriyi eğitim grubu ve test grubu olmak üzere iki parçaya bölmeye gerek kalmadan bir bütün halinde öğrenme için kullanabilmesidir. Sınıflandırma sonucunda elde edilen değerler Şekil 9 ile gösterilmiştir.

```
ALGORİTMA
GüçlüSesSıklığıHesapla (String ND, String GüçlüSes, int GüçlüSıklık)
// Girdi: Nota dizisi, güçlü ses
// Çıktı: Güçlü ses sıklığı
k ← 0;
while (k<ND.length)
  if (ND[k] == GüçlüSes)  GüçlüSıklık++;
  k++;
return GüçlüSıklık;
```

Şekil 7. GüçlüSesSıklığıHesapla Metodu Algoritması (Algorithm of *GüçlüSesSıklığıHesapla* Method)

```
@RELATION maqam
@ATTRIBUTE HicazFreq NUMERIC
@ATTRIBUTE KurdiFreq NUMERIC
@ATTRIBUTE HuzzFreq NUMERIC
@ATTRIBUTE NihavFreq NUMERIC
@ATTRIBUTE RastFreq NUMERIC
@ATTRIBUTE UssakFreq NUMERIC
@ATTRIBUTE HicazkarFreq NUMERIC
@ATTRIBUTE KHicFreq NUMERIC
@ATTRIBUTE HuseyFreq NUMERIC
@ATTRIBUTE AAsirFreq NUMERIC
@ATTRIBUTE MahFreq NUMERIC
@ATTRIBUTE MKurdFreq NUMERIC
@ATTRIBUTE SegahFreq NUMERIC
@ATTRIBUTE S1 NUMERIC
@ATTRIBUTE S2 NUMERIC
@ATTRIBUTE S3 NUMERIC
@ATTRIBUTE S4 NUMERIC
@ATTRIBUTE S5 NUMERIC
@ATTRIBUTE karar {A,B,C,D,E,F,G,J}
@ATTRIBUTE seyir {Up, Down, UpDown}
@ATTRIBUTE Clusterattr
{cluster1,cluster2,cluster3,cluster4,cluster5,cluster6,cluster7,cluster8,cluster9,cluster10,cluster11,
cluster12,cluster13}
@DATA
11.0, 3.0, 0.0, 0.0, 2.0, 3.0, 0.0, 0.0, 2.0, 0.0, 0.0, 3.0, 0.0, 46, 11, 23, 40, 29, A, UpDown, cluster1
2.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 11, 1, 9, 13, 20, A, UpDown, cluster1
3.0, 2.0, 0.0, 0.0, 0.0, 2.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 4.0, 0.0, 19, 1, 13, 15, 12, A, Down, cluster1
1.0, 1.0, 0.0, 0.0, 0.0, 1.0, 0.0, 0.0, 1.0, 1.0, 1.0, 1.0, 0.0, 5, 1, 9, 13, 18, A, UpDown, cluster1
5.0, 4.0, 0.0, 0.0, 3.0, 8.0, 0.0, 0.0, 4.0, 4.0, 0.0, 6.0, 0.0, 59, 7, 45, 31, 18, A, Up, cluster1
22.0, 22.0, 0.0, 0.0, 0.0, 22.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 20.0, 0.0, 59, 1, 63, 55, 88, A, UpDown, cluster1
```

Şekil 8. .arff Dosyasındaki Öznitelikler (Attributes in the .arff File)

```
=== Stratified cross-validation ===
=== Summary ===

Correctly Classified Instances        1131               89.6907 %
Incorrectly Classified Instances       130               10.3093 %
Kappa statistic                                0.8876
Mean absolute error                            0.0332
Root mean squared error                        0.1125
Relative absolute error                       23.5239 %
Root relative squared error                   42.36.18 %
Total Number of Instances             1261
```

Şekil 9. WEKA Rastgele OrmanAnaliz Sonucu (WEKA Random Forest Analysis Result)

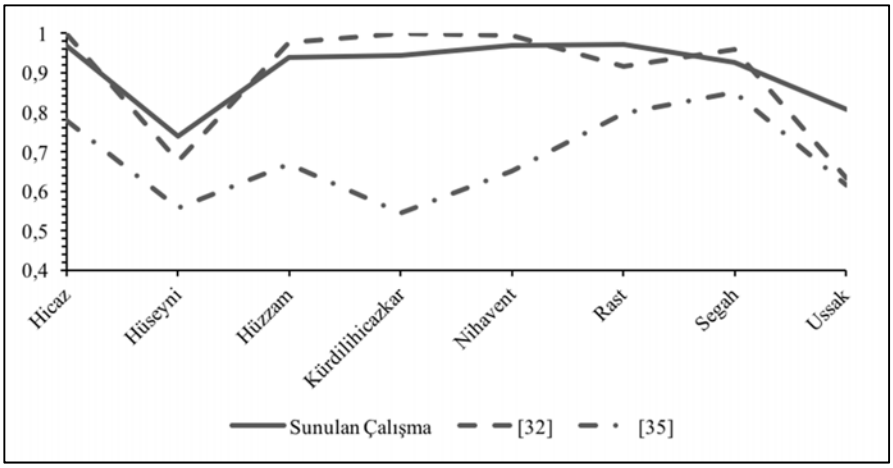
Tablo 5. Karışıklık matrisi (Confusion matrix)

	Hicaz	Kürdi	Hüzzam	Nihavend	Rast	Uşşak	Hicazkar	Kürdilihicazkar	Hüseyni	Acemaşiran	Mahur	Muhayyerkürdi	Segah	Duyarlılık (Recall) %
Hicaz	155	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	98,1
Kürdi	1	41	0	0	0	0	0	0	3	0	0	22	0	61,2
Hüzzam	0	0	86	0	0	0	3	0	0	0	0	0	8	92,0
Nihavend	0	0	0	126	1	0	1	0	0	0	0	0	0	97,3
Rast	0	0	0	0	111	0	0	0	1	0	0	0	0	97,8
Uşşak	0	1	0	0	0	102	1	0	13	0	0	2	0	82,3
Hicazkar	0	0	0	1	0	0	74	4	0	1	0	0	0	91,4
Kürdilihicazkar	6	0	0	2	0	0	2	66	0	0	0	0	0	94,3
Hüseyni	0	0	0	0	1	25	0	0	65	0	0	0	0	71,4
Acemaşiran	0	0	0	1	0	0	1	0	0	61	0	0	0	97,6
Mahur	0	1	0	1	2	0	0	0	0	0	85	0	0	97,7
Muhayyerkürdi	0	16	0	0	0	1	0	0	0	0	0	67	0	76,6
Segah	0	0	4	0	0	1	0	0	0	0	0	0	92	93,4
Kesinlik (Precision) %	95,7	69,5	95,6	96,2	96,5	79,1	90,2	94,3	76,5	98,4	100,0	73,6	92,0	

Rastgele Orman algoritması, veri sınıflandırma için yaygın olarak kullanılan bir karar ağacı tekniği olup sınıflandırmayı birbirinden bağımsız birden fazla karar ağacı kullanarak yapan ve böylece sınıflandırma değerinin yükseltilmesini sağlayan bir algoritmadır. Rastgele Orman ile elde edilen sonuca göre, %89,7'lik bir öğrenme başarısı elde edilmiştir. Sonuçlar için elde edilen "Karışıklık Matrisi" Tablo 5'te verilmiştir. Türk Müziği eserleri üzerinde makam tanıma konusunda yapılmış benzer çalışmalar ile ilgili kullanılan veri kümesi, uygulanan teknik / algoritma ve başarım değerleri Tablo 6 ile gösterilmektedir. Karşılaştırma kapsamında gerçekleştirdiğimiz çalışmaya en yakın iki çalışma Ünal vd. [35] ve Gedik ve Bozkurt'a [32] ait çalışmalardır. Ünal vd. [35], nota dizisi içerisinde belli bir makama ait tekrar eden yapıları bulmak için n-gramlardan faydalanır. N-gram kısaca bir metin içerisinde birbirine komşu harf harflerin oluşturduğu n uzunluğundaki tüm kombinasyonlardır. Örneğin, elma kelimesine ait 2 uzunluğundaki n-gram kümesi {"el", "lm", "ma"} olarak gösterilir. Eser ile makama ait yapılar arasındaki ortak n-gram sayısı arttıkça eserin o makama ait olma olasılığı da artmaktadır. N-gram tabanlı benzerlik ölçümünün zayıf noktası elde edilen başarımın kullanılan veri setinden bağımsız ve sabit olmasıdır. Gerçekleştirdiğimiz çalışma

Tablo 6. Çalışmalarda kullanılan teknikler ve sonuçları (Techniques used in the studies and resulting values)

Referans		Ünal vd. [35]	Gedik ve Bozkurt [32]
Eser Sayısı	1261	847	172
Makam Sayısı	13	13	9
Yapılan Analiz	Makam Tanıma	Makam Tanıma	Makam Tanıma
Algoritma/Teknik	Karar Ağacı	N-gram Model	Pitch Histogram
Veri Gösterimi	MusicXML	MusicXML	Ses Dosyası
Kesinlik (Precison)	%90,74	%89,81	%68,88
Duyarlılık (Recall)	%90,83	%89,20	%69,13
F- Ölçütü	%90,76	%89,41	%68,30



Şekil 10. Çalışmanın F-ölçütü bakımından Ünal vd. [35] ve Gedik ve Bozkurt'un [32] karşılaştırılması
(Comparison of the study with Ünal et. al. [35] and Gedik and Bozkurt [32] with F-measure)

makine öğrenmesi tekniklerini kullandığı için başarımın artan veri seti ile artması beklenmektedir. Fakat n-gram tabanlı bir yaklaşım veri seti büyüklüğü ne olursa olsun hep aynı başarıma sahip olacaktır. Gedik ve Bozkurt [32] ise eserlere ait ses frekans histogramlarından makam tahmini gerçekleştirmektedir. Ses frekans histogramları Batı Müziği eserlerine başarı ile uygulanan bir teknik olmasına rağmen, Türk Müziği eserlerinde histogramların yanı sıra makam tahmininde önemli bir yere sahip nota dizilişleri ve kalıplar bulunmaktadır. Dolayısıyla perde histogramlarının Türk ve Orta Doğu makam sistemlerine uygulanmasında, Gedik ve Bozkurt'un [32] belirttiği gibi zorluklar yaşanmaktadır. Tablo 6 ile belirtilen çalışmalarda sekiz adet makam ortak olarak kullanılmıştır. Ortak olarak ele alınan makamlar için çalışmalara ait F-ölçütü grafiği Şekil 10 ile verilmektedir. F-ölçütü, kesinlik ve duyarlılık ölçütlerinin bir arada kullanılarak daha anlamlı nicel değerlendirmeler elde edilmesini sağlayan bir tekniktir [52]. Çalışmada toplam 13 makamda 1261 eserin notaları kullanılmıştır. Makam seçimi yapılırken birbirine hiç benzemeyen makamlar olduğu gibi, aralarında donanım veya karar sesi bakımından benzerlik olan makamların da yer almasına dikkat edilmiştir. Eser seçiminde ise, her makam için oluşturulan veri kümesine mutlaka peşrev veya saz semai gibi sözsüz eserler eklenmiştir. Çünkü bu tip eserler Türk Müziğinde bir makama ait tüm karakteristik özellikleri taşıyan eserler olarak kabul edilirler. Eser çeşitliliğinin sağlanması açısından bu çalışmada, günümüzün popüler Türk Sanat Müziği eserleri, TRT repertuarında yer almış Türk Sanat Müziği formatında çocuk şarkıları, 20. yüzyılın ilk yarısında ve Cumhuriyet öncesi dönemde verilmiş klasik eserler ve Türk Müziği makam düzenine uygun olarak bestelenmiş fasıl şarkıları veya türkülerine de yer verilmiştir.

Çalışma sonuçlarına göre, Kürdi ve Muhayyerkürdi makamlarında duyarlılık ve kesinlik değerlerinin görece daha düşük olmasının sebebi, bu iki makamın gerçekte de birbiri ile karıştırılma olasılığının fazla olmasıdır. Kürdi makamı olması gerekirken Muhayyerkürdi makamı olarak sınıflandırılan eser sayısı, Muhayyerkürdi makamı olması gerekirken Kürdi olarak sınıflandırılan eser sayısından oransal olarak daha fazladır. Bu iki makamın dizileri biri inici diğeri çıkıcı dizi olmak üzere tamamen aynıdır. Bu sebeple WEKA'nın da iki makamı birbirinden ayırt etmede diğer makamlara göre daha az başarı göstermesi beklenen bir sonuçtur. Aynı durum Uşşak ve Hüseyni makamları arasında da yaşanmıştır [32]. Bu iki makam aynı belirleyici diziye sahip olmakla birlikte, birbirinden güçlü seslerinin ve seyir

özelliklerinin farklı oluşu ile ayrılırlar. Hüseyni makamı olması gerekirken Uşşak makamı olarak sınıflandırılan eser sayısı, Uşşak makamı olması gerekirken Hüseyni olarak sınıflandırılan eser sayısından oransal olarak daha fazladır. Elde edilen kesinlik ve duyarlılık ölçütleri gibi Şekil 10 ile verilen F-ölçütü grafiğinde de bu iki makam için başarım oranlarının daha düşük olduğu görülmektedir. Makam dizileri bakımından birbiri ile karıştırılması muhtemel olan bir diğer makam ikilisi de Hüzzam ve Segah makamıdır. Bu makamlar için sırasıyla %95,6 ve %92 gibi yüksek başarım oranları elde edilmiştir. En yüksek başarım yüzdesi Mahur makamı için elde edilmiştir. Diğer makamlardaki hiçbir eser Mahur makamı olarak sınıflandırılmamıştır. Mahur makamı, %100 kesinlik ile saptanabilmiştir.

4. SONUÇLAR VE TARTIŞMALAR (RESULTS AND DISCUSSIONS)

Bu çalışmada, bir ses dosyasından nota tanıma ile elde edilen ve 1261 Türk Müziği eserine ait sadece nota dizilerini içeren veri dosyası üzerinde makam tahmini yapmaya yönelik deneysel bir çalışma gerçekleştirilmiştir. Çalışmada, SymbTr veri kümesinin MusicXML dosyalarından yararlanılmış, yazılan bir program aracılığıyla MusicXML dosyasındaki nota değerlerinin metin formatına dönüştürülmesi sağlanmıştır. Böylece verilerin hem standart hem de tekrar kullanılabilir bir formatta saklanması mümkün olmuştur. Metin formatına dönüştürme sırasında en kritik aşama, seslerin ait oldukları makama uygun arızlara sahip olmasını sağlamaktır. Böylece uzun karakter dizileri haline dönüşen nota dizileri üzerinde, geliştirilen basit bir yazılım yardımı ile belirli makamlara ait kalıpların ve özelliklerin eserlerde yer alıp almadığının incelenmesi mümkün olmuştur. Bir eserin hangi makama ait olduğunun belirlenebilmesi için, eser üzerinde tüm makamlara ait kalıpların araştırılması gerekmiştir. 1261 eser üzerinde 13 farklı makamın ayırt edilebilmesi için, geliştirilen yazılım ile tespit edilen makam kalıplarının frekansları WEKA ile analiz edilmiş ve sonuçlar gelişmiş bir karar ağacı algoritması olan Rastgele Orman ile elde edilmiştir. Müzik eserlerinin uygun bir veri seti olarak hazırlanmasından sonra Rastgele Orman ile %89,7 gibi bir güvenilirlikle makam tanıma yapılabilmesi mümkündür.

Batı Müziği eserleri için geliştirilmiş ScoreCloud gibi yazılımlar ile, bir enstrüman ile çalınan eserin notaya dökülmesi mümkün olmaktadır [53]. Bu yazılımlar, kullandığı makam sisteminin farklı olması sebebiyle Türk Müziği için yüzde yüz uyumlu değildir. Gerçekleştirilen deneysel çalışmanın devamı olarak, icra edilen bir Türk Müziği eserlerini notaya dönüştürebilecek ve makamı otomatik olarak tanıyabilecek bir araç geliştirilmesi planlanmaktadır. Böylece, tek verisi nota dizisi olan ve bu diziden makam ve donanım çıkarımı yapabilecek bir sistem elde edilmesi mümkün olacaktır.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Benetos E., Dixon S. Giannoulis D., Kirchhoff H. ve Klapuri A., Automatic music transcription: challenges and future directions, Journal of Intelligent Information Systems, 41 (3), 407-434, 2013.
2. O'Brien C. ve Plumbley M., Automatic Music Transcription Using Low Rank Non-Negative Matrix Decomposition, 25th European Signal Processing Conference (EUSIPCO2017), Kos Adası-Yunanistan, 28 Ağustos-2 Eylül, 2017.
3. Sigtia S., Benetos E., Dixon S., An end-to-end neural network for polyphonic piano music transcription, IEEE/ACM Transactions on Audio, Speech and Language Processing (TASLP), 24 (5), 927-939, 2016.
4. Good M., MusicXML for Notation and Anaylsis, Computing in Musicology, 12, 113-124, 2001.
5. MusicXML 3.0 Tutorial, https://wpmedia. musicxml.com. Yayın tarihi Ağustos 10, 2011. Erişim tarihi Şubat 14, 2016.
6. Ganseman J., Scheunders P., D'haes W., Using XQuery on MusicXML Databases for Musicological Analysis, 9. International Society for Music Information Retrieval Conference (ISMIR 2008), Philadelphia-USA, 433-438, 14-18 Eylül, 2008.
7. Uyar B., Atlı H.S., Şentürk S., Bozkurt B., Serra X., A Corpus for Computational Research of Turkish Makam Music, 1. International Workshop on Digital Libraries for Musicology (DLfM), Londra, İngiltere, 1-7, 12 Eylül 2014.
8. Serra X., A Multicultural Approach in Music Information Research, 12. International Society for Music Information Retrieval Conference (ISMIR 2011), Florida-A.B.D., 151-156 , 24-28 Ekim, 2011.
9. Gulati S., Serra J., Ishwar V., Serra X., Mining Melodic Patterns in Large Audio Collections of Indian Art Music, International Conference on Signal Image Technology & Internet Based Systems - Multimedia Information Retrieval and Applications (SITIS 2014), Marakeş-Fas, 23-27 Kasım, 2014.
10. Dunya_Beijing_Opera_https://musicbrainz.org/collection/40d0978b-0796-4734-9fd4-2b3ebe0f664c. Yayın tarihi Haziran 6, 2011. Erişim tarihi Şubat 15, 2016.
11. Arab_Andalusian_Audio_Collection_http://archive.org /search.php?query=arab-andalusian. Yayın tarihi Haziran 6, 2017. Erişim tarihi Eylül 22, 2017.
12. Karaosmanoğlu M.K., A Turkish Makam Music Symbolic Database For Music Information Retrieval: SymbTr, 13. International Society for Music Information Retrieval Conference (ISMIR 2012), Porto-Portekiz, 223-228, 8-12 Ekim, 2012.
13. Turkish Makam Music Symbolic Data Collection. https://github.com/MTG/SymbTr. Yayın tarihi Eylül 28, 2015. Erişim tarihi Şubat 14, 2016.
14. Sierra J., Creating Research Corpora for the Computational Study of Music: the case of the CompMusic Project, AES 53. International Conference on Semantic Audio, Londra-İngiltere, 1-9, 27-29 Ocak, 2014.
15. Haltaş A., Alkan A., Karabulut M., Performance Analysis of Heuristic Search Algorithms in Text Classification, Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University, 30 (3), 417-427, 2015.

16. Kaya Y. ve Ertuğrul Ö.F., A Novel Feature Extraction Approach for Text Based Language Identification: Binary Patterns, Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University, 31 (4), 1085-1094, 2016.

17. Çelik C. ve Bilge Ö.Ş., Feature Selection with Weighted Conditional Mutual Information, Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University, 30 (4), 585-596, 2015.

18. Weihs C., Ligges U., Mörchen F. ve Müllensiefen D., Classification in Music Research, Advances in Data Analysis and Classification, 1 (3), 255-291, 2007.

19. Sigtia S., Lewandowski N.B. ve Dixon S., Audio Chord Recognition with a Hybrid Recurrent Neural Network, 16. International Society for Music Information Retrieval Conference (ISMIR 2015), Malaga-Spain, 127-133, 26-30 Ekim, 2015.

20. Lewandowski N.B., Bengio Y., Vincent P., Audio Chord Recognition with Recurrent Neural Networks, 14. International Society for Music Information Retrieval Conference (ISMIR 2013), Curitiba-Brasil, 335–340, 4-8 Kasım, 2013.

21. Osmalskyj J., Embrechts J-J, Pierard S., Van Droogenbroeck M., Neural Networks for Musical Chords Recognition, Journees d'informatique Musicale (JIM 2012), Mons-Belgium, 39-42, 9-11 Mayıs, 2012.

22. Nasridinov A. ve Park Y.H., A Study on Music Genre Recognition and Classification Techniques, International Journal of Multimedia and Ubiquitous Engineering (IJMUE), 9 (4), 31-42, 2014.

23. Long C., Wong R.C.W., Sze R.K.W., T-Music: A Melody Composer Based on Frequent Pattern Mining, IEEE 29. International Conference on Data Engineering (ICDE), Brisbane-Australia, 1332-1335, 8-11 Nisan, 2013.

24. Koh J.L. ve Yu W.D.C., Efficient Feature Mining in Music Objects, Database and Expert System Applications (DEXA), 2113, Springer, 221-231, 2001.

25. Darabi N., Azimi N., Nojumi H., Recognition of Dastgah and Makam for Persian Music with Detecting Skeletal Melodic Models, 2. IEEE BENELUX/DSP Valley Signal Processing Symposium, Antwerp-Belçika, 28-29 Mart, 2006.

26. Abdoli S., Iranian Traditional Music Dastgah Classification, 12. International Society for Music Information Retrieval Conference (ISMIR 2011), Florida-A.B.D., 275-280, 24-28 Ekim, 2011.

27. Koduri G.K., Gulati S., Rao P., Serra X., Rāga Recognition Based on Pitch Distribution Methods, Journal of New Music Research, 41, 337–350, 2012.

28. Nagavi T.C. ve Bhajantri N.U., Overview of Automatic Indian Music Information Recognition, Classification and Retrieval Systems, International Conference on Recent Trends in Information Systems, 111–116, 2011.

29. Temperley D. ve Marvin E.W., Pitch-Class Distribution and the Identification of Key, Music Perception, 25 (3), 193–212, 2008.

30. Şentürk S., Holzapfel A. ve Serra X., An Approach for Linking Score and Audio Recordings in Makam Music of Turkey, 2. CompMusic Çalıştayı, İstanbul-Türkiye, 95-106, 12-13 Temmuz, 2012.

31. Gedik A.C. ve Bozkurt B., Automatic Classification of Turkish traditional Art Music Recordings by Arel Theory, Conference on Interdisciplinary Musicology (CIM 2008), Selanik-Yunanistan, 2-6 Temmuz, 2008.

32. Gedik A.C. ve Bozkurt B., Pitch-Frequency Histogram-Based Music Information Retrieval for Turkish Music, Signal Processing, 90, Elsevier, 1049-1063, 2010.

33. Şentürk S., Gulati S., Serra, X., Score Informed Tonic Identification for Makam Music of Turkey, 14. International Society for Music Information Retrieval Conference (ISMIR 2013), Curitiba-Brezilya, 4-8 Kasım 2013.

34. Şentürk S., Gulati S., Serra X., Towards Alignment of Score and Audio Recordings of Ottoman-Turkish Makam Music, 4. International Workshop on Folk Music Analysis (FMA), İstanbul-Türkiye, 12-13 Haziran, 2014.

35. Ünal E., Bozkurt B., Karaosmanoğlu M.K., N-Gram Based Statistical Makam Detection on Makam Music in Turkey Using Symbolic Data, 13. International Society for Music Information Retrieval Conference (ISMIR 2012), Porto-Portekiz, 8-12 Ekim, 2012.

36. Jurafsky D. ve Martin J.H., N-Grams, Speech and Language Processing, Pearson Education, 93-136, 2014.

37. Frank E. ve Witten I.H., Data Mining, Morgan Kaufmann Publishers, 2000.

38. Quinlan J.R., C4.5 Programs for Machine Learning, Morgan Kaufmann Publishers, 1993.

39. Vasudevan P., Iterative Dichotomiser-3 Algorithm in Data Mining Applied to Diabetes Database, Journal of Computer Science, 10 (7), Science Publications, 1151-1155, 2014.

40. Cortes C. ve Vapnik V., Support-Vector Networks, Machine Learning 20 (3), 273-297, 1995.

41. Zhang H., The Optimalty of Naive Bayes, 17. International Florida Artificial Intelligence Research Society Conference (FLAIRS 2004), Florida-USA, 562-567, 12-14 Mayıs, 2004.

42. Quinlan J.R., Learning with Continuous Classes, 5. Australian Joint Conference on Artificial Intelligence (AI'92), Hobart-Tazmanya, 343-348, 16-18 Kasım, 1992.

43. Wisaeng K., A Comparison of Different Classification Techniques for Bank Direct Marketing, International Journal of Soft Computing and Engineering (IJSCE), 3 (4), 116-119, 2013.

44. Chauhan Y. ve Vania J., J48 Classifier Approach to Detect Characteristic of Bt Cotton Base on Soil Micro Nutrient, International Journal of Computer Trends and Technology (IJCTT), 5 (6), 305-309, 2013.

45. Kaur G. ve Chhabra A., Improved J48 Classification Algorithm for the Prediction of Diabetes, International Journal of Computer Applications, 98 (22), 13-17, 2014.

46. Capella Music Software. http://www.capella-software.com/us/. Yayın tarihi Mayıs 1, 2016. Erişim tarihi Eylül 22, 2017.

47. Bozkurt B., Ayangil R. ve Holzapfel A., Computational Analysis of Turkish Makam Music: Review of State-of-the-Art and Challenges, Journal of New Music Research, 43 (1), 3-23, 2014.

48. Werckmeister A., Die Musicalische Temperatur, Quedlinburg, Almanya, 1691.

49. T.C. Milli Eğitim Bakanlığı, Müzikte Sistem ve Makamlar, MEGEP (Mesleki Eğitim ve Öğretim Sisteminin Güçlendirilmesi Projesi) Raporu, Ankara-Türkiye, 4-5, 2007.

50. Can M.C., Geleneksel Türk Sanat Müziğinde Arel - Ezgi - Uzdilek Ses Sistemi ve Uygulamada Kullanılmayan Bazı Perdeler, Gaz Üniversitesi Gazi Eğitim Fakültesi Dergisi, 22 (1), 175-181, 2002.

51. Özkan İ.H., Türk Musikisi Sistemi, Türk Musikisi Nazariyatı ve Usulleri Kudüm Velveleleri, Ötüken Neşriyat, İstanbul, Türkiye, 1994.

52. Coşkun C. ve Baykal A., Veri Madenciliğinde Sınıflandırma Algoritmalarının Bir Örnek Üzerinde Karşılaştırılması, XIII. Akademik Bilişim Konferansı Bildirileri, Malatya-Türkiye, 51-58, 2-4 Şubat 2011.

53. DoReMIR Music Research AB. Scorecloud Studio. http://scorecloud.com/download/. Yayın tarihi Aralık 5, 2014. Erişim tarihi Eylül 22, 2017.