

**T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**TÜRK MUSİKİSİ SEMBOLİK VERİLERİ ÜZERİNDE
HESAPLAMALI EZGİ ANALİZİ**

MUSTAFA KEMAL KARAOSMANOĞLU

**DOKTORA TEZİ
MATEMATİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
MATEMATİK MÜHENDİSLİĞİ PROGRAMI**

**DANIŞMAN
PROF. DR. FATİH TAŞÇI**

İSTANBUL, 2015

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

TÜRK MUSİKİSİ SEMBOLİK VERİLERİ ÜZERİNDE
HESAPLAMALI EZGİ ANALİZİ

Mustafa Kemal KARAOSMANOĞLU tarafından hazırlanan tez çalışması 20 Ocak 2015 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Matematik Mühendisliği Anabilim Dalında **DOKTORA** olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı

Prof. Dr. Fatih TAŞÇI - Yıldız Teknik Üniversitesi

Eşdanışman

Doç. Dr. Barış BOZKURT - Koç Üniversitesi

Jüri Üyeleri

Prof. Dr. Fatih TAŞÇI - Yıldız Teknik Üniversitesi

Doç. Dr. Barış BOZKURT - Koç Üniversitesi

Prof. Dr. Mustafa SİVRİ - Yıldız Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Metin ARIK - Boğaziçi Üniversitesi

Prof. Dr. Nilgün Doğrusöz DİŞİAÇIK – İstanbul Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Turan SAĞER - Yıldız Teknik Üniversitesi

Doç. Dr. Coşkun YAKAR - Gebze Teknik Üniversitesi

Müzik, kültürün en önemli bileşenlerindendir. Toplamların sevinç, hüzün, coşku gibi ortak duygularının; doğal afet, göç gibi sosyal olayların ve dinsel yakarışların birinci ağızdan dile getiriliş, paylaşım ve aktarım yollarından biridir. Müziğin tüketicileri hemen hemen tüm toplum kesimlerinden oluşmakla birlikte, besteci ve icracıların genellikle müzik eğitimi alması gerekir. Buna karşın pek çok ünlü müzik insanı herhangi bir müzik eğitimi almadan üstad mertebesine yükselebilmiş, doğuştan gelen beceri ve çevreden edinilen bilgiler bu insanların beğeniyle seslendirilen besteler ya da severek dinlenen icralar gerçekleştirmesi için yeterli olmuştur.

Bu çalışmada üzerine odaklanılan hesaplamalı müzikoloji (*computational musicology*) disiplini ise müziğin matematik ve fizik yönüyle ilgilenir. Dolayısıyla ilgi alanı, eğitim almış olsalar da müzisyenlerin seyrek eğildikleri bir daldır. Bu disiplinle, Türk musikisi eser notalarının bilgisayar kullanılarak yazılıp seslendirilebildiği ilk yazılım olan Mus2-Alfa'yı geliştirirken tanıştım. Daha sonra iki ulusal (*Türk makam müziği perdelerini çalabilen piyano imali* - YTÜ ve *Klasik Türk müziği kayıtlarının otomatik olarak notaya dön-külmesi ve otomatik makam tanıma* - TÜBİTAK), bir uluslararası (*Hesaplamalı modeller ile dünya müzikleri araştırması* – www.compmusic.upf.edu) projede görev aldım. Doktora tezi sürecim, *Türk makam müziğinin otomatik ezgi analizi* başlıklı üçüncü bir ulusal projede TÜBİTAK tarafından iki yıllık burs verilmek suretiyle desteklenmiştir. Bunun doğal bir sonucu olarak, doktora tezi ile son projenin içeriği büyük ölçüde örtüş-mektedir. Dolayısıyla, bu tezde anlatılan uygulamalar yalnızca benim katkılarım ile oluş-mamıştır. Proje kapsamında yayınlanan dergi ve konferans makalelerindeki imzalar ve bunların sıralaması, sözkonusu katkıların nasıl bir dağılım gösterdiğini yansıtmaktadır.

Tezin ekindeki CD'de, üzerinde çalışılan veriler ve Matlab ile yazılmış kodlar bulunmak-tadır. İlerde veriler üzerinde düzenleme yapacak araştırmacıları gözönünde bulundura-rak, Mus2-Alfa yazılımının Visual Basic platformundaki kaynak kodlarını ve veritabanını da araştırmacılarla paylaşım açtım. Bu programla ilgili ayrıntılı bilgiler Ek B'dedir.

Çalışmamın gerçekleşmesinde desteğini esirgemeyen danışmanım Prof. Dr. Fatih Taşçı'ya, baştan sona her aşamada yardımcı olan eşdanışmanım Doç. Dr. Barış Bozkurt'a, tez izleme komitesindeki öteki iki üye Matematik Mühendisliği anabilim dalı başkanı Prof. Dr. Mustafa Sivri ve Prof. Dr. Metin Arık'a teşekkürlerimi sunarım.

Tezi, bitmesine yakın günlerde yitirdiğim annemin tertemiz anısına armağan ediyorum.

Ocak, 2015

Mustafa Kemal KARAOSMANOĞLU

İÇİNDEKİLER

Sayfa	
SİMGE LİSTESİ	viii
KISALTMA LİSTESİ	vi
ŞEKİL LİSTESİ	vi
ÇİZELGE LİSTESİ	vii
ÖZET	ix
ABSTRACT	xi
BÖLÜM 1	
GİRİŞ	1
1.1 Literatür Özeti	1
1.1.1 Ezgi Analizinde Matematiksel Yöntemler	2
1.1.2 Hesaplamalı Türk Musikisi Literatürü	13
1.2 Tezin Amacı	16
1.3 Orijinal Katkı	17
BÖLÜM 2	
MATEMATİK VE MÜZİK	18
2.1 Nota / Perde Kavramı	18
2.2 Ses Sistemleri	21
2.2.1 Pisagor Ses Sistemi	21
2.2.2 Zarlino Ses Sistemi	23
2.3 Müzikal Aralık	23
BÖLÜM 3	
GEREÇ	26
3.1 Türk Musikisi ve Sembolik Gösterim	26
3.2 SymbTr Dosya Formatı	28
3.3 Türk Musikisi ve MIDI	38
3.4 Bazı İstatistikler	40
3.5 Veritabanının kullanımı	41
BÖLÜM 4	

YÖNTEM	42
4.1 n-gram Analizi ile Makam Tanıma	42
4.1.1 İlk Sonuçlar	44
4.1.2 Makam Sınıflandırma için Ek Özelliklerin Kullanılması	48
4.1.3 Ezgisel Öznitelikler Kullanılarak Hiyerarşik Sınıflandırma.....	51
4.1.4 Kuramsal İpuçları	52
4.2 İstatistiksel Karar Kuramı Teknikleriyle Makama Özgü Motif Belirleme	55
4.3 Yapay Öğrenme Teknikleriyle Otomatik Ezgi Bölütleme	56
4.3.1 Ezgi Bölütleme	57
4.3.2 Nota Yazımı	59
4.3.3 Literatürdeki Modellerin Test Edilmesi	60
4.3.4 Elle Ezgi ve Geçki / Çeşni Bölütleme Verilerinin Oluşturulması	63
4.3.5 Etiketlerin Sayısal Olarak Okunabilir Duruma Getirilmesi.....	64
4.3.6 İşaretlemelerin Basılı Nota Üzerinde Gösterilmesi	67
4.3.7 Ezgi Sınırlarını Belirleyen Yeni Algoritmanın Tasarım ve Testi	67
4.3.8 MIDI Toolbox'taki Ezgi Bölütleme Algoritmalarının Adaptasyonu	69
4.3.9 Veri Adaptasyonu	69
4.3.10 Kod Adaptasyonu	71
4.3.11 Test için Kullanılan Veriler.....	71
4.3.12 Öğrenme Tabanlı Tasarım	73
4.3.13 Yeni Önerilen <i>Makam</i> Tabanlı Öznitelik	74
4.3.14 Yeni Önerilen <i>Usul</i> Tabanlı Öznitelik.....	75
4.3.15 Öznitelik Olarak Kullanılan Mevcut Karar Fonksiyonları.....	77
4.3.16 Otomatik Bölütleme için Kullanılan Denetimli Öğrenme Yöntemi... ..	78
4.3.17 Doğrusal Diskriminant Analizi	80
4.3.18 Sınıflandırma	82
4.3.19 Testler ve Sonuçlar	82
4.3.20 Beş Öznitelikli Temel Kurgu için Testler	84
4.3.21 Dokuz Öznitelikli Genişletilmiş Kurgu için Test Sonuçları	84
4.3.22 Yedi Öznitelikli Kurgu için Test Sonuçları.....	85
4.3.23 Tek Başlarına Makam ve Usul Özniteliklerinin Test Sonuçları	85
4.3.24 Literatürden Tek Tek Özniteliklerin Test Sonuçları.....	85
4.3.25 <i>F</i> -ölçütleri Üzerinde İstatistik Anlamlılık Analizi	86
4.3.26 Değerlendirme	87
4.3.27 Ezgi Sınırlarının Makam Perdeleriyle İlişkisi.....	88
 BÖLÜM 5	
SEYİR ANALİZİ	92
 BÖLÜM 6	
SONUÇ VE ÖNERİLER	94
KAYNAKLAR	97
Ek-A	
PAYLAŞIMA AÇILAN MALZEMELER	107

Ek-B

MUS2-ALFA YAZILIMI	108
ÖZGEÇMİŞ	131

SİMGE LİSTESİ

- ♭ Arel – Ezgi – Uzdilek notalama sisteminde önüne geldiği notayı 1 Pisagor koması pestleştiren bemol. *Fazla* (F) bemolü
- ♭² Türk halk müziği notalama sisteminde kullanılan bemollerden biri. SymbTr’de 2 Holder koması değerinde temsil edilmiştir
- ♭² Karma notalama sisteminde önüne geldiği notayı 2 Holder koması pestleştiren bemol. *İrha* bemolü
- ♭³ Karma notalama sisteminde önüne geldiği notayı 3 Holder koması pestleştiren bemol. *Eksik Bakıyye* bemolü
- ♭ Arel – Ezgi – Uzdilek notalama sisteminde önüne geldiği notayı 4 Pisagor koması pestleştiren bemol. *Bakıyye* (B) bemolü
- ♭ Türk halk müziği notalama sisteminde kullanılan bemollerden biri. SymbTr’de 5 Holder koması değerinde temsil edilmiştir

KISALTMA LİSTESİ

12TET	12 Ton Eşit Tamperaman (12 Tone Equal Temperament)
53TET	53 Ton Eşit Tamperaman (53 Tone Equal Temperament)
AEU	Hüseyin Sadettin Arel, Suphi Ezgi ve Salih Murat Uzdilek'in tanımladıkları Türk musiki ses sistemi (Bu bilginlerin soyad baş harflerinin biraraya gelmesiye oluşmuştur)
API	Mutlak Perde Değişimleri (Absolute Pitch Interval)
GMM	Gauss Karışım Modelleri (Gaussian Mixture Models)
IOI	Notaların başlama anları arasındaki fark (Inter-Onset Interval)
KTM	Klasik Türk Musikisi
LBDM	Yerel Sınır Belirleme Modeli (Local Boundary Detection Model)
LOO	Birini dışarıda bırak (Leave-one-out)
MIR	Müzik Bilgi Erişimi (Music Information Retrieval)
NLP	Doğal Dil İşleme (Natural Language Processing)
OOI	Bir notanın bitim anı ile sonraki perdenin başlama anı arasındaki fark (Onset to Offset Interval)
SP	Kesit Olasılıkları (Segment Probabilites)
SymbTr	Türk müziği sembolik formatı ve veritabanı
THM	Türk Halk Müziği
TGU	Zamansal Gestalt Birimleri (Temporal Gestalt Units)
VLMM	Değişken uzunluklu Markov modelleri (Variable-Length Markov Models)

ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 3.1 Sembolik verilerin kaynağı olan Türk musikisi için ilişkisel veritabanı sistemi .	27
Şekil 3.2 Bir halk türküsünün KTM (üstte), THM (ortada) ve karma (altta) formatlardaki gösterimleri.....	30
Şekil 3.3 SymbTr'deki tüm verilerin toplandığı 3 oktavlık alan ve bazı koma no'ları	35
Şekil 4.1 Birini-dışarıda-bırak deneysel kurgusunun akış şeması.....	45
Şekil 4.2 Muhayyer ve Hüseyinî makamları için ezgisel yürüyüş grafikleri [119]	50
Şekil 4.3 Hiyerarşik sınıflandırma yaklaşımı	52
Şekil 4.4 Rast – Mahur, Hüseyinî – Muhayyer ve Uşşak – Beyâtî karıştırmaları için Başlangıç İndisine karşı Deltalar Toplamları ve Maksimum Olabilirlik karar sınırları	54
Şekil 4.5 Otomatik ezgi analiz sonucuna örnek eserin piyano rulosu görünümü (üstte), ezgilerin makam aitlik dereceleri (altta) [121].....	56
Şekil 4.6 Mus2 programı nota giriş arayüzü ve SymbTr formatında kayıt menüsü.....	60
Şekil 4.7 TGU algoritmasının Acemaşiran makamındaki bir esere uygulanışı	61
Şekil 4.8 Karcıgar makamında bir örnek-özün notası, piyano rulosu görünümündeki grafiği ve LBDM algoritmasıyla bölütlenmiş şekli	62
Şekil 4.9 Bir uzmanca bölütlenen notanın ilk satırı ve ilk iki ölçü için Grouper algoritmasının öngördüğü sınırlar.....	63
Şekil 4.10 Doğrudan grafik dosyasında işaretleme yapan uzmanın etiketleri.....	64
Şekil 4.11 Uzman işaretlemelerinin grafik arayüzle girilmesine bir örnek	66
Şekil 4.12 Üç uzmanın etiketlerinin tek bir basılı nota üzerindeki toplu görünümü	68
Şekil 4.13 Cümlecik uzunluklarının nota sayısı ve saniye cinsinden üç veri grubunda dağılımı.....	73
Şekil 4.14 Acemaşiran makamından eserleri bölütleyen uzman verilerinde ezgi sınırına denk gelen perde dağılımları. Birinci (üstte) ve üçüncü (altta) uzman verisinden.....	75
Şekil 4.15 Ağıraksak usulündeki eserlerde işaretlenen ezgi sınır dağılımları: Birinci (üstte), üçüncü (ortada) uzman verisinden ve usulünün sembolik gösterimi (altta)	76
Şekil 4.16 Ezgi sınırlarının usulün hangi vuruşlarına denk geldiğine ilişkin grafik (üstte), 4/4'lük Sofyan usulünün sembolik gösterimi (altta).....	77
Şekil 4.17 İki sınıflı bir durum için doğrusal diskriminant çözümlemesi örneği [131]	79
Şekil 4.18 Rast makamındaki eserlerin ezgi sınırlarındaki genel perde dağılımı	89
Şekil 4.19 Rast makamındaki Hacı Arif Bey (üstte) ve sazeserlerinde (altta) ezgi sınırlarındaki perde dağılımı	90
Şekil 4.20 Segâh makamındaki eserlerin ezgi sınırlarındaki genel perde dağılımı	91
Şekil 4.21 Hüz zam makamındaki eserlerin ezgi sınırlarındaki genel perde dağılımı	91
Şekil 5.1 Muhayyer ve Hüseyinî makamları için seyir gösterimleri (Bozkurt vd. [133]) ..	93

ÇİZELGE LİSTESİ

	Sayfa
Çizelge 2.1 Temel sesin ve ikinci armoniğin armonikleri	19
Çizelge 2.2 Pisagor sistemindeki diyatonik notaların bağıl frekansları.....	22
Çizelge 2.3 Zarlino sistemindeki diyatonik notaların bağıl frekansları	24
Çizelge 3.1 THM (17) ve KTM (24) ile 53TET perdelerinin ilişkisi. Koma53 sütunu, 4. oktavdaki değerleri göstermektedir	33
Çizelge 3.2 Şekil 3.2-c'deki notanın SymbTr'deki görünümü.....	38
Çizelge 4.1 2-gram sonuçlarına ait karıştırma matrisi. Gri hücreler, aynı diziye kullanan makamların karıştırmalarını göstermektedir.....	45
Çizelge 4.2 n uzunluğunun artış etkisi	46
Çizelge 4.3 n -gram uzunluğu değişimi ve farklı gösterimler için başarı performansları. 47	
Çizelge 4.4 Değişik kesitler için $n = 1, 2$ and 3 deneylerinin sonuçları.....	50
Çizelge 4.5 Hiyerarşik sınıflandırmanın g -gram çıktılarına katkısı ve $p < 0.005$ için anlamlılık testi.....	55
Çizelge 4.6 Yeni yazılan veya uygun formata dönüştürülen notaların makamsal ve dönemsel dağılımı.....	58
Çizelge 4.7 İşaretlenen eser sayıları.....	65
Çizelge 4.8 Şekil 4.11'deki notanın ilk satırının ve işaretlemelerin SymbTr v2 dosyasına işlenmiş hali.....	66
Çizelge 4.9 Karcıgar örnek-özün ilk satırının <i>nmat</i> formatındaki görünümü.....	70
Çizelge 4.10 Ezgi ve geçki / çeşni sınırlarının MatLab <i>struct</i> formatında <i>bolut</i> değişkeninde temsili	71
Çizelge 4.11 Ezgi bölütleme sistemleri toplu sonuçlar	72
Çizelge 4.12 Ezgi bölütlemeye kullanılan eserlerin makam ve usul dağılımları	72
Çizelge 4.13 Uzman ezgi sınır işaretlerinin birbirleriyle uyum düzeyi	73
Çizelge 4.14 Kesinlik ve andırma değerlerinin hesaplandığı parametreler	83
Çizelge 4.15 Beş öznitelikli temel kurgu için karıştırma matrisleri	84
Çizelge 4.16 Beş öznitelikli temel kurgu için doğrulama ölçümleri	84
Çizelge 4.17 Dokuz öznitelikli genişletilmiş kurgu için karıştırma matrisleri	84
Çizelge 4.18 Dokuz öznitelikli genişletilmiş kurgu için doğrulama ölçümleri	84
Çizelge 4.19 Yedi öznitelikli kurgu için karıştırma matrisleri	85
Çizelge 4.20 Yedi öznitelikli kurgu için doğruluk ölçümleri.....	85
Çizelge 4.21 Makam ve usul tabanlı özniteliklerin tek tek kullanıldıklarındaki doğrulama ölçümleri	85

Çizelge 4.22 Literatürden tek tek özniteliklerin doğrulama ölçümleri (VK: Veri kümesi)	86
Çizelge 4.23 Dokuz öznitelikli melez sistemin literatürdeki yöntemlere karşı eser başına <i>F</i> -ölçütlerinde gösterdiği ortalama gelişme.....	87
Çizelge B. 1 Şekil B. 10'daki notanın geri planda kaydedilmiş hali	112

TÜRK MUSİKİSİ SEMBOLİK VERİLERİ ÜZERİNDE HESAPLAMALI EZGİ ANALİZİ

Mustafa Kemal KARAOSMANOĞLU

Matematik Mühendisliği Anabilim Dalı

Doktora Tezi

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Fatih TAŞÇI

Eşdanışman: Doç. Dr. Barış BOZKURT

Müziğin matematik yöntemlerle modellenmesi ve benzetimi olarak özetlenebilecek hesaplamalı müzikoloji disiplininin, birçok kültüre ait müziğin analizinde yararlanılmıştır. İnsanlar tarafından elle yapılması çok zaman alacak -hatta bazen pratikte olanaksız- işlemler, bu teknikler kullanılarak bilgisayar desteğiyle kolaylıkla gerçekleştirilebilmektedir. Müziğin daha iyi anlaşılması, öğrenilip öğretilmesi, icra edilmesi, başka müziklerle karşılaştırılması ve Internet ortamında müziğe erişim gibi alanlarda yararlı araçlar sunan bu teknikler Türk musikisi için seyrek olarak çalışılmıştır. Bu müziğin özgün karakteri, modellenmemiş ve dolayısıyla buna uygun verilerle donanmamış oluşu gibi nedenlerle bakir olan sözkonusu alan, bu çalışma ile zenginleştirilmeye çalışılmıştır.

Tez metni, Türk musikisinin sistem analizi teknikleriyle yapısını, modellenmesini ve benzetimini sağlayan, tezin yazarı tarafından tasarlanmış ilişkisel veritabanı yapısını anlatan bölümle başlamaktadır. Bu aşama, hesaplamalı müzikoloji tekniklerinin Türk musikisine uygulanacağı sembolik veritabanının inşası ile ilgilidir. Uygulama olarak da bu veriler üzerinde i) n-gram tekniğiyle makam tanıma, ii) istatistik karar kuramı teknikleriyle makama özgü ezgilerin bulunması ve özellikle iii) yapay öğrenme teknikleriyle otomatik ezgi bölütleme (*segmentation*) algoritmaları geliştirilmesi derinlemesine incelenmektedir.

12 ton eşit tamperamanlı (12TET) sistem seslerini kullanan müzikler için MIDI gibi birtakım standartlar uzun zaman önce tanımlanmış, araştırmacılar da bu formattaki veriler üzerinde hesaplamalı teknikleri kullanarak çalışmışlardır. Ancak Türk musikisi için, bu standartları kullanarak doğrudan çalışmaya başlamak mümkün değildir. Çünkü bu müziğin yapıtaşları denilebilecek notalar / perdeler, gerek sayıca gerekse değer ve veri yapısı olarak 12TET'tekilerden oldukça farklıdır. Sözkonusu farklar, özellikle 20. Yüzyılın başından günümüze değin dikkatlere taşınmış kuramsal önermelerdeki çeşitliliğe bakılarak izlenebilir.

Tezde öncelikle Türk musikisini temsil edebilmek üzere önerilmiş özgün format anlatılmış, bu formata uygun geniş veritabanı tanıtılmıştır. Hesaplamalı müzikoloji tekniklerinin kullanımına örnek uygulama olarak da n-gram tekniğiyle makam tanıma, istatistik karar kuramı yöntemleriyle makama özgü ezgilerin bulunması anlatılmış ve özellikle yapay öğrenme teknikleriyle otomatik ezgi bölütleme derinlemesine işlenmiştir. Türk musikisine özgü yapıların da kullanılması sayesinde elde edilen sonuçların literatürdeki algoritmalarından daha başarılı oldukları gösterilmiştir.

Anahtar Kelimeler: müzik, hesaplamalı müzikoloji, Türk musikisi, bölütleme, ezgi analizi, müzikal aralık, ses sistemi

**COMPUTATIONAL MELODIC ANALYSIS ON
SYMBOLIC DATA OF TURKISH MAKAM MUSIC**

Mustafa Kemal KARAOSMANOĞLU

Department of Mathematics Engineering
Phd. Thesis

Adviser: Prof. Dr. Fatih Taşçı

Co-Adviser: Assoc. Prof. Dr. Barış Bozkurt

The discipline of computational musicology which can be summarized as the *modelling and simulation of music* with the methods of mathematics has been used to analyse the music of many cultures. The processes that would take long time or sometimes even impossible to do manually can easily be accomplished by using computer support using these techniques. These techniques which offer useful tools in areas such as having a better understanding of music, its learning and teaching, its performing, its comparison with other kinds of music, its access on the Internet have rarely been studied for Turkish music. With this study we have tried to enrich this field which is untouched for reasons such as the unique character of this music, the fact that it had not been modelled and thus had not been entrenched with the appropriate data.

The text of the thesis starts with chapter describing the relational database structure created by the author which enables, through the system analysis techniques, the structuring, modelling and simulation of Turkish makam music. This stage has to do with construction of the symbolic database by which the computational musicology techniques will be applied to Turkish makam music. As with the application on these data i) recognition of the makam with n-gram technique ii) The detection of specific makam tunes with machine learning techniques iii) improving automatic melodic segmentation algorithms are studied in depth.

A number of standards such as MIDI for music that use 12 tone equal temperamant (12TET) system sounds have been defined long ago and researchers have tried using computational techniques on data which are within these standards. But for the Turkish makam music, it is not possible to start working directly using these standards. Because the notes / pitches that can be called the building blocks of this music are very different from those with 12TET both as numerically and as of value as well as data structures. These differences can be traced looking at the diversity of theoretical propositions that have been called to attention especially from the beginning of the 20th century.

In the thesis first of all the system and the format to represent the Turkish music suggested by author is described and extensive database in this format has been introduced. As an exemplary application for the use of techniques computational musicology makam recognition, with n-gram technique and the patterns of specific makam tunes with statistical decision theory method have been described and especially automatic melodic segmentation with machine learning techniques have deeply been treated. It has been shown that the results obtained through the use of structures specific to Turkish music are superior to the algorithms in the literature.

Keywords: music, computational musicology, Turkish music, segmentation, melodic analysis, musical intervals, sound system

GİRİŞ

Bu bölümde genel olarak müziğin ve özellikle Türk musikisinin hesaplamalı tekniklerle analiz edilmesine yönelik olarak daha önce yapılmış çalışmalar özetlenecek, ardından tezin amacı ve literatüre katkısı anlatılacaktır.

Geçmiş çok eskilere uzanan Türk musikisinin gerek ‘alaylı’ gerekse ‘mektepli’ pek çok usta icracısı mevcuttur. Son yarım yüzyıla yakın dönemde konservatuvarların kurulup yaygınlaşmasının da etkisiyle hem icra tekniği hem bilimsel açıdan ilerlemeler kaydedilmiştir. Öteki dünya müzikleri için yapılmış hesaplamalı müzikoloji uygulamaları ise Türk musiki için yeterince çalışılmamıştır. Sınırlı sayıdaki uygulamalar da icracılar tarafından gerekli ilgi ve desteği görmemektedir. Oysa bu iki alanda çalışanların işbirliğine gitmelerinin sayısız yararı vardır. Örneğin bu tezde anlatılan üç uygulama hem hesaplamalı etnomüzikolojiye hem de müzik icrasına katkıda bulunma potansiyeli taşımaktadır.

1.1 Literatür Özeti

Tez çalışması hemen hemen eşit ağırlıklı olarak matematik ve müzik üzerine kurulduğu için, literatür bu iki altbaşlıkta özetlenecektir. n-gram ve özellikle istatistiksel karar teknikleriyle ilgili matematik / mühendislik literatürü tezin içeriğinde ikincil öneme sahip oldukları için kısa tutulacak, ağırlıklı konu olan otomatik ezgi bölütleme üzerine daha önce yapılan çalışmalar ise ayrıntılı olarak anlatılacaktır.

1.1.1 Ezgi Analizinde Matematiksel Yöntemler

Hesaplamalı müzikoloji disiplininin ortaya çıkmasıyla hemen tüm dünya müzikleri matematiksel yöntemlerle incelenmeye başlanmıştır (Coutinho vd. [1]). Çalışmalar genellikle büyük veritabanlarıyla ilgili olduğu için, karmaşık algoritmaların çalıştığı bilgisayarlar bu disiplinin ayrılmaz bir parçası haline gelmiştir. Ayrıca Humdrum (Huron [2]), MIDI¹, MusicXML (Good [3]) gibi formatların tanımlanıp benimsenmesi sayesinde araştırmacılar arasında veri alışverişi de kolay hale gelmiştir.

1.1.1.1 Makam Tanıma

Bu tezin uygulamalarından ilkinde yararlanılan n-gram analizi, sembolik veriler üzerinde başarıyla kullanılmaktadır (Juravsky ve Martin [4]). Esas olarak hesaplamalı dilbilim ve olasılığın alanına giren bu teknikten müzik araştırmalarında da yararlanılmıştır (Downie [5]).

Türk musikisinde bir eserin hangi makamdan olduğuna ilişkin ilk kayıt, bestecisince düşüldür. Ancak müzik eğitimi almadan, doğuştan gelen yeteneklerle beste yapmak mümkün olduğu için, eser, yaratıcısının belirttiği makamda olmayabilir. Nitekim aynı bir eserin değişik kaynaklarda farklı makamlardan olarak sınıflandırıldığına sıkça rastlanır. Örneğin Harputlu Hafız Hayri'nin *Sînemde bir tutuşmuş yanmış ocağı olaydı* adlı eseri kimi kaynaklarda Hüseyinî, kimi kaynaklarda ise Gülizar ve Gerdaniye makamında olarak; Hayri Yenigün'ün *Ölürsem yazıktır sana kanmadan* adlı şarkısı değişik kaynaklarda Segâh ve Hüzam makamında olarak sınıflandırılmıştır². Bu konudaki en güvenilir arşivlerden birinin Türkiye Radyo Televizyon Kurumu (TRT) olması gerekir. Çünkü bu kuruma ait çeşitli radyo ve televizyon kanallarında çalınabilecek olan eserler, yetkin kişilerden oluşan bir kurulun denetiminden geçerek repertuvara girer. Buna karşın, özellikle eski eserler için benzer sınıflandırma farkları bu arşivdeki bazı eserler için de sözkonusudur.

¹ MIDI Manufacturers Association: <http://www.midi.org/>

² Türk Müzik Kültürünün Hafızası: <http://www.sanatmuziginotalari.com/>

Öte yandan, türküler de pekâlâ makamsal olduğu (Tura [6]), hatta bazı türküler TRT'nin 'Türk sanat müziği' repertuvarına da girdiği halde Türk halk müziği (THM) eserleri yörelerine, formlarına vb. göre sınıflandırılır; fakat makamları belirtilmez. Oysa Ali Ufkî'nin dört yüzyıl önce hazırladığı ünlü elyazması mecmuada yer alan Türk halk müziği eser notalarının başında makam adları bulunmaktaydı (Cevher [7]).

Bu sistemin devam ettirilmemesinin bir nedeni, 1950'li yıllardan sonra Yücel Paşmakçı, Adnan Ataman gibi Türk halk müziğinde *makam* değil *ayak* olgusunun geçerliliğini savunan araştırmacıların baskın etkisi olsa gerektir. "Ayak terimini, klasik Türk müziğindeki makam terimine bağlamanın ve ona karşılık göstermenin imkânı yoktur" görüşünü savunan araştırmacılar da vardır (örneğin Şenel [8]). Her halükârda, aynı kökten gelen iki müzik olan klasik Türk musikisi (KTM) ile Türk halk müziğinden birinin makamsal olduğu, ötekini olmadığı görüşünün gerçekçi olmadığına ilişkin düşünce yaygındır. Cinuçen Tanrıkorur [9], Mehmet Özbek [10] gibi araştırmacılar Türk halk müziği eserlerinin makamsal sınıflandırması lehinde görüş belirtmişlerdir. Yakup Fikret Kutluğ da Türk halk müziğinin Türk musikisinin önemli bir bölümünü kapsadığını belirterek "bu kapsam içinde makamlar bulunur ve gözardı edilemez" yazmıştır. Bu ünlü müzisyen ve müzik eğitimcimizin kitabına koyduğu Türk halk müziği eser notalarının (herhangi bir makama dahil edilemeyen az sayıdaki örnek hariç) tamamında makam adları yer alır (Kutluğ [11]).

Bu bilgiler ışığında, repertuvardaki tüm klasik Türk musikisi ve Türk halk müziği eserlerinin makam sınıflandırmasının notalardan hareketle otomatik olarak gerçekleştirilmesi yararlı bir çalışma olma potansiyeli taşıdığı ortaya çıkmaktadır.

Makam analizi ve sınıflandırmasıyla ilgili mevcut çalışmalar (Akkoç [12], Ayangil [13], Karaosmanoğlu [14], Ören vd. [15], Abdoli [16], Darabi [17], Gedik ve Bozkurt [18], Ioannidis vd. [19], Ayyüce ve Bolat [20]), ses verilerine odaklanmıştır ve doğası gereği sınırlı bir verimle çalışan işaret işleme algoritmaları önermektedirler. Az sayıda makam müziği çalışmasında (Alpkoçak ve Gedik [21], Ünal vd. [22]) n-gram analizi ve perde histogram karşılaştırmaları yapmak üzere sembolik verilerden yararlanılmıştır. Bu tür çalışmaların karşılaştığı engel, Türk musikisine özgü perdeleri de içeren ve bilgisayarca

okunabilen nota repertuvarının kısıtlılığıdır. Bu tezde SymbTr adlı format ve buna uygun geniş veritabanı kullanılmak suretiyle sözkonusu engel aşılmış olmaktadır.

1.1.1.2 Makama Özgü Motif / Örüntü Bulma

Ezgi analizi konusundaki temel teknolojilerden bir başkası, makama özgü ezgi motiflerinin / örüntülerinin otomatik olarak bulunabilmesidir. Bunların belirlenmesinin müzik bilgi erişimi (Music Information Retrieval: MIR) alanında olduğu kadar müzikoloji alanında da kullanımı bulunmaktadır. Türk musikisi eğitiminde ve makam kavramının anlaşılmasında makama özgü ezgilerin belirlenmesinin önemi hep dile getirilmiştir. Müzik bilgi erişimi alanında ise bu konunun otomatik makam tanıma, geçki / çeşnilerin saptanması, ezgi bölütlemesi ve form analizi gibi uygulamaları bulunmaktadır.

Konservatuvarlarda ve musiki derneklerinde yeni bir eserin öğretilmesine başlama aşamasında önce genellikle bir tür ezgi analizi yapılır. Hoca eseri zihninde bölütler ve özellikle başka makamlara geçki yapılan pasajlarda hangi perde üzerinde hangi çeşninin duyurulduğunu sözel ve müzikal olarak açıklar. Pratikte bu denli sık başvuru olan bir yöntem olduğu halde, bu konudaki basılı tek kaynak olarak Yavaşca [23] saptanmıştır. Aslında müzikal formları anlatan bir çalışma olmakla birlikte, bu kitapta çoğunluğu Suphi Ezgi [24] kaynaklı ezgi bölütleme ve geçki / çeşni analizi konularına da yer ayrılmış ve bunlarla ilgili çok sayıda nota örneği konulmuştur.

Ayrıca ülkemizde bu konuda az sayıda doktora tezi ve makale yayınlanmıştır. Ancak sözkonusu çalışmalarda önerilen yöntemlerin başka müzikler için yapılmış motif tanıma çalışmalarında önerilen yöntemlerle ilişkisi, diğer bir deyişle uluslararası literatürdeki yeri ele alınmamıştır. Örneğin literatürde ezgi örüntü tanıma konusunda önerilmiş pek çok yaklaşım Türk musikisi için test edilmemiştir. Bu nedenle, çalışmamızda, sözü edilen araştırmaların devamı niteliğinde bir yöntem izlemek yerine uluslararası literatürde kullanılan teknikler temel alınmıştır.

Türk musikisinin hesaplamalı araştırmalarında örüntü tanıma için genellikle birinci mertebeden Markov zinciri tekniklerinden yararlanan basit yöntemler kullanılmıştır. Bu çalışmaların özeti aşağıda verilmiştir.

Tezle en yakından ilgili olan çalışma, M. Cihat Can'ın danışmanlığında Yener tarafından yazılan doktora tezidir ([25]). Bu çalışmada, çeşitli icracıların Hicaz makamındaki taksimleri incelenmiştir. Batı müziği için nota yazmak amacıyla geliştirilmiş Finale¹ adlı programla hazırlanmış sözkonusu taksim notaları MusicXML formatında sembolik veriye dönüştürülmüş, sonuçlar bu çıktılarından türetilmiştir. Çalışmanın en önemli sonucu, yedi farklı Türk müziği çalgısıyla yapılmış taksimlerde en fazla tekrarlanan 3, 4, ..., 8 notalı ezgi kalıplarının belirlenip bunların istatistiğinin çıkarılması ve sonuçların yorumlanmasıdır. Bu konuda ilk olma özelliği taşıyan sözkonusu çalışmanın açıklığa kavuşturulmayı ve geliştirilmeyi gerektiren yönleri bulunmaktadır. Bunlardan en önemlisi, Finale'den MusicXML formatına dönüştürme sırasında Türk müziğine özgü bemol ve diyezlerin kaybolmasının önlenip önlenmediğinin belirgin olmaması, önlendiyse bunun nasıl başarıldığının açıklanmamasıdır. Vurgulanmaya değer ikinci husus, doktora tezinin dergi makalesi sürümünde (Yener [26]) veri olarak taksimlerden hiç söz edilmemesi, ezgi kalıplarının 50 tane Hicaz şarkının notasından elde edildiğinin belirtilmesidir. Sonuçların yorumlanmasını yakından etkileyecek bu soru işaretinin giderilmesi önemlidir.

Aynı araştırmacının yazarlarından biri olduğu başka bir makalede (Yener ve Aksu [27]) ezgi kalıplarındaki notaların sürelerinin de dikkate alındığına ilişkin bir izlenim doğmaktadır. Fakat metin kısmında bu net olarak belirtilmemiştir. Oysa bir ezgi içindeki notanın yalnızca frekansı değil, süresi de algı üzerinde etkilidir (Parncutt [28], Warren [29]). Diğer bir teknik soru Markov zincirlerine ilişkindir. Bu tekniği kullanan üç çalışmada da ([25], [26] ve [27]) uzun uzun söz edilmesine ve tezde [25] matris olarak ayrıca gösterilmesine karşın, çıktıların bu teknikle ilişkisi açık değildir. Atıf yapılan sözkonusu tezde "1-dizilim Markov geçiş matrisleri"nden açıkça söz edilmesinden de anlaşıldığı üzere, bundan ancak, eserlerde kullanılan notaların sayı ve süre sıklıklarını (histogramları) belirlemede yararlanılabilir ve tezde yapılan da esasen budur. Özetle, bu çalışmalarda birinci mertebeden öteye geçilmediği için, Markov zinciri tekniklerinden tam anlamıyla yararlanıldığı söylenemez. Öte yandan, gerek doktora tezinde gerek klasik Türk müziğiyle ilgili makalede çıktı olarak aynı ezgi kalıpları

¹ www.finalemusic.com

sergilendiği halde; bunların tezde taksimlere, makalede Hicaz makamından 50 esere ait oldukları belirtilmiştir.

Bu çalışmalara ek olarak, yine aynı müzikolog tarafından yönetilmiş bir tez olan (Müezzinoğlu [30]) içerisinde ezgi analizi için ilk defa SQL kullanımı önerilmiştir. Bu çalışma, SQL'in müzik bilgi erişimi açısından ileriye yönelik bir potansiyel taşıdığını ortaya koyması açısından önemlidir. Ancak, ilgili çalışmada "ezgi hareketleri inceleme" konusu yalnızca 1-dizilimli Markov zincirleri ile ele alınmıştır ve bundan başka yeni bir algoritmik tasarım ortaya konulmamıştır.

Ezgi örüntülerinin bulunması için Batı müziği bilgi erişim literatüründe en sık kullanılan yöntem, nota dizisinin karakter dizisine dönüştürülmesi ve örüntü tespiti için metin işleme tekniklerinin kullanılmasıdır. En yaygın uygulama n-gram analizi (Downie ve Nelson [31]) ve ağaç yapıları (Knopke ve Jürgensen [32]) kullanarak sık gözlenen dizi parçacıklarının bulunmasıdır. Ancak bu yaklaşımın gözardı edilemez sınırlılıkları bulunmaktadır. Bütün olasılıklar ele alındığında ardışık dizi kütüphaneleri çok büyümekte ve tarama zorlaşmaktadır. Dahası, sık tekrar eden her dizi anlamlı olmayabilmektedir. Metin taramasıyla paralellik kurulur ise; verilen bir metinde “ve”, “bu” gibi sözcüklerin sık geçtiğinin belirlenmesi, metne dair çok az bilgi verir. Taranan örüntü olasılıklarında geometrik artış problemini aşmak için Lartillot [33] “kapalı örüntü” ve “tekrarlı örüntü” kavramlarını tanımlamış ve bu tanımları kullanarak gereksiz olasılıkların büyük kısmının dışarıda tutulmasını sağlayan bir algoritma geliştirmiştir.

Uluslararası literatürde bu konudaki çalışmaların büyük bir bölümü, şarkılara etkin biçimde erişim amacıyla *ezgisel örüntü bulma* konusu üzerinedir. Bu alandaki çalışmalarla ilgili kapsamlı derlemeler Rolland [34] ile Meredith vd.[35]'de bulunabilir. Yaklaşımlardan birçoğu ezgisel ve ritmik yapıları çok boyutlu olarak temsil temelindedir ([36], [37], [38]) ve büyük veritabanlarında ezgisel, ritmik ve bileşik örüntülerin yakalanabilmesini sağlar. Türk musikisi ezgilerinin analizi bağlamında amaç eğer yalnızca belli bir örüntüye erişmekle sınırlı değilse, tekrarlanan örüntülerin yakalanması, ancak belirlenen örüntüler makam müziğinin özel kavramlarıyla ilintiliyse bilgi verici hale gelir.

Makam müziği bağlamında bu alanda bulabildiğimiz tek hesaplamalı çalışma, Tunus makam müziği için makam kavramlarıyla ezgi cümleciklerinin bağlantısını irdeleyen [38]'dir. Ancak bu çalışma, sözkonusu bağlantıyı dinleyicilerin bölütleme verimi temelinde ortaya koymakla sınırlıdır.

Şentürk'ün [39] doğaçlama Türk halk müziği ezgilerinin öngörülebilirliğini çalışmak amacıyla değişken uzunluklu Markov modellerini (Variable-Length Markov Models: VLMMs) kullandığı çalışması, konuyla ilişkili bir başka örnektir. Ancak bu çalışmada sistem tasarımında bir oktavda 17 perde içeren dizi gösterimi dışında makam müziğine özgü bilgi kullanılmamıştır. Çıkarım, ezgilerin büyük ölçüde öngörülebildiği yönündedir.

Gündüz ve Gündüz [40] ile Tarıkci [41], Türk musikisi eserlerindeki nota dizilerinin fraktal boyutunu irdelemişlerdir. Bu çalışmalarda Arel - Ezgi - Uzdilek notasyonundaki sembolik veriler kullanılmış ve fraktal boyutlar, ezgilerin karmaşıklığının bir ölçüsü olarak hesaplanmıştır. [40]'ta makam müziği ezgileri için notaların radyal dağılımı dâhil değişik grafik gösterimler (ve bunlara temel oluşturan matematik modeller) önerilmiştir. Yazarlar bu gösterimlerin, bir eserin değişik bölümleri arasındaki benzerliklerin görsel olarak saptanması aracılığıyla yapısal analiz gerçekleştirme potansiyeli bulunduğunu belirtmişlerdir. Ancak böyle bir analizi otomatik olarak gerçekleştirmek üzere bir tasarım sunulmamıştır. [41]'de ise bazı makamların kimilerinden daha düzenli örüntüler sergiledikleri ve *Türk sanat müziğinin fraktal bir davranış gösterdiği* yazılmıştır.

Belli bir makamdaki hemen her eserin başka makamlardan da ezgiler içerdiği iyi bilinir. Geçki adı verilen ve ana makamdan ayrılıp bir süre için başka bir makamda gezinmek, ardından tekrar ana makama dönmek biçimindeki bu sanat, ancak usta besteci (ve taksim yapan icracılarca) kulağı tırmalamadan başarıyla yerine getirilebilir. Geçkisiz eserler yavan kabul edilir. Bu olguya karşın, hesaplamalı ezgi analizi literatüründe bir eserdeki cümleciklerle, çeşitli makamların bulunduğu 'havuz'lardan birini ilişkilendirme probleminin üstesinden gelen bir çalışma -bilebildiğimiz kadarıyla- yoktur. Yukarıda sözü geçen tüm çalışmalar, eserin makamının, içindeki her bir cümlecğin makamını belirlediği varsayımı üzerine kuruludur. Bu müziğin ustaları bir eserin içindeki bağlam değişimlerinin analizinin yararını vurguladıkları halde bunu hedefleyen hesaplamalı bir

Çalışma yoktur. Dolayısıyla literatür, verilen bir Türk musikisi eserinin ezgi cümleciklerinin otomatik analizini gerçekleştirecek bir model veya araç sunmamaktadır.

1.1.1.3 Ezgi Bölütleme

Dilbilgisinde bir cümleyi oluşturan sözcükleri birbirinden ayıran sınırlar için olduğu gibi, müzikal bir cümleyi oluşturan dizilimlerin motif olarak algılanmasını sağlayan sınırlar da kuramsal temelli olarak açıklanabilir. Dinleyiciler tarafından tanımlanan motif ya da cümleler bellekte depolanarak bir üst düzeydeki biçimsel gruplamalara dâhil olurlar (Lerdahl ve Jackendoff [42], Peretz vd. [43], Tan vd. [44]). Müzikal yüzeyin alt-düzey gruplara ayrılması, bu ilkel algısal birimlerin daha karmaşık biçimsel süreçlerde kullanılmalarına izin verir ve bellek üzerindeki baskıyı hafifletebilir (Pearce vd. [45]).

Özellikle müzikoloji ve müzik psikolojisi alanlarında biçimsel algıya odaklanan ve bugün ‘klasik’ hale gelen bazı kuramsal modeller, müziğin anlamlı birimlere bölünmesinde iki temel sürecin rol oynadığını göstermektedir:

- Algısal yönden çizgisel yürüyüşlü bir ezgiyi motif, cümle gibi birimlere ayırabilme yetisi (bölütleme),
- Eşzamanlı duyulan birden fazla ezgisel hattı birbirinden ayırdedebilme veya gruplayabilme yetisi (Bregman [46]).

Bu tezde, tek sesli bir müzik olan Türk musikisi çalışıldığı için *bölütleme* olgusuna odaklanılmıştır. Çizgisel yürüyüşlü bir ezgiyi bölümlere ayırabilme yetisi dinleyicinin müzikal geçmişine ve / veya kuramsal bilgi düzeyine göre değişebilir. Bununla birlikte, ezgisel akış içerisinde özellikle müzikal aralıklardaki ve perde sürelerindeki büyük değişimler gibi net olguların belirlenmesi yönünde, farklı birikimlere sahip tüm dinleyicilere yönelik genelleştirmelere dayanan bazı kuramsal modeller geliştirilebilmiştir. Bu modeller sonradan ezgileri otomatik olarak gruplayabilmek için sayısal yöntemler geliştirilmesinde de kullanılmıştır (Tenney ve Polansky [47], Cambouropoulos [48], Temperley [49], Frankland vd. [50], Ahlback [51]). Müzikteki algısal bölütleme yapısı üzerine geliştirilmiş olan bu modeller, temelde *Gestalt* ilkelerinden esinlenilerek müzikal yüzeyin ayrı katmanlarındaki değişimleri ya da süreksizlikleri, bölüt sınırları ile ilişkilendirmişlerdir. Özetle, birbirine yakın olan objeler

(yakınlık ilkesi) veya birbirine benzer objeler (benzerlik ilkesi), *gruplar* olarak algılanırlar.

Gestalt ilkelerinin farklı perspektiflerden müzikal yapıya uyarlandığı ve biçimsel bir yönetime indirgendiği bu kuramsal modeller arasında en eskilerinden biri Zamansal Gestalt Birimleri (*Temporal Gestalt Units: TGU*) yaklaşımıdır. Bununla birlikte, hem müzik psikolojisi hem de müzik teorisi alanında en bilinen ve etki yarattığı görülen kuramlardan biri, Lerdahl ve Jackendoff'un geliştirdiği *A Generative Theory of Tonal Music (GTTM)*'dir [42]. Bu kuram, tonal müzikte deneyimli bir dinleyicinin tüm bir müzikal yapıyı sezgisel düzeyde nasıl oluşturduğunu tanımlamayı amaçlar. Yalnızca Gestalt ilkelerinden benzerlik ve yakınlık kuralını temel alan modeller, olası sınır konumlarını tanımlamaktadır: “yakınlık” ve “değişim” kuralı. Bu kuralların algısal açıdan geçerliliği bazı çalışmalarda dinleyicilerden sınır lokasyonlarını açıkça tanımlamaları istenerek (Deliège [52], [43], Clarke ve Krumhansl [53], Bruderer vd. [54]), bazı çalışmalarda bu kuralları da barındıran müzikal yapıların kullanıldığı dolaylı testler ile (Krumhansl [55], Palmer ve Krumhansl [56]) ve bazı çalışmalarda ise yeniden formüle edilerek veya geliştirilerek ([50], [52], Werf ve Hendriks [57]) yeniden test edilmiştir. Nitekim dinleyicilerden alınan verilerin bu iki kuralı genellikle desteklediği, ancak olası sınır lokasyonlarının belirlenmesi yönünde bu kuralların farklı müzikal yüzeylerde her zaman eşit ağırlığa sahip olmadıkları ve genellikle müzisyenler ile müzisyen olmayanlardan elde edilen verilerin farklı çalışmalarda farklı sonuçlar verdiği görülmüştür. Bunun üzerine bazı ipuçlarının yeniden formüle edilmeleri veya yenilerinin eklenmesi gereği duyulmuştur.

Makam kavramı unsurlarıyla ezgi bölütleme arasındaki ilişkiyi inceleyen ilk hesaplamalı çalışma, Lartillot ve Ayari'nin [38] Tunus makam müziği için yaptıkları araştırmadır. Yazarlar bölütleme yöntemlerini incelemek amacıyla doğaçlama bir ezginin algısal boyutunu ele almışlardır. Bu çalışmada, insanlarca ve otomatik olarak yapılan bölütlemeler arasındaki farkları karşılaştırmanın yanısıra, işaretleme yapanların nasıl karar verdiklerine ilişkin veriler de derlenmiştir. Daha önceki bir çalışmada Ayari [58], işitsel özelliklerdeki süreksizlikler ve paralelliği izlemeye ek olarak, kültüre özgü şu bölütleme stratejisini de irdelemiştir:

“Müzikal bir cümlecik, hiyerarşik olarak üstün olan bir dizi derecesinde (Batı tonalitesinde durak, Arap makamlarında eksen ya da kök ses) bitmeye yönelir.”

Yakın bir tarihte Lartillot vd. [59] Türk musikisi için algısal sınır belirleme problemini çalışmışlardır. Yazarlar makalede özellikle TGU ve LBDM'deki ön varsayımların kısıtlılıklarını irdelemişlerdir. Önerdikleri yeni yaklaşım, önceki çalışmalarda bağımsız olarak ele alınan boyutları ağırlıklı toplamalarını hesaplamak suretiyle birleştirmekte ve daha yüksek bir verim sunmaktadır. Yazarlar, elde ettikleri yan bir sonuç olarak, üst düzeylerdeki algısal gruplama için alt düzey algısal süreçlerle kültüre özgü bilgi birikimi arasındaki olası ilişkiye dikkat çekmişlerdir.

Cümle sınırlarının usul vuruşlarının güçlülük / zayıflık hiyerarşisiyle de ilgili olduğu bilinir. Türk musikisinin işitsel geleneğinde eserleri öğrenme / ezberleme ilkin usul örüntülerini öğrenmeyi ve içselleştirmeyi, ezgileri daha sonra usul örüntüleriyle bağlantısı içinde öğrenmeyi kapsar (Behar [60]). Cümle sınırlarıyla dizi derecelerinin hiyerarşisi ve usul vuruşları arasındaki ilişkiyi tartışan kuramsal bir çalışma bulamadığımız için, çalışmamızda bu olguyu veri güdümlü olarak işleyen bir yaklaşım hedeflenmiştir.

Bölütleme Modellerinin Karşılaştırılması

Aşağıda, ezgi bölütleme konusunda literatürde öne çıkmış ve karşılaştırmalı çalışmalarda görece yüksek başarı gösterdikleri raporlanmış dört modelin özellikleri anlatılmıştır. Hem geliştirdiğimiz algoritmanın sonuçlarıyla karşılaştırmak amacıyla hem de bağımsız birer öznitelik (*feature*) olarak eklemek üzere yararlandığımız bu modelleri tercih etmemizin bir başka nedeni de, bunların gerçekleşmiş, test edilmiş ve kodlarının araştırmacıların erişimine açılmış olmasıdır.

Zamansal Gestalt Birimleri (Temporal Gestalt Units: TGU)

Tenney ve Polansky [47], Gestalt *yakınlık* ve *benzerlik* ilkelerini tümüyle yeni perspektiflerden ele alıp yeniden formüle ederek hesaplamaya dayalı bir model geliştirmişlerdir. Model, bu iki ilkenin aslında paralel olduklarını ve benzerlik ilkesinin yakınlık ilkesini özel bir durum olarak içerdiğini belirterek, her ikisinde de “ses-

başlatıcı”yı (*clang-initiation*) belirleyen yerel bir maksimum aralık boyutu olduğunu ifade eder. Bu iki ilke yeniden formüle edilerek, ezgi sınırlarının saptanmasına yönelik iki kural önerilir:

- *Yakınlık* kuralına göre, monofonik bir öğeler dizisi içindeki bir ‘*clang*’, öteki etmenlerin eşit olması durumunda, önceki öğenin başlangıç noktasından itibaren kendisinden hemen önceki ve hemen sonrakinden daha büyük bir zaman aralığından sonra başlayan herhangi bir algısal öge ile tetiklenebilir,
- *Benzerlik* kuralına göre ise, monofonik bir öğeler dizisi içindeki bir ‘*clang*’, öteki etmenlerin eşit olması durumunda, algısal yönden kendisinden önceki öğeden hemen önce ve hemen sonra gelenlerden (öğeler-arası aralıklar) daha büyük bir aralıkla ayrılan herhangi bir öge ile tetiklenebilir.

Bu bağlamda TGU’da öne sürülen model, iki grupta düzeyi saptamaktadır: üst düzeydeki katman ezgisel çizgiyi gruplarken, alt düzeydeki katman her ezgi parçasığını birimlere (‘*clang*’) ayırır. Bölütleme, birbirini izleyen notalar arasındaki bir dizi mesafede varolan büyük değerlerin (‘yerel bir maksimum aralık boyutu’, yani ‘yerel maksima’) belirlenmesine dayanmaktadır.

Yerel Sınır Belirleme Modeli (Local Boundary Detection Model: LBDM)

Cambouropoulos [48] geliştirdiği bu modelde hem Lerdahl ve Jackendoff’un hem de TGU teorilerindeki *yakınlık* ve *benzerlik* ilkelerinin aslında aynı olgunun değişik görüngüleri olduğuna, yani bu kuramların önerdiği olası en büyük yerel aralık boyutuna (“yerel maksima”) dikkat çekmiştir. Böylelikle, Gestalt ilkelerinin bu biçimde formüle edilmelerinin yerel sınırların saptanmasında en önemli etmen olduğunu kabul etse de, aralık boyutlarında herhangi bir değişimi de hesaplayabilen daha genel bir yaklaşımın da gerekli olduğunu ifade eder. Bu nedenle, *değişim* ve *yakınlık* ilkelerine dayalı daha basit, ancak ezgi sınırlarının saptanmasına yönelik daha tamamlayıcı iki kural önerir:

- *Değişim* kuralına göre, birbirinin ardından gelen iki aralık arasındaki değişim derecesiyle orantılı olan sınır derecesi, bu iki aralığın her ikisine de eklenebilir (eğer her iki aralık aynı ise sınır önerilmez).

- *Yakınlık* kuralına göre ise, birbirinin ardından gelen iki aralık farklı ise, daha büyük aralığa yerleştirilen sınır derecesi göreceli olarak yüksektir.

Grouper

Temperley [49] tarafından, ezgisel cümle yapısını monofonik bir müzik eserinden elde etmek üzere tasarlanmıştır. Algoritmanın girdisi bir perde listesi ile bir vuruş listesidir. Vuruş listesi, ezginin metrik yapısıyla yakından ilişkilidir. Hesaplama yalnızca süre (perdelerin başlama anları arasındaki fark, *inter-onset-interval*: IOI ve bir perdenin bitim anı ile sonraki perdenin başlama anı arasındaki fark, *onset-to-offset-interval*: OOI) ile metrik bilgi (vuruş listesi) dikkate alınır; mikrotonal perde bilgisi ihmal edilir. n listedeki eleman sayısını göstermek üzere, 2^n olası çözüm arasından en uygun olanını etkin biçimde bulmak üzere Dinamik Programlama (Bellman [61]) kullanılmıştır. Optimallik ölçütü Lerdahl ve Jakendoff'un [42] tercih kurallarından uyarlanmıştır. Bu kurallar, temel metrik yapıyla örtüşen, IOI'si ile OOI'si büyük olan ve önceden belirlenen ortalama bir uzunluk olarak 10 notalık cümlelerin sonundaki sınırları yeğler.

Kesit Olasılıkları (Segment Probabilities: SP)

Genellikle Avrupa halk şarkılarından oluşan ve 6000'in üzerinde elle bölütlenmiş eser içeren Essen Folksong Collection'daki (Schaffrath ve Huron [62]) verilerden 'öğrenecek' biçimde üretilen bu algoritma, sözkonusu koleksiyondaki 1000 eseri % 85.9 doğrulukla bölütlemiştir (Bod [63]). Bu algoritmadan bundan böyle kısaca SP olarak söz edilecektir.

Karşılaştırma

Yukarıda özetlenen algoritmalarından üçü (TGU, LBDM ve Grouper), Nooijer vd. [64] tarafından karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir. Yazarlar 10 ezgiyi etiketleyen 40 kişiden elde edilen verileri, seçilmiş beş algoritmanın çıktılarıyla karşılaştırmışlardır. Onların test sonuçları ve daha başka yazarlarca daha önce yapılan karşılaştırmalı çalışmaların çıkarımlarına göre, insanlar tarafından yapılan bölütlemelere en çok uyum gösteren (ve performansları birbirine benzeyen) üç algoritma şunlardır:

- Grouper,
- Information Dynamics [45],
- LBDM.

Test edilen öteki iki algoritma ise TGU ile Melodic Similarity Modeldir [51].

[45]'in yazarları ise bu beş algoritmayı kendi önerileri olan IDyOM (Information Dynamics Of Music) ile karşılaştırmışlardır. Ezgi sınır olasılıklarını denetimli öğrenme yoluyla kestiren IDyOM, veri güdümlü yaklaşımlar kategorisine girmektedir. Bu yaklaşım, MacKay [65] tarafından tanımlanan *bilgi içeriği*ni, perde ve süre özellikleri dâhil çoklu bir bakış açısı gösterimi (Conklin ve Anagnostopoulou [36]) içinde bir öznitelik olarak kullanır ve çeşitli metin sıkıştırma ve istatistik dil modelleme (esas olarak n-gram) yöntemlerini birleştirir. Bunlara ek olarak [45]'te değişik algoritmaların özelliklerini birleştiren melez bir yaklaşım test edilmiş ve bunun, bileşenlerinin tek tek tümünden daha yüksek bir başarı sergilediği yargısına varılmıştır.

1.1.2 Hesaplamalı Türk Musikisi Literatürü

Bazı araştırmacılar çok daha eskiye dayandırsa da, Anadolu ve Rumeli coğrafyası itibariyle, makamlara dayalı Türk musikisinin başlangıcı yaklaşık bin yıl öncesine kadar uzanmaktadır. Uzunca bir dönem Arap ve Fars etkileri içinde gelişmiş, sonraki yüzyıllarda ise Osmanlı kültürü çatısı altında kendine özgü ayırtedici özellikler kazanmıştır. Öğretim ve kuşaktan kuşağa aktarımı yakın dönemlere kadar meşk sistemi denilen ve doğrudan hoca ile öğrencinin ikili çalışması yoluyla gerçekleşmiştir [60]. Bu yöntemin aynen uygulandığı yapılanmalara seyrek de olsa hâlâ rastlanmaktadır. Günümüzde hemen hemen tüm musiki derneklerinde ise, hocanın seslendirdiği ezgiyi tekrarlamaya dayalı, basılı notanın genellikle yalnızca ezginin akışını izleme ile sınırlı bir işlevinin olduğu uygulama sürmektedir. Konservatuvarlardaki eğitim sisteminde bile meşk yönteminin bu tür izleri görülmektedir. Birçok kültürün müziği için eğitim ve aktarım bağlamında en vazgeçilmez öğelerden olan yazılı nota kullanımı 20. Yüzyıl başlarına kadar Türk musikînasları arasında çok rağbet görmemiştir. Bu nedenle, bestelenip icra edildiği çeşitli kaynaklarda dile getirilen pek çok eser ne yazık ki günümüze ulaşamamıştır. Notası yazılarak kayıt altına alınmaksızın günümüze kadar

unutulmadan meşk yoluyla gelen birçok eserin ise orijinali ile ne derecede aynı olduğu tartışmalıdır. III. Selim'in Suzidılara makamındaki Mevlevi ayininin Abdülbaki Nasır Dede tarafından Ebced usulüyle notaya alınmış şekliyle (Doğrusöz ve Uslu [66]), meşk zincirinden günümüze ulaşmış şekli arasındaki farklar bu olgunun tipik bir örneğidir (Doğrusöz ve Uruş [67]). Özellikle Ali Ufki (1610 - 1685) ve Kantemiroğlu (1673 - 1723) gibi, Osmanlı döneminde ülkemizde yaşamış yabancı kökenli müzikolog / müzisyenlerin notaya aldıkları eserler ([7], Tura [68]) olmasa günümüze ulaşan eski eser sayısı hiç kuşkusuz daha az olacak ve bunların da bozulmadan aktarıldıkları, en azından o dönemde icra edilen biçimleri hiçbir zaman bilinemeyecekti (Ayangil [69]).

Öte yandan, geleneğimizdeki *bazı bilgileri başkalarıyla paylaşmama* alışkanlığı Türk musikisi için de geçerlidir. Bunun tipik bir örneği olarak Dede Efendi (1778 – 1846) ile Şakir Ağa (1779 - 1840) arasında Ferahfeza makamının terkip edilmesi konusundaki gizli rekabet anlatılır (Özalp [70]). Buna göre sözkonusu makamı ilk terkip eden Şakir Ağa buluşunu Dede Efendi'den gizlemeyi başaramadığı için, padişahın ihsanına mazhar olan kişi, kurnazca davranan rakibi olmuştur. İşin ironik yanı, olayların kronolojik olarak kayda düşülmesi yerine sözlü anlatımın yeğlenmesi yüzünden, dilden dile dolaşan bu öykünün bile tartışmalı olmasıdır (Sayan [71]).

Müzik ve tarih konusundaki yazılı kaynak kıtlığı, müzik kuramı için de büyük ölçüde geçerlidir. Neyse ki Farabî (872 – 950¹), İbni Sîna (980 - 1037), Safiyyüddin Urmevî (1224² - 1294) gibi bilginlerin birçok eseri günümüze ulaşmış ve yakın tarihlerde Türkçe transkripsiyonları yapılmıştır (Örneğin Uygun [72], Arslan [73]). Fakat hiçbir bilimsel kitap yazılmayan çok uzun tarihsel dönemler de görülmektedir. Yarman [74], 400 yılı bulan bu zaman dilimine *makam nazariyatının karanlık çağları* demektedir. Bu tür dönemlerde hurafeye dayalı birtakım olayların anlatıldığı eserler yazılmakla yetinilmiştir (Judetz [75]).

Sözlü kültür geleneğinin bir sonucu olarak, Türk musikisi literatürü, tıpkı repertuarı gibi, hakettiği ölçüde zengin değildir. Aşağıda bu kısıtlı kaynaklar özellikle tez

¹ Bazı kaynaklarda ölüm tarihi 951 olarak gösterilmektedir.

² Bazı kaynaklarda doğum tarihi 1237 ve 1217 olarak gösterilmektedir.

çalışmamızın dayandığı *müziğin sembolik gösterimi* bağlamında özetlenmiştir. Bu ise hemen hemen Türk musikisinde notanın tarihini özetlemekle aynı anlama gelmektedir.

Ses sistemleri konusu ilkin Farabî ve İbni Sîna gibi bilginlerin eserlerinde işlenmiştir. Ancak bunlar genel olarak eski Yunan kaynaklarının çevirisi / uyarlaması niteliğindedir. Türk musikisinin 20. Yüzyıldaki dayanağını oluşturacak olan ses sistemi ilk olarak Safiyyüddin Urmevî tarafından yazılan iki eserde ayrıntılı olarak ele alınmıştır. Kitab-ül Edvar'da [72] anlatılan sistem, Pisagor'un beşliler sarmalıyla elde ettiği dizinin genişletilmiş bir şeklidir [6]. Bu sistem oktavı birbirine eşit olmayan 17 müzikal aralığa böler. Elde edilmiş sürecinin sonucu olarak, sistemdeki perde ve aralıkları ifade eden rasyonel sayıların pay ve paydaları, 2 ve 3 asal sayılarının negatif de olabilen çeşitli tamsayı üsleri ve bunların birbirleriyle çarpımlarından ibarettir. Perde ve aralıkları oluşturan rasyonel sayılarda kullanılan en büyük asal sayı 3 olduğu için, söz konusu sistem *3 asal limitli* olarak anılır (Partch [76]). Safiyyüddin sistemi kendisinden sonra gelen tüm musiki kuramcılarının esin kaynağı olmuştur. Rauf Yekta Bey'in (1871 – 1935) önerdiği ve oktavda 24 perde içeren sistemde (Yekta [77]), perdelerin 'takribî' değerlerinin asal çarpanları arasında 5 sayısı da yer alır. Ancak bu ünlü musiki bilgini de sonuçta Pisagor ve Safiyyüddin geleneğini yeğlemiştir. Mildan Niyazi Ayomak (1888 - 1947) ile eşit tamperaman kavramı Türk musikisine girer: Bu müzisyen / müzikolog, Türk musiki için 53 ton eşit tamperamanlı (53TET) sistemi önerir ve makam tanımlarını bu sisteme göre yeniden yapar (Çakar [78]). Tıpkı Batı müziğinin 12TET ses sistemi için olduğu gibi 53TET sistemi de logaritma fonksiyonunun müzik kuramında kullanılmaya başlanması sayesinde tanımlanabilmiştir (Karadeniz [79], Etker [80]). Türk halk müziği alanında Muzaffer Sarısözen (1899 - 1963) benzer bir yaklaşımı benimser; hatta notalamada bemol ve diyezleri "2", "3" gibi üst indislerle birlikte kullanır. Bugün kullanılan Türk halk müziği notaları hâlâ bu sisteme göre yazılmaktadır. Doğal tınılama (*just intonation*) ve tamperamanı birlikte kullanan Abdülkadir Töre (1873 - 1946) ile M. Ekrem Karadeniz (1904 – 1981), Türk musiki için eşit olmayan 41 aralıklı bir sistem önermişlerdir [79]. Tıpkı bu sistem gibi Gültekin Oransay (1930 - 1989) tarafından önerilen 29 perdeli sistem de [81] musikişinaslar arasında rağbet görmemiştir.

Türk musiki için bugün resmi olarak kabul edilen sistem Hüseyin Sadettin Arel (1880 - 1955) [82], Suphi Ezgi (1869 - 1962) [24] ve Salih Murat Uzdilek (1891 - 1967) [83]

tarafından önerilmiştir. Kurucularının soyadları (Arel – Ezgi – Uzdilek) ya da bunların başharflerini gösteren AEU kısaltmasıyla da anılan bu sistemde bir oktavda 24 perde bulunur. Rauf Yekta Beyin daha önce önerdiği ile bu sistem arasında; 1 tam ses öteleme, notasyon ve perde adlarının telaffuzu benzeri yalnızca biçimsel farklar vardır. Pisagor ve Safiyyüddin’de olduğu gibi, bu sistemdeki perdeler de bir temel sestem (1/1) itibaren tiz ve pest tarafa doğru beşli (3/2) aralıklarıyla ilerlenerek elde edilir.

Sistemin oluşturulma yöntemi nedeniyle, başlangıç sesinden uzaklaştıkça, perdeleri ifade eden rasyonel sayıların pay ve paydası çok büyür. Örneğin Arel - Ezgi - Uzdilek sistemindeki *dikbuselik* perdesinin oran olarak ifadesi

$$2^{20} \cdot 3^{-12} = \frac{2^{20}}{3^{12}} = \frac{1\,048\,576}{531\,441}$$

dir. *Bir perdeyi gösteren rasyonel sayının pay ve paydası ne kadar küçük tamsayılardan oluşuyorsa o perde o denli uyumludur* (Sethares [84]) ilkesi gereğince, bu tür perdelerin doğallıktan uzak oldukları birçok yazarca ifade edilmiştir (Örneğin [6], Çepni [85]).

Türk musikisi sistemi olarak günümüzde başka öneriler de bulunmaktadır (örneğin Yarman [74], [86], [87]; Yavuzoğlu [88]). Ancak TRT ve konservatuvarlarda hâlâ Arel - Ezgi - Uzdilek sistemi benimsendiği ve bunun hem nedeni hem de sonucu olarak repertuvardaki hemen tüm eserler bu sistemle notaya alındığı için, çalışmamızda da Arel - Ezgi - Uzdilek sistemine sadık kalınmıştır. Ayrıca 53TET sistemi de pratikte kullanılması ve Türk halk müziği eserlerini temsil edebilirliği gözönünde bulundurularak dikkate alınmıştır.

1.2 Tezin Amacı

Türk musikisine hesaplamalı yöntemlerle yaklaşım, bu müziğin öğrenilmesi, öğretilmesi, başka müziklerle karşılaştırılması ve müziğe erişim gibi alanlarda yararlı araçlar sunmak amacıyla benimsenmiştir. Müzikologların üzerinde hâlâ tam bir görüşbirliğine varamadıkları makam kavramının bazı yönleri, bu yöntemlerden de yararlanılmasıyla biraz daha açıklığa kavuşturulabilir. Zaten karmaşık bir kavram olan makam, bilimsel ve pedagojik süreçlerden geçmeden öğretilmek istendiğinde başarılı sonuçlar alınamamaktadır. Örneğin bugüne kadar daha çok *perde* ağırlıklı makam tanıma

yaklaşımına, tezde n-gram analizi ve makama özgü motifler parametrelerini eklemek suretiyle *seyir* olgusu kısmen dâhil edilmiştir. Bu yaklaşımların hayata geçirilmesiyle Türk musikisi repertuvarındaki yanlış makam sınıflandırmaları otomatik olarak düzeltilebilir. Henüz makamsal sınıflandırması yapılmamış Türk halk müziği repertuarı için bu görevin yerine getirilmesi de, tezde anlatılan algoritmalar sayesinde otomatik olarak gerçekleştirilebilecektir.

Ezgi bölütleme ise gerek kuramsal eğitim gerekse saz ve söz icracılığı için yararlı bir araç sunmaktadır. Müziğin öğretilmesi sürecinde eserlerin alt-cümleciklerine bölünmesi önemli bir görevdir. Bunun otomatik olarak gerçekleştirilebilmesi bu süreci hızlandıracak ve daha doğru ilerlemesini sağlayacaktır.

1.3 Orijinal Katkı

Tezde ele alınan iki uygulama ya alanındaki ilk çalışmadır, ya da daha önceki çalışmalara göre çok daha geniş derlemler üzerinde incelenmek ve Türk musikisine özgü yapıları içermek gibi yeni özellikler taşımaktadır.

n-gram analizi ile makam tanıma konusundaki uygulama, Türk musikisine özgü perdeleri içermesi ve sınıflandırma başarısı bakımından daha önceki çalışmalardan ayrılmaktadır. Ayrıca literatürde ilk kez müzikal aralıklar üzerinde n-gram tekniği uygulanmıştır.

Tezdeki en derinlemesine uygulama olan yapay öğrenme yöntemleriyle Türk musikisi için otomatik ezgi bölütleme, usul ve makam parametrelerini dikkate almak suretiyle literatürdeki algoritmaların başarısının üstüne çıkmıştır. Öncüllerine göre daha karmaşık bir model olmakla birlikte, bu yaklaşımın birçok özgünlükleri bulunmaktadır. Örneğin, algoritma elle etiketleme yapan bir uzmanın verilerinden ‘öğrendiği’ için, tek bir bölütleme çözümü sunmak gibi bir kısıt bulunmamaktadır. Bu çözüm kullanılarak, değişik uzmanlara etiketleme yaptırılıp birçok farklı yaklaşımın sonuçları görülebilir. Özellikle yaşayan musiki üstadlarının basılı notalara bu tür notlar düşmeleri sağlanabilirse, ilerde bestelenecek eserleri bile –bizzat kendileri yapmış gibi olmasa da– onların üsluplarıyla analiz etmek mümkün hale gelebilecektir.

MATEMATİK VE MÜZİK

Tezde kullanılan sembolik verilerin en önemli bileşeni, müzikal seslerin pestlik / tizliklerini gösteren, yani perdeleri ifade eden sayılardır. Müzik kuramında notalar geleneksel olarak iki tamsayının oranı olarak, yani rasyonel sayı formunda ifade edilmişlerdir. Veritabanımızda ise bunlar klasik Türk musikisi ve Türk halk müziği perdelerini pratik biçimde temsil edecek formata dönüştürülmüştür. Bu bölümde matematik ile müziğin en geniş arakesit bölgesini oluşturan ses sistemleri konusu ve ilgili matematik işlemlerin temelleri anlatılmaktadır.

2.1 Nota / Perde Kavramı

Çeşitli kültürlerin müziklerinde kullanılmış seslerin (notaların / perdelerin) frekansları, fiziksel ve matematiksel temellere dayanır. Doğadaki hiçbir ses yalın değildir; işitilen seslerin bileşiminde, temel titreşim frekansının genellikle tamsayılı katlarına karşı gelen daha düşük genlikli sesler de yer alır. Temel ses ve bunun katlarına, sesin armonikleri (doğuşkanları) adı verilir. Ses kaynağının fiziksel özelliklerine göre değişkenlik gösterebilmekle birlikte, genellikle armonik numaralarıyla bunların genlikleri ters orantılıdır. Bu tanımdan, 2. armoniğin temel sesin yarısı mertebesinde bir genlikte de olsa işitilebilir bir enerjiye sahip olduğu çıkar. 3., 4. ve 5. armonikler için de benzer özellik geçerlidir. Kuramsal olarak sonlu olmayan armonik numarası büyüdükçe, o armoniğin genliği sıfıra yakınsar.

Bu temel fiziksel gerçek, müzikte kullanılan notaların hangi frekanslara sahip olması gerektiğini belirlemiş, oktav eşdeğerliği adı verilen olgunun temelini oluşturmuş ve müzikal uyum kavramını yaratmıştır:

Temel ses (1. armonik) birim frekansa sahip kabul edilirse, 2. armoniğin bağıl frekansı 2 olur. Genliği daha düşük olsa da, bu ikinci sesin de armonikleri vardır. Çizelge 2.1’de görüldüğü gibi bu 2. sesin tüm armonikleri temel sesin armoniklerinin öz altkümesidir.

Çizelge 2.1 Temel sesin ve ikinci armoniğin armonikleri

	Armonikler...								
Armonik no	1	2	3	4	5	6	7	8	...
Temel ses	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	
2. armonik		✓		✓		✓		✓	...

2. armoniğe temel sesin oktavı (sekizlisi) denir. Bir oktav tiz sesin tüm armoniklerinin temel sesin armonikleri içinde yer alması nedeniyle bu iki ses birbiriyle çok uyumludur. O kadar ki, bunlar çoğu kültürde aynı ya da çok benzer adlarla anılırlar: Do – Do’, C4 – C5, çargâh – tizçargâh gibi... Yine aynı gerekçeyle, erkek ile kadın ve viyolonsel ile kemeçe gibi, ses alanları arasında 1 oktav dolayında fark bulunan ses kaynakları ‘aynı’¹ bir ezgiyi seslendirdiklerinde solo icrayı andıran bir sonuç doğar. Matematiksel olarak, f frekansı göstermek ve $k \in \mathbb{Z}$ olmak üzere

$$2^k f \equiv f$$

dir. Yani bu iki ses aynı estetik özellikleri taşırlar ve oktav eşdeğerliği ilkesi gereğince birbirlerine denktirler. Dolayısıyla bağıl frekansı $1 \leq x < 2$ aralığının dışında kalan sesler 2’nin uygun cebirsel tamsayı üssüyle çarpılarak bu aralığa dahil edilebilir: bağıl frekansı 1’den küçük pozitif bir gerçel sayıya eşit sesler bu aralık sınırlarına girene kadar 2 ile çarpılır; büyük olanlar ise, tersine, gerektiği kadar 2 ile bölünür.

Daha genel olarak, oktav eşdeğerliği ilkesi gereğince

$$\dots \equiv 1/4 \equiv 1/2 \equiv \mathbf{1} \equiv 2 \equiv 4 \equiv \dots$$

yazılabilir. Yani bu sayıların gösterdiği tüm perdeler, oktav eşdeğerliği gereğince birbirlerine denktirler. Aynı biçimde,

¹ Gerçekte aynı olan frekanslar değil, ardışık seslerin oluşturduğu aralıklardır. Aralık kavramı aşağıda açıklanacaktır.

$$\begin{aligned}
& \dots \equiv 3/4 \equiv \mathbf{3/2} \equiv 3 \equiv 6 \equiv 12 \equiv \dots \\
& \dots \equiv 5/8 \equiv \mathbf{5/4} \equiv 5/2 \equiv 5 \equiv 10 \equiv 20 \equiv \dots \\
& \dots \equiv 7/8 \equiv \mathbf{7/4} \equiv 7/2 \equiv 7 \equiv 14 \equiv 28 \equiv \dots \\
& \dots \equiv 9/16 \equiv \mathbf{9/8} \equiv 9/4 \equiv 9/2 \equiv 9 \equiv 18 \equiv \dots \\
& \dots \equiv 11/16 \equiv \mathbf{11/8} \equiv 11/4 \equiv 11/2 \equiv 11 \equiv 22 \equiv \dots \\
& \quad \quad \quad \vdots
\end{aligned}$$

dir.

Görüldüğü gibi, yukarıdaki listede **koyu** olarak yazılmış sayıların paylarında hep tek sayılar bulunmaktadır. Paydalar ise 2'nin doğal sayılı kuvvetleri şeklindedir ve işlevleri, rasyonel sayıyı $[1,2)$ aralığına çekmekten ibarettir. Bu gerçekler nedeniyle, Antik Yunanda sayılar müzikal anlamda tek ve çift olmak üzere ikiye ayrılmıştı. Günümüzde de bazı yazarlar perdeleri ifade etmek üzere yalnızca 3, 5, 7, 9, 11, ... sayılarını kullanmakta, bununla, hizalarındaki ses sınıflarını kastetmektedirler [76]. Buna göre, 1 adlı perde sınıfı temel sesi ya da oktavı, 3 sınıfı beşliyi, 5 sınıfı büyük üçlüyü vb. anlatır.

Oktav ilişkisi içinde olan sesler birbirlerine denk oldukları için ezgi zenginliği olanağı sunmazlar; dolayısıyla yalnızca bunlarla müzik yapmak neredeyse imkânsızdır. Temel bir ses ile onun 3. armoniği ise hem oldukça uyumludur, hem de bu iki sesin oluşturduğu müzikal aralık, oktav kadar yalın / yavan değildir. Temel sesin 3. armoniği bir üst oktavda yer alır ve oktav eşdeğerliği ilkesi gereğince $3/2$ 'ye denktir. Buna temel sesin beşlisi adı verilir. Temel bir sesin beşlisi ile oktav arasındaki

$$\frac{2}{1} \div \frac{3}{2} = \frac{4}{3}$$

aralığına dörtlü aralığı adı verilir ve bu, en uyumlu aralıklar sıralamasında oktav ve beşliden sonra gelir (Rossing vd. [89]).

Sürecin buraya kadarki kısmında müzikbilimciler arasında bir görüşbirliği vardır. Fakat bu noktadan sonra değişik görüşler ortaya çıkmaktadır... Bir görüş, sisteme $3/2$ sesinin eklenmesiyle ortaya çıkan $4/3$ aralığını doğrudan temsil etmek üzere, temel sesle bu aralığı oluşturan sesi sisteme eklemeyi savunur (örneğin Zeren [90]). $4/3$ bağıl frekans oranlı ses normal olarak armonikler arasında yoktur. Kimi müzikbilimciler bunu 'alt-armonik' diye adlandırmaktadırlar. İkinci görüş ise 'armonikler' ilkesini izlemeyi sürdürme, yani sisteme $5/4$ sesini (büyük üçlüyü) ekleme yönündedir.

Bu görüş ayrılığının altında bir anlamda ‘teksezlilik – çokseslilik sorunsalı’ yatmaktadır. Çünkü, örneğin dördüncü ses olarak 4/3 bağıl frekans oranını ekleme yönündeki yaklaşım birkaç adım sonra sisteme 81/64 oranıyla gösterilen Pisagoryen büyük üçlüyü de eklemeyi gerektirmekte, bu ise, armonisini

- Temel Ses (1/1)
- Büyük Üçlü (5/4)
- Mükemmel Beşli (3/2)

yapısına dayandıran Batı müziği çoksesliliğiyle uyumlu olmamaktadır.

Bir başka bakış açısından, sorun, sistemin 3-limitli Pisagor (MÖ 570 – MÖ 495) sistemine göre beşliler sarmalıyla mı, yoksa tam-tınılama ilkesine göre küçük sayılardan oluşan oranlara göre mi kurulacağıdır. Dünyada çeşitli kültürler ve müzisyenler, kendi içinde de çeşitli yönelimleri olan bu yollardan birini ya da bunların bir karışımını tercih etmişlerdir.

2.2 Ses Sistemleri

Ses sistemi, bir kültürün müziğinde kullanılan perdeler topluluğudur. Sistemin özü, bunların birbirleriyle oluşturdukları aralıklarda yatmaktadır. Tarihsel ve coğrafi olarak pek çok ses sistemi tanımlanıp kullanılmıştır. Fakat bunlardan özellikle ikisi diğerlerine temel oluşturmuşlardır. Kurucularının adlarıyla –Pisagor ve Zarlino– anılan bu sistemler aşağıda kısaca açıklanmıştır.

2.2.1 Pisagor Ses Sistemi

Hem tarihsel olarak önce gelen, hem de günümüzde de etkisini sürdüren sistem, Pisagor’a aittir. Bu sistemin, günümüzde kullanılan piyanonun beyaz tuşlarına karşı gelen (diyatonic) seslerinin bağıl frekansları Çizelge 2.2’de gösterilmiştir.

Görüldüğü gibi bu sistemdeki tüm notaların bağıl frekansları, m ve $n \in \mathbb{Z}$ olmak üzere

$$3^m \cdot 2^n$$

şeklinde dir. Hatta 4. ve 8. dışındaki notaların bağıl frekansları, m ve $n \in \mathbb{N}$ olmak üzere

$$\frac{3^m}{2^n}$$

şeklinde ifade edilebilir.

Çizelge 2.2 Pisagor sistemindeki diyatonik notaların bağıl frekansları

No	Pay	Payda
1	1	1
2	9	8
3	81	64
4	4	3
5	3	2
6	27	16
7	243	128
8	2	1

Bunun nedeni temel sestem (1/1) başlayarak beşli (3/2) adımlarıyla ilerlenmesi, bu süreçte [1,2) aralığının sağına taşan rasyonel sayılar elde edildiğinde paydanın 2 ile çarpılmasıdır. 4. notanın bağıl frekansı olan 4/3 ise, daha küçük pay ve paydadan oluşan bir rasyonel sayı elde etme çabasının sonucudur. Bunun yerine tiz tarafa doğru beşli aralıklarıyla ilerlemek tercih edildiği takdirde 11. adımda

$$\frac{177147}{131072} = \frac{3^{11}}{2^{17}}$$

rasyonel sayısı elde edilir. Bu sayının 4/3'e oranı

$$\frac{3^{12}}{2^{19}} = \frac{531441}{524288}$$

dir. 1'e çok yakın (~1.0136) olan bu rasyonel sayıya Pisagor koması denir. Aynı sayıyla Çizelge 2.3'nin 8. notasıyla ilgili olarak da karşılaşılr. Çünkü temel sestem başlayarak tiz tarafa doğru beşli aralıklarıyla ilerlendiğinde 12. adımda elde edilen sayının temel sesin oktavına (2/1) oranı da 1 Pisagor komasıdır.

Beşli aralığının müzikal olarak uyumlu ve yeterince zengin olması nedeniyle Pisagor, sistemde bulunan tüm notaların beşlilerinin de bulunmasını istemiş, fakat bunun mümkün olmadığını görerek 11. adımdan ileriye gitmemiştir. Sistemin kapanmamasının nedeni, “Müziyenler denklemi” diye de anılan ve Aritmetiğin Temel Teoreminin sonucu olan şu çıkarımdır:

$$\left(\frac{3}{2}\right)^m = 2^n$$

denkleminin doğal sayılı çözümü yoktur¹.

Bu ise müzikal bağlamda “Beşli aralıklarıyla ne kadar ilerlenirse ilerlensin, başlangıçtaki ses sınıfına tekrar ulaşamaz” anlamına gelir.

2.2.2 Zarlino Ses Sistemi

Batıda armoninin önem kazanmasıyla birlikte Pisagor sistemindeki seslerin bu müziğin gereksinimlerini karşılayamadığı gözlenmiştir. Zarlino (1517 - 1590) sisteminin ortaya çıkışı ve yaygınlaşması bu döneme rastlar. En büyük yenilik, notaları ifade eden rasyonel sayıların asal çarpanları arasında 5’in de bulunabilmeye başlaması, bunun bir sonucu olarak, sözkonusu rasyonel sayıların pay ve paydalarındaki bazı sayıların küçülmesidir (Çizelge 2.3).

Çizelge 2.2 ile Çizelge 2.3 karşılaştırılırsa, Pisagor sistemindeki 3., 6. ve 7. perdeleri ifade eden sayıların Zarlino sistemindeki eşdeğerlerinden 81/80 oranında büyük olduğu görülür. Bu değere *sentonik koma* denir.

2.3 Müzikal Aralık

İki sesin frekanslarının birbirine oranına müzikal aralık adı verilir. Sesler aynı anda (armonik aralık) ya da ardarda (melodik aralık) tınlayabilir. Müzik kuramında genellikle büyük olan frekans paya, küçük olan paydaya yazılır.

¹ Bu denklem $\frac{3^m}{2^n} = 2^k$ şeklinde yazılır ve $k = m + n$ alınırsa $3^m = 2^k$ şeklini alır. 3 de 2 de asal sayılar oldukları için (bir sayının asal çarpanlarına ancak tek türlü ayrılacağı teoremi nedeniyle) bu denklemi sağlayan m ve k gibi iki tamsayı bulunamaz.

Çizelge 2.3 Zarlino sistemindeki diyatonik notaların bağıl frekansları

No	Pay	Payda
1	1	1
2	9	8
3	5	4
4	4	3
5	3	2
6	5	3
7	15	8
8	2	1

Notaları ifade eden rasyonel sayıları birbirlerine bölmek suretiyle hesap yapmanın nispeten zor olması ve sonucun notalar arasındaki uzaklıkları ilk bakışta anlamaya olanak sağlamaması nedeniyle logaritmik müzikal aralık birimleri tanımlanmıştır. Müzikte oktav eşdeğerliğinin sağlam fiziksel kökeni nedeniyle 2 tabanına göre logaritma kullanılır. Çünkü bu fonksiyon hem $[1, 2]$ aralığını $[0, 1]$ aralığına resmeder; hem de çarpma yerine toplama, bölme yerine çıkarma, üs alma yerine çarpma ve kök alma yerine bölme işlemlerini ikame eder. Alexander Ellis (1814 – 1890) oktavı işitsel olarak eşit 1200 aralığa bölen cent birimini ($^{1200}\sqrt{2}$) tanımlamış ve bu tüm dünya müzikologlarınca benimsenmiştir (Bkz. Helmholtz [91]'in İngilizce çevirisine ek). Örneğin Pisagor ve Zarlino sistemlerindeki 3. notaların cent cinsinden karşılıkları şöyledir:

$$1200 \cdot \log_2 \frac{81}{64} \cong 407.8$$

$$1200 \cdot \log_2 \frac{5}{4} \cong 386.3$$

Bu değerlerden yararlanarak, sentonik komanın *cent* cinsinden karşılığı yalnızca çıkarma işlemi yapılmak suretiyle hesaplanabilir: $407.8 - 386.3 = 21.5$. Pisagor koması da $1200 \cdot \log_2 (531441/524288)$ formülüyle hesaplanırsa ~ 23.5 cent bulunur.

Türk musikisi eğitiminde bu iki komanın ortalamasına çok yakın değere sahip bir başka birim daha kullanılmaktadır: Holder koması. Oktavi işitsel olarak birbirine eşit 53 müzikal aralığa bölen bu birimin bağıl frekans cinsinden karşılığı öteki iki koma gibi iki pozitif tamsayının oranı şeklinde yazılamaz; çünkü irrasyonel bir sayıdır. Bağıl frekansı $\sqrt[53]{2}$, cent cinsinden karşılığı $1200/53 \cong 22.5$ 'tur. Türk musikisi kamuoyunda yaygın olarak kullanıldığı için veritabanındaki eserlerin pestlik / tizlikleri bu birimle gösterilmiştir. Tezde yalnızca 'koma' sözcüğü kullanıldığında Holder koması kastedilmektedir.

Günümüzde 12 ton eşit temperamanlı sistem Batı müziği için yaygın biçimde benimsenmiştir. Bu sistemde 1 oktavda 12 müzikal aralık vardır ve bunlar birbirlerine eşittir. Dolayısıyla ardışık perdeler arasında $\sqrt[12]{2}$ aralığı bulunur. Buna yarı-ton adı verilir (100 cent).

GEREÇ

Bu bölümde, tezde geliştirilen algoritmaların uygulanmasında kullanılan verilerin formatı ve kapsamıyla ilgili bilgi verilmiştir. Türk musikisi sembolik verileri üzerine n-gram analizi uygulaması için, eser içeriklerinin bilgisayar tarafından okunabilir formatta hazır olması yeterlidir. Ancak istatistik tabanlı karar teknikleri ve yapay öğrenme ile bölütleme uygulaması için, veritabanındaki eserlerin müzik uzmanlarınca elle işaretlenmiş ve çeşni / geçki bilgilerinin eklenmiş sürümlerine de sahip olmak gerekir. Sözkonusu etiketlemelerin formatı bu bölümde, bölütlemeyle ilgili ayrıntılar ise ilgili bölümde anlatılmıştır.

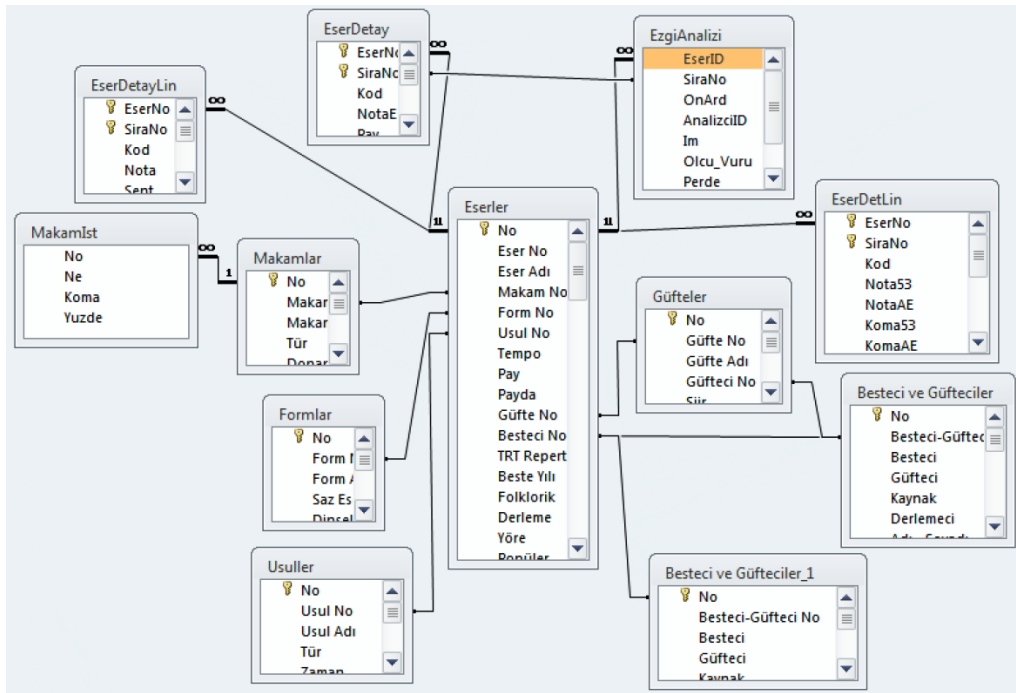
3.1 Türk Musikisi ve Sembolik Gösterim

Türk musikisi, basılı notalara erişebilme bakımından çok avantajlıdır. Türk Müzik Kültürünün Hafızası (Bkz. sayfa 2, dipnot 2) benzeri nota koleksiyonlarına internet üzerinden erişilerek, dilenen eser notalarının değişik sürümleri ücretsiz indirilebilmektedir. Bu arşivlerdeki eserlerin hemen tümü TIFF, JPEG gibi grafik formatlarda paylaşılmaktadır. Ancak, başta müzik bilgi erişimi uygulamaları olmak üzere birçok dünya müziği araştırmalarında eser içeriklerini bilgisayarın doğrudan okuyabildiği derlemlere de gereksinim duyulmaktadır. Bu nedenle Humdrum, MusicXML, MIDI gibi sembolik temsil formatları tanımlanmış, derlemler bu tür formatlarda da paylaşıma açılmıştır. Üzerinde pek çok araştırma yapılan Humdrum formatındaki Essen halk şarkıları koleksiyonu [62] iyi bilinen bir örnektir.

En yalın haliyle bir müzik eseri, $p_i \in \mathbb{R}$ notaları, $s_i \in \mathbb{Q}$ da bunların sürelerini göstermek ve $i = 1, 2, 3, \dots, n$ olmak üzere sonlu bir (p_i, s_i) sıralı ikililer dizisi olarak temsil

edilebilir. p_i 'lerin ardışık dizilişi ezgiyi, s_i dizisi ise ritmik yapıyı belirler. Müzikoloji disiplininin üzerinde çalıştığı konulardan olan *bir eserin makam ve usulünü belirleyen etmenler, ezginin anlamlı en küçük birimlere ayrılması (bölütleme)*, vb.'nin bu sıralı ikililer dizisi sembolizmi sayesinde matematiksel olarak da incelenebileceği açıktır.

Öte yandan, Türk musiki eser künyelerini (*metadata*) depolamak da özenli bir sistem kurmayı gerektirir. Her eserin en az birer makamı, formu, usulü ve sözlü eserlerin bir güftesi (dolayısıyla güfte yazarı) vardır. Buna karşılık birçok kaynakta bu bilgilerin hemen tümü farklı yazım biçimlerine sahip olabilmektedirler: Birtakım sözcükler birleşik, ayrı ayrı ya da inceltme işaretli / işaretli yazılabilmekte, özellikle eski bestecilerin adlarının değişik biçimlerde kullanıldığına rastlanmaktadır. O nedenle, sembolik verilerin oluşturulduğu Mus2-Alfa'da¹ öncelikle bir ilişkisel veritabanı yapısı yaratılmış, bu bilgiler yalnızca metin olarak değil sayısal kodlarla da ilişkilendirilmiştir. Böylelikle bilgilere kolay erişim, tekrarlı kayıtlar olmaması vb. güvence altına alınmıştır. Merkezinde eser künye bilgileri tablosunun bulunduğu bu ilişkisel yapı Şekil 3.1'de gösterilmiştir.



Şekil 3.1 Sembolik verilerin kaynağı olan Türk musiki için ilişkisel veritabanı sistemi

¹ Bkz. www.musiki.org

Türk musikisi için sembolik alanda yakın zamana kadar büyük bir boşluk bulunmaktaydı. Bunun en önemli nedenlerinden biri, Türk musikisinin -özellikle zengin perdelerinin- sembolik temsilinde karşılaşılan zorluklar olsa gerektir. Son üç yıl içinde bu alanda ardarda iki veritabanı paylaşımına açılmıştır. Bunlardan ilki olan *TSM Derlemi* (Atalay ve Yöre [92]), 20 makamdaki 600 eserden oluşmaktadır. Veriler, eserlerin künyeleri dâhil Excel formatındadır. Perde adları olarak Arel - Ezgi - Uzdilek sistemindekiler kullanılmıştır ve bir dosya içinde 5 eserin verileri bulunmaktadır. Bu tezin yazarı tarafından hazırlanıp paylaşımına açılan ikinci derlem SymbTr (Karaosmanoğlu [93]) anons edildiğinde 155 makamdan 1700 eser içeriyordu. Koleksiyona adını veren SymbTr, gerçekte Türk musikisi eserlerini sembolik olarak eksiksiz biçimde temsil etmek üzere tasarlanmış bir metin formatıdır. Bu formata yakın tarihlerde bazı eklemeler yapılmış (Karaosmanoğlu ve Taşçı [94]), eser sayısı da 2200'e çıkmıştır (Bozkurt vd. [95]). Derlemde eserlerin sembolik verilerini içeren metin dosyalarının yanısıra PDF formatında notası ve MIDI formatında ham sentetik seslendirmesi de yer almaktadır. Paylaşımına açılmasının üzerinden henüz kısa bir süre geçmesinin ardından bu derlemden yararlanılarak birçok çalışma yapılmış ve bunların çıktıları uluslararası dergilerde yayınlanmış ve konferanslarda sunulmuştur (Ünal vd. [96], Bozkurt vd. [97], Şentürk vd. [98]). Bazı araştırmacılar / müzisyenler de aynı derlemi MusicXML (Uyar vd. [99]), ABC Music Notation¹ ve Mus2² formatlarına dönüştürmüş ve kullanıma açmışlardır.

Aşağıda, yeni yapılmış eklemelerden sonra SymbTr v2 ([94]) diye anılmaya başlanan formata ilişkin ayrıntılı bilgi verilmiş, içeriğinden oluşturulan örnek istatistikler sunulmuş ve ilişkili çalışmalardan bazıları özetlenmiştir.

3.2 SymbTr Dosya Formatı

Türk musikisi, geçmişi bin yıl geriye giden, makam adı verilen özgün bir örgüye sahip, usul denilen ritmik yapılarca zengin bir türdür. Perde sayısı Batı müziğine göre oldukça fazladır. Bu nedenle Türk musikisi notalarında pek çok değiştirici işaret (bemol ve diyez)

¹ <http://ifdo.ca/~seymour/runabc/makams/index.html>

² Utku Uzman, www.mus2.com.tr

kullanılır. Özgün ritmik yapılar da Batı müziğine göre daha zengindir. Basılı notaların tek bir sürümü olmasına karşılık, icrada çalgının ve / veya şarkıcının ses alanına göre âhenk denilen ötelemeler (*transposition*) yapılır. Türk musikisinin en belirgin öteki iki özelliği de tek sesli veya heterofonik oluşu ve ses paletinin oktavda 17, 24; hatta bazı müzikologlara göre daha çok sayıda perde içermesidir ([81], [79], [74], [88]). Batı müziğine göre daha fazla perde barındırdığı halde, icra (uygulama) ile basılı notalarda zımnen ifade edilen frekans değerleri (kuram) arasında tam bir uyum yoktur (Ay vd. [100]).

Son paragraf, Türk musikisini birçok öteki dünya müziklerinden ayırmak için yeterli temel unsurları özetlemektedir. Bu bilgilerden çıkarsanabileceği gibi, başka müzikler için geliştirilmiş veri yapısı ve algoritmaların birçoğu Türk musikisine doğrudan uygulanamaz. Öte yandan, hesaplamalı modeller üzerinde çalışan Türk musiki araştırmacılarının sayısı da azdır. Yani hem veri, hem de araştırma ve algoritma geliştirme konularında geniş bir boş alan bulunmaktadır.

Türk musiki, iki ana başlık altında toplanabilir:

1. Klasik Türk musiki,
2. Türk halk müziği.

Aynı kültürün üzerinde yeşerdikleri için, makamsal örgü ve ritmik yapı olarak birbirlerine çok benzerler. Buna karşılık, 20. Yüzyıl başındaki politik tercihler nedeniyle iki tür arasında yapay bir ayırım ve farklı ekoller oluşmuştur. Şu andaki kuram, gösterim ve terminolojileri oldukça farklıdır. Şekil 3.2’de TRT’nin hem klasik Türk musiki hem de Türk halk müziği repertuarında yer alan bir türkünün üç farklı sistemdeki notasının ilk ikişer ölçüsü verilmiştir.

Notalarda görülebileceği gibi, temel ezgi çizgisi aynı olduğu halde özellikle değiştirici işaretlerde farklar vardır: klasik Türk musiki sürümünde ters ve çengelli (Şekil 3.2-a), Türk halk müziği sürümünde ise üst-indisli (Şekil 3.2-b) ve normal bemol işaretleri kullanılmıştır. Tezin yazarınca önerilen karma notasyon (Şekil 3.2-c), bu ikisinin bir tür birleşimidir.

Ters ve çengelli bemoller pratik olarak, önüne geldikleri notayı sırasıyla 1 ve 4 koma¹ pestleştirirler. Oysa yapılan birçok ölçüm ([12], [13], Bozkurt vd. [101], Özek [102], [103], [104]; Tan [105]), Sabâ makamı dizisindeki *segâh* perdesinin *buselik*ten yaklaşık 2, *hicaz* perdesinin *nevadan* yaklaşık 3 koma bemolü pest seslendirilmesi gerektiğini ortaya koymuştur. O nedenle karma notasyonun donanımındaki bemollerde bu değerler indis olarak yer almaktadır.

Sabâ Türkü
Bir Dalda İki Kiraz

Usul: Sofyan

(a) KTM

Bir Dalda İki Kiraz
İstanbul Türküsü

(b) THM

Bir Dalda İki Kiraz
Sabâ Türkü

Usul: Sofyan
♩ = 90

(c) Karma

Şekil 3.2 Bir halk türküsünün KTM (üstte), THM (ortada) ve karma (altta) formatlardaki gösterimleri

Klasik Türk musikisi ve Türk halk müziği basılı notaları arasındaki tek fark değiştirici işaretlerden ibaret değildir. Örneğin klasik Türk musikisi notalarında hemen hemen hiç

¹ Tezde *koma* sözcüğü ile *Holder koması* (~23.5 cent) kastedilmektedir.

süsleme işareti bulunmaz. Türk halk müziği notalarında ise, Şekil 3.2-b'deki *triller*de olduğu gibi, süsleme işareti yerine kısa değerli notalar defalarca yazılır [6]. Bu tür pasajlar SymbTr'ye aktarılırken, süslemeyi temsil eden nota grupları tek bir çekirdek notaya dönüştürülmüş ve Kod sütununa süslemenin türü yazılmıştır. Karma notasyonda ise, Şekil 3.2-c'de görüldüğü gibi, gereken yerlere *tril* işaretleri konulmuştur.

SymbTr veritabanında hem klasik Türk musikisi, hem de Türk halk müziği eserleri bulunmaktadır. Çünkü geleneksel olan ve halen yaşayan müzik budur. Dolayısıyla, veritabanının formatı bu yapay ayrımı aynı bir potada eritecek biçimde tasarlanmıştır. Tasarımın en önemli yanı, seçilen temel ses sistemidir: klasik Türk musikisinde bir oktavda 24 perde içeren Arel - Ezgi - Uzdilek ses sistemi yarım yüzyılı aşkın süredir resmî kabul görmekte ve yaygın olarak benimsenmektedir. Türk halk müziğinde ise genellikle oktavda 17 perde barındıran sistem temel alınır [6]. Bu 17 perdenin hangileri olduğu, SymbTr veritabanındaki 300 Türk halk müziği eserinde bulunan 100 bin dolayındaki perdenin dağılımı incelenerek belirlenmiştir. Arel - Ezgi - Uzdilek ve THM-17 sistemlerindeki perdelerden 12 tanesi ortaktır. Üstelik bunlar 1 sentten daha küçük bir hata ile 53 ton eşit tamperaman (53TET) sisteminin neredeyse mükemmel birer altkümesidirler [74] (Çizelge 3.1). Bu gerçeklik nedeniyle olsa gerek, Türk musikisi eğitimi, adı konularak (Ayomak, Sarısözen) ya da konulmaksızın (Özkan [106]), 53TET üzerine kurulmuştur. Makamlar anlatılırken, basılı notalar hazırlanırken vb. sözü geçen *koma* terimi ile *Holder koması* kastedilir; bu ise oktavı işitsel olarak 53 eşit aralığa bölen birimin ta kendisidir¹. SymbTr'de 53TET'in kapsayıcı format olarak seçilmesi klasik Türk musikisi ve Türk halk müziği eserlerini sembolik olarak aynı terminolojiyle ifade edebilmenin yanı sıra, eserleri her âhenge öteleyebilmeyi de mümkün kılmıştır.

SymbTr veritabanının yapısal kaynağı, tezin yazarınca geliştirilen Mus2-Alfa adlı bilgisayar programının çıktılarıdır. Bu yazılım, Türk musikisi için ilk nota yazım ve seslendirme uygulamasıdır. Derlemdeki eserler Mus2-Alfa kullanılarak tek tek elle

¹ Herkesin dilindeki “Türk musikisinde 1 tam ses 9 komadan oluşur” ve “*buselik – çargah* ile *hüseyni – acem* aralıkları 4'er komadır” ifadelerinin doğal sonucu budur: Bir oktavda 5 tane tam ve sözü geçen 2 tane yarım ses bulunduğuna göre, $5 \cdot 9 + 2 \cdot 4 = 53$ tür.

girilmiştir. Veritabanındaki tüm eserlerin basılı nota ve MIDI karşılıklarının da hazırlanabilmesi bu sayededir. Böylelikle metin, grafik ve MIDI dosyalarının *aynı* bilginin değişik formatlarda ifadesi olduğu da garanti altına alınmıştır. Mus2-Alfa ve Nota 2.2¹, Notist² gibi benzerlerinden önce notalar ya elle ya da Finale, Sibelius³ gibi Batı müziği için geliştirilmiş programlarla yazılmaktaydı. Batı kökenli bu yazılımlar Türk musikisine özgü bemol ve diyezleri standart olarak içermedikleri, yani sayısal veri ve sentetik seslendirme için gerekli bilgiyi barındırmadıkları için MusicXML ve MIDI gibi formatlardaki çıktıları da müzik araştırmaları için kanımızca kullanışlı olamamaktaydı ([25], Gedik vd. [107]).

SymbTr formatı, Mus2-Alfa'nın basılı notalar hazırlanmasına kaynaklık eden formatından türetilmiştir. Orijinal format *senyo*, *koda* gibi akış işaretlerini de içerdiğinden, bilimsel araştırmalar için ek düzenlemeler gerektirir. SymbTr'de ise notalar, tıpkı icra edilir gibi, doğrusallaştırılmıştır. Mus2-Alfa temelli bu verilerin avantajlarından biri de, notaların çeşitli kişilerce dinlenmek suretiyle büyük ölçüde kulak testinden geçmesinin sağlanmış olmasıdır [108].

SymbTr'deki verilerin ana kaynağı ise TRT ve öteki güvenilir arşivlerdir (Bkz. sayfa 2, dipnot 2). Bu koleksiyonlardaki notaların hemen tamamı Arel - Ezgi - Uzdilek sistemine göre yazılmışlardır. Oysa sentezlemede gerçekçi sesler üretilmesi için, bu sistemde bulunmayan perdelerin de kullanılması gerekmiştir. Türk halk müziği dizisindeki 5 perde ise zaten Arel - Ezgi - Uzdilek sisteminde bulunmamaktadır (Çizelge 3.1): Re b3, Mi b3, Fa #3, La b2 ve Si b2.

SymbTr basılı notalarındaki karma notasyon kuralları, Türk müzisyenlerin alışkanlıklarını zorlamayacak tarzda belirlenmeye çalışılmıştır: Arel - Ezgi - Uzdilek sistemindeki bemol ve diyezler biçim olarak aynen korunmuş, bu sistemde bulunmayan perdeler için ise, en yakın değiştirici işaretin üzerinde koma sapmalarını ifade etmek üzere üst- indisler kullanılmıştır (Şekil 3.2-c).

¹ www.tulgan.com/Nota22/

² www.notist.org

³ www.sibelius.com

Çizelge 3.1 THM (17) ve KTM (24) ile 53TET perdelerinin ilişkisi. Koma53 sütunu, 4. oktavdaki değerleri göstermektedir

Koma 53	THM	53TET	KTM
317		Cb1	Dikbûselik
316		B#2	
315		B#1	
314		B	Bûselik
313	Si	Bb1	Segâh
312	Si b2	Bb2	
311		Bb3	
310		Bb4	Dikkürdî/sünbûle
309	Si b	A#4	Kürdî/Sünbûle
308		A#3	
307		A#2	
306		A#1	
305	La	A	Dügâh/Muhayyer
304		Ab1	Dikzîrgüle/şehnaz
303	La b2	Ab2	
302		Ab3	
301	La b	Ab4	Zîrgüle/Şehnaz
300		G#4	Nîmzîrgüle/şehnaz
299		G#3	
298		G#2	
297		G#1	
296	Sol	G	Rast
295		Gb1	Dikgeveşt/mâhur
294		Gb2	
293		Gb3	
292		Gb4	Geveşt/Mâhur
291	Sol b	F#4	Irak/Eviç
290	Fa #3	F#3	
289		F#2	
288		F#1	Dikacem/aşiran
287	Fa	F	Acem/aşiran
286		E#3	
285		E#2	
284		E#1	
283	Mi	E	Hüseynî/aşiran
282		Eb1	Dikhisar
281		Eb2	
280	Mi b3	Eb3	
279		Eb4	Hisar
278	Mi b	D#4	Nîmhisar
277		D#3	
276		D#2	
275		D#1	
274	Re	D	Yegâh/Neva
273		Db1	Dikhicaz
272		Db2	
271	Re b3	Db3	
270	Do #	Db4	Hicaz
269		C#4	Nîmhicaz
268		C#3	
267		C#2	
266		C#1	
265	Do	C	Çargâh

SymbTr'deki eserlerin makam, form, usul ve besteci gibi kimlik bilgileri, dosya adında yer almaktadır. Bu sayede eserlere doğrudan doğruya dosya sisteminde arama yapılarak erişilebilir:

beyati--sarki--aksak--karsidan_yar--dede_efendi.txt

└───┘	└───┘	└───┘	└───┘	└───┘
Makam	Form	Usul	Başlık	Besteci

Dosyaların içerdiği bazı sütunlar aynı bir bilginin değişik gösterimlerinden ibarettir. Dolayısıyla, uygun bir bilgisayar kodu yardımıyla bir sütundaki bilgi ötekine kolaylıkla dönüştürülebilir. Fakat hem çok az ekstra depolama alanı gerektirdikleri için, hem de entonasyonları aynı olduğu halde basılı notadaki görünüşleri farklı olan enarmonik notaların birbirlerinden ayırdedilmelerine gereksinim duyulabileceği gibi gerekçelerle, araştırmacılara kolaylık sağlanması amacıyla farklı görünümdeki bu eşdeğer bilgilerin bazılarını formatta ayrı ayrı yer verilmiştir. Aşağıda bu temel ve türetilebilen sütunlar aynı madde başlıklarında açıklanmıştır.

SymbTr dosyalarındaki sütunların anlamları şöyledir:

Kod: Normal bir nota (9) ya da süslemeyi gösterir. En çok kullanılan süsleme kodları *Tremolo* (7), *Çarpma* (8), *Tril* (12) ve *Mordan*(23)'dir.

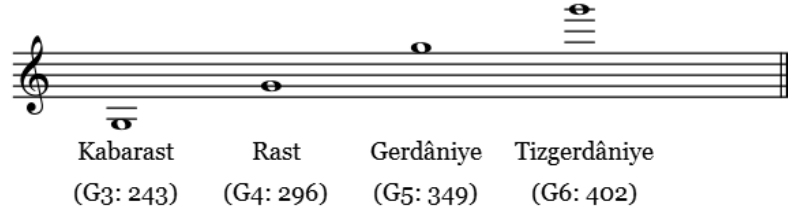
SymbTr v2'de formata şu dört yeni kod eklenmiştir:

51: Bu kodun bulunduğu noktadan itibaren yeni bir usule geçildiği anlaşılır. Usulün adı Hece-1, zaman ve mertebesi ise Pay ve Payda sütunlarında yazılıdır.

53: Bu satırın bulunduğu noktanın bir cümlecik sınırı olduğunu gösterir. Yani bu satırdan bir önceki notadan sonra cümlecik bitmekte, sonraki notadan hemen önce yeni bir cümlecik başlamaktadır. Bu sınırlar bir insan tarafından konulmuş ya da bir algoritmacıya öngörülmüş olabilir.

54: Bir geçki / çeşni pasajının başlangıç noktasını gösterir. Hece-1 sütununda hangi geçki / çeşninin hangi perde üzerinde yapıldığı yazılıdır. Örneğin *çargâh* perdesi üzerinde bir Hicaz geçkisinin başladığı, pasajın başındaki notadan önceki satıra 54 kodlu bir kayıt eklenerek ve Hece-1 sütununa *hicaz@do5* yazılarak ifade edilir.

55: Bir geçki / çeşni pasajının bitim noktasını gösterir.



Şekil 3.3 SymbTr'deki tüm verilerin toplandığı 3 oktavlık alan ve bazı koma no'ları

NotaAE / KomaAE: NotaAE, bilimsel perde notasyonunun (Young [109]) bir türüdür. Basılı notadaki perdenin simgesini ve oktavını (örneğin *gerdaniye* için G5), KomaAE ise bunun koma cinsinden karşılığını (349) gösterir (Şekil 3.3).

KomaAE ve aşağıda sözü geçen Koma53 sütunları, MIDI standardındaki MIDI No alanı için izlenen temsil yaklaşımıyla tanımlanmışlardır: Bu standartta MIDI No'su 0 olan notanın frekansı yaklaşık 8.176 Hz'tir. İnsan kulağının işitme sınırının altında kalan bu ses, eksi birinci oktavdaki Do'ya (C-1) tekabül eder¹. Bu ses için KomaAE ve Koma53 değerleri de 0'a eşittir. Bundan 1 oktav tiz C0 notasının MIDI No'su 12, KomaAE ve Koma53 değerleri 53'tür. Bu bilgilere göre kolayca hesaplanabileceği gibi, C-1'den 5 oktav yukardaki C4 (Do4) notasının frekansı $2^5 \cdot 8.176 = 261.63$ Hz, MIDI No'su $5 \cdot 12 = 60$, KomaAE ve Koma53 karşılıkları ise $5 \cdot 53 = 265$ 'tir.

Türk halk müziğinde var olup da Arel - Ezgi - Uzdilek sisteminde bulunmayan perdeler, en yakın nota ile eşleştirilmiştir. Örneğin *Mib3* ↔ *Hisar (Eb4)* (Çizelge 3.1). Tanım gereği, *kabaçargah*, *çargah*, *tizçargah*, ... dışındaki tüm Arel - Ezgi - Uzdilek perdelerinin MIDI No karşılıkları kesirli bir sayıdır. Bunların en yakın tamsayılardan sapma miktarları, sözkonusu tamsayıya karşı gelen 12TET notasından yarı-ton olarak mikrotanal sapmaları gösterir. KomaAE değeri bilinen notanın MIDI No'su, şu formülle hesaplanır:

$$MIDI_No = \frac{KomaAE \cdot Hk}{100} \quad (3.1)$$

Burada *Hk*, Holder komasının cent cinsinden karşılığını göstermektedir (~22.5)

NotaAE sütunundaki perde adlarında koma cinsinden bemol ve diyezleri göstermek üzere sırasıyla "b" ve "#" ön-ekleri kullanılmıştır. Örneğin Arel - Ezgi - Uzdilek

¹ MIDI standardında oktav numaraları -1'den başlayarak 9'a kadar çıkar. Ses alanı yaklaşık 10.5 oktavdır.

sistemindeki *segâh* adlı perde “4. oktavdaki natürel B (Si)’den bir koma pest” anlamına gelmek üzere *B4b1* şeklinde gösterilir. *KomaAE*’si 313, MIDI No’su 70.87’dir. Buna en yakın 12TET notası Si (B4, MIDI No = 71) olduğuna göre, *segâh* perdesinin bundan 0.13 yarı-ton (13 sent veya yaklaşık yarım koma) pest seslendirilmesi gerektiği anlaşılır.

Nota53 / Koma53: Benzer biçimde, notanın 53TET’teki kodunu ve koma cinsinden karşılığını gösterir. İcrada seslendirilen ile basılı notalardaki gösterimde fark yoksa (yani perde aynen basılı notadaki frekansta çalınacaksa) *KomaAE* ile *Koma53*’ün değerleri aynıdır. Uşşak, Hüzam, Sabâ, Karcığar gibi makam dizilerindeki bazı perdelerde ise bu iki değer çoğunlukla farklıdır. Örneğin *NotaAE* kodu *B4b1* olan *segâh* perdesi, gösterildiğinden 1 koma daha pest çalınması gereken makamlarda *Nota53* sütununda *Si4b2* olarak temsil edilir. *Koma53* cinsinden karşılığı 312, MIDI No’su 70.64’tür. Kuşkusuz (3.1) formülü *Koma53* ile MIDI No arasındaki dönüşümler için de geçerlidir.

Özetle, ‘AE’ ekiyle biten sütunların *basılı notalarda gözüken*, ‘53’ ekiyle bitenlerin ise *daha gerçekçi bir entonasyon için seslendirilmesi gereken* bilgileri içerdiği söylenebilir.

Pay / Payda ve ms: Notanın ritmik değeri ve milisaniye cinsinden süresidir. Örneğin sekizlik notalar için Pay = 1, Payda = 8’dir. Ritmik değer ile ms cinsinden eşdeğeri, eserin temposu (dakikada icra edilecek ¼’lük nota sayısı) belliyken bu bilgiler şu formülle birbirine dönüştürülebilir:

$$ms = \frac{240\,000}{Tempo} \cdot \frac{Pay}{Payda} \quad (3.2)$$

Ayrıca Pay, Payda ve ms değerleri belliyken (3.2) formülü kullanılarak Tempo hesaplanabilir. Örneğin 1/8’lik bir notanın *ms* cinsinden süresi 500 ise, o andaki tempo 60 demektir. Bu nedenle eserlerin tempo bilgisini ayrıca vermek gerekmemiştir. Türk musikisinde aynı bir eser içinde tempo değişiklikleri olabildiği (sözelimi, sazsemâhlerinin 4. haneleri öteki kısımlardan daha hızlı icra edilir) ve veritabanı ritmik analiz için kullanılabileceği (örneğin Holzapfel ve Stylianou [110]) için hem Pay / Payda hem de *ms* bilgilerinin aynı kayda yazılması yararlı bulunmuştur.

LNS (Legato / Normal / Stacatto): Notanın ne oranda bağlı çalınacağını gösterir. Bu bilgiler, eserlerin icraları dinlenerek ve notayla eşleşen hecenin, sözcüğün ve mısraın neresinde olduğu gözetilerek belirlenmiştir. Tanımsız (*default*) değeri 95’tir. Yani

normal notalarda sürenin son % 5'i susularak tamamlanır. 50, *stacattolu* çalma anlamına gelir. Sus işaretleri bu değerden yararlanılarak belirlenir¹.

Sus işareti: NotaAE ile Nota53 sütunları boşsa ve KomaAE ile Koma53 sütunlarında '-1' değeri varsa, bu satır, Pay / Payda alanlarında yazılı ritmik değerde bir sus işaretini ifade eder. Bu tür satırların LNS sütununun 100 değerini içerdiği varsayılır. Bu özellik SymbTr v2'den itibaren kullanılmaya başlanmıştır.

Basış: Notaya basış şiddetini gösterir. Nüanslı icrayı olanaklı kılar. Gerçi Türk musikisi eserleri notaya alınırken *piyano*, *kreşendo* vb. nüans ve dinamik işaretleri genellikle kullanılmamıştır. SymbTr'de ise bu boşluk olabildiğince doldurulmaya çalışılmıştır.

Hece-1: Sözlü eserlerde, satırda yazılı nota ile eşleşen heceyi gösterir. Sözcük sonlarına denk gelen hecelerin sonunda 1, mısra sonlarındakilerde 2 boşluk karakteri bulunur. Bu sayede sözlü eserlerin güftelerini bilgisayar kodu yazmak suretiyle otomatik olarak oluşturmak mümkündür. Hem iz sürmeyi kolaylaştırmak, hem de (Cheng vd. [111])'de olduğu gibi güfte temelli ezgi analizi çalışmalarında yararlanılabileceği için bu sütun formata eklenmiştir. Sazeserlerinde, "TESLİM" vb. bölümlerin başlangıcını göstermek amacıyla sözcüğün tamamı büyük harfle yazılır; onun dışında bu alan boştur. Sözlü eserlerin aranağme gibi saz kısımlarında ise bir dizi nokta işareti yer alır. (Orijinal Mus2-Alfa formatında, tekrarlı pasajlar için güftenin ikinci hecesi de ayrı bir sütunda yer almaktadır. Ancak telif haklarının ihlâli kapsamına girebileceği için, SymbTr'de yalnızca birinci hecelere yer verilmiştir.)

Ofset: Yalnızca v2 formatındaki SymbTr dosyalarında vardır. O satırdaki notanın, kaçınıcı ölçünün yüzde kaçında bittiğini gösterir. Örneğin Çizelge 3.2'nin 4. satır Ofset sütununda yazılı 0.5, bu notanın sonunda ilk ölçünün yarısının bittiğini anlatır. Bu sütundaki değer tamsayı olması, notanın o numaralı ölçünün sonunda yer aldığı anlamına gelir.

¹ SymbTr v1'deki bu kural, MIDI standardından esinlenilerek belirlenmişti. Bu sayede veri dosyalarında sus işaretlerine (ve dolayısıyla sürelerine) ayrı bir satır olarak yer verilmesine gerek kalmamaktaydı. Örneğin payı 1, paydası 2 olan bir notanın LNS değeri 75 ise, notanın gerçekte 3/8'lik (yani yazılı sürenin % 75'i kadar) olduğu, ardından 1/8'lik bir sus işaretinin geldiği hesaplanabiliyordu. Ancak gerek normal notalarla *stacatto*'lu notaları ayırdetmenin zorluğu, gerekse bazı ölçü bitimlerinin gösterim dışı kalması üzerine v2'de sus işaretleri ve süreleri ayrı bir satır olarak temsil edilmeye başlanmıştır.

Şekil 3.2-c'deki notanın *SymbTr*'deki gösterimi Çizelge 3.2'dedir. Görüldüğü gibi, sütun başlıklarının hemen ardından veriler başlamaktadır. Sütunlar birbirlerinden sekme (*tab*) karakteriyle ayrılmıştır.

Çizelge 3.2 Şekil 3.2-c'deki notanın *SymbTr*'deki görünümü

Kod	Nota53	NotaAE	Koma53	KomaAE	Pay	Payda	ms	LNS	Bası	Soz-1	Ofset
9	Do5	C5	318	318	1	4	667	95	96	Bir	0.25
9	Re5b3	D5b4	324	323	1	16	167	99	108	dal	0.3125
9	Do5	C5	318	318	1	16	167	99	96		0.375
9	Re5b3	D5b4	324	323	1	8	333	95	84		0.5
9	Si4b2	B4b1	312	313	1	8	333	95	72	da	0.625
9			-1	-1	1	8	333	100			0.75
12	Do5	C5	318	318	3	16	500	99	96	i	0.9375
9	Si4b2	B4b1	312	313	1	16	167	95	96		1
9	La4	A4	305	305	1	8	333	99	96	ki	1.125
8	Si4b2	B4b1	312	313				99	96		1.125
9	La4	A4	305	305	1	16	167	99	96		1.1875
9	Sol4	G4	296	296	1	16	167	95	96		1.25
9	La4	A4	305	305	1	8	333	99	96	ki	1.375
9	Si4b2	B4b1	312	313	1	8	333	95	96		1.5
9	Do5	C5	318	318	1	8	333	99	84	raz	1.625
9	Re5b3	D5b4	324	323	1	8	333	99	96		1.75
9	Do5	C5	318	318	1	8	333	99	96		1.875
9	Si4b2	B4b1	312	313	1	8	333	95	96		2

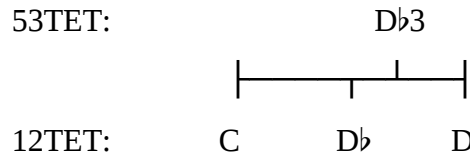
3.3 Türk Musikisi ve MIDI

SymbTr derlemindeki eserler üzerinde çalışacak tüm araştırmacıların müzisyen olmaları ve Türk musikisini bilmeleri beklenemez. Buna karşılık birtakım ezgilerin nasıl tınladığını genel çizgileriyle işitmek isteyebilirler. Bu durum gözetilerek, derlemdeki tüm eserlerin MIDI formatında ham sentetik seslendirmeleri de paylaşılmıştır. Ancak MIDI mesajlarının olağan kullanımı ile makam müziği seslerini üretmek mümkün değildir. Çünkü bu standart 12TET sistemine göre tasarlanmıştır. O nedenle, Türk musikisi eserlerini seslendirebilmek için MIDI'deki *perde sündürme (pitch-bend)* tekniğini kullanmak gerekmiştir. Bu amaçla, entonasyonu değiştirilmek istenen notayı başlatma

mesajından hemen önce, onunla aynı zaman-farkı (*delta-time*) değerine sahip bir perde sündürme mesajı gönderilir. Şekil 3.2-c'deki ilk 5 nota için MIDI mesajlarının nasıl oluşturulduğu aşağıda açıklanmıştır.

SymbTr'de nirengi noktası, Do'dur (C). Yani Türk musikisi basılı notalarındaki natürel Do'larla (... , *kabaçargah*, *çargah*, *tizçargah*, ...) 12TET'in Do'larının frekansları *mansur nısfıyesi* ahenginde aynı alınmıştır. Dolayısıyla hiçbir oktavdaki Do'lar için perde sündürmesi gerekmez. MIDI standardına göre, perde sündürülmeyecekse bu mesajla 8192 değerinin gönderilmesi gerekir¹. Do(*çargah*)'lar dışındaki tüm öteki perdeler için ise sündürme gerekir. Tizleştirme için ilgili değer 8192'ye eklenir, pestleştirme için ise bundan çıkarılır. Örneğin ikinci nota olan Db3 (Re Bemol 3) için hangi perdeyi ne kadar sündürmek gerektiği şöyle hesaplanır:

Db3, 12TET'teki normal Db ile D arasındadır ve aşağıda gösterildiği üzere, Db'ye daha yakındır. O nedenle, en uygunu, Db'yi sündürmektir. C – Db3 aralığı 6 komadır. Değer olarak 12TET'teki C - Db aralığından 35.8 sent kadar geniştir²:



SymbTr'deki MIDI dosyaları, 100 sent = 4 096 perde sündürme birimine eşit olacak biçimde hazırlandığı için, Re Bemol için sündürme miktarı $8192 + 35.8 \cdot 40.96 \approx 9 658$ olarak hesaplanır. Sözde-MIDI mesajları topluca şöyledir:

Zaman Farkı	Perde Sündürme	Nota Başlat
0	8 192	C4
4	9 658	D5b
1	8 192	C4
1	9 658	D5b
2	6 492	B4

¹ Sündürme yokken bununla ilgili herhangi bir mesaj gönderilmemesiyle de yetinilebilir. Fakat daha önceki bir nota için böyle bir mesaj gönderilmişken, bazı MIDI yazılım ve donanımlarında aynı sündürme etkisinin sürme olasılığı vardır (Bkz. Scala: <http://www.huygens-fokker.org/scala/>). 8192 değerinin gönderilmesi bu riski ortadan kaldırır.

² $6 \cdot 1200 / 53 \approx 135.8$ sent

SymbTr veritabanına MIDI dosyalarının da konulmasının bir başka nedeni, hesaplamalı müzikoloji literatüründe MIDI formatındaki dosyaları girdi olarak alan birçok yazılım geliştirilmiş olması, dolayısıyla bazı araştırmacıların bu türden dosyaları yeğlemesi ya da onlara gereksinim duymasındır.

SymbTr veritabanındaki MIDI dosyaları müzik dinletme amaçlı olmadığı için, bu formattaki dosyalara çalgı bilgisi bile konulmamıştır. Seslendirme tanımsız MIDI çalgısı ile gerçekleşir.

3.4 Bazı İstatistikler

Derlemdeki 2200 eserde bulunan perdelerin kaba rast ile tiz gerdaniye arasındaki 3 oktavlık bölgede toplandığı ve birbirinden farklı 63 perde kullanıldığı gözlenmiştir. Arel – Ezgi – Uzdilek sisteminde bu bölgede 73 perde bulunduğuna göre, 10 perdenin hiçbir eserde kullanılmadığı anlaşılmaktadır. Kalan perdelerden 32 adedinin görülme sıklığı ise binde 3’ün altındadır. En sık kullanılan ilk 8 perde, derlemdeki tüm perdelerin % 70’ini oluşturmaktadır. Bunlar pestten tize doğru sıralandığında ortaya çıkan dizi, Türk musikisinde ana makam tartışmalarına ışık tutabilecek niteliktedir:

Dügâh, Segâh, Çargâh, Neva, Hüseyinî, Acem, Gerdaniye, Muhayyer.

Bu istatistikler, 1000 eser üzerinde benzer sayımlar yapan (Sağır [112])’nin gözlemleriyle uyum içindedir. Ancak yukardaki sonuçlar sözkonusu araştırmadakilerin iki katından fazla eserden türetildikleri için istatistiksel olarak daha anlamlıdır.

SymbTr derlemi esas olarak eğitim ve bilimsel araştırma amacıyla oluşturulduğu için kapsamındaki eserlerin makam, form, usul vb. çeşitliliklerinin olabildiğince zengin olmasına özen gösterilmiştir. İçinde eğitsel amaçla bestelenmiş *seyir*, *örnek-öz* ve *küpe* formu gibi örnekler çoktur. Eserler belirlenirken gözetilen bir ölçüt de, ortalama ve üstü müzikseverler tarafından bilinenlerin yeğlenmesidir. Bazı çalışmalarda ([92], Levendoğlu [113], Sümbüllü ve Albuz [114]) eserlerin rasgele örneklem yoluyla seçilmesi bizce yerinde değildir. Çünkü örneğin TRT repertuarında yer alan 25 bin eserin pek çoğu ya kamuya açık olarak hiç icra edilmemiş, ya da çoktan unutulmuştur. Bestelenen fakat hiç icra edilmeyen ya da yaygınlaşmayan bir eserle hâlâ dillerde dolaşan eserlerin aynı kefeye konulmaması gerekir.

3.5 Veritabanının kullanımı

Ayrıntılı olarak anlatılan SymbTr formatındaki veritabanında bulunan 2200 eserin hemen hemen yarısından bu tezdeki üç uygulama için yararlanılmıştır. Bunların yaklaşık sayıları şöyledir:

- n-gram tekniğiyle makam tanıma uygulamasında 900,
- İstatistik karar yöntemiyle makama özgü motif tanıma uygulamasında 200,
- Yapay öğrenme yöntemiyle bölütleme uygulamasında 1000 (Bunların yarısı uzmanlarca etiketlenmiş, öteki yarısı üzerinde testler yapılmıştır).

Bu üç gruptaki eser kümelerinin arakesiti boş değildir. Yani bazı eserler iki ve/veya üç uygulamada da kullanılmıştır. Makam tanıma için doğrudan eser notalarını kullanmak yeterli olmuş, bölütleme uygulaması için buna uzmanların işaretledikleri sınır etiketlerini de eklemek gerekmiş, makama özgü motifleri belirleyebilmek için ise bu ikisine ek olarak uzmanların geçki / çeşni işaretleri de kullanılmıştır.

YÖNTEM

Tez kapsamında ele alınan üç hesaplamalı müzikoloji uygulaması n-gram analizi, istatistiksel karar verme teknikleri ve yapay öğrenme gibi mühendislik matematiği yöntemlerini kullanmaktadır. Bunlar, uygulamaların tezdeki ağırlıklarıyla orantılı ayrıntıda aşağıda anlatılmıştır.

4.1 n-gram Analizi ile Makam Tanıma

Bu çalışmada SymbTr veritabanındaki 13 makamdan 877 müzik eseri seçilerek bunlar makamlarına göre sınıflandırılmaya çalışılmıştır. Örnekler arasında ileri derecede benzerlik taşıyan, özellikle aynı diziye kullanan makam çiftlerinde bestelenmiş eserler de yer almaktadır. Eserler seçilirken ayin, kâr gibi büyük formlardan -tek bir eser içinde uzunca makam geçkili pasajlar içerebilecekleri için- kaçınılmıştır. Gerçekte Türk musikisinde şarkı gibi kısa formu eserlerde de makam geçkileri yapılır (sözlü eserlerin meyan kısmında ve saz eserlerinin özellikle üçüncü hanelerinde). Ancak bunlar genellikle kısa pasajlardır, dolayısıyla sistemin istatistik yaklaşımı da gözönünde bulundurulunca sorun oluşturma potansiyeli taşımazlar.

n-gram tabanlı istatistiksel modelleme ve sınıflandırma, birçok disiplinin yanı sıra Müzik Bilgi Erişiminde de kullanılmaktadır (Doraisamy [115], [5]). N uzunluğunda bir A dizisi verildiğinde, A 'nın bir n-gram modeli, bu dizideki n uzunluğunda altdiziler sayılmak suretiyle oluşturulabilir. Bu model, $k - 1$ elemanın istatistiklerine dayanarak, dizinin k . elemanını kestirmede yardımcı olur. Türk musiki tek seslidir, dolayısıyla makamı belirleyen ana öznelilik temel ezgi çizgisidir. Ayrıca vurgulanmış perdeler önemli bir rol oynar. Bu nedenle perdelerin eserdeki görülüş sıklığı, [12] ile Gedik ve Bozkurt'ta [116]

ses dosyaları üzerinde gösterildiği gibi, makam belirlemede yararlı bir öznelik potansiyeli taşır. Bu olgu perde dağılımlarından kolaylıkla gözlenebilir. Örneğin Hüseyinî makamındaki eserlerde ilk vurgulanan ve en sık kullanılan perde *hüseyinî* (basılı notalardaki E4), Muhayyer makamındaki eserlerde ise ilk vurgulanan ve en sık kullanılan perde *muhayyerdir* (A5), vb.. n-gram sıralı alt-dizilerin (kısa ezgi çizgilerinin) istatistiklerini sunar; dolayısıyla Batı müziğinde ton belirleme gibi benzer problemlere başarıyla uygulandığı üzere, perde histogramlarının bir genelleştirmesi kabul edilebilir.

Sembolik verilerden yola çıkarak makam bulma uygulamasında n-gram modelleri, aynı makamdaki eserlerin ezgi dizilerinden elde edilmiştir. Böylelikle model, aynı makamdaki eserler için yaygın ezgisel cümleciklerin, motiflerin ve perde geçişlerinin görülüş sıklıklarına ilişkin bilgileri derlemiş olur. Bu istatistiksel bilgi daha sonra sınıflandırma amacıyla, bir girdi dizisinin bunlarla benzerliğini belirlemede kullanılabilir.

n-gram'lar kullanılarak sınıflandırma yaparken n uzunluğundaki her bir alt-dizinin görülme sıklığının sıfır olmayan bir olasılığa sahip olması istenir. Bu dikkate alınmadığı takdirde, daha önce görülmemiş n uzunluğundaki altdizilerle karşılaşıldığında oluşan 'sıfır sıklık sorunu', anlamlı sınıflandırma yapma işlemini aksatır. Doğal dil işlemede (*Natural Language Processing: NLP*) bu sorunu çözmek için değişik yumuşatma teknikleri önerilmiştir (Heaps [117]). Bu çalışmada, SRILM araç kutusunda bulunan Witten-Bell yumuşatma tekniği kullanılmıştır (Stubbs [118]). n-gram ile ilgili hesaplama ve deneyler de bu araçla gerçekleştirilmiştir.

Şaşırganlık (*perplexity*), NLP'de yaygın olarak kullanılan bir olabilirlik kestirim biçimidir. Bir örnek ya da örnek kümesinin istatistiksel bir model tarafından ne derece olası biçimde üretildiğini kestirir; dolayısıyla, sınıflandırma amacıyla, olasılıksal modellerin birbirlerine göre değerlendirilmesinde kullanılabilir. Önerilmiş bir q olasılıksal modeli (bu uygulamada bir makam modeli) verilmiş olsun. Ayrı bir test dizisi ya da (bu uygulamada bir eserdeki ardışık perdeler demek olan) bir p mikrotonal perde dizisinden çekilmiş $x_1, x_2, \dots, x_N$ kümesini ne kadar doğru öngördüğünü kestirmek suretiyle q 'yu değerlendirip bu modelin şaşırganlığı

$$2^{\sum_{i=1}^N \frac{1}{N} \log_2 q(x_i)}$$

formülü ile hesaplanabilir. Buradaki x_i , p' 'den çekilmiş ve q tarafından değerlendirilmiştir. Formüldeki üs genellikle şu çapraz entropi formülü ile hesaplanır:

$$H(p, q) = - \sum_x p(x) \log_2 q(x_i)$$

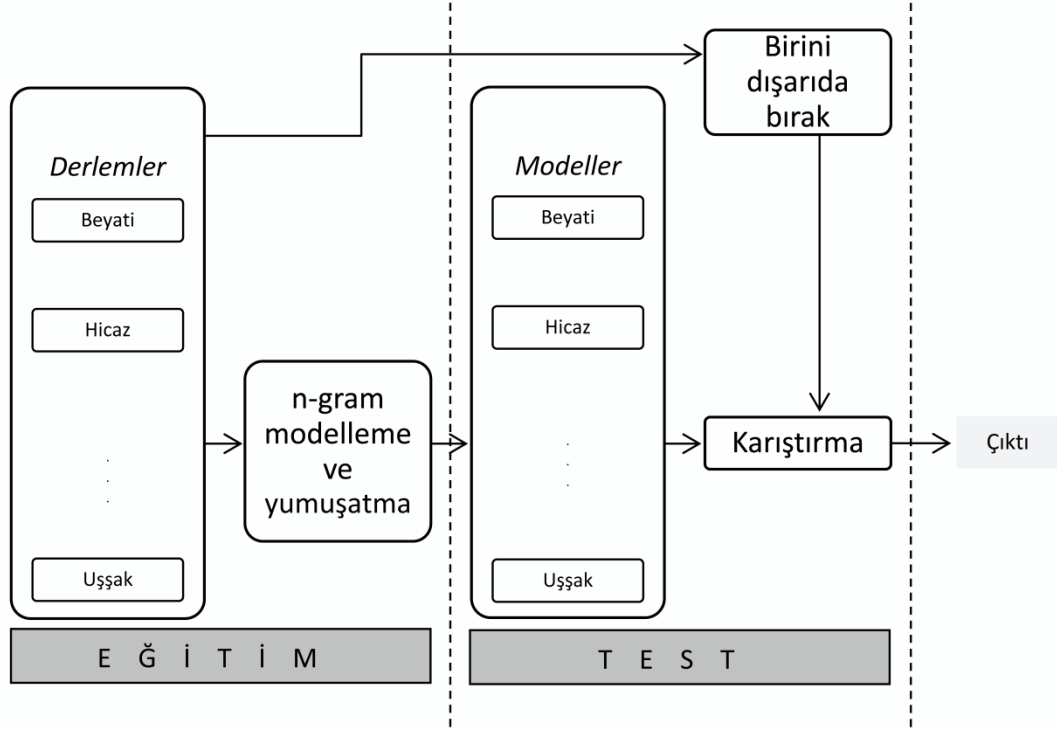
Deneyisel kurgumuzda, bir Türk musikisi eserine ait perde dizisi, makam modellerine göre değerlendirilmiştir. Şaşırganlık kullanılarak, sözkonusu eserin repertuvardaki makam modellerine ne kadar yakın olduklarını gösteren bir benzerlik metriği hesaplanmıştır.

Temel sistem için deneyisel kurgu, birini-dışarıda-bırak (*leave-one-out: LOO*) stratejisi üzerine yapılandırılmıştır. İlk rasgele bir eser seçilerek, bu, sisteme girdi olarak kullanılmak üzere derlemde çıkarılır, kalan eserler ise modelleme için kullanılır. Önce aynı makamdaki eserler tek bir derlemde toplanır. Sonra her bir makam derleminin n-gram istatistikleri hesaplanır. Uygun yumuşatma tekniğinin kullanılmasının ardından makam modelleri sınıflandırmaya ve değerlendirmeye hazır hale gelir. Modellemenin tamamlanmasından sonra da, çıkarılan eser, şaşırganlık kullanılmak suretiyle derlemde bulunan her bir makam modeline göre değerlendirilir. En küçük şaşırganlık puanına sahip makam, sistemin çıktısı / kararı olarak geri gönderilir. Temel deneyisel kurgu Şekil 4.1'dedir.

4.1.1 İlk Sonuçlar

İlk olarak sabit Arel - Ezgi - Uzdilek sistemi kullanılmış, ardından sınıflama veriminin yükselişinde n-gram uzunluklarındaki artışın etkisi gözlenmiştir. En sonunda da sabit bir n-gram kullanılarak 53TET ve 12TET notasyonu ile müzikal aralık gibi değişik gösterim tekniklerinin genel sınıflama verimindeki etkileri araştırılmıştır.

Tüm sistemin duyarlık (andırma) adı verilen uyum verimi, isabetli sınıflandırmaların sayısının toplam test denemelerinin sayısına oranı olarak verilmiştir. *Toplam ortalama*da her örnek eşit ağırlığa sahiptir. *Ağırlıklı ortalama* ise her bir makam derlemindeki örnek sayısı ağırlık olarak dikkate alınmak suretiyle hesaplanmıştır. Sistemin çıktısı, bir karıştırma (*confusion*) matrisi olarak Çizelge 4.1'de gösterilmiştir.



Şekil 4.1 Birini-dışarıda-bırak deneysel kurgusunun akış şeması

Çizelge 4.1 2-gram sonuçlarına ait karıştırma matrisi. Gri hücreler, aynı diziye kullanan makamların karıştırmalarını göstermektedir

Beyâtî	Hicaz	Hicazkâr	Hüseyinî	Hüzzam	Kürdilihicazkâr	Mahur	Muhayyer	Nihavent	Rast	Sabâ	Segâh	Uşşak		Andırma
20	0	0	5	0	0	0	1	0	1	0	0	15	Beyâtî	47.6
0	117	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	Hicaz	100
0	0	48	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	Hicazkâr	98
4	1	0	45	0	0	0	14	0	1	1	0	5	Hüseyinî	63.4
0	0	0	0	62	0	0	0	0	0	0	3	0	Hüzzam	95.4
0	0	0	0	0	51	0	0	0	0	0	0	0	Kürdilihicazkâr	100
0	0	0	0	0	0	51	1	0	2	0	0	0	Mahur	94.4
3	0	0	5	0	0	0	37	0	1	0	0	4	Muhayyer	74
0	0	0	0	0	1	0	0	85	0	0	0	0	Nihavent	98.8
0	0	0	0	0	0	0	1	0	81	0	0	4	Rast	92.2
0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	44	0	0	Sabâ	97.8
0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	72	0	Segâh	97.3
9	0	0	9	0	0	0	5	0	3	0	1	58	Uşşak	68.2
55.6	99.2	100	70.3	98.4	96.2	100	60.7	100	91	97.8	94.7	65.9	Duyarlık	

Toplam ortalama: 87.9

Toplam ağırlıklı ortalama: 86.7

Büyük ölçüde karıştırılma potansiyeli olan kritik makamlar dışarda bırakılırsa, sistemin genel başarısı umut vericidir. n-gram'ların uzunluğunun $n = 1$ 'den $n = 2$ 'ye artırılması da *andırma* verimini 86.9'dan 87.9'a yükseltmiştir. Çizelge 4.2 her bir makam için n-gram değerlerindeki artışın etkisini ve en uygun n uzunluğunu vermektedir. $n > 3$ için sonuçlarda iyileşme olmamaktadır.

Çizelge 4.2 n uzunluğunun artış etkisi

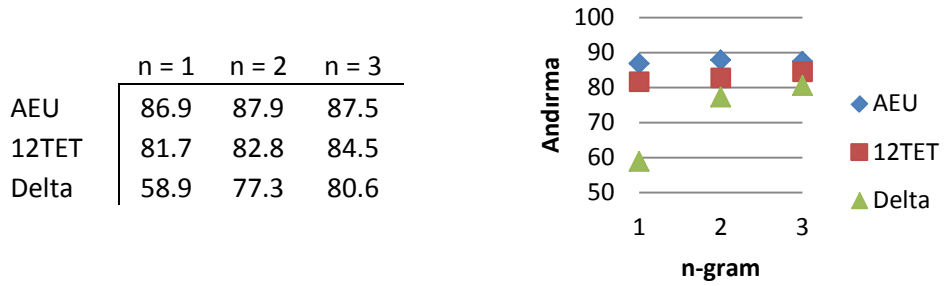
	n=1	n=2	n=3	En uygun n
Beyâtî	54.8	47.6	47.6	1
Hicaz	100	100	100	1, 2, 3
Hicazkâr	98	98	98	1, 2, 3
Hüseyinî	53.5	63.4	66.2	3
Hüzzam	98.4	95.4	96.9	1
Kürdilihicazkâr	96.9	100	100	2, 3
Mahur	94.4	94.4	94.4	1, 2, 3
Muhayyer	88	74	64	1
Nihavent	100	98.8	100	1, 3
Rast	71.6	92	92	2, 3
Sabâ	97.8	97.8	97.8	1, 2, 3
Segâh	94.6	97.3	95.9	2
Uşşak	75.3	68.2	65.9	1
Top-Ort	86.5	86.7	86.1	2
Ağ-Ort	86.9	87.9	87.5	2

Uşşak – Beyâtî ve Hüseyinî – Muhayyer gibi en çok karıştırma beklenen makam çiftlerinde *andırma* değerinin hatırı sayılır ölçüde düşük olması şaşırtıcı değildir. Rast ve Hüseyinî için n-gram düzeyini artırmak, gerçekten de karıştırmanın azalmasına yolaçmaktadır ($n = 1$ 'den $n = 3$ 'e geçince Rast için % 71.6'dan % 92'ye, Hüseyinî için % 53.5'ten % 66.2'ye). Başka önemli bir gözlem, n-gram uzunluğundaki artışın Uşşak, Beyâtî ve Muhayyer makamları için *andırma* değerinde negatif bir etkisinin olmasıdır. Bu olgu şöyle açıklanabilir: Bu makamlarda kısa ezgisel cümlecikler ortak olduğu için, n-gram uzunluğunun artması ayırdedici bilgi eklememekte; dolayısıyla sınıflandırmaya katkısı olmamaktadır. Bu çalışmada kullanılan ana gösterim, SymbTr formatındaki NotaAE sütunu, yani Arel - Ezgi - Uzdilek sistemindeki perdelerdir. Mikrotonal gösterimin etkisini gözlemek amacıyla, sistemimizin 12TET gösterimi kullanılarak

yapılan sınıflandırma sonuçlarıyla Çizelge 4.2'deki sonuçlar karşılaştırılmıştır. Bu kurguyu denememizin nedeni, [21] ve [107]'te "gösterimin yalınlaştırılmasının (12TET'e yuvarlatılmasının) makam belirlemede hâlâ yararlı olabildiğinin ve daha kolay kullanılabileceğinin" savunulmasıdır. Deneyleri müzikal aralık (*delta*) gösterimi kullanarak da yapma nedenimiz ise, bu çalışmayı sembolik verilerden gerçek icraların ses kayıtlarına genişletme düşüncemizdir: Perde frekanslarını salt sestten elde etmek oldukça zor iken, aralık bilgisinin elde edilmesi göreceli olarak kolaydır. Bu nedenlerle, deneyler üç değişik gösterim tekniğiyle yapılmıştır:

1. Arel - Ezgi - Uzdilek sistemi,
2. 12TET,
3. Holder koması birimiyle müzikal aralıklar (Delta).

Çizelge 4.3 n-gram uzunluğu değişimi ve farklı gösterimler için başarı performansları



Çizelge 4.3'te görüldüğü gibi, Arel - Ezgi - Uzdilek sistem sonuçları 12TET gösterimi-ninkileri % 3.7 geride bırakmakta ve mikrotanal bilgilerin makam sınıflandırmasında gerçekten pozitif bir etkiye sahip olduğunu düşündürmektedir. Aynı çizelgeden, aralık (*delta*) gösteriminin ancak *n* uzunluğu artınca yararlı olabildiği; daha düşük mertebelerde perde düzeyindeki bilginin kaybolarak sınıflandırma doğruluğunun azaldığı görülmektedir. Gerçek kayıtlarla sınıflandırma yaparken sistemin perdeler yerine yalnızca aralık bilgisini daha güvenilir olarak kullanabildiğine, çünkü perde düzeyinde transkripsiyonun daha zorlu bir görev olduğuna değinilmelidir. Gözönünde bulundurulması gereken bir başka etmen, Türk musikisindeki *âhenk* olayıdır: Aynı bir eserin icrası, şarkıcının veya çalgının ses alanına göre değişen frekanslarda olabilir; perdeler arasındaki aralıklar ise değişmez. Ancak bu parametreler, ses verisine odaklanılarak yapılacak sonraki araştırmalarda dikkate alınması gereken hususlardır.

4.1.2 Makam Sınıflandırma için Ek Özelliklerin Kullanılması

Özellikle benzer dizileri kullanan makamları ayırtetmek üzere daha fazla iyileştirmeler yapmak için yakın tarihli bir çalışmada ek özellikler kullanılmıştır (Bozkurt [119]). Kuram ve uygulama eğitim kitaplarında makam tanımları ya da öğretimi konusunda yer alan şu öznitelikler yararlı bulunmuştur:

- Dizi, aralıklar ve dizideki belli perdelerin entonasyonu
- Ezgisel bölge
- Seyir (genel ezgi yürüyüşü)
- Tipik cümlecikler, tipik geçkiler ya da çeşniler
- Diziye oluşturan dördül (*tetrachord*) ve beşiller (*pentachord*) ve karar – güçlü – yeden olarak tanımlanan perdeler.

[119]'da, yukarıda belirtilen öznitelikler için nicel özellikler tanımlanmıştır. Sonra her nicel özellik, makam koleksiyonlarından hesaplanan kendi dağılımları gözlemlenerek incelenmiştir. Ardından da ayırtedici potansiyeli olan öznitelikler makam bulma algoritmamızla test edilmiştir. Aşağıda, algoritmayı iyileştirmeye öncülük eden özellikler tartışılmaktadır. Bu çalışmanın bir sonucu olarak, genel ezgisel yürüyüş (seyir), n-gram tabanlı sınıflandırmayı geliştirmek için yararlı bir özellik olarak kabul edilmiştir. Sık sık seyrin makamı Batı müziğindeki ton'dan ayıran en önemli özellik olduğu ifade edilir. Bu yaklaşıma göre seyir genellikle vurgulanan perdelerin bir yol haritasıdır. Bir örnek, Kutluğ'da [11] Rast makamının açıklanışıdır:

“Rast makamı çıkıcı bir nitelik gösterir. Eski bestekârlarımız, genelde (...) *rasttan* (G) seyre başlamışlar, seyri tize doğru yöneltmişler ve ilk dörtlü içinde çeşniyi göstermişlerdir. (...) *Rast* perdesi etrafındaki seyirler sırasında *segâh* (B $\flat$) perdesi asma karar perdesi olarak özellikle kullanılır.”

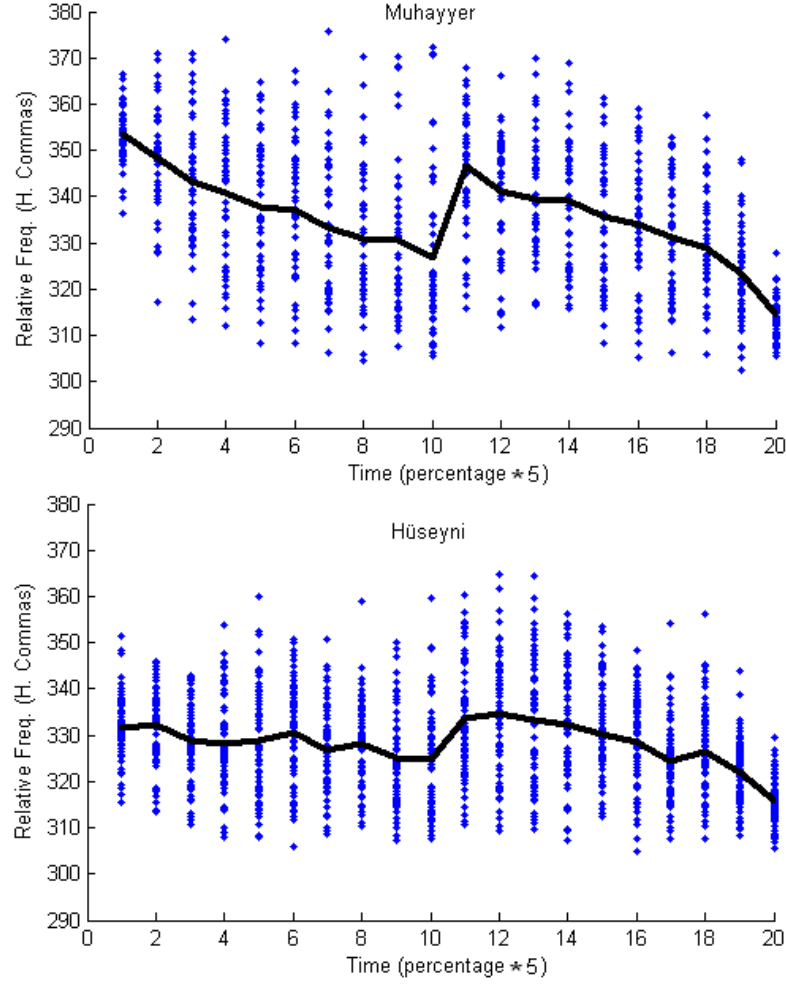
Bu tanımlama, perde perde tam bir analiz değil, kaba bir yol tarifi kabul edilmelidir.

Bizim buradaki ana odağımız, aynı müzikal diziye ve durağı kullanan makamların (Hüseynî – Muhayyer, Beyâtî – Uşşak gibi) otomatik sınıflandırılmasını geliştirmek üzere ezgisel yürüyüş bilgisini kullanmaktır. Bildiğimiz kadarıyla seyir, hesaplamalı olarak

daha önce incelenmemiştir. Seyrin ayrıntılı bir analizi için, böyle bir çalışmaya yol göstermek üzere, çeşnilerin ve vurgulanan perdelerin etiketlendiği veriler ve eserlerin ayrıntılı müzikolojik analizlerine gereksinim vardır. Bu çalışmanın yapıldığı sırada, bu bilgileri alacak etiketlenmiş veri ve otomatik araçlar bulunmamaktaydı. Dolayısıyla *seyiri* hesaplamak için bir ilk adım olarak kullandığımız oldukça basit yöntem, bir özelliği otomatik olarak almak ve bir otomatik makam belirleme testinde bunun yararlılığını irdelemek olmuştur. Seyir için nicel bir özelliği tanımlamak üzere müzik eserlerinin ezgisel yürüyüşlerinin 20 noktalık dilimlerle aşağı doğru örneklenmesi (*down-sampling*) şeklinde bir strateji izlenmiş ve sonuçlar gözlemlenmiştir. Şekil 4.2, veri kümesindeki zorlu makam çiftlerinden biri olan Muhayyer ve Hüseyin'in aşağı doğru örneklenmiş ezgisel yürüyüş grafiklerini göstermektedir.

Grafiklerdeki x (zaman) eksenini dilim numaralarını ve y eksenini C-1 notasına göre Holder koması cinsinden o indisteki perdeyi göstermektedir. Noktalar örnekler ve sürekli siyah çizgiler tüm makam derleminin ortalama ezgi yürüyüşüdür. Grafiklere bakarak, ezgisel hareket farklarının en çok gözlemlendiği yer olan başlangıç kısmındaki ortalama yürüyüşlerin makam sınıflandırmada daha ağırlıklı olduğu görülebilir. Otomatik makam tanımayı iyileştirmek için iki yaklaşım gözönüne alınmıştır. İlk, n-gram tabanlı öğrenme ve sınıflandırma yaklaşımı bağlamında makam sınıflandırmadaki bu farkın etkisini sınamak üzere üç test yapılmıştır:

1. Modeller müzik eserlerinin tümünden oluşturulmuş, testler tüm eser ile yapılmıştır,
2. Modeller müzik eserlerinin tümünden oluşturulmuş, testler eserin ilk çeyreklik kısmında yapılmıştır,
3. Modeller müzik eserlerinin ilk çeyreklerinden oluşturulmuş, testler girdi ezgisinin yalnızca ilk çeyreğinde yapılmıştır.
4. İkinci yaklaşım nicel bir öznelik tanımlamak ve bu özneliği, aşağıda açıklandığı biçimde hiyerarşik bir çerçevede kullanmaktır.



Şekil 4.2 Muhayyer ve Hüseyinî makamları için ezgisel yürüyüş grafikleri [119]

Tüm sonuçların (1), (2) ve (3) testleriyle karşılaştırılması, n-gram düzeyini artırma etkisiyle birlikte Çizelge 4.4’te görülebilir.

Çizelge 4.4 Değişik kesitler için n = 1, 2 and 3 deneylerinin sonuçları

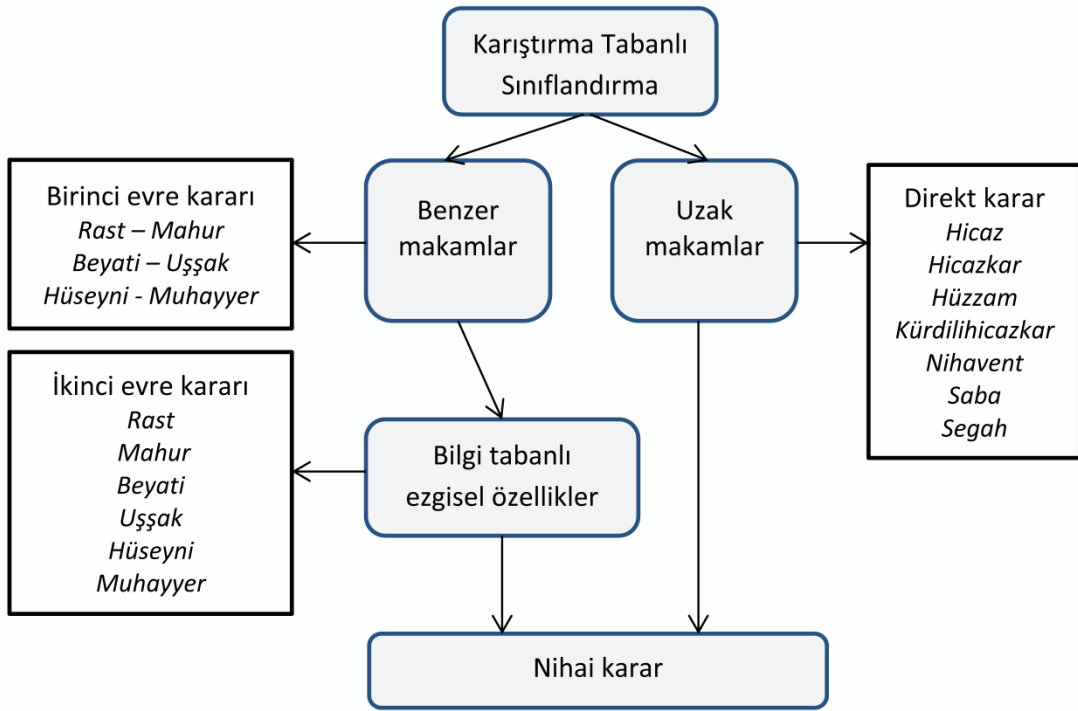
	n=1	n=2	n=3
Tüm eser ile tüm eseri	86.9	87.9	87.5
İlk çeyrek ile tüm eseri	87.7	88.7	87.7
İlk çeyrek ile ilk çeyreği	83.7	86	85.7

Modelin tüm eserlerden oluşturulup girdinin yalnızca ilk çeyreğiyle sınındığı ikinci test, ortalama makam bulma duyarlılığı için en iyi sonucu vermektedir. Testin eserin yalnızca ilk çeyreğinde yapılmasının makam bulma duyarlılığını belli belirsiz artırabildiği (% 0.9) görülmektedir. Hem modelleme hem de testin eserin ilk çeyreğinde yapılması daha

düşük duyarlık değerleri vermektedir. Bunun, modelleme için yeterince veri olmamasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Bu etki sonraki çalışmalarda daha fazla veri ile analiz edilebilir.

4.1.3 Ezgisel Öznitelikler Kullanılarak Hiyerarşik Sınıflandırma

Buraya kadar tüm makamların bağımsız sınıflar ve bireysel düğümler oldukları varsayılmıştır. Bununla birlikte, sonuçların da düşündürdüğü üzere, n-gram'ların uzunluğu artırılrsa ve kısmî modelleme ve test stratejileriyle desteklense de, ortak müzikal dizilere sahip makamlar belli bir düzeyde birbirleriyle karıştırılmaktadır. Sonuçları daha da iyileştirmek için, deneylerimizde yerel perde hareketlerinin (n-gram'lar) yanısıra genel ezgisel öznitelikler de dikkate alınmıştır. Bu, sınıflama süreci için hiyerarşik bir strateji benimsenerek yapılmıştır. Bunun için, aynı müzikal diziye sahip makamlar Şekil 4.3'te gösterildiği gibi biraraya gruplanmış, kalan makamlar bireysel olarak alınmıştır. Önce yerel perde hareketleri sınıflamanın ilk evresi olarak tanımlanmış, sonra da nihaî karar için kural tabanlı genel ezgisel öznitelikler kullanılmıştır. Karıştırılan makam çiftleri (Uşşak – Beyâtî, Hüseyinî – Muhayyer ve Rast – Mahur) ve kalan makamlar (Hicaz, Hicazkâr, Kürdilihicazkâr, Hüzam, Nihavent, Sabâ ve Segâh) tek tek varlıklar olarak alınmak suretiyle sistem, ilk evre için birinci düzey makam modelleri ve girdi eser arasındaki şaşırıcılığı kullanır. Sonra da alt düzey teşhisi gerçekleştirmek için kural tabanlı karar ölçütünden yararlanır. Hiyerarşik yöntem arayışının ikinci düzeyinde uygulanan karar kuralları yalnızca karıştırılan makamlar arasındaki ikili kararlar için geçerlidir; bunları ilk düzeyde doğrudan teşhis etmede değil. Dolayısıyla örneğin Uşşak makamında bir eser sistem tarafından girdi olarak değerlendirilirken bunun önce 'Uşşak – Beyâtî' grubunun bir üyesi olarak tanımlanması gerekir. Sonra ancak karar kuralları kullanılmak suretiyle Uşşak olarak teşhis edilebilir. Makam, karıştırılan makam çiftlerinden biri değilse karar ilk adımın sonunda verilir. Bunun anlamı, ek analize gerek olmadığıdır.



Şekil 4.3 Hiyerarşik sınıflandırma yaklaşımı

4.1.4 Kuramsal İpuçları

Birinci evre: Durak bilgisi

Rast - Mahur makamları başarılı biçimde sınıflandırılmakla birlikte, iyileştirme için potansiyel hâlâ vardır. Rast - Mahur makamlarıyla ilgili çok önemli bir kural, bu makam çiftine dâhil eserlerin rast perdesi ile bitmesidir ve bu perde SymbTr formatında G4 ile gösterilir. Bu, makam müziği eserlerindeki son perdenin karar / durak olduğuna ilişkin genel kuraldır; istisnaları çok seyrektir. Bu kural, yanlışlıkla, karıştırılan öteki makam çiftleri olan Uşşak – Beyâtî ve Hüseyinî – Muhayyerden birine ait olarak teşhis edilmiş eserlerin sınıflandırma hatalarını düzeltmek için bir şans verir. Bir müzik eseri bir kez Uşşak – Beyâtî veya Hüseyinî – Muhayyer olarak sınıflandırıldı mı, durak kuralının doğru uygulanıp uygulanmadığını denetler. Eğer bitiş perdesi *rast* olarak belirlenirse ilk sınıflandırıcının çıktısı Uşşak – Beyâtî veya Hüseyinî – Muhayyer yerine Rast – Mahur olarak düzeltilir. Bu kuralın uygulanması, $n = 3$ için Rast – Mahur belirleme sınıflandırma duyarlılığını (andırma) % 82.4'ten % 97.8'e ve genel sınıflandırma duyarlılığını % 88.6'dan % 90.9'a yükseltmiştir. Durak bazı başka makamlarda da

(Nihavent, Hicazkâr ve Kürdilihicazkâr) *rast* perdesi olduğu için bu kural yalnızca ikinci evrede uygulanabilir.

İkinci evre: Başlangıç indisine karşı müzikal aralık toplamaları

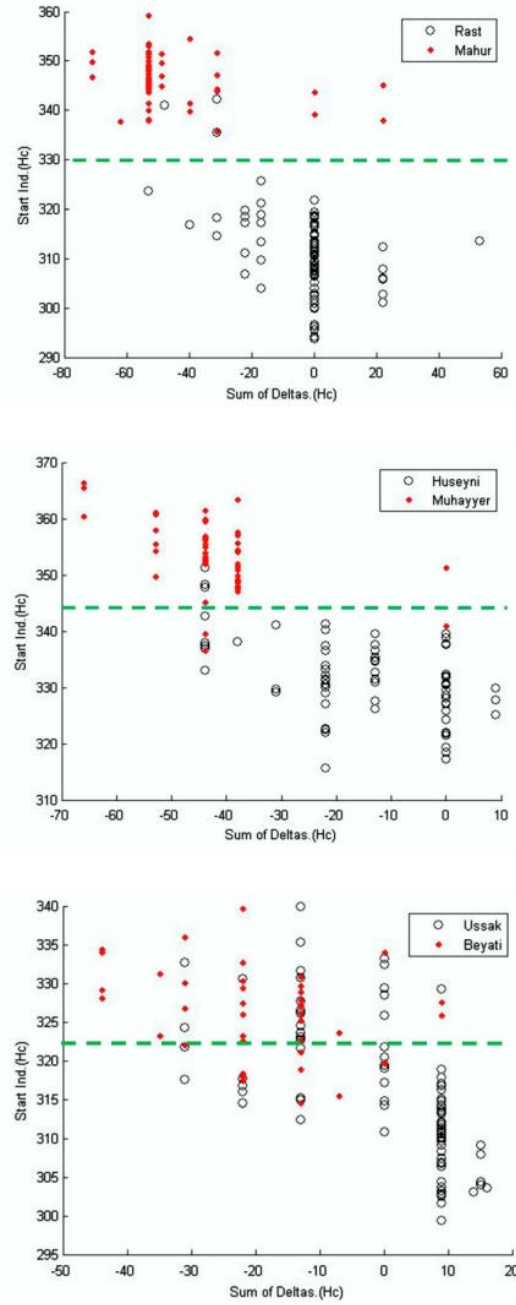
Hüseyinî ve Muhayyer makamlarının dizileri aynı olduğu halde ezgi yürüyüşünde birtakım farklar vardır (Kutluğ [11]). Ezgi yürüyüşüyle ilgili gözlemlerimize göre, eserlerin başlangıç perde konumu makama özgü bilgi ihtiva edebilir. Üç temel türde seyir vardır:

Çıkıcı, inici ve orta bölge seyri.

Bütün seyirler durak perdesinde biter. Temel fark, yürüyüşün nerede başladığı, nelerde durakladığıdır. Seyir eserin ilk kısmının gezindiği bölgeyi bildirir. Bu birinci kısımdan sonra, başka makamlara geçkilerin olabildiği ‘yaratıcı bölgeler’ gelir. Bunu belirlemek üzere *Başlangıç İndisi* adlı bir öznitelik tanımlanmıştır. Bu, eserin ilk % 5’inin perde ortalamasıdır. Aynı şekilde, eserin tümünün yönü, *Deltalar* (ardışık perdelerin oluşturduğu aralıklar) *Toplamı* olarak temsil edilmiştir. Şekil 4.4’te *Başlangıç İndisi* ve *Deltalar Toplamına* göre ikinci evre kararı için istatistik karar sınırı elde etmek üzere incelenen makamların grafikleri sunulmuştur.

Bu iki bağımsız öznitelik için grafikler verilmekle birlikte, *Deltalar Toplamı* karar sonuçlarını iyileştirmede için karar sınırı yalnızca *Başlangıç İndisi* kullanılarak hesaplanmıştır. Karar sınırı, en yakın ortalama sınıflandırıcı kullanılarak, karıştırılan makam çiftlerinin Gauss Karışım Modellerinden (Gaussian Mixture Models: GMM) hesaplanmıştır. Özniteliklerin bağımsız ve varyanslarının eşit olduğu varsayılabilceğinden, Maksimum Olabilirlik kuralına göre her bir durum için karar, Machalanobis uzaklığı yerine Öklid uzaklığı kullanılarak hesaplanabilir.

Rast – Mahur kararı için sınır 330 komada, Hüseyinî – Muhayyer kararı için ise 345 komadadır. Bu iki makam çiftine uygulanan karar sınırları, % 89.8 andırma değerini vermiştir. Benzer biçimde Uşşak – Beyâtî için de bir karar sınırı hesaplanmıştır (322 koma). Bununla birlikte, yaklaşık % 60.5 olan andırma oranı oldukça düşüktür. Yaptığımız testlerde andırma oranının Evre 1’den Evre 2’ye genel evrilmesi incelenmiş ve en yüksek başarımın $n = 3$ için elde edildiği gözlemlenmiştir (Çizelge 4.5).



Şekil 4.4 Rast – Mahur, Hüseyinî – Muhayyer ve Uşşak – Beyâtî karıştırmaları için Başlangıç İndisine karşı Deltalar Toplamları ve Maksimum Olabilirlik karar sınırları

Sınıflandırıcının genel andırma verimi % 2.2 (mutlak) artmıştır. Beyâtî, Hicaz, Hicazkâr, Hüseyinî, Mahur, Nihavent ve Rastın her biri için andırma oranı iyileşirken; yalnızca Uşşak makamı için bu oran düşmüştür. Sistemin genel andırma oranı umut vericidir ve makam belirlemede hiyerarşik yöntemin uygulanabilirliğine ilişkin savımızı desteklemiştir; ancak Uşşak – Beyâtî sınıflandırma etkinliği düşüktür. Bu çok da beklenmeyen bir sonuç değildir. Literatürdeki bazı çalışmalarda (örneğin Zeren [120]) ,

bir yazar tarafından Uşşak bir başkasınca Beyâtî olarak sınıflandırılmış eserler bulunduğu gözlemine dayanılarak, bu iki makam arasında ayrım gözetmenin zorlama olduğu savunulmuştur. Benzer biçimde Tanburi Mustafa Çavuş'un *Canım tezdır sabredemem* adlı eseri Dr. Suphi Ezgi tarafından Uşşak, saygın bir başka nota kitabında ise Beyâtî olarak sınıflandırılmıştır.

Çizelge 4.5 Hiyerarşik sınıflandırmanın g-gram çıktılarına katkısı ve $p < 0.005$ için anlamlılık testi

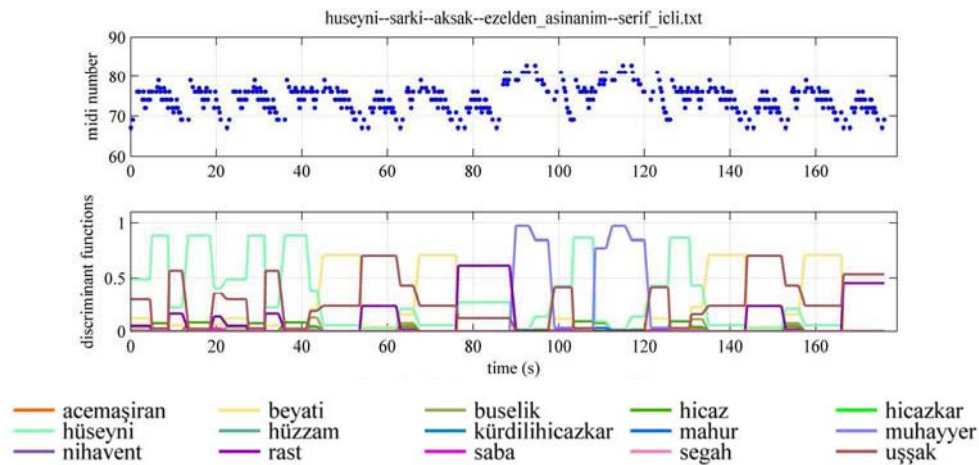
	n-gram (%)	Hiyerarşik (%)	İyileşme (%)	Anlamlılık ($p < 0.05$)
Beyati	47.6	57.1	9.5	+
Hicaz	99.1	100	0.9	+
Hicazkâr	95.9	100	4.1	+
Hüseynî	66.2	83.1	16.9	+
Hüzzam	96.9	96.9	0	-
Kürdilihicazkâr	100	100	0	-
Mahur	94.4	100	5.6	+
Muhayyer	82	82	0	-
Nihavent	98.8	100	1.2	+
Rast	93.2	95.5	2.3	+
Sabâ	97.8	97.8	0	-
Segâh	95.9	95.9	0	-
Uşşak	70.6	64.7	-5.9	+
TOPLAM	88.7	90.9	2.2	+

4.2 İstatistiksel Karar Kuramı Teknikleriyle Makama Özgü Motif Belirleme

Bozkurt ve Karaçalı'nın geliştirdiği [121] bu modelde, uzman ya da algoritma tarafından etiketlenmiş Türk musikisi eserleri Bayesçi öğrenme tekniğiyle incelenerek bir *makama aidiyet* ölçütü tanımlanmış ve makama özgü ezgilerin belirlenmesi için bir algoritma önerilmiştir. Çalışmanın özgünlüğü, çoğu ezgi parçacıklarının birçok makamdan eserde kullanılabildiği gerçeğini dikkate alıp gerçekten yalnızca her bir makama özgü ezgileri saptamasıdır. Örneğin *dügâh* perdesi üzerinde Uşşaklı kalış ezgileri pek çok makamdan eserde görülebildiği için, bu tür ezgiler eserin Uşşak makamında olduğunu göstermez. Makama aitlik fonksiyonu, ezgi içerisindeki her perdenin ilgili makamdan gelme olasılığının perde dağılımlarından çıkartılmasına ve olasılıkların birleştirilmesine dayanır.

Çalışmada SymbTr derlemindeki 15 makamdan 200 kadar etiketlenmiş eser istatistiksel olarak incelenmiştir. Eserlerin tüm içeriği için elde edilen en yüksek duyarlılık % 52'dir. Belli bir makamda bestelenen eserlerde başka makamlara geçkilerin her zaman yapıldığı ve inceleme kapsamında Uşşak, Beyâtî ve Hüseyinî gibi birbirine yakın makamlar da bulunduğu için başarı oranı oldukça yüksektir.

Bu algoritma, otomatik ezgi analizi yapabilmeyi de olanaklı hale getirmiştir. Şekil 4.5'te bu araçla otomatik olarak üretilen grafik görülmektedir. Şerif İçli'nin Hüseyinî şarkısına ilişkin bu örnek, yürürlükteki makam kuramıyla uyumludur: Seyir orta bölgeden başlamaktadır ve cümlecikler esas olarak Hüseyinî makamıyla eşleştirilmiştir. 45 – 90. saniyeler arasındaki kısımda ezgi karar perdesine yönelmekte ve eşlenen makamlar Beyâtî, Uşşak ve Rast olmaktadır. 90 – 120 saniye bölgesinde ezgi tiz karar perdesini vurgulamakta ve burada Muhayyer etiketi görülmektedir. Finalde ezgi karar perdesinde bitmekte ve yine Beyâtî ve Uşşak ile eşleştirilmektedir.



Şekil 4.5 Otomatik ezgi analiz sonucuna örnek eserin piyano rulosu görünümü (üstte), ezgilerin makam aitlik dereceleri (altta) [121]

4.3 Yapay Öğrenme Teknikleriyle Otomatik Ezgi Bölütleme

Bu bölümde, tezde en derinlemesine işlenen hesaplamalı müzikoloji uygulaması olan otomatik ezgi bölütleme anlatılmaktadır. Kısaca *bir ezgiyi anlamlı en küçük parçalara ayırmak* demek olan ezgi bölütleme, genel olarak müzik eğitiminde önemli bir işlemdir. Türk musikisinde ise, günümüzde bile hâlâ kalıntıları olan *notaya almama* geleneği nedeniyle daha da kaçınılmazdır. Çünkü bu işlem sayesinde bir yandan eserin

ezberlenmesi kolaylaşır, bir yandan da özellikle ana makamdan başka makamlara yapılan geçkiler gibi zor bölümlerin doğru öğrenilmesi sağlanır.

Bölümün geri kalan kısmında önce ezgi bölütleme kavramı anlatılmış, ardından üzerinde çalışılan veriler açıklanmış, literatürdeki otomatik ezgi bölütleme algoritmalarının Türk musikisi eserlerine uygulanmasına ilişkin örnekler verilmiş, sonunda da yeni önerilen yapay öğrenme tabanlı algoritmayı geliştirme ve uygulama süreci adım adım işlenmiştir.

4.3.1 Ezgi Bölütleme

Belli bir kültürel ortamda doğup büyüyen bir çocuk hiç eğitim almasa bile anadilini kusursuz konuşabilir. Fakat yine de ilköğretimden itibaren öğrencilere dilbilgisi öğretilir. Kazandırılmak istenen yetilerden biri, paragraflardan cümlelere, oradan cümleciklere, terimlere, sözcüklere, harflere uzanan bir analiz tekniğidir. Öğrenci böylelikle farkında olmadan kullandığı yapıların temelini öğrenir ve bunları daha bilinçli / doğru olarak kullanmaya başlar. Müzik insanın duygularını ifade etmenin araçlarından biri olduğuna göre, benzer yapılar kuşkusuz ki o alanda da vardır: Notalar biraraya gelip motifleri, motifler cümlecikleri, onlar cümleleri, temaları, ... oluştururlar.

Dilbilgisindeki cümle sınırları gibi, müziği oluşturan ezgi parçacıklarının motif olarak algılanmasını sağlayan sınırlar da kuramsal temellerle açıklanabilmektedir. Bu sayede bellek üzerindeki baskı da hafifler [45]. Bölütleme süreci, bir ezgi parçacığının son ögesi ile hemen ardından gelen ezgi parçacığının ilk ögesi arasındaki değişim ya da süreksizliklerin belirlenmesi, yani algısal sınırların saptanmasıdır.

Türk musikisinin otomatik ezgi bölütlemesi uygulaması için 16 makamdan yaklaşık 60'ar eserin sembolik verileri hazırlanmıştır. Bu makamların adları ve eser / veri sayısı Çizelge 4.6'da verilmiştir.

Eserler, makamları ve özellikle besteciler belirlenirken birtakım ölçütler gözetilmiştir. Bunlar şöyle sıralanabilir:

Çizelge 4.6 Yeni yazılan veya uygun formata dönüştürülen notaların makamsal ve dönemsel dağılımı

No	Dönem Makam	1 (...- 1750] İltri ve öncesi**	2 (1750-1850] III.Selim, Dede	3 (1850-1930] Hacı Arif Bey	4 (1930-...] Sadettin Kaynak ve sonrası	Toplam
1	Rast	11	12	31	24	78
2	Mahur	10	15	26	16	67
3	Hüseynî	11	9	19	15	54
4	Muhayyer	4	8	17	15	44
5	Uşşak	11	13	32	14	70
6	Sabâ	10	11	18	18	57
7	Hicaz/Hümayun	11	18	49	28	106
8	Hicazkâr	2	15	35	19	71
9	Kürdilihicazkâr*	0	1	41	16	58
10	Nihavent*	2	3	42	42	89
11	Hüzzam	7	12	28	25	72
12	Segâh	8	9	15	16	48
13	Beyâtî	10	13	21	14	58
14	Buselik	7	12	10	14	43
15	Acemaşiran	4	13	21	13	51
16	Karcığar	2	9	12	11	34
	Toplam	110	173	417	300	1000

* ile işaretli makamların terkip edilişleri nispeten yeni olduğu için, 1. ve 2. dönemlerde beste örnekleri yoktur ya da azdır.

** ile işaretli 1. dönemde bestelenip günümüze ulaşmış eser sayısı az olduğu için, bu sütundaki birçok makamdan örnek nota öteki dönemlere göre azdır.

1. *En sık kullanılan, repertuarı geniş olan makamların seçilmesi:* Türk musikisi literatüründe tarih boyunca 600 dolayında makam tanımlanıp kullanıldığı yazılmakla birlikte bunlardan en çok 300 adedinin örneği bulunmakta, günümüzde icra edilen makam sayısı 30'u geçmemektedir (Bozkurt vd. [122]). Sık kullanılanların sayısı ise bunun yarısı kadardır. Bu sonuncu kategoriye giren makamlar seçilmek suretiyle, geçmişe olduğu kadar günümüze de ışık tutulması hedeflenmiştir.
2. *Listede birbirlerine yakın makamların bulunması:* Bu sayede, Beyâtî – Uşşak, Hüseynî – Muhayyer, Segâh - Hüzzam gibi birçok özellik açısından benzer, az sayıda özellik açısından ise farklı veriler içeren gruplar oluşturmak mümkün

olmuştur. Bu, özellikle sınıflandırıcı çalışmalarında bu özelliklerin ayırdedici etkilerinin incelenmesini kolaylaştırmıştır.

3. *Eserlerin dört tarihsel döneme olabildiğince eşit dağılması:* Türk müziği için merkezî öneme sahip olan makam kavramının zaman içinde değiştiği bilinmektedir [6]. Dönemler arası farkların incelenebilmesi için verilerin bu çeşit bir gruplamaya uygun tasarlanmalarında yarar görülmüştür.
4. *Tarihsel dönemleri temsil eden bestekârlara ağırlık verilmesi:* Makamların kullanımı bir ölçüde de bestecinin üslubu / kişiliğiyle ilgilidir. O kadar ki, Türk musikisi tarihinde bazı dönemler, yaşadıkları çağa damgasını vurmuş kimi bestecilerin adlarıyla anılır [70]. İşte, çalışmamıza hizmet etmesinin yanı sıra, makamları tarihsel akış içinde inceleyecek ve belli bestecilere odaklanacak araştırmacılara olanak sağlamak amacıyla, eserler tarihsel dönemlere yaklaşık olarak eşit dağılacak biçimde seçilmiş, adı yaşadığı dönemle özdeşleşmiş bestecilerin eserlerine öncelik verilmiştir. Bu besteciler ve dönemler şunlardır:

- I. İtri ve öncesi (... - 1750),
- II. III. Selim, Dede Efendi (1750 – 1850),
- III. Hacı Arif Bey (1850 – 1930),
- IV. Sadettin Kaynak ve sonrası (1930 - ...).

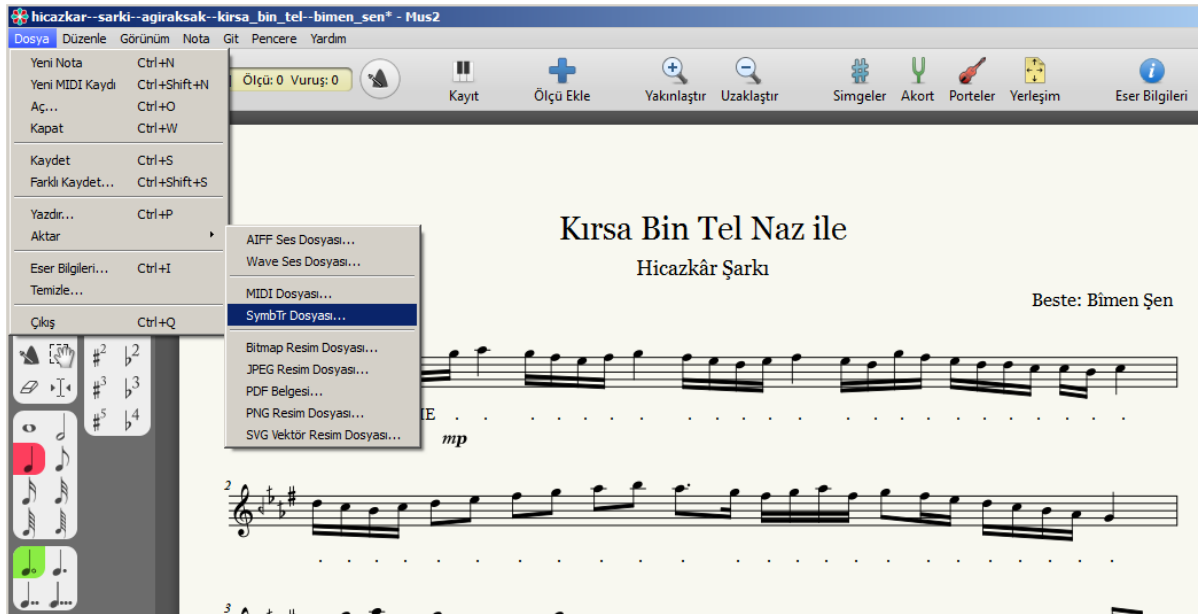
İlgili bestekârdan yeterli sayıda eser bulunamadığı durumlarda çağdaşı diğer bestekârların eserleri kullanılmıştır.

4.3.2 Nota Yazımı

Ülkemizde nota yazımı yaygın bir şekilde Finale ve Sibelius¹ programlarıyla yapılmaktadır. Bu programlar esas olarak kendi veri yapılarını kullanmakla birlikte Music-XML formatında da çıktı verebilmektedirler. Şu andaki sürümleri Türk musikisine özgü bemol ve diyezleri ihtiva etmedikleri için bunlarla yazılmış nota derlemlerinden tam anlamıyla yararlanmak mümkün olmamaktadır. O nedenle, sembolik verilerin hazırlanmasında nota yazım programı olarak Mus2 kullanılmıştır. Türk musikisi ve

¹ www.sibelius.com

mikrotonal müzik için nota yazım programı olarak tasarlanan bu yazılım yalnızca uygun bemol ve diyezleri kullanmaya olanak vermekle kalmamaktadır. Ek olarak, eseri Türk musikisine özgü frekans ve tınırlarla seslendirebilmekte, MIDI çıktısı verebilmekte ve yazılan notaları SymbTr formatında kaydedebilmektedir. Üstelik bu programın ilk uyarlaması niteliğindeki Mus2-Alfa yazılımıyla da uyumludur. Ayrıca, ileride tekrar değinileceği üzere, uzmanların cümlecik sınırı ve geçki / çeşni işaretlerinin bilgisayara işlenmesi aşamasında bu programdan da yararlanılmıştır: Doğrudan nota giriş arayüzü kullanılarak sözkonusu işaretler bilgisayara girilmiş, bu yeni dosya SymbTr formatında kaydedildikten sonra Python diliyle yazılmış bir kod çalıştırılarak, veri girişi yarı-otomatik yoldan yapılabilmektedir. Şekil 4.6'da Mus2 yazılımıyla nota girişine bir örnek verilmiştir.



Şekil 4.6 Mus2 programı nota giriş arayüzü ve SymbTr formatında kayıt menüsü

4.3.3 Literatürdeki Modellerin Test Edilmesi

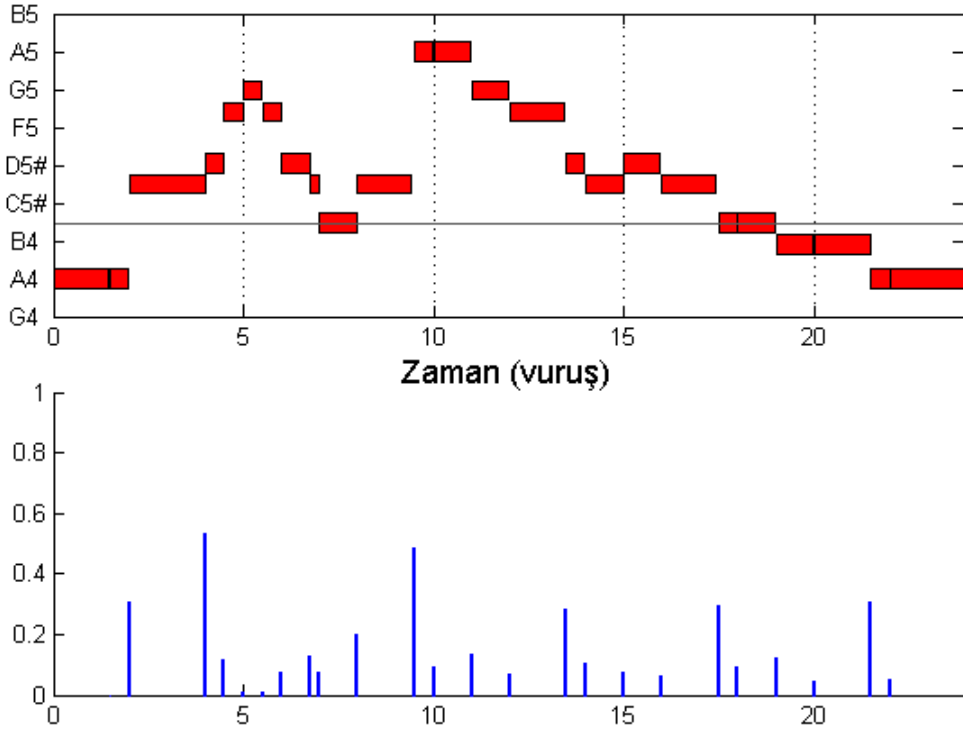
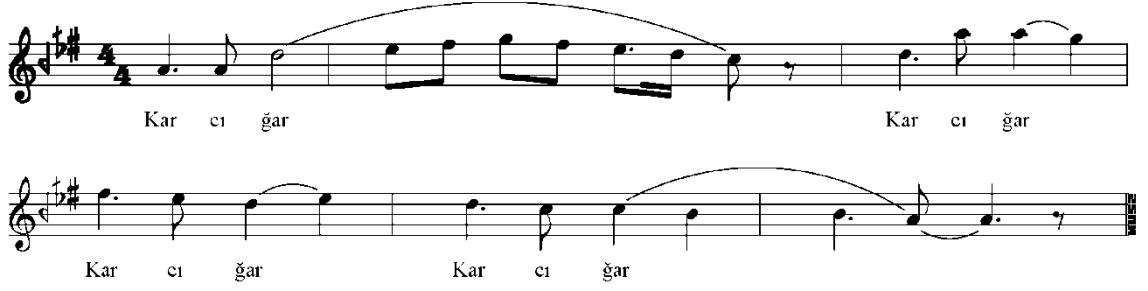
Aşağıda, Kesim 1.1.1.3'teki literatür kısmında özetlenen modellerin Matlab platformunda yazılmış kodlarının (MIDI Toolbox, (Eerola ve Toiviainen [123]) Türk musikisine uyarlanarak, varolan algoritmaların başarısının gözlenme süreci anlatılmaktadır.

eder¹. Çizelge incelendiğinde, algoritmanın ilk iki ezgi parçacığını tıpkı uzman gibi bölütlediği görülmektedir.

Karcıgar Örnek-öz

Usl: Sofyan
♩ = 90 → 16 Sn

Hüseyin Sadettin Arel (18/12/1880 - 6/5/1955)



Şekil 4.8 Karcıgar makamında bir örnek-özün notası, piyano rulosu görünümündeki grafiği ve LBDM algoritmasıyla bölütlenmiş şekli

¹ Literatür kısmında özetlendiği gibi, bu algoritma için perdelerin mikrotanal bilgilerinin (dolayısıyla 53TET ya da en yakın 12TET notalarıyla temsil edilmelerinin) bir önemi yoktur. Öte yandan, algoritmayı gerçekleyen kodu herhangi bir değişiklik yapmadan doğrudan çalıştırdığımız için, kolaylık olması bakımından veritabanımızdaki perdeleri ifade eden MIDI no'ları, bu algoritmanın uygulandığı durumlarda, en yakın tamsayıya yuvarlanmıştır.

Kerem Eyle Mestâne Kıl

Hüzzam Şarkı

Usul: Aksaksemâîevferi
♩ 144 ⇒ 1 Dk 42 Sn

Beste: Medenî Aziz Efendi (23/3/1842 - 27/11/1895)
Güfte: ?



Olay	Başlangıç	Bitim	Nota
Note	0	805	72
Note	840	1225	74
Note	1260	2030	74
Note	2100	2275	74
Note	2275	2485	72
Note	2485	2695	71
Note	2695	2905	72
Note	2905	4095	74
Phrase	4165		
Note	4165	4970	75
Note	5005	5390	75
Note	5425	6195	75
Note	6265	6440	75
Note	6440	6650	74
Note	6650	6860	72
Note	6860	7070	74
Note	7070	8260	75
Phrase	8330		
...			

Şekil 4.9 Bir uzmanca bölütlenen notanın ilk satırı ve ilk iki ölçü için Grouper algoritmasının öngördüğü sınırlar

4.3.4 Elle Ezgi ve Geçki / Çeşni Bölütleme Verilerinin Oluşturulması

Notası yazılıp kâğıda basılan eserler, şu iki amaca yönelik etiketleme yapmaları için, farklı Türk musikisi ekollerinden gelen üç uzmana verilmiştir:

- Anlamlı en küçük ezgi parçacıklarının sonuna sınır işareti koymaları (ezgi bölütleme),
- Eserin bestelendiği ana makamın dışına çıkılan (geçki yapılan, başka bir çeşni duyurulan) pasajların işaretlenip hangi perdede hangi makama geçki yapıldığının yazılması (ezgi çözümleme).

Uzmanlara çeşni ve geçki bölgelerinin işaretlettilmesinin amacı, bunlardan ezgi örüntü tespiti çalışmaları için yararlanmaktır. Öteki verilerle birlikte bunlar da paylaşıma açılmıştır. Bu, makam müziğinin anlaşılmasında çok önemli olan geçki / çeşni analizinin de yapılmasında kullanılabilecek çok önemli bir kaynaktır.

Türk musikisi eserlerinin büyük çoğunluğu, ilgili makamın dizisi dışına çıkan geçki / çeşni motifleri içerirler. Bu makam dışı motiflerin ezgi motif tanıma algoritmalarının eğitim ve testi sırasında veri içerisinden çıkartılması gerekmektedir. Literatürde daha önce yapılmış çalışmaların verideki bu önemli gürültü kaynağını dikkate almadıkları gözlenmiştir. Şekil 4.10'da görüldüğü gibi ezgi sınırları dikey çizgilerle, geçki / çeşniler de notalar gruplanarak yazıyla belirtilmiştir.

Tal'atın Devri Kamerde
Hüseyinî Ağırsemâî

Usul: **Aksaksemâî**
♩ 120 ⇒ 2 Dk 32 Sn

Beste: **Zaharya** (1680? - 1750?)
Güfte: **Nâfiz**

Tal a tın dev ri ka mer de
mihr i â lem tâb e der
Sey ret on dör dün de ol meh

Şekil 4.10 Doğrudan grafik dosyasında işaretleme yapan uzmanın etiketleri

4.3.5 Etiketlerin Sayısal Olarak Okunabilir Duruma Getirilmesi

Notası yazılan eserler üzerinde uzmanlar tarafından yapılan işaretlemelerin toplanması, veri toplama işleminin ikinci önemli adımını oluşturmuştur. Bu adım, uzmanların basılı ya da grafik formattaki notalar üzerine yaptıkları işaretlemelerin bilgisayarca sayısal olarak okunabilir hale getirilmesi için bu verilerin SymbTr formatına gömülmesi alt adımlarını içerir.

İki uzman yalnızca makamın ana dizisi dışındaki çeşnileri belirtmiş, bir uzman ise değişik her bir çeşniyi işaretlemeyi tercih etmiştir. Cümlecik uzunlukları açısından da uzmanlar

arasında farklı öngörüler olduğu gözlenmektedir. Grouper'daki "10 notalı cümlecikler" kuralı dışında cümlecik uzunluklarıyla ilgili kesin bir standart bulunmamaktadır. Çeşnilerin işaretlenmesiyle ilgili genel kabul görmüş bir ise hiç yoktur. Bu nedenlerle, uzmanların farklı yaklaşımlar sergilemesi veriler için bir zenginlik göstergesi sayılabilir. Öte yandan, veri toplama süreci çok zahmetli olduğu için tüm uzmanlar işi tamamlayamamışlardır. Birinci uzman belirlenen tüm eserleri bölütlemiş; aynı eserlerin yaklaşık yarısı ikinci, öteki yarısı üçüncü uzman tarafından bölütlenmiştir. Bu sayılar tablo olarak şöyledir (Çizelge 4.7):

Çizelge 4.7 İşaretlenen eser sayıları

	İşaretlenen
s₁ Uzman-1	489 adet
s₂ Uzman-2	200 adet
s₃ Uzman-3	201 adet

$s_i, i \in \{1, 2, 3\}$ kümeleri için şu özellikler geçerlidir:

$$s_2 \cap s_3 = \emptyset$$

$$s_2 \subset s_1 \text{ ve } s_3 \subset s_1$$

Yani s_2 ve s_3 kümelerindeki eserler ayrıktır ve her ikisi de s_1 'in öz-altkümeleridir.

Uzmanların işaretlediği bu verilerin otomatik olarak okunabilir olması için sembolik formatta elle girişlerinin yapılması gerekmiştir. Bunun için, üç farklı arabirim tasarlanmıştır:

1. *Mus2-Alfa yazılımına eklenen grafik arayüz modülü:* Bu araçla, uzmanların işaretlemelerini fare kullanarak girmek mümkün olmaktadır (Şekil 4.11). Ezgi sınırları tek tıkla kırmızı düşey çizgi olarak çizilmekte, geçki / çeşni bilgileriyle ilgili alanlar ise beliren pencereden seçilince bilgisayara otomatik olarak işlenmektedir.
2. *Excel makroları:* Daha hızlı bilgi girişi için tasarlanmıştır. Bilgiler klavye kısayol tuş birleşimleriyle girilir. Gerçekte grafik arayüz kullanarak girilen bilgiler de sonunda bu formata dönüştürülmektedir. İşaretleri de içeren

virgülle ayrılmış (CSV formatındaki) dosyalar daha sonra Mus2-Alfa'daki ilgili modül kullanılarak SymbTr olarak kaydedilmişlerdir. Şekil 4.11'in ilk satırı ile eşdeğer bilgiler SymbTr formatında Çizelge 4.8'de gösterilmiştir.

Karcıgar Örnek-öz

Usul: Sofyan
♩ = 90 ⇒ 16 Sn

Beste: Hüseyin Sadettin Arel (18/12/1880 - 6/5/1955)
Güfte:

Perdeler		Makamlar	
TM	BM		
Bûselik	si4	İsfahân	
Dikbûselik	do5b1	Hicaz-Hümâyûn	
► Çargâh	do5	► Hicaz	
Nîmhicaz	do5#4	Hicaz-Uzzâl	
Hicaz	re5b4	Hicaz-Zîrîle	

Şekil 4.11 Uzman işaretlemelerinin grafik arayüzle girilmesine bir örnek

3. *Mus2 yazılımı ve Python kodu:* Bu programla yazıldıktan sonra uzmanlarca işaretlenen notalara sözkonusu işaretler, dosyalar tekrar açılmak suretiyle işlenmiş ve SymbTr formatında kaydedilmiştir. En sonunda, bu amaçla yazılan Python kodu çalıştırılmış ve SymbTr v2 dosyalarına dönüştürülmüştür.

Çizelge 4.8 Şekil 4.11'deki notanın ilk satırının ve işaretlemelerin SymbTr v2 dosyasına işlenmiş hali

Sıra	Kod	Nota53	NotaAE	Koma53	KomaAE	Pay	Payda	Ms	LNS	Bas	Soz1	Ofset
1	9	La4	A4	305	305	3	8	1000	95	96	Kar	0.375
2	9	La4	A4	305	305	1	8	333	95	96	c1	0.5
3	54										hicaz@do5	0.5
4	9	Re5	D5	327	327	1	2	1333	99	96	ğar	1
5	9	Mi5b3	E5b4	333	332	1	8	333	99	96		1.125
6	9	Fa5#4	F5#4	344	344	1	8	333	99	96		1.25
7	9	Sol5	G5	349	349	1	8	333	99	96		1.375
8	9	Fa5#3	F5#4	343	344	1	8	333	99	96		1.5
9	9	Mi5b3	E5b4	333	332	3	16	500	99	96		1.6875
10	9	Re5	D5	327	327	1	16	167	99	96		1.75
11	9	Do5	C5	318	318	1	8	333	95	96		1.875
12	9			-1	-1	1	8	333	100	0		2
13	55											2
14	53											2

Çizelge 4.8’de görülen dosya içeriği, bu araçlardan herhangi biri kullanılarak oluşturulabilir. Ezgi sınırları “53”, geçki / çeşni başlangıçları “54” ve bitimleri “55” koduyla gösterilmektedir. Bunun dışındaki satırlar, SymbTr v1 formatındaki standart bilgilerdir.

Veri giriş araçlarıyla ilgili daha ayrıntılı bilgi, Ek-B’dedir.

4.3.6 İşaretlemelerin Basılı Nota Üzerinde Gösterilmesi

Mühendis ve müzisyenleri ilgilendiren bir çalışma sözkonusu olduğu için, hem girdileri hem de çıktıları bu alanlardaki uzmanların diliyle ifade edebilmek önemlidir. Bir müzisyen, sayılardan ibaret bir tabloyu yorumlamakta genellikle zorluk çeker. Buna karşılık onun yorumları olmaksızın ilerleme sağlanamaz. Tersi durum da matematikçiler için geçerlidir: Onlar genellikle basılı notalara bakarak yorum yapamazlar. Örneğin B. 38’in sağındaki tabloda, Şevki Bey’in Hicazkar makamındaki *Gönlümü duçar eden* adlı şarkısını etiketleyen birçok uzmanın işaretleri görülmektedir. Bilgisayarda işlemek için ideal olan bu verinin, müzisyenlerin bir bakışta anlayacağı düzende temsili de önemlidir ve bu gereksinim yerine getirilmiştir. Sözü geçen örneğin müzikal gösterimi Şekil 4.12’de verilmiştir.

4.3.7 Ezgi Sınırlarını Belirleyen Yeni Algoritmanın Tasarım ve Testi

Uygulamanın birinci hedefi, Türk müziği eserlerini otomatik olarak bölütleyebilen ilk aracı geliştirmektir. Bunun için uluslararası literatürdeki tekniklerden yararlanmanın yanı sıra Türk musikisine özgü bilgilerin kullanılarak iyileştirmeler sağlanması hedeflenmekteydi. Bu hedefe ulaşılmış, elde edilen sonuçlar uluslararası yayınlarda açıklanarak paylaşılmıştır.

Bu amaçla, önce Kesim 2.1’de özetlenen literatürden alınan algoritmaların Türk musiki sembolik verileri üzerindeki başarıları test edilmiştir. Sonraki adımda üç uzmanın elle yaptıkları bölütlemelerle bu algoritmaların çıktıları karşılaştırılmış, en sonunda Türk musikisine özgü yeni iki öznitelik tanımlanıp bunlar literatürde en yaygın kullanılan özniteliklerle beraber kullanılarak varolan tekniklerden daha başarılı sonuçlar alındığı gösterilmiştir.

Gönlümü Dûçar Eden Bu Hale Hep

Hicazkâr Şarkı

Uslul: Devr-i Hindî
♩ = 84 ⇒ 1 Dk 58 Sn

Beste: Şevki Bey (1860 - 25/6/1891)
Güfte: ?

sol5: hicaz

re5: hicaz

re5: hicaz

re5: ussak

do5: rast

re5: kurdi

sol4: hicaz

re5: ussak

re5: ussak

sol4: hicaz

do5: nikriz

re5: hicaz

Expert 1 (cc):

Expert 2 (eo):

Expert 3 (kb):

Şekil 4.12 Üç uzmanın etiketlerinin tek bir basılı nota üzerindeki toplu görünümü

Bu bölümün geri kalan kısmında önce MIDI Toolbox'taki tezle ilgili algoritmaların adaptasyonu anlatılmıştır. Ardından, literatürdeki yöntemleri karşılaştırmalı biçimde inceleyebilmek için her bir yöntemin sınır kuvvet fonksiyonunu bir öznitelik olarak alıp sınıflandırıcı aracılığıyla otomatik bölütleme yapan bir sistem tasarlanma süreci açıklanmıştır. Bu, literatürde kullanılan eşik değerlendirme yönteminin veriye adaptasyonu-

nun yapılması anlamına gelmektedir. Bunun yanısıra bu yaklaşım farklı algoritmaların sonuçlarını birleştirerek daha başarılı tespit yapılmasına ve eklenecek yeni özneliklerin katkılarının ne oranda olduğunun ölçülmesine olanak sağlar.

4.3.8 MIDI Toolbox'taki Ezgi Bölütleme Algoritmalarının Adaptasyonu

Çalışmada öncelikle LBDM ve TGU algoritmaları test edilmiştir. Bu iki algoritmanın kodları, Eerola ve Toiviainen tarafından kullanıma açılan Matlab MIDI Toolbox içerisinde bulunmaktadır. Bunlar literatürdeki en ileri düzeyi temsil ettikleri için onlarda iyileştirme çabasına girilmemiştir. Ancak bu algoritmaları kullanabilmek için verilerin adaptasyonu gerekmiştir. Temel uyumsuzluk, tüm benzerleri gibi MIDI Toolbox'ın da Batı müziği 12TET verilerini işleyecek biçimde tasarlanmış olması, SymbTr formatındaki Türk musikisi sembolik verilerinin ise mikrotanal aralıklar ve bölütleme bilgileri içermesidir.

4.3.9 Veri Adaptasyonu

MIDI Toolbox, adından da anlaşıldığı üzere girdi olarak MIDI dosyalarını almakta, “.mid” uzantılı bu dosyaları *nmat* (*notematrix*) adlı bir veri yapısına dönüştürerek işlemektedir. İlk olarak eldeki verileri bu aracı kullanmaya olanak sağlayacak biçimde dönüştüren kodlar tasarlanmış ve yazılıp çalıştırılmıştır. MIDI formatının karmaşıklığı ve eldeki verilerin zaten halihazırda sembolik olmasından yola çıkarak tezde

$$\text{SymbTr} \rightarrow \text{MIDI} \rightarrow \text{nmat}$$

dönüşümleri yerine doğrudan

$$\text{SymbTr} \rightarrow \text{nmat}$$

dönüşümü yapılmıştır. Çizelge 4.9'da, Şekil 4.11 ve Çizelge 4.8'deki sembolik verilerin *nmat* formatına dönüştürülmüş şekli gösterilmiştir.

Nota *Başlangıç* ve *Süre* sütunları vuruş birimi ve saniye cinsinden ikişer kez tekrarlanmaktadır. Formatta bunlar dışında *MIDI Kanalı*, *Perde* ve *Şiddet* sütunları vardır.

Görüldüğü gibi, *nmat* formatı SymbTr ile benzerlikler göstermektedir. Çünkü her iki format da MIDI tabanlıdır. Notaların başlangıç anları ve süreleri, vuruş ve gerçek zaman

birimi (saniye ve milisaniye birimlerinde) olarak her iki dosyada da vardır. Basış şiddeti de iki dosyada ortaktır. Türk musikisi monofonik olduğu için MIDI kanalı gibi bir bilginin saklanmasına gerek duyulmamış, dolayısıyla SymbTr'ye böyle bir sütun konulmamıştır. Odaklanılması gereken asıl nokta ise *nmat*'taki *Perde* sütunudur. Orijinal formatta burada yalnız tamsayılar bulunabilir. Çünkü bu sütun MIDI standardındaki MIDI No alanını gösterir. 1 byte'lık bir veri yapısıyla temsil edilen bu alan, 128 farklı notayı (yani C, C#/D♭, D, D#/E♭, ... şeklinde sıralanan 12TET perdelerini), yaklaşık 10.5 oktavlık bir alanda adresleyebilir.

Çizelge 4.9 Karcığar örnek-özün ilk satırının *nmat* formatındaki görünümü

Baslangıç (Vuruş)	Süre (Vuruş)	MIDI Kanalı	Perde	Siddet	Baslangıç (sn)	Süre (sn)
0	1.425	1	69.0566	96	0	0.95
1.5	0.475	1	69.0566	96	1	0.3164
2	1.98	1	74.0377	96	1.333	1.3197
4	0.495	1	75.1698	96	2.666	0.3297
4.5	0.495	1	77.8868	96	2.999	0.3297
5	0.495	1	79.0189	96	3.332	0.3297
5.5	0.495	1	77.8868	96	3.665	0.3297
6	0.7425	1	75.1698	96	3.998	0.495
6.75	0.2475	1	74.0377	96	4.498	0.1653
7	0.975	1	72	96	4.665	0.6493
8	1.425	1	74.0377	96	5.331	0.95
9.5	0.475	1	81.0566	96	6.331	0.3164
10	0.99	1	81.0566	96	6.664	0.6603
11	0.95	1	79.0189	96	7.331	0.6337

En pest MIDI No 0'dır ve eksi birinci oktavdaki yaklaşık 8.176 Hz'lik C'ye (C-1) tekabül eder. 127 MIDI No'lu en tiz nota ise 9. oktavdaki G'dir (G9) ve frekansı 12 543.85 Hz'tir. Orta oktavdaki A'nın (A4) MIDI No'su 69'dur ve frekansı 440Hz'tir. Daha önce de değinildiği gibi, Türk musikisi için *Perde* sütununun kesirli değerler de alabilmesi gerekir. *MIDI_No* ile SymbTr'nin *Koma* sütunlarındaki (*KomaAE* ve *Koma53*) değerler arasındaki bağıntı şöyledir:

$$MIDI_No = \frac{12}{53} \cdot Koma \quad (4.1)$$

MIDI Toolbox'ta, MIDI dosyalarını *nmat* formatına dönüştüren bir fonksiyon bulunmaktadır: *midı2nmat*. Yukarda açıklanan nedenlerle, bu fonksiyon yerine, SymbTr'-den *nmat* formatına bir dönüşüm aracı geliştirilmiştir:

[nmat, bolut] = symbtr2nmat(fileName, usulFile) (4.2)

fileName, ilgili eser bilgilerinin içinde yer aldığı SymbTr dosyasının yeri ve adıdır. usulFile ise, vuruş numaralarının doğru okunup yazılması için gerekli zaman (pay) ve mertebe (payda) verilerine erişimi sağlar.

(4.2) formatında çağrılan fonksiyon, notaları *nmat* matrisinde toplamının yanısıra, ezgi sınırlarını ve geçki / çeşni başlangıç – bitim noktalarını da vuruş birimi cinsinden ‘bolut’ değişkenine atar. Şekil 4.11 ve Çizelge 4.8’deki örnek için ‘bolut’ çıktısı Çizelge 4.10’dadır:

Çizelge 4.10 Ezgi ve geçki / çeşni sınırlarının MatLab *struct* formatında *bolut* değişkeninde temsili

Kod	Vuruş (Beat)	Sn	Açıklama
54	1.5	1	hicaz@do5
55	8	5.5	
53	8	5.5	

4.3.10 Kod Adaptasyonu

nmat formatındaki değişiklik ve Türk musikisi perde adlarıyla 12TET nota adları arasındaki fark vb. nedenlerle, MIDI Toolbox’taki hazır kodlarda da bazı değişiklikler yapılması gerekmiştir. Bu durumda özgün fonksiyon adları aynen korunmuş, yalnızca sonlarına “_tr” eki konulmuştur. Örneğin TGU’yu gerçekleyen orijinal MIDI Toolbox fonksiyonu *segmentgestalt*, adapte edilmiş fonksiyon *segmentgestalt_tr* adını taşımaktadır. Bu fonksiyonlar tez ekinde paylaşıma açılmıştır.

4.3.11 Test İçin Kullanılan Veriler

Bu çalışma için eldeki veriler, az sayıda örnek içeren makamlardan ve usullerden eserler dışarıda bırakılmak suretiyle makam ve usule göre öğrenme için yeterli malzeme içerecek biçimde daraltılmıştır. Verilerin içerdiği ezgi sayıları Çizelge 4.11’de sunulmuştur.

Çizelge 4.11 Ezgi bölütleme sistemleri toplu sonuçlar

	Ezgi sınırında bulunan nota sayısı	Ezgi sınırında bulunmayan nota sayısı	Toplam nota sayısı
Uzman-1	14 965	153 812	168 777
Uzman-2	2 823	57 074	59 897
Uzman-3	4 426	54 703	59 129

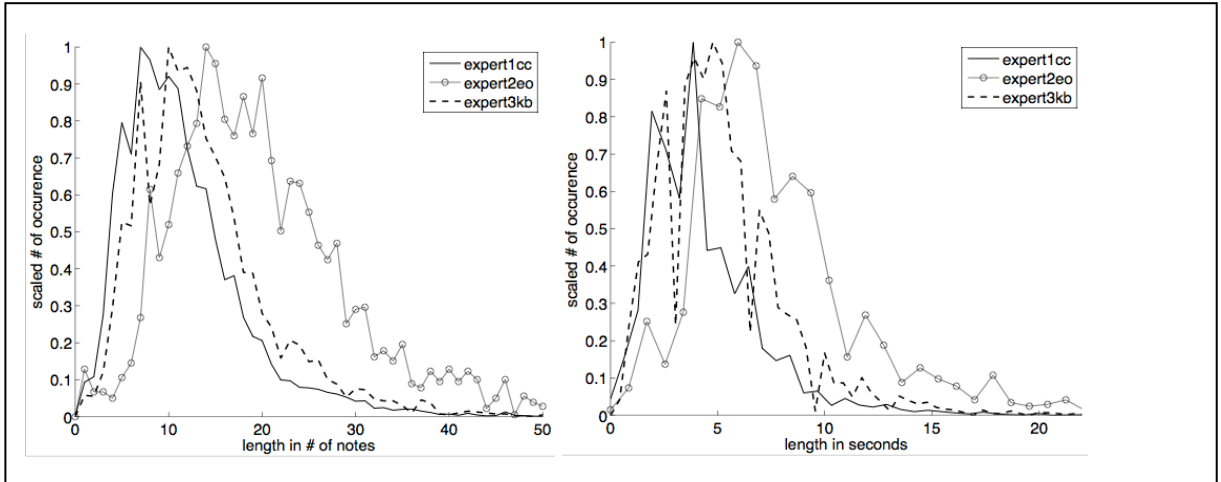
Bu verileri içeren eserler 15 farklı makamdan ve 17 farklı usuldendir. Bunların ayrıntılı dağılımları Çizelge 4.12’dedir.

Çizelge 4.12 Ezgi bölütlemeye kullanılan eserlerin makam ve usul dağılımları

Makamlar	Uzman 1	Uzman 2	Uzman 3	Usuller	Uzman 1	Uzman 2	Uzman 3
Acemaşiran	12	-	11	Sofyan (4/4)	28	13	7
Beyâtî	8	-	7	Düyek (8/8)	46	14	15
Buselik	9	-	9	Aksak (9/8)	86	38	37
Hicaz	42	24	16	Semai (3/4)	18	3	7
Hicazkar	17	10	8	Yürüksemai (6/8)	27	10	7
Hüseynî	31	20	10	Aksaksemai (10/8)	2	6	1
Hüzzam	36	21	13	Senginsemai (6/4)	17	3	6
Krd.hicazkar	26	-	16	Türkaksağı (5/8)	17	8	5
Mahur	25	-	22	Nimsofyan (2/4)	12	5	-
Muhayyer	19	-	16	Curcuna (10/8)	40	4	14
Nihavent	3	-	-	Müsemmen (8/8)	8	-	-
Rast	43	4	-	Devr-i hindi (7/8)	10	5	-
Sabâ	2	13	-	Ağıraksak (9/4)	25	11	11
Segâh	27	20	-	Devr-i kebir (28/4)	7	3	-
Uşşak	26	21	-	Muhammes (32/4)	6	-	4
Toplam	373	133	128	Agirduyek (8/4)	3	-	-
				Hafif (32/4)	3	-	-
				Toplam	373	133	128
Genel Top.			634	Genel Top.			634

Uzmanların verilerin genelinde farklı uzunluklarda cümleler tercih ettiği Şekil 4.13'te görülmektedir. Grafikler incelendiğinde, maksimumların Grouper algoritmasında da tercih edilen 10 notalık cümleler dolayında olduğu görülmektedir.

Uzman ezgi sınır işaretlerinin birbirleriyle uyum düzeyi de hesaplanmıştır (Çizelge 4.13). En yüksek uyumun 1. ile 3. uzman işaretlemelerinde olduğu görülmektedir.



Şekil 4.13 Cümlecik uzunluklarının nota sayısı ve saniye cinsinden üç veri grubunda dağılımı

4.3.12 Öğrenme Tabanlı Tasarım

Yeni sistem LBDM, TGU, Grouper ve SP algoritmalarının (tek başlarına kullanılmalarına göre) daha etkin kılınması için, bunların çıktılarını bir öznitelik vektöründe birleştiren istatistiksel öğrenme tabanlı bir tasarımıdır.

Çizelge 4.13 Uzman ezgi sınır işaretlerinin birbirleriyle uyum düzeyi

	Kesinlik	Andırma	F-ölçütü
Uzman 1 - Uzman 2 (133 ortak eser)	0.4618	0.8046	0.5715
Uzman 1 - Uzman 3 (128 ortak eser)	0.7424	0.8448	0.7827
Uzman 2 - Uzman 3 (5 ortak eser)	0.8604	0.3712	0.5096

Ezgi bölütlemesinin istatistiksel öğrenme yoluyla gerçekleştirilmesine literatürde iki çalışmada rastlanmaktadır: [45] ve [63]. Bu çalışmalarda sistem tasarımı, otomatik bölütlemenin bir veritabanından öğrenmesine dayanmaktadır. Bu bağlamda tezde önerilen yenilik sistem tasarımı değildir: Çalışmanın katkısı, makam ve usul bilgisine

dayanan iki yeni öznitelik tanımlanması, bu özniteliklerin bölütleme sisteminin iyileşmesinde etkin olduğunun gösterilmesi ve toplamda Türk musikisi için literatürdeki yöntemlerden daha iyi çalışan bir otomatik bölütleme sisteminin üretilmesidir. Aşağıda sırasıyla, önerilen öznitelikler, sistem tasarımı ve testler özetlenmiştir.

4.3.13 Yeni Önerilen *Makam* Tabanlı Öznitelik

Uzmanlardan toplanan etiket örnekleri üzerinde yapılan gözlemler ve verinin genelinden elde edilen dağılımların incelenmesi, makamın dizisindeki *karar*, *güçlü* gibi önemli perdelerin ezgi sınırında bulunma olasılığının yüksek olduğunu göstermiştir. Bu, literatürde ilk olarak Tunus makam müziği bağlamında [58] içerisinde tartışılmış ve [38]'de makamın karar sesi için bölüt olasılığını artıracak şekilde kural tabanlı olarak uygulanmıştır. Çalışmamızda, bu basit kural tabanlı sistem yerine, olasılıkların veri dağılımlarından elde edilmesi yöntemi tercih edilmiştir. Veri kümeleri s_i , bunların eleman sayıları $c(s_i)$ ve $i \in \{1, 2, 3\}$ olmak üzere, algoritmanın işleyiş şeması şöyledir:

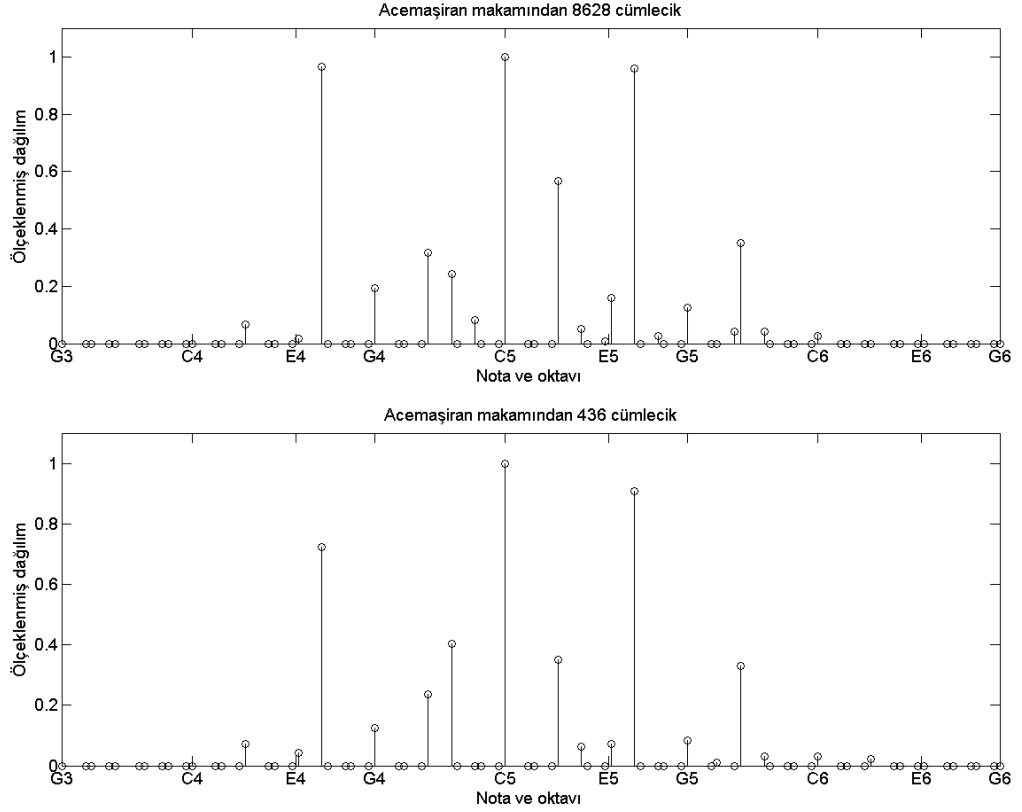
Her s_i kümesi için:

- o Her $k \leftarrow 1, 2, \dots, c(s_i)$ için kümeden k . elemanı çıkar,
- o Kalan $c(s_i) - 1$ eleman için, makamı k . ile aynı olan eserlerin ezgi sınırlarındaki perde dağılımlarını hesapla,
- o k . eseri bu eğitim kümesine göre bölütle,
- o Bu bölütleme ile aynı eseri i. uzmanın bölütlemesini F-measure ile karşılaştır.

İki uzmana ait verilerden elde edilen eğitim setinden hesaplanan dağılımlara bir örnek Şekil 4.14'te sunulmuştur. Düşey eksen, ölçeklenmiş olasılıkları göstermektedir. Eğitimler sırasında her bir uzmana ait veri setleri teker teker ele alınmış, hiçbir testte bu veri setleri birleştirilmemiştir.

Şekil 4.14 incelendiğinde, iki uzmanın işaretlediği ezgi sınırlarında en sık gözlenen üç perdenin sırasıyla F4 (Acemaşiran), C5 (Çargâh) ve F5 (Acem) olduğu görülmektedir. Bunlar ise gerçekten de Acemaşiran makamının sırasıyla *karar*, *güçlü* ve *tiz durak* perdeleridir.

Üç ayrı veri setinde yapılan gözlemlerde makamlara göre bu şekilde hesaplanan dağılımların şaşırtıcı düzeyde birbirine benzediği görülmüş, dolayısıyla uzmanların ezgi sınırlarını bu bağlamda öngördükleri anlaşılmıştır.



Şekil 4.14 Acemaşiran makamından eserleri bölütleyen uzman verilerinde ezgi sınırına denk gelen perde dağılımları. Birinci (üstte) ve üçüncü (altta) uzman verisinden

Makam tabanlı öznitelik, her nota başlangıç noktasında (*onset*) ezgi sınırı bulunma olasılığı olarak, ilgili notanın, eserin bestelendiği makamdaki ağırlıklı dağılımdan elde edilir.

4.3.14 Yeni Önerilen *Usul* Tabanlı Öznitelik

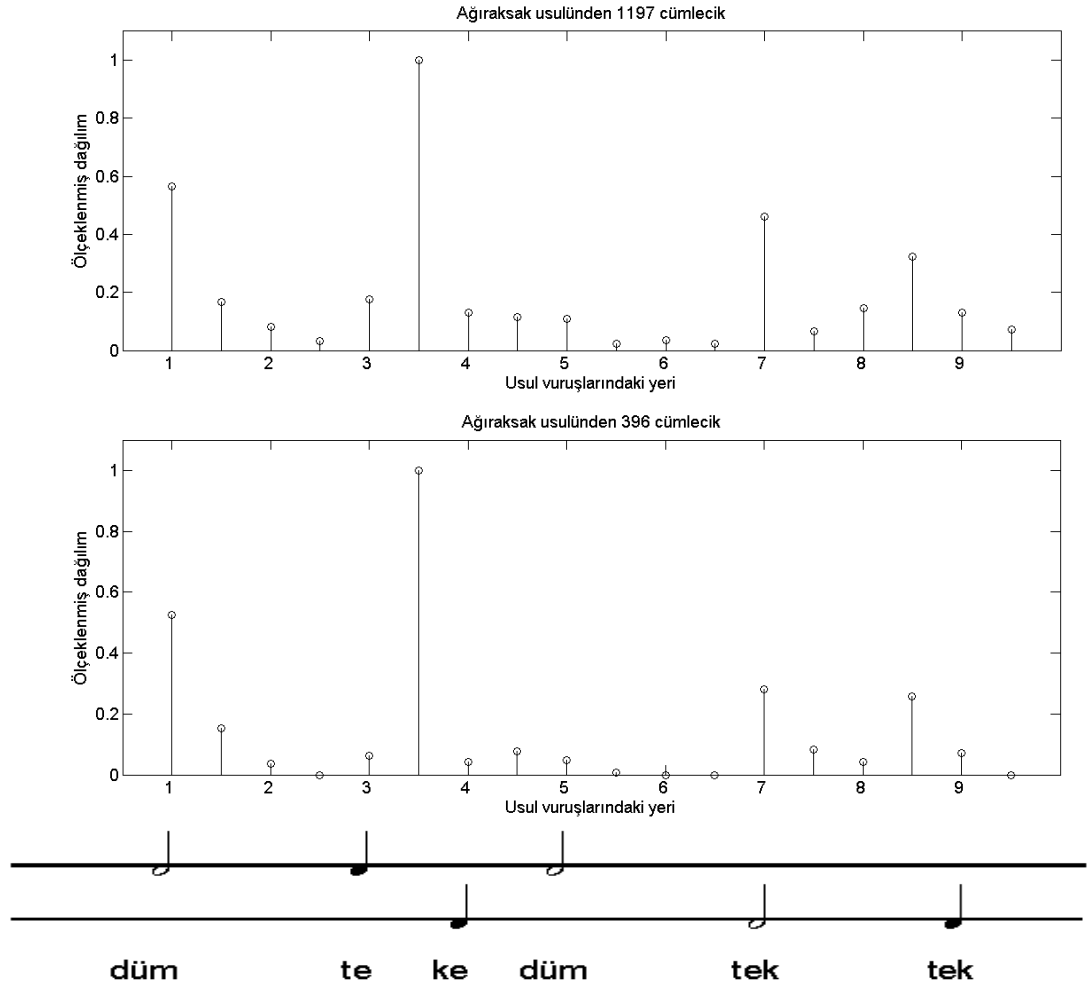
Benzer biçimde, ezgi sınırlarının *usul* içerisinde konumlanma noktalarının da veri genelinde belirli bölgelerde yoğunlaştığı gözlenmiştir. Türk musikisi ile ilgili kimi kuramsal yayınlarda ve sözlü eğitimlerde dile getirilen bu olgu, bugüne kadar herhangi bir hesaplamalı müzikoloji çalışmasında ele alınmamıştır.

s_i , $c(s_i)$ ve i yukarıdaki anlamlarında olmak üzere, algoritmanın işleyiş şeması şöyledir:

Her s_i kümesi için:

- o Her $k \leftarrow 1, 2, \dots, c(s_i)$ için kümeden k . elemanı çıkar,
- o Kalan $c(s_i) - 1$ eleman için, *usulü* k . ile aynı olan eserlerin ezgi sınırlarındaki perde dağılımlarını hesapla,
- o k . eseri bu eğitim kümesine göre bölütle,
- o Bu bölütleme ile aynı eseri i . uzmanın bölütlemesini F-measure ile karşılaştır.

Şekil 4.15'te, Ağıraksak (9/4) usulündeki eserlerden elde edilen örnek dağılımlar sunulmuştur. En alttaki usul notasında Ağıraksak usulünün vuruşları, üstteki grafiklerle hizalı olarak gösterilmiştir. Buradaki dağılımlardan, bu usuldeki eserlerde ezgi sınırlarının hangi vuruşlarda yoğunlaştığı gözlenmektedir. Gerçekten de bu usulle bestelenmiş eserlerin her ölçüsünün genellikle ilk 5. sekizliğinde bir sus işareti vb. bulunur ve usulün dizlere vuruluşu bu nedenle zordur.

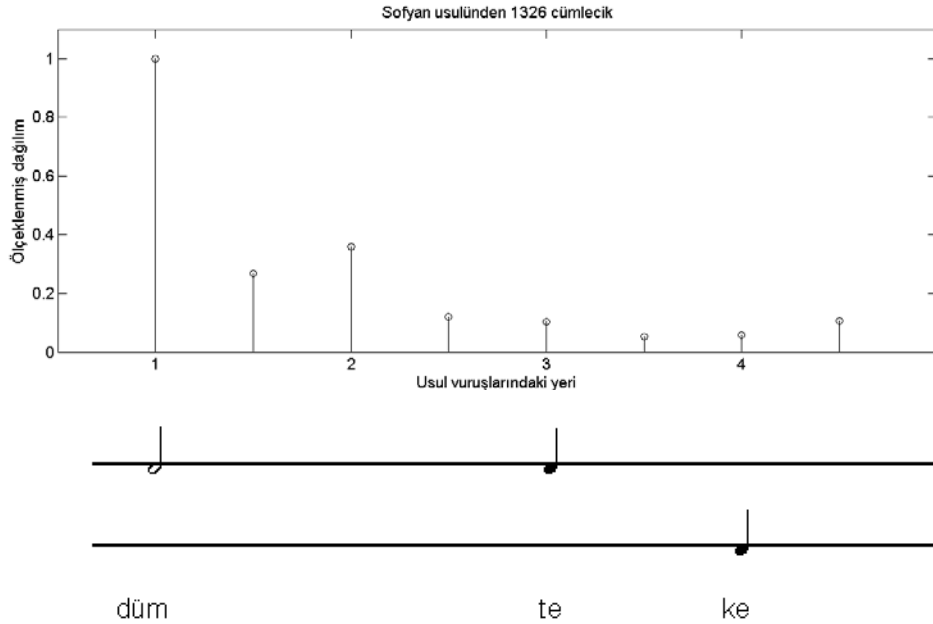


Şekil 4.15 Ağıraksak usulündeki eserlerde işaretlenen ezgi sınır dağılımları: Birinci (üstte), üçüncü (ortada) uzman verisinden ve usulünün sembolik gösterimi (altta)

Öteki usuller için de bu yöntemle hesaplanan dağılımlarda üç uzmanın verisinde yüksek düzeyde benzerlik olduğu gözlenmiştir. İkinci bir örnek olarak Sofyan usulü için bir uzmanın işaretlemelerinden hesaplanıp çizdirilen grafik Şekil 4.16'dadır.

Usul tabanlı öznelilik, her nota başlangıç noktasında (*onset*) ezgi sınırı bulunma olasılığı olarak, *başlangıç noktasından önceki notanın süresi boyunca usul vuruşlarında*

gözlenen ölçeklenmiş en yüksek ezgi sınırı dağılımı şeklinde hesaplanır. Bu anlamda, belli bir usuldeki bir eserde, usul vuruşlarının aynı bir konumunda (sözelimi ölçü başlangıçlarında) bulunup da ritmik değerleri (pay / payda) aynı olan iki perdenin usul tabanlı öznitelik vektöründeki değerleri birbirine eşittir.



Şekil 4.16 Ezgi sınırlarının usulün hangi vuruşlarına denk geldiğine ilişkin grafik (üstte), 4/4'lük Sofyan usulünün sembolik gösterimi (altta)

4.3.15 Öznitelik Olarak Kullanılan Mevcut Karar Fonksiyonları

Çoğu otomatik bölütleme algoritması perde süreleri (IOI) ve mutlak perde değişimlerini (*absolute pitch interval: API*) cümle sınır olasılığı olarak hesaplanan karar fonksiyonlarının temel yapıtaşı olarak kullanır. Ardından sınır kararları vermek için genellikle bir eşik uygulanır. Önerdiğimiz özniteliklerin denetimli öğrenme çerçevesi içinde bölütleme başarısına katkısını ölçmek için, temel sistemimiz sembolik verinin her bir nota başlangıç noktasında şu beş öznitelikli vektörü hesaplar:

- i) Nota süresi,
- ii) Ardışık nota sürelerinin oranı,
- iii) Başlangıç noktasındaki mutlak perde aralığı (önceki ve sonraki notaların oluşturduğu aralık),
- iv) Usul tabanlı öznitelik,

v) Makam tabanlı öznitelik.

Ayrıca, önde gelen şu sistemlerin karar fonksiyonları, karşılaştırma için ek öznitelikler oluşturmak üzere derlenmiştir:

- 1) LBDM,
- 2) TGU (Temporal Gestalt units) ,
- 3) Segment probabilities,
- 4) Grouper.

Çalışmamızı bu şekilde gerçeklemek, varolan tekniklerle karşılaştırma yapabilmek ve önerilen özniteliklerin etkilerini ayrıca inceleyebilmek için aşağıdaki öznitelik vektörleri kullanılarak veriler üzerinde testler yapılmıştır:

- 1) Temel kurgu (beş öznitelik): i) perde uzunluğu, ii) ardışık perde uzunlukları oranı, iii) perde değişimi, iv) usul tabanlı öznitelik, v) makam tabanlı öznitelik.
- 2) Genişletilmiş kurgu (dokuz öznitelik): Temel kurguya literatürdeki LBDM, TGU, Kesit Olasılıkları ve Grouper algoritmalarının karar için kullandıkları fonksiyonların öznitelik olarak eklenmesiyle elde edilir.
- 3) Genişletilmiş kurgudan makam ve usul tabanlı özniteliklerin çıkarıldığı kurgu (yedi öznitelik). Bu testte amaç, önerilen özniteliklerin literatürden alınan özniteliklere ek bilgi sağlayıp sağlamadığının anlaşılmasıdır.
- 4) Makam ve usul tabanlı özniteliklerin bizatihi kendilerinin ayrı ayrı gözönüne alındıkları kurgu.
- 5) LBDM, TGU, Kesit Olasılıkları ve Grouper özniteliklerinin bizatihi kendilerinin ayrı ayrı gözönüne alındıkları kurgu.

Bu dört kurgu, 3 ayrı uzmandan toplanan verilerle oluşturduğumuz 3 ayrı veri seti üzerinde birini-dışarıda-bırak benzeri bir yöntemle test edilmiştir. Her seferinde bölütlenecek eser dışarıda bırakılarak öğrenme geride kalan eserler üzerinde yapılmış ve bu kurgular dışarıda bırakılan eser üzerinde test edilmiştir.

4.3.16 Otomatik Bölütleme İçin Kullanılan Denetimli Öğrenme Yöntemi

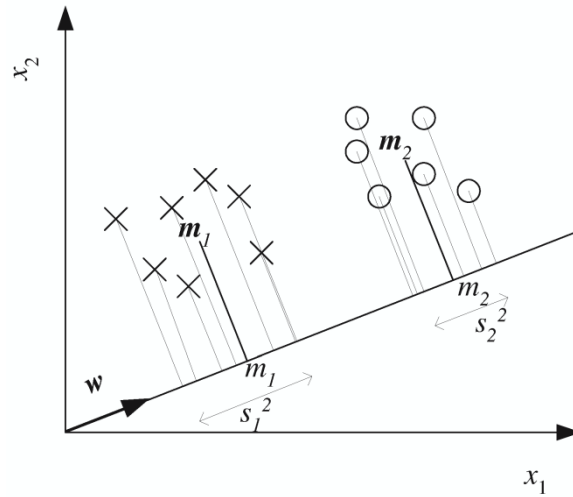
Örüntülerin iki kategoride sınıflandırılması, yapay öğrenme literatüründe derinlemesine çalışılmış bir örüntü tanıma problemidir. Sıkça kullanılan algoritmalar en yakın

komşu (Cover ve Hart [124], Fukunaga ve Hostetler [125]), vektör destek makineleri (Cortes ve Vapnik [126], Vapnik [127]), yapay sinir ağları (Haykin [128]) ve diskriminant fonksiyonlarıdır (McLachlan [129]). Bu yöntemler, istenilen örüntü sınıflarını ayırmak için karar kuralları oluşturulmak suretiyle iki sınıfı temsil eden örnekleri içeren veriler üzerinde eğitilebilirler.

Bu çalışmada her bir nota için derlenmiş öznitelikler kümesi temelinde cümle sınırlarını tanımak için Fisher'in doğrusal diskriminant analizi (Duda vd. [130]) kullanılmıştır. Örüntü tanıma literatüründe mevcut olan birçok sınıflandırıcı arasından bunun tercih edilmesinin iki temel nedeni vardır:

1. Artan veri sayısı ile daha karmaşık yapıya sahip sınıflandırma yöntemlerinin işlemsel yükü verimlilik sınırlarını zorlayabilmektedir,
2. Karmaşık sınıflandırıcı yöntemleri, ayrıştırılmaya çalışılan sınıflara ait mevcut örnek sayıları arasında ciddi bir farklılık olduğunda az sayıdaki örnekle ilintili olan sınıfı öğrenmekte zorluklarla karşılaşmaktadır.

Bu çalışmada kullanılan en büyük veri kümesinde 168 777 nota vardır ve bunlardan yalnızca 14 965'i cümle sınırıdır.



Şekil 4.17 İki sınıflı bir durum için doğrusal diskriminant çözümlemesi örneği [131]

4.3.17 Doğrusal Diskriminant Analizi

Sınıflandırma için gözetimli bir boyut azaltma yöntemidir. İki sınıflı (C_1 ve C_2) durum örnek olarak verilirse, öyle bir $\mathbf{w}$ vektör aranır ki, bu vektörün yönü, üzerine izdüşümler alındığında iki sınıfı birbirinden olabildiğince iyi ayıracak değerde olsun (Şekil 4.17).

d boyutlu $\mathbf{x}$ örneklem vektörünün $\mathbf{w}$ üzerine izdüşümü

$$z = \mathbf{w}^T \mathbf{x}$$

formülü ile hesaplanır ve sonuç bir skalerdir (Alpaydın [131]). Dolayısıyla bu dönüşüm boyut sayısını d 'den 1'e indirir. $\mathbf{m}_i \in \mathbb{R}^d$ ve $m_i \in \mathbb{R}$, ($i = 1, 2$), iki sınıftan örneklerin izdüşümden önceki ve sonraki ortalamalarını gösterebilir. Örneklem $X = \{(\mathbf{x}^t, r^t)\}$ şeklinde gösterilmek üzere, C_1 sınıfına ait örnekler için $r^t = 1$, C_2 sınıfına ait olanlar için ise $r^t = 0$ alınmak suretiyle bu ortalamalar kestirilebilir:

$$m_1 = \frac{\sum_t \mathbf{w}^T \mathbf{x}^t r^t}{\sum_t r^t} = \mathbf{w}^T \mathbf{m}_1$$
$$m_2 = \frac{\sum_t \mathbf{w}^T \mathbf{x}^t (1 - r^t)}{\sum_t (1 - r^t)} = \mathbf{w}^T \mathbf{m}_2$$

İki sınıftan örneklerin izdüşümden sonraki konumlarıyla ilgili olarak *saçılım* adlı şöyle bir nicelik tanımlayalım:

$$s_1^2 = \sum_t (\mathbf{w}^T \mathbf{x}^t - m_1)^2 r^t$$
$$s_2^2 = \sum_t (\mathbf{w}^T \mathbf{x}^t - m_2)^2 (1 - r^t)$$

İzdüşümden sonra iki sınıfın iyi ayrışması için hem ortalamaların birbirlerinden olabildiğince uzak olması, hem de her bir sınıfın örneklerinin olabildiğince dar birer alana saçılması istenir. Fisher'in doğrusal diskriminantı, bunların oranını maksimum kılan $\mathbf{w}$ vektörü olarak tanımlanmıştır:

$$J(\mathbf{w}) = \frac{(m_1 - m_2)^2}{s_1^2 + s_2^2} \quad (4.3)$$

Paydaki terimi vektörel formda yazalım:

$$(m_1 - m_2)^2 = (\mathbf{w}^T \mathbf{m}_1 - \mathbf{w}^T \mathbf{m}_2)^2$$
$$= \mathbf{w}^T (\mathbf{m}_1 - \mathbf{m}_2) (\mathbf{m}_1 - \mathbf{m}_2)^T \mathbf{w}$$
$$= \mathbf{w}^T S_B \mathbf{w}$$

Son satırdaki bu S_B' 'ye, *sınıflararası saçılım vektörü* adı verilir.

(4.3) denkleminin paydası ise, sınıf örneklerinin izdüşüm sonrasında merkez çevresindeki saçılımlarının toplamını gösterir. (Bunun örnek sayısına bölümü, birleşmiş verinin varyansını verir.) Paydayı da vektörel formda yazalım:

$$s_1^2 = \sum_t w^T (x^t - m_1)(x^t - m_1)^T r^t$$

$$= w^T S_1 w$$

S_1 , C_1 sınıfı için *sınıf içi saçılım vektörü*dür. S_2 de benzer biçimde bulunur. Buradan

$$s_1^2 + s_2^2 = w^T S_W w$$

yazılabilir. $S_W = S_1 + S_2$ vektörüne, *toplam sınıf içi saçılımı* denir.

(4.3) denklemine yeni hesaplanan karşılıklarını yazalım:

$$J(w) = \frac{w^T S_B w}{w^T S_W w}$$

J fonksiyonunun w vektörüne göre türevini alıp sonucu sıfıra eşitleyelim:

$$\frac{d}{dw} [J(w)] = \left(\frac{d}{dw} w^T S_B w \right) w^T S_W w - \left(\frac{d}{dw} w^T S_W w \right) w^T S_B w$$

$$= (2S_B w) w^T S_W w - (2S_W w) w^T S_B w = 0^1$$

$2w^T S_W w$ 'ye bölüp gerekli düzenlemeler yapılırsa:

$$\frac{w^T S_W w}{w^T S_W w} S_B w - \frac{w^T S_B w}{w^T S_W w} S_W w$$

$$= S_B w - J S_W w = 0$$

$$\Rightarrow S_W^{-1} S_B w - J w = 0$$

elde edilir. Böylelikle problem, genelleştirilmiş özdeğer hesaplama problemine dönüşür:

¹ x 'ten bağımsız M matrisi için

$$\frac{\partial}{\partial x} [x^T M x] = [M + M^T] x$$

tir. M simetrik ise bu eşitlik

$$\frac{\partial}{\partial x} [x^T M x] = 2M x$$

e dönüşür.

$$S_w^{-1} S_B w = \lambda w$$

S_w matrisi tersinir ise, çözüm doğrudan bulunur:

$$w = S_w^{-1}(m_1 - m_2)$$

4.3.18 Sınıflandırma

$i = 1, 2, \dots, \ell$ olmak üzere, x_i öznitelik vektörleri ve bunların sınıf etiketleri olan $y_i \in \{0, 1\}$ 'lerden oluşan (x_i, y_i) veri kümesi verildiğinde Fisher doğrusal diskriminantı şöyle tanımlanır:

$$f(x) = (\Sigma_1 + \Sigma_2)^{-1}(m_1 - m_2)^T x$$

Burada m_1 ve m_2 'ler öznitelik vektörlerinin örnek ortalamalarını ve Σ_1 ve Σ_2 'ler de bunlara karşı gelen kovaryans vektörlerini göstermektedir. x öznitelik vektörü ile bir nota için karar, eğitim kümesinden $f(x)$ değeri hesaplanıp eşik değerlendirme yapmak suretiyle verilir. Eğitim kümesi içinde verilen yanlış kararlar ve atlanan ezgi sınırları arasında bir denge kurularak belirlenen f_c eşik değeri için, $f(x) \geq f_c$ koşulunu sağlayan notalar ezgi sınırı olarak etiketlenir.

Bu sınıflandırıcının eldeki öznitelik vektör kümesine uygulanmasındaki en kritik nokta, bir eserdeki perdeler üzerinde karar verilirken o eserin bütün perdelerine ait öznitelik vektörlerinin sınıflara ait ortalama vektörlerinin ve ortak varyans matrislerinin hesaplanmasının dışında tutulmasıdır. Bu suretle aynı eserdeki perdelerin birbirleri ile ilgili tanıma kararlarına etki etmesinin önüne geçilmiş ve birini-dışarıda-bırak çapraz doğrulama işlemine benzer bir sinama süreci oluşturulmuştur. Aynı perspektife sadık kalınarak tanıma eşiğini belirleyen f_c değeri de sadece eğitim için kullanılan öznitelik vektörleri üzerinde en başarılı ayrıştırmayı sağlayacak ve o anki test verisinden bağımsız biçimde belirlenmiştir. Bu sayede elde edilen sonuçların istatistiksel geçerliliği mümkün olan en yüksek düzeyde sağlanmıştır.

4.3.19 Testler ve Sonuçlar

Ezgi bölütleme sistemlerinin karşılaştırmalı değerlendirmesinde genel olarak kabul edilmiş bir yöntem yoktur [64]. Algoritma ve uzman çıktılarının uyumluluğunun ölçülmesi için başarı ölçütü olarak literatürde yaygın biçimde yeğlenen F-ölçütü

kullanılmıştır. Bu amaçla kesinlik (*precision*), andırma (*recall*) ve F-ölçüt (*F-measure*) hesaplamaları yapan bir kod gerçekleştirilmiştir. Bu nicelikler, aşağıdaki Çizelge 4.14'te yer alan kısaltmalara göre şöyle hesaplanır:

Çizelge 4.14 Kesinlik ve andırma değerlerinin hesaplandığı parametreler

	Gözlem	
	da (doğru artı)	ya (yanlış artı)
	Beklenti: Doğru, Gözlem: Doğru	Beklenti: Yanlış, Gözlem: Doğru
	ye (yanlış eksi)	de (doğru eksi)
Beklenti	Beklenti: Yanlış, Gözlem: Yanlış	Beklenti: Doğru, Gözlem: Yanlış

$$Kesinlik = p = \frac{da}{da + ya}$$

$$Andırma = r = \frac{da}{da + ye}$$

$$F - \text{ölçüt} = F_\beta = (1 + \beta^2) \frac{p \cdot r}{\beta^2 \cdot p + r}$$

$\beta=1$ alındığı takdirde son denklem şu biçimde yalınlaşır:

$$F_1 = 2 \frac{p \cdot r}{p + r} \quad (4.4)$$

Uzman ve/veya algoritma öngörülerinin birbirleriyle karşılaştırılması sözkonusu olduğu, yani mutlak doğru bilinmediği için, hesaplamalarda bu son formül kullanılmıştır. Yukardaki formüller, uygulamamıza bağlı terimlerle aşağıda yeniden yazılmıştır:

$$Kesinlik = p = \frac{\text{Ezgi sınırı olarak etiketlenen ve gerçekten ezgi sınırı olan işaretlerin sayısı}}{\text{Tüm ezgi sınırı etiketlerinin sayısı}}$$

$$Andırma = r = \frac{\text{Ezgi sınırı olarak etiketlenen ve gerçekten ezgi sınırı olan işaretlerin sayısı}}{\text{Tüm ezgi sınırlarının sayısı}}$$

Özgürlük (*specificity*) oranı ise cümle sınırında olmadığı doğru olarak belirlenmiş notaların yüzdesi olarak tanımlanır ve şöyle hesaplanır:

$$R_{\text{özgürlük}} = \frac{\sum_i 1("x_i \text{ bir cümle sınırı olarak etiketlenmiştir ve } y_i = 0")}{\sum_i 1(y_i = 0)}$$

x_i öznitelik vektörlü notanın bazı f_c eşik değerleri için eğer $f(x_i) \geq f_c$ ise bir cümle sınırı olarak etiketlendiği hatırlanmalıdır. Ek olarak, 2×2 karıştırma matrisleri, her bir bölütleme denemesi için başarı ölçüm değerlerinin hesaplanmasını kolaylaştırmak

üzere hesaplanmışlardır. İyi bir bölütlemeye, doğrunun doğasıyla öngörüler çıkarılır ve köşegende daha büyük sayıda notalar yığılır. Tüm testlerde f_c kritik karar eşiği, incelenmekte olan eserdeki notalar eğitim veri kümesinden çıkarıldıkları için, eğitim kümesi üzerindeki F -ölçütü maksimize edecek şekilde otomatik olarak belirlenir.

4.3.20 Beş Öznitelikli Temel Kurgu için Testler

Aşağıdaki test sonuçları, her bir notanın bir veri noktası olduğu ve 1'in cümle sınırı sınıfına karşı geldiği kabul edilerek sunulmuştur (Çizelge 4.15, Çizelge 4.16).

Çizelge 4.15 Beş öznitelikli temel kurgu için karıştırma matrisleri

	1. veri kümesi			2. veri kümesi			3. veri kümesi		
	0	1	Toplam	0	1	Toplam	0	1	Toplam
0	148016	5796	153812	55428	1646	57074	52385	2318	54703
1	6400	8565	14965	1518	1305	2823	1742	2684	4426
Toplam	154416	14361	168777	56946	2951	59897	54127	5002	59129

Çizelge 4.16 Beş öznitelikli temel kurgu için doğrulama ölçümleri

	1. veri kümesi	2. veri kümesi	3. veri kümesi
Andırma	0.5723	0.4623	0.6064
Özgürlük	0.9623	0.9712	0.9576
Kesinlik	0.5964	0.4422	0.5366
F-ölçütü	0.5841	0.4520	0.5694

4.3.21 Dokuz Öznitelikli Genişletilmiş Kurgu için Test Sonuçları

En genel kurgu için hesaplanan değerler Çizelge 4.17'de toplanmıştır.

Çizelge 4.17 Dokuz öznitelikli genişletilmiş kurgu için karıştırma matrisleri

	1. veri kümesi			2. veri kümesi			3. veri kümesi		
	0	1	Toplam	0	1	Toplam	0	1	Toplam
0	148421	5391	153812	55356	1718	57074	53035	1668	54703
1	6020	8945	14965	1339	1484	2823	1811	2615	4426
Toplam	154441	14336	168777	56695	3202	59897	54846	4283	59129

Bu kurgu için doğrulama ölçümleri ise Çizelge 4.18'dedir.

Çizelge 4.18 Dokuz öznitelikli genişletilmiş kurgu için doğrulama ölçümleri

	1. veri kümesi	2. veri kümesi	3. veri kümesi
Andırma	0.5977	0.5257	0.5908
Özgürlük	0.9650	0.9699	0.9695
Kesinlik	0.6240	0.4635	0.6106
F-ölçütü	0.6106	0.4926	0.6005

4.3.22 Yedi Öznitelikli Kurgu İçin Test Sonuçları

Usul ve makam tabanlı özniteliklerin katkısını görebilmek için oluşturulan bu kurgunun çıktıları Çizelge 4.19 ve Çizelge 4.20’dedir

Çizelge 4.19 Yedi öznitelikli kurgu için karıştırma matrisleri

	1. veri kümesi			2. veri kümesi			3. veri kümesi		
	0	1	Toplam	0	1	Toplam	0	1	Toplam
0	148018	5794	153812	55503	1571	57074	52703	2000	54703
1	6644	8321	14965	1625	1198	2823	1984	2442	4426
Toplam	154662	14115	168777	57128	2769	59897	54687	4442	59129

Çizelge 4.20 Yedi öznitelikli kurgu için doğruluk ölçümleri

	1. veri kümesi	2. veri kümesi	3. veri kümesi
Andırma	0.5560	0.4244	0.5517
Özgülük	0.9623	0.9725	0.9634
Kesinlik	0.5895	0.4326	0.5498
F-ölçütü	0.5723	0.4285	0.5507

4.3.23 Tek Başlarına Makam ve Usul Özniteliklerinin Test Sonuçları

Yeni önerilen iki özniteliğin yukarıdaki kurgularda ne kadar etkili olduklarını açığa çıkarmak için bu özniteliklere tek başlarına da aynı analizler uygulanmıştır. Sonuçtaki doğrulama ölçümleri Çizelge 4.21’de sunulmuştur.

Çizelge 4.21 Makam ve usul tabanlı özniteliklerin tek tek kullanıldıklarındaki doğrulama ölçümleri

	Makam tabanlı öznitelik			Usul tabanlı öznitelik		
	1. veri kümesi	2. veri kümesi	3. veri kümesi	1. veri kümesi	2. veri kümesi	3. veri kümesi
Andırma	0.5668	0.3216	0.5999	0.5997	0.6458	0.6139
Özgülük	0.7114	0.8700	0.7096	0.9226	0.9067	0.9162
Kesinlik	0.1604	0.1091	0.1432	0.4299	0.2551	0.3721
F-ölçütü	0.2501	0.1629	0.2312	0.5008	0.3657	0.4633

4.3.24 Literatürden Tek Tek Özniteliklerin Test Sonuçları

Literatürdeki en ileri düzeyi temsil etmeleri bakımından, dört algoritmanın her birinin doğrulama ölçümleri de hesaplanmıştır (Çizelge 4.22).

Çizelge 4.22 Literatürden tek tek özniteliklerin doğrulama ölçümleri (VK: Veri kümesi)

	LBDM			TGU			Kesit Olasılıkları			Grouper		
	1. VK	2. VK	3. VK	1. VK	2. VK	3. VK	1. VK	2. VK	3. VK	1. VK	2. VK	3. VK
Andırma	0.553	0.451	0.492	0.408	0.428	0.427	0.361	0.315	0.366	0.489	0.501	0.516
Özgünlük	0.950	0.959	0.964	0.946	0.927	0.943	0.865	0.900	0.867	0.939	0.921	0.935
Kesinlik	0.516	0.355	0.526	0.423	0.226	0.375	0.206	0.135	0.182	0.439	0.239	0.392
F-ölçütü	0.534	0.397	0.508	0.415	0.296	0.399	0.262	0.188	0.243	0.462	0.324	0.445

Ayrı bir testte LBDM'nin üç bileşeni (mutlak perde aralığı, başlangıç noktaları arası zamansal uzaklık ve bitimden başlangıca zamansal uzaklık) ağırlıklı toplam alınmadan ayrı öznitelikler olarak hesaplanmıştır. İlginç biçimde, bu kurgu LBDM'nin sabit tanımsız ağırlıkları olan sırasıyla 0.25, 0.50 ve 0.25'e çok yakın sonuç vermiştir. O sonuçlar zaten Çizelge 4.22'de yer almaktadır. Bu nedenle ayrıca yapılan bu testin sonucu ayrı bir tablo olarak gösterilmemiştir.

4.3.25 F-ölçütleri Üzerinde İstatistik Anlamlılık Analizi

Dokuz öznitelikli melez sistemin varolan yöntemlere göre kaydadeğer bir gelişme sağlayıp sağlamadığını görmek için istatistik karşılaştırma testleri uygulanmıştır. Bu amaçla, ilkin literatürdeki dört yöntemin üç veri kümesi için ortalama *F*-ölçütleri eşleşik *t*-testten geçirilmiştir. Sonuçlar melez sistemin *F*-ölçütlerinin oldukça önemli gelişme sağladığını göstermiştir. LBDM üzerindeki ortalama gelişme 0.0882 (*P*-değeri 0.0044), TGU'daki 0.1979 (*P*-değeri < 0.001), Kesit Olasılıklarındaki 0.3369 (*P*-değeri 0.0023) ve Grouper'daki 0.1576 (*P*-değeri 0.0014)'tür. Küçük *P*-değerleri, ortalama *F*-ölçütlerinde görülen iyileşmenin istatistiksel anlamlılığına tanıklık etmektedir.

Dokuz öznitelikli melez sistemin gösterdiği başarıyı sınamak üzere son olarak, üç veri kümesindeki her eser için melez sistemden ve literatürdeki dört yöntemden elde edilen *F*-ölçütleri karşılaştırılmıştır. Çizelge 4.23'te verilen eser başına *F*-ölçütleri üzerindeki eşleşik *t*-testlerinin sonuçları, dokuz özniteliği kullanan melez sistem için tartışmasız bir başarı doğrulaması sunmaktadır. Üç veri kümesi için melez sistemden elde edilen eser başına *F*-ölçütleri sırasıyla 0.5999, 0.4728 ve 0.5991'dir. Dört alternatif yöntemdeki gelişme, 10^{-6} ile 10^{-113} arasında değişen *P*-değerleriyle istatistik olarak anlamlıdır.

Çizelge 4.23 Dokuz öznitelikli melez sistemin literatürdeki yöntemlere karşı eser başına *F*-ölçütlerinde gösterdiği ortalama gelişme

Alternatif yöntem	1. Veri Kümesi		2. Veri Kümesi		3. Veri Kümesi	
	Gelişme	P-değeri	Gelişme	P-değeri	Gelişme	P-değeri
LBDM	0.0649	<0.001	0.0843	<0.001	0.0770	<0.001
TGU	0.1883	<0.001	0.1750	<0.001	0.1990	<0.001
Kesit olas.	0.3451	<0.001	0.2970	<0.001	0.3634	<0.001
Grouper	0.1341	<0.001	0.1486	<0.001	0.1454	<0.001

4.3.26 Değerlendirme

Beş öznitelik kullanan temel kurgunun, literatürdeki tüm öteki yöntemlerden daha yüksek başarı gösterdiği gözlenmektedir (Çizelge 4.15 ve Çizelge 4.16). Literatürdeki sistemler arasında LBDM ve ardından Grouper en yüksek başarıya sahiptir. Bu sonuçlar [64] benzeri önceki karşılaştırmalı çalışmaların sonuçlarını desteklemektedir. Çizelge 4.19 ile Çizelge 4.22 arasındaki başarı doğrulama ölçümleri karşılaştırıldığında en verimli sistemin dokuz özniteliğin tümünü kullanan kurgu olduğu görülmektedir. Bu sonuç, değişik yaklaşımlara sahip öznitelikleri birleştirerek benzer bir melez sistemi sınavan ve benzer bir çıkarıma ulaşan [45] ile paralellik içindedir. Uzmanların bölütlediği notalardan oluşan veritabanından denetimli öğrenme kanalıyla otomatik bölütleme yapan bu özel çalışmadan şu *F*-ölçütleri elde edilmiştir:

- 0.6106 (1. veri kümesi),
- 0.4926 (2. veri kümesi) ve
- 0.6005 (3. veri kümesi) (Çizelge 4.18).

Çok sayıda öznitelik kullanmanın bölütleme başarısını artırma avantajının karşılık dezavantajı, sistemi hantallaştırmasıdır.

Önerilen makam ve usul tabanlı özniteliklerin katkısı, dokuz öznitelikli orijinal kurgunun sonuçları ile bunlar çıkarılmak suretiyle elde edilen yedi öznitelikli kurgunun sonuçları karşılaştırılarak anlaşılabilir. Yeni özniteliklerin 0.0383 - 0.0641 (ya da % 6.69 - 14.96)

gelişme sağladığı gözlenmektedir. Bu özniteliklerin yararlılığına ilişkin tamamlayıcı bir test şunu açığa çıkarmıştır:

Bu iki öznitelik tek başlarına kullanıldıklarında, cümle sınırlarını belirlemede orta düzeyde bir duyarlık yakalamaktadır (Çizelge 4.21); fakat içinde bulundukları bileşimlerdeki başarıları belirgin biçimde daha iyidir (Çizelge 4.16, Çizelge 4.18).

Usul tabanlı öznitelik tek başına kullanıldığında ulaştığı başarı düzeyinin (Çizelge 4.21) TGU, Kesit Olasılıkları ve Grouper'dan yüksek olması ilginçtir (Çizelge 4.22).

Bu sonuçların başarısı, Türk musikisi eserlerindeki cümleciklerle usul vuruşları ve makam perdeleri arasında güçlü bir bağ bulunmasından kaynaklanıyor olsa gerektir.

Makam ve usul tabanlı öznitelikler istatistiksel öğrenme çerçevesinde test edilmekle birlikte, bu öznitelikler karar fonksiyonlarının bileşenleri olarak da kullanılabilir. Örneğin bu öznitelikler yeni bir karar fonksiyonu oluşturmak üzere perde süreleri, frekans farkları gibi özniteliklerle kaynaştırılıp ağırlıklı toplamaları alınabilir.

Yaklaşımımız LBDM, TGU, Kesit Olasılıkları ve Grouper ile karşılaştırıldığında (tıpkı başka veri güdümlü yöntemler gibi) daha hantaldır ve kodlanması daha karmaşıktır. Ek olarak, eğitim için, elle bölütlenmiş ezgi cümleleri gerektirir. Avantajı ise sistemin her veritabanına uyarlanabilir ve değişik uzman stillerini destekliyor oluşudur.

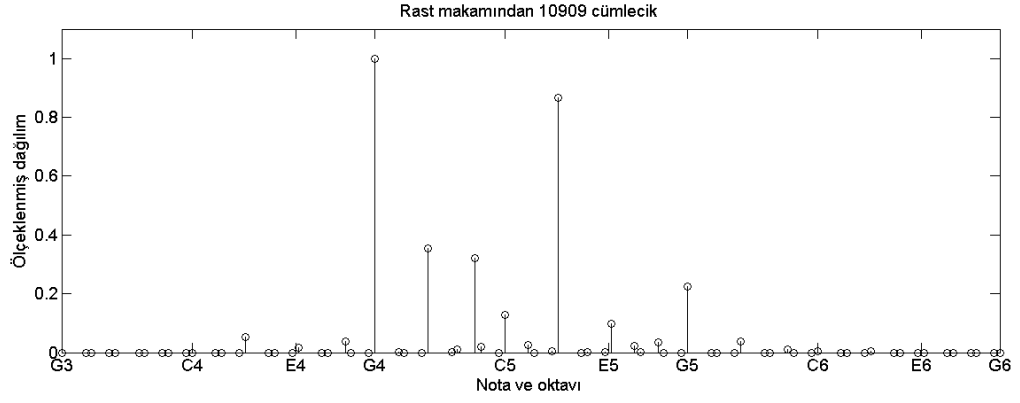
4.3.27 Ezgi Sınırlarının Makam Perdeleriyle İlişkisi

Ezgi sınırları ile makam perdeleri arasındaki ilişki daha önce Türk müziği bağlamında müzikoloji perspektifiyle deneysel olarak çalışılmamış bir konudur. Bu konuda bir başlangıç yapmak ve ilerdeki çalışmalara örnek sunmak amacıyla uzmanların bölütlediği eserler bestecileri, formları ve dönemleri bağlamlarında gruplanarak ezgi sınır dağılımları elde edilmiş ve bu dağılımlar incelenmiştir. Bir konferans makalesinde kısmen yayınlanan [132] bu çalışmayla ilgili ilk sonuçlar aşağıdadır.

Rast, Segâh ve Hüzzam Makamında Ezgi Cümlelerinin Bölütlenmesi Üzerine

Rast makamının perdeleri pestten tize şöyledir:

Rast, dügâh, segâh, çargâh, neva, hüseyinî, evîç ve gerdaniye.



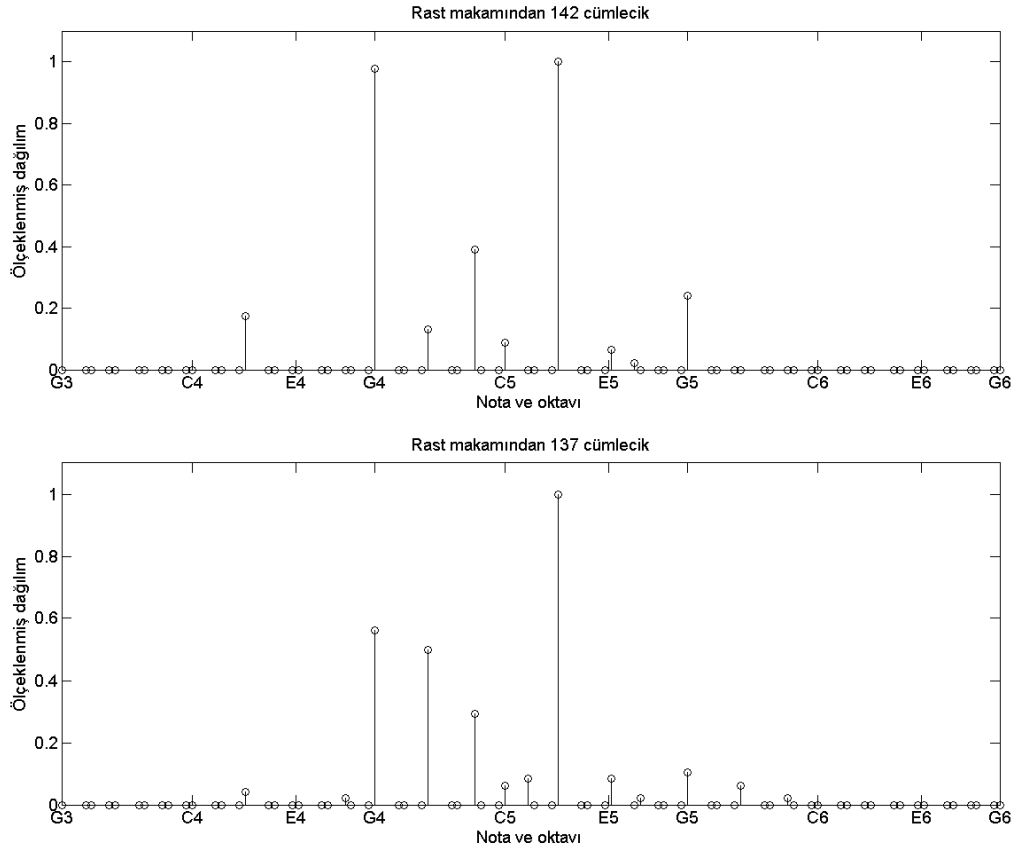
Şekil 4.18 Rast makamındaki eserlerin ezgi sınırlarındaki genel perde dağılımı

Bu makamın seyri genelde pest bölgeden başlar. Vurgulanan perde, ya da başka bir deyişle güçlü perdesi, *nevadır*. Dolayısıyla Rast makamındaki bir eserde düz bir analiz gerçekleştirildiğinde en sık kullanılan perdelerin *rast* ve *neva* olması doğaldır. Bunu *segâh*, *dügâh* gibi asma karar perdelerinin izlemesi beklenir. Şekil 4.18'e bakıldığında, Rast makamındaki eserlerin ezgi sınırlarının genel olarak sıklık sırasıyla *rast*, *neva*, *segâh*, *dügâh* ve *gerdaniye* perdelerine denk geldiği gözlemlenmektedir. Bir gruplama yapmadan, tüm Rast eserler üzerinde elde edilen dağılımlarda *rast* perdesinin ezgi sınırında en sık kullanılan perde olduğu görülür. Hacı Arif Bey eserlerindeki 142 müzikal cümle üzerinde yapılan gözlemlerde, *neva* perdesinin sınırlarda *rast* perdesinden diğer bestekârların eserlerine göre daha sık kullanıldığı gözlenmiştir. Formlar üzerinden gruplama yapıldığında ise özellikle sazeserlerinde incelenen 137 müzik cümlesinde *neva* perdesinin benzer şekilde önem kazandığının gözlenmesi ilginçtir (Şekil 4.19).

Rasttakine benzer durum Segâh makamı için de geçerlidir. İlk üç bölütlemenin geneline bakıldığında Rasttan doğan makamlardan biri olması nedeniyle, Segâh makamı üç perdeyle açıklanabilir: *Segâh*, *neva* ve *rast* (Şekil 4.20).

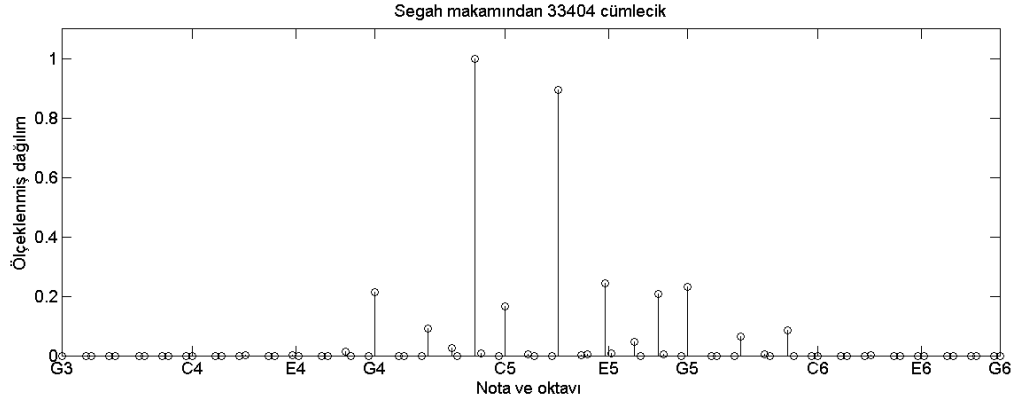
Bu makamda ilginç bulduğumuz müzik cümleleri bölütlemelerinden biri Sadettin Kaynak'a, bir diğeri de Kaynak'ın da içinde yer aldığı 4. döneme aittir. Günümüzde yaygın olarak kullanılan teorik anlayışla, *segâh* perdesi karar alınıp üste *segâh* beşlisi kurulduğunda *evîç* perdesinin önemli olması beklenirken Segâh'ın üçüncü derecesindeki *neva* perdesinin daha fazla öne çıktığı görülmektedir. Bu şu şekilde açıklanabilir: Pestte yani rastta *Rast* beşlisi vardır ve beşinci derecesi *neva* olmaktadır. Sadettin Kaynak'ta, incelenen 103 müzik cümlesinde en çok bölütleme sınırı *segâhtadır*, ancak ikincisi

dikhisardadır (Müstear üçlüsü nedeniyle) ve bu bölütleme sıklığını *neva* takip eder. Dördüncü dönemde 458 müzik cümlesinde en sık gözlenen ilk üç bölüt sınırı ise *neva*, *segâh* ve yine *dik hisar*dır. Sadettin Kaynak gibi bestecilerin eserlerindeki ezgileri geleneksel ezgi dizgesinden (ikili aralıklarla ilerleme, makamın seyir kurallarına bağlılık vb.) farklı bir yere taşıdığı gözlemlenmektedir.



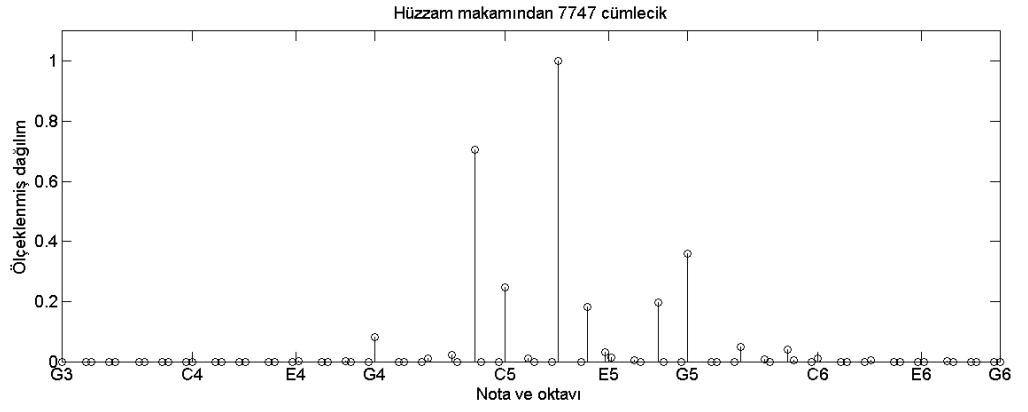
Şekil 4.19 Rast makamındaki Hacı Arif Bey (üstte) ve sazeserlerinde (altta) ezgi sınırlarındaki perde dağılımı

Hüzzam makamında bölütlemelerin incelendiği bir diğer ilginç örnek yine Sadettin Kaynak'a aittir. Genel incelemeye bakıldığında yine ilk üç perdenin (*neva*, *segâh* ve *gerdaniye*) cümle sınırlarına yerleştiği dikkati çekmektedir (Şekil 4.21). İlk iki sıra birbirleriyle yer değiştirmektedir. Genelde maksimum bölütleme sınırı *nevada* iken Dede Efendi'de maksimum bölütleme sınırında *segâh* perdesi bulunmaktadır. Sadettin Kaynak'ta en sık kullanılan sınırlar *neva* perdesinde, ikincisi en sık kullanılan ise *gerdaniye*dedir. Bestecinin eserlerinde makamın ezgisel işleyişini *neva* ve *gerdaniye* civarında kullandığı görülmektedir. Bu durum, Kaynak'ın popülerleşme sürecindeki bir besteci olmasının göstergelerinden biri olarak değerlendirilebilir.



Şekil 4.20 Segâh makamındaki eserlerin ezgi sınırlarındaki genel perde dağılımı

Genel olarak, bestecilerin ezgilerde cümle sınırlarını, makamın oluşumunda önemli rolü olan perdelerde konumlandığı görülmektedir.



Şekil 4.21 Hüzam makamındaki eserlerin ezgi sınırlarındaki genel perde dağılımı

SEYİR ANALİZİ

Makamların birbirinden ayrılmasını sağlayan temel özelliklerden birisi *seyir*dir. Ezgilerin parça genelinde izlediği yönleri açıklayan seyir kavramı, her bir makamın ezgilerinin üç ana kategoriden birisine eşlenmesi ile özetlenir:

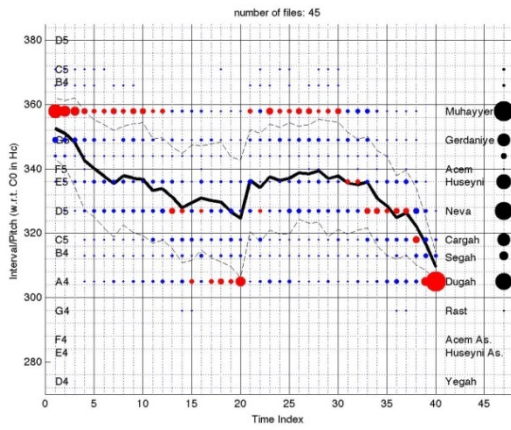
- İnici seyir,
- Çıkıcı seyir,
- İnici-çıkıcı seyir (orta bölge seyri).

Birçok kuramsal eserde (örneğin Özkan [106]) Hüseyinî makamı ile Muhayyer makamının aynı diziyi kullandığı ve birbirinden temelde seyir özellikleri ile ayrıldığı belirtilmektedir. Hüseyinî makamının seyri inici-çıkıcı seyir kategorisinde, Muhayyer makamının seyri ise inici seyir kategorisinde ifade edilmektedir.

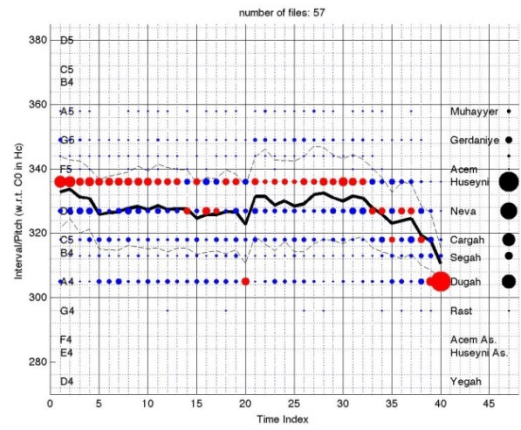
Seyir kavramının hesaplamalı analizini ele alan bir çalışmanın ilk adımları daha önce (Bozkurt [119]) içerisinde atılmıştı (Bkz. Kesim 4.1.2, Şekil 4.2). Seyrin hesaplamalı olarak çalışılabilmesi için önsel bir çalışma olarak öncelikle müzikologların bir veri grubundaki eserlerin içerdiği ezgilerin genel eğilimlerini (zamanla değişimlerini) gözleyebilecekleri ve incelemelerde bulunabilecekleri bir grafik gösteriminin tasarlanmasının yararlı olacağı düşünülmüştür.

Seyir açısından önemli olan iki boyut, ezgilerin yönü ve vurgulanan perdelerdir. Örneğin Muhayyer makamının seyrinin muhayyer (A5) perdesinin vurgusu ile başlaması ve giderek pestlere doğru inmesi, seyrinin ana karakteri olarak ifade edilir. Önerdiğimiz gösterim, perde vurgusunu gözleyebilmek için perdenin kullanılma sıklığının, ezgilerin yönünü gözleyebilmek için de ezgilerin ağırlık merkezlerinin zamanla değişiminin

gösterilmesine dayanır. Şekil 5.1’de Hüseyinî makamı için 57 ve Muhayyer makamı için 46 eserden tam otomatik olarak elde edilen seyir grafikleri sunulmuştur. Bunun için her bir eserin ezgisel hattı % 2.5’luk dilimlere ayrılmış ve her bir dilim için eserlerden perde dağılım bilgileri biraraya getirilmiştir. Sonuçta her bir dilime düşen perdelerin yerleri toplanarak, sıklıkları ise toplanın yarıçaplarıyla gösterilmiştir. Buna ek olarak en sık kullanılan perde kırmızıya boyanmıştır. Grafikteki kalın çizgi her % 2.5’luk dilimdeki ağırlık merkezini, kesikli çizgiler ise ağırlık merkezinin bir standart sapma birimi kadar üst ve altını göstermektedir. Bu grafikler kullanılarak, bir veri grubu için, hem ezgilerin zamanla değişimine hem de perdelerin hangi sıklıkta kullanıldığına dair gözlem yapılabilmektedir.



Muhayyer



Hüseyinî

Şekil 5.1 Muhayyer ve Hüseyinî makamları için seyir gösterimleri (Bozkurt vd. [133])

Bu gösterimler çeşitli uzman icracıların değerlendirmesine sunulmuştur. Uzmanlar bu grafikleri karşılaştırmalı seyir analizleri için çok faydalı bulduklarını ifade etmişlerdir. Önerilen seyir gösterimini açıklayan konferans bildirisi hazırlanıp AAWM konferansında sunulmuştur [133]. Bu gösterimler üzerinden müzikolojik çalışmalar yapılması, Türk musikisinde seyir kavramının daha iyi anlaşılmasına hizmet edecektir.

SONUÇ VE ÖNERİLER

Tez kapsamında toplanan / hazırlanan veriler ve tasarlanan modeller kullanılarak, literatüre iki önemli katkı yapılmıştır. Çalışma sürecinde elde edilen sonuçlar ya literatürde ilktir, ya da (makam sınıflamada olduğu gibi) daha önceki çalışmalardan elde edilenlere göre daha başarılı sonuçlar vermiştir.

1. Makam tanıma konusunda, literatürdekilerden daha yüksek başarı elde eden n-gram tekniğine dayalı bir algoritma tasarlanıp kodları yazılarak gerçekleştirilmiş karşılaştırma testleri yapılmıştır,
2. Ezgi bölütlemesi konusunda, uluslararası literatürdekilere yeni önerilen usul ve makam tabanlı iki öznitelik eklenerek Türk musikisi için en başarılı sonuçları veren bir algoritma tasarlanmış ve test edilmiştir.

Bu alandaki ilk kapsamlı çalışmalar oldukları için, sözkonusu tasarımların geliştirilmeye açık bazı yönlerinin olması doğaldır. Bunlar şöyle özetlenebilir:

Cambouropoulos ve Tsougras [134] tarafından gösterildiği gibi, tekrarlanan ‘önemli’ müzikal örüntülerin başlangıç ve bitim noktaları müzikal, bir yüzeyin bölütlemesini yansıtır (paralellik ilkesi). Tunus müziği için [58]’de “bölütlemeye tarza özgü motifsel formül”ün önemine işaret edilmiştir. Bu saptamalar ve varolan veriler kullanılarak bu kavramların Türk musikisi eserleri üzerinde sınanması yararlı olacaktır.

Öte yandan, tez kapsamında hazırlanan çok sayıda uzmanca bölütlenmiş veriler de araştırmacıların kullanımına sunulmuştur. Bu sembolik verilerin kapsamı literatürde benzer çalışmalarda kullanılanlara oranla çok büyüktür. Eserlere form, tarihsel dönem, bestekâr, makam boyutlarında homojen dağılım hedeflenerek karar verilmiştir. Bu

organizasyon sayesinde ileride yapılacak ezgi analizi çalışmalarında bu bağlamlarda özel analizler (örneğin iki grubun sonuçları karşılaştırılmak üzere saz eserleriyle sözlü eserlerin ezgi analizlerinin) yapılması mümkündür. Veriler gerek yeni tasarlanan algoritmaların geliştirilmesi, gerekse “Türk musikisinde güfte ile cümle sınırlarının bağlantısı” gibi henüz el atılmamış kimi alanlarda yeni çalışmalar yapılması için potansiyel sunmaktadır.

Türk musiki için otomatik ezgi analizi konusunda çalışacak araştırmacıların ele almasında yarar gördüğümüz bazı konular satırbaşlarıyla şöyledir:

- Seyir analizi konusunda formüle ettiğimiz hesaplama ve gösterimler [133] ile kuramsal seyir bilgilerinin karşılaştırıldığı çalışmalar yapılması: Bunun Türk musikisinde seyir kavramının daha iyi anlaşılmasına hizmet edeceği düşüncesindeyiz. Ayrıca veriyi örneğin bestekârlara göre gruplayarak elde edilen gösterimler üzerinden bestekârların makam seyrini uygulamada farklı yaklaşımlarının olup olmadığı, tarihsel dönemler üzerinden gruplayarak makam seyirlerinde zamanla görülen olası değişimlerin çalışılması olanakları doğacaktır,
- Otomatik makama tanıma algoritması yine aynı seyir analizi parametrelerini de kapsayacak biçimde geliştirilirse daha yüksek başarı sağlanması mümkün olacaktır,
- Makama özgü ezgi bulma algoritmasını kullanarak belirlenen ve basılı nota olarak hazırlanan veriler için müzisyenlerden geniş çapta görüş alınması ve ezgilerin makama aidiyetlerinin bu veriler üzerinden müzikolojik olarak incelenmesi yararlı olacaktır.

Genel olarak, bu çalışmada sembolik veriler üzerinde yapılmış çalışmaların, gerçek icralardan kaydedilmiş ses verileri platformuna taşınması ilk görevlerden biri olmalıdır.

Üstelik bu konuda şu strateji izlenerek iş yükünün hafifletilmesi mümkündür:

Ses kayıtlarının otomatik olarak notaya dönüştürülmesi, ardından da bu sembolik verilere daha önce geliştirilen algoritmaların uygulanması... İki aşamalı bu stratejinin her bir evresi için gerekli araçlar araştırmacıların paylaşımına açılmış durumdadır (Bozkurt vd. [101] ve [95]).

Bütün bu ayrıntılı çözümlemelerin ötesinde odaklanılması gereken en önemli konu ise kanımızca şudur:

Bazıları bu tezde ve buradakilerin büyük bölümüne kaynaklık eden *Türk makam müziğinin otomatik ezgi analizi* başlıklı projede elde edilip paylaşılan bulgular benzeri çözümlerin yalnızca kağıt üzerinde kalmaması, pratiğe dökülmesi gerekir. Her geçen gün sayıları artan genç ve yetenekli Türk musikisi icracılarının bilimsel yöntemlerle elde edilen bu sonuçları yorumlaması ve eleştirmesi mutlaka sağlanmalıdır. Onların katkıları alındıktan sonra da, varılan sonuçların icraya yansıtılması gerekir. Bu işbirliği sağlanamazsa, yapılan çalışmaların boşuna zaman ve emek harcamaktan öte bir anlamı olmayacaktır.

KAYNAKLAR

- [1] Coutinho, E., Gimenes, M., Martins, J.M. ve Miranda, E.R. (2005). "Computational Musicology: An Artificial Life Approach". 2005 Portuguese Conference on Artificial Intelligence, IEEE. p. 85–93.
- [2] Huron, D. (1999). Music research using Humdrum: A user's guide. Center for Computer Assisted Research in the Humanities, Stanford, California.
- [3] Good, M. (2001). "MusicXML for notation and analysis". The Virtual Score: Representation, Retrieval, Restoration, MIT Press, Cambridge, MA. 12, 113–24.
- [4] Jurafsky, D. ve Martin, J.H. (2000). Speech & language processing. Pearson Education India.
- [5] Downie, J. (1999). "Evaluating a simple approach to music information retrieval: Conceiving melodic n-grams as text". The University of Western Ontario London.
- [6] Tura, Y. (1988). Türk mûsikîsinin mes'eleleri. Pan.
- [7] Cevher, H. (1995). Ali Ufkî Bey ve Hâzâ Mecmû'ai Sâz ü Söz (Transkripsiyon, İnceleme). Doktora Tezi, Ege Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Türk Dili ve Edebiyatı Anabilim Dalı, İzmir.
- [8] Şenel, S. (1996). "Türk Halk Müziğinde Beste, Makam ve Ayak Terimleri Hakkında". V. Milletlerarası Türk Halk Kültürü Kongresi,.
- [9] Tanrıkorur, Ç. (1985). "Türk Halk Musikisi ve Klasik Türk Musikisi". Erdem, 10.
- [10] Özbek, M. (1975). Folklor ve türkülerimiz. Ötüken Yayınevi.
- [11] Kutluğ, Y.F., Tuncel, H., Bilgin, S., Türkan, D., Sayacioğlu, T. ve Aydemir, M. (2000). Türk musikisinde makamlar: inceleme. YKY.
- [12] Akkoç, C. (2002). "Non-Deterministic Scales Used in Traditional Turkish Music". Journal of New Music Research, 31, 285–93.

- [13] Ayangil, R. (1998). Türk makam müziği perdelerini çalabilen piyano imali projesi. YTÜ.
- [14] Karaosmanoğlu, M.K. (2004). "Türk Musikisi perdelerini ölçüm, analiz ve test teknikleri". Türk Müziği Geleneksel Perdelerini Çalabilen Piyano İmali Projesi, 6.
- [15] Ören, D., Ayangil, R., Karaosmanoğlu, M.K. ve Arık, M. (2012). "Klasik Türk Müziği Makamlarının Matematiksel Düzeni". Journal of Academic Studies, 14.
- [16] Abdoli, S. (2011). "Iranian Traditional Music Dastgah Classification". ISMIR, 275–80.
- [17] Darabi, N., Azimi, N. ve Nojumi, H. (2006). "Recognition of Dastgah and Maqam for Persian Music with Detecting Skeletal Melodic Models". The Second Annual IEEE BENELUX/DSP Valley Signal Processing Symposium.
- [18] Gedik, A. ve Bozkurt, B. (2010). "Pitch-frequency histogram-based music information retrieval for Turkish music". Signal Processing, 90, 1049–63.
- [19] Ioannidis, L., Gómez, E. ve Herrera, P. (2011). "Tonal-based retrieval of Arabic and Middle-East music by automatic makam description". CBMI, p. 31–6.
- [20] Kızrak, M.A. ve Bolat, B. (2014). "Klasik Türk Müziği Makamlarının Tanınması". Akıllı Sistemlerde Yenilikler ve Uygulamaları Sempozyumu (ASYU) 2014, Katip Celebi Üniversitesi, İzmir. 2–6.
- [21] Alpkoçak, A. ve Gedik, A.C. (2006). "Classification of Turkish Songs according to Makams by using n-grams". In Proceedings of the 15. Turkish Symposium on Artificial Intelligence and Neural Networks (TAINN).
- [22] Ünal, E., Bozkurt, B. ve Karaosmanoğlu, M.K. (2012). "N-gram based Statistical Makam Detection on Makam Music in Turkey using Symbolic Data". ISMIR, Porto.
- [23] Yavaşca, A. (2002) Türk mûsikîsinde kompozisyon ve beste biçimleri. Türk Kültürüne Hizmet Vakfı.
- [24] Ezgi, S. (1953) Nazarî ve amelî Türk musikisi. Milli Mecmua Matbaası.
- [25] Yener, S. (2004). "Bilgisayar destekli analiz yoluyla geleneksel Türk sanat müziği hicaz taksimlerinde kalıplaşmış ezgilerin araştırılması". Gazi Üniversitesi.
- [26] Yener, S. (2004). "Markov Tekniği ve bilgisayar destekli analiz yoluyla geleneksel Türk sanat müziği hicaz şarkılarında kalıplaşmış ezgilerin araştırılması". Journal of Fine Arts Faculty.

- [27] Yener, S. ve Aksu, C. (2004). "Türk halk müziği ezgilerindeki Türk müzik dokusunun bilgisayar destekli analizi". *Journal of Institute of Fine Arts*, 13.
- [28] Parncutt, R. (1994). "A perceptual model of pulse salience and metrical accent in musical rhythms". *Music Perception*, JSTOR. 409–64.
- [29] Warren, R.M., Gardner, D.A., Brubaker, B.S. ve Bashford Jr, J.A. (1991). "Melodic and nonmelodic sequences of tones: Effects of duration on perception". *Music Perception*, University of California Press. 277–89.
- [30] Müezzinoğlu, A. (2004). "Zeybeklerin 'SQL' sorgulama analizi". Gazi University.
- [31] Downie, S. ve Nelson, M. (2000). "Evaluation of a simple and effective music information retrieval method". *Proceedings of the 23rd Annual International ACM SIGIR Conference on Research and Development in Information Retrieval*, 73–80.
- [32] Knopke, I. ve Jürgensen, F. (2009). "A System for Identifying Common Melodic Phrases in the Masses of Palestrina". *Journal of New Music Research*, 38, 171–81.
- [33] Lartillot, O. (2005). "Multi-Dimensional motivic pattern extraction founded on adaptive redundancy filtering". *Journal of New Music Research*, 34, 375–93.
- [34] Rolland, P.-Y. (1999). "Discovering patterns in musical sequences". *Journal of New Music Research*, 28, 334–50.
- [35] Meredith, D., Lemström, K. ve Wiggins, G.A. (2002). "Algorithms for discovering repeated patterns in multidimensional representations of polyphonic music". *Journal of New Music Research*, 31, 321–45.
- [36] Conklin, D. ve Anagnostopoulou, C. (2001). "Representation and discovery of multiple viewpoint patterns". *Proceedings of the International Computer Music Association*, 479–85.
- [37] Conklin, D. (2010). "Discovery of distinctive patterns in music". *Intelligent Data Analysis*, 14, 547–54.
- [38] Lartillot, O. ve Ayari, M. (2009). "Segmentation of Tunisian modal improvisation: Comparing listeners' responses with computational predictions". *Journal of New Music Research*, 38, 117–27.
- [39] Şentürk, S. (2011). "Computational Modeling of Improvisation in Turkish Folk Music using Variable-length Markov Models". *Georgia Institute of Technology*.
- [40] Gündüz, G. ve Gündüz, U. (2005). "The mathematical analysis of the structure of some songs". *Physica A: Statistical Mechanics and Its Applications*, 357, 565–92.

- [41] Tarikci, A. (2010). "Analysis of Turkish Art Music Songs via Fractal Dimension". Physics (College. Park. Md). Middle East Technical University.
- [42] Lerdahl, F. ve Jackendoff, R. (1985). A generative theory of tonal music. MIT press.
- [43] Peretz, I. (1989). "Clustering in music: An Appraisal of task factors". International Journal of Psychology, Wiley Online Library. 24, 157–78.
- [44] Tan, N., Aiello, R. ve Bever, T.G. (1981). "Harmonic structure as a determinant of melodic organization". Memory & Cognition, Springer. 9, 533–9.
- [45] Pearce, M.T., Müllensiefen, D. ve Wiggins, G.A. (2010). "Melodic grouping in music information retrieval: New methods and applications". Advances in Music Information Retrieval, Springer. 364–88.
- [46] Bregman, A.S. (1984). "Auditory scene analysis". Proceedings of the 7th International Conference on Pattern Recognition, 168–75.
- [47] Tenney, J. ve Polansky, L. (1980). "Temporal Gestalt Perception in Music". Journal of Music Theory, 24, 205–41.
- [48] Cambouropoulos, E. (2006). "Musical Parallelism and melodic segmentation: A Computational Approach". Music Perception, 23, 249–68.
- [49] Temperley, D. (2001). The Cognition of Basic Musical Structures. Cambridge, MA: MIT Press.
- [50] Frankland, B.W., McAdams, S. ve Cohen, A.J. (2004). "Parsing of melody: Quantification and testing of the local grouping rules of Lerdahl and Jackendoff's A Generative Theory of Tonal Music". Music Perception, JSTOR. 21, 499–543.
- [51] Ahlback, S. (2004). Melody beyond notes. A study of melody cognition. Department of Musicology and Film Studies Institutionen för musik-och filmvetenskap.
- [52] Deliège, I. (1987). "Grouping conditions in listening to music: An approach to Lerdahl & Jackendoff's grouping preference rules". Music Perception, JSTOR. 325–59.
- [53] Clarke, E.F. ve Krumhansl, C.L. (1990). "Perceiving musical time". Music Perception, JSTOR. 213–51.
- [54] Bruderer, M.J., McKinney, M.F. ve Kohlrausch, A. (2009). "The perception of structural boundaries in melody lines of Western popular music". Musicae Scientiae, SAGE Publications. 13, 273–313.

- [55] Krumhansl, C.L. (1996). "A perceptual analysis of Mozart's Piano Sonata K. 282: Segmentation, tension, and musical ideas". *Music Perception*, JSTOR. 401–32.
- [56] Palmer, C. ve Krumhansl, C.L. (1987). "Pitch and temporal contributions to musical phrase perception: Effects of harmony, performance timing, and familiarity". *Perception & Psychophysics*, Springer. 41, 505–18.
- [57] Der Werf, S. ve Hendriks, P. (2004). "A constraint-based approach to grouping in language and music". *Proceedings of the Conference on Interdisciplinary Musicology (CIM04)*, Graz.
- [58] Ayari, M. (2005). "De la theorie musicale a l'art de l'improvisation: Analyse des performances et modelisation musicale". Sampzon: Delatour France.
- [59] Lartillot, O., Yazıcı, Z.F. ve Mungan, E. (2013). "A pattern expectation, non-flattening accentuation model, empirically compared with segmentation models on traditional Turkish music". In *Proceedings of the 3rd International Workshop on Folk Music Analysis Amsterdam*.
- [60] Behar, C. (1993). *Zaman, mekân, müzik: Klasik Türk musikisinde eğitim (meşk), icra ve aktarım*. Afa Yayınları.
- [61] Bellman, R. (1956). "Dynamic programming and Lagrange multipliers". *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, National Academy of Sciences. 42, 767.
- [62] Schaffrath, H. ve Huron, D. (1995). "The Essen folksong collection in the humdrum kern format". Menlo Park, CA: Center for Computer Assisted Research in the Humanities.
- [63] Bod, R. (2002). "Memory-based models of melodic analysis: Challenging the Gestalt principles". *Journal of New Music Research*, 31, 27–36.
- [64] De Nooijer, J., Wiering, F., Volk, A. ve Tabachneck-Schijf, H.J.M. (2007). *Cognition-based segmentation for music information retrieval systems*. Master's Thesis, Utrecht University.
- [65] MacKay, D.J.C. (2003). *Information theory, inference, and learning algorithms*. Citeseer.
- [66] Doğrusöz Dişiaçık, N. ve Uslu, R. (2009). *Abdülbaki Nasır Dede'nin Müzik Yazısı "Tahririye."* TMDK Yayınları, İstanbul.
- [67] Doğrusöz Dişiaçık, N. ve Uruş, D. (2012). "Transferring music by meşk: Suzidilara Mevlevi Ayini of Sultan Selim III". *International Journal of Human Sciences*, 9.

- [68] Tura, Y. (2001). Kantemiroğlu, Kitabı İlmi'l-Musiki ala vechi'l-Hurufat. Yapı Kredi Yayınları, İstanbul.
- [69] Ayangil, R. (2008). "Western Notation in Turkish Music". Journal of the Royal Asiatic Society, 18, 401–47.
- [70] Özalp, M.N. (2000). Türk musikisi tarihi: derleme. Milli Eğitim Bakanlığı.
- [71] Sayan, E. (2003). Müziğimize dair. ODTÜ Geliştirme Vakfı Yayıncılık, Ankara.
- [72] Uygun, M.N. (1999). Safiyüddîn Abdülmü'min Urmevî ve Kitâbü'l-Edvârı. Kubbealtı, İstanbul.
- [73] Arslan, F. (2004). Safiyüddin Abdülmümin el-Urmevî ve er-Risâletü's-Şerefiyyesi. AÜ SBE, Ankara.
- [74] Yarman, O. (2008). 79-Tone Tuning & Theory for Turkish Maqam Music As A Solution To The Non-Conformance Between Current Model and Practice. Istanbul Technical University.
- [75] Judetz, E.P. (2002). Tanburî Küçük Artin. Pan Yayıncılık, İstanbul.
- [76] Partch, H. (1949). Genesis of a Music. University of Wisconsin Press Madison.
- [77] Yekta, R. (1986). Türk musikisi. Pan Yayıncılık.
- [78] Çakar, Ş. (1997). Mildan Niyazi Ayomak'ın hayatı ve eserleri (Doktora tezi).
- [79] Karadeniz, M.E. (1965). Türk Musikisinin Nazariye ve Esasları. İş Bankası Yayınları (1983), İstanbul.
- [80] Etker, Ş. (2011). "Salih Murat Uzdilek ve 'Logaritmanın Türkiye'ye Girişi". Osmanlı Bilimi Araştırmaları, 8, 55–76.
- [81] Oransay, G. (1957). "Das Tonsystem der türkei-türkischen Kunstmusik". Die Musikforschung, JSTOR. 10, 250–64.
- [82] Arel, H.S. (1991). Türk mûsikîsi nazariyatı dersleri. Kültür Bakanlığı.
- [83] Uzdilek, S.M. (1977). İlim ve mûsikî: Türk mûsikîsi üzerinde incelemeler. Kültür Bakanlığı, Devlet Kitapları Müdürlüğü.
- [84] Sethares, W.A. (2005). Tuning, timbre, spectrum, scale. Springer.
- [85] Çepni, T. (2012). Türk Musikisinin Sırları. Dijital Düşler Basımevi, İstanbul.

- [86] Yarman, O. (2013). "Arel-Ezgi-Uzdilek Sistemine Alternatif, 24-Sesli, Islah Edilmiş Ortaton Temperamanı Temelli ve Basit Oranlı Bir Düzen". Müzik ve Bilim Dergisi.
- [87] Yarman, O. ve Karaosmanoğlu, M.K. (2014). "'Yarman-36 Makam Tone-system' for Turkish Art Music". TWMS Journal of Applied and Engineering Mathematics, 4, 175–98.
- [88] Yavuzoğlu, N. (2008). 21. yüzyılda Türk müziği teorisi. Pan Yayıncılık.
- [89] Rossing, T.D., Moore, F.R. ve Wheeler, P.A. (1990). The science of sound. Addison-Wesley Reading, MA.
- [90] Zeren, M.A. (1978). Müzikte ses sistemleri. Pan Yayıncılık.
- [91] Helmholtz, H.L.F. (2009). On the Sensations of Tone as a Physiological Basis for the Theory of Music. Cambridge University Press.
- [92] Atalay, N.B. ve Yöre, S. (2011). Türk Sanat Müziği derlemi [Data File]. Retrieved from www.tsmderlemi.com, Konya.
- [93] Karaosmanoğlu, M.K. (2012). "A Turkish makam music symbolic database for music information retrieval: SymbTr". Proceedings of the 13th ISMIR Conference, Porto, Portugal, ISMIR. 223–8.
- [94] Karaosmanoğlu, M. K. ve Taşçı, F. (2014). "Türk musikisi için Symbtr sembolik derlemi üzerinde otomatik ezgi analizi". Porte Akademik: Müzik ve Dans Araştırmaları Dergisi / Journal of Music and Dance Studies.
- [95] Bozkurt, B., Karaçalı, B., Doğrusöz, N. ve Karaosmanoğlu, M.K. (2012). Türk makam müziğinin otomatik ezgi analizi projesi.
- [96] Ünal, E., Bozkurt, B. ve Karaosmanoğlu, M.K. (2014). "A Hierarchical Approach to Makam Classification of Turkish Makam Music, Using Symbolic Data". Journal of New Music Research, 43, 132–46.
- [97] Bozkurt, B., Karaosmanoğlu, M.K., Karaçalı, B. ve Ünal, E. (2014). "Türk makam müziği notaları için otomatik ezgi bölütleme". IEEE 22 Sinyal İşleme ve İletişim Uygulamaları Kurultayı (SIU), Trabzon. 1–4.
- [98] Şentürk, S., Holzapfel, A. ve Serra, X. (2014). "Linking scores and audio recordings in makam music of Turkey". Journal of New Music Research, 43, 34–52.
- [99] Uyar, B., Atlı, H.S., Şentürk, S., Bozkurt, B. ve Serra, X. (2014). "A Corpus for Computational Research of Turkish Makam Music". 1st International Digital Libraries for Musicology Workshop.

- [100] Ay, G., Akkal Berköz, L., Kurtişoğlu, B., Çolakoğlu, G., Özdemir, S. ve Bayhan, N. (2008). Türk Müziğinde Uygulama-Kuram Sorunları ve Çözümleri: uluslararası çağrılı kongre bildiriler kitabı. İstanbul Büyükşehir Belediyesi.
- [101] Bozkurt, B., Gedik, A.C., Savacı, A., Karaosmanoğlu, M.K. ve Özbek, E. (2010). Klasik Türk müziği kayıtlarının otomatik olarak notaya dökülmesi ve otomatik makam tanıma projesi.
- [102] Özek, E. (2005). Türk Müziğinde Çeşni Kavramı ve İcra Teori Farklılıklarının Bilgisayar Ortamında İncelenmesi. Sanatta yeterlik tezi. Haliç Üniversitesi.
- [103] Özek, E. (2014). 20. Yüzyıl Türk Müziği İcrasında Perde Anlayışı. Türk Musikisi Vakfı, İstanbul.
- [104] Özek, E. (2014). 21. Yüzyıl Türk Müziği İcrasında Perde Anlayışı. Türk Musikisi Vakfı, İstanbul.
- [105] Tan, A. (2012). Ney Açkısının Tarihi ve Teknik Gelişimi. Doktora tezi. Marmara Üniversitesi BSE.
- [106] Özkan, İ.H. (2006). Türk Musikisi Nazariyatı ve Usulleri Kudüm Velvelleri. Ötüken Neşriyat, İstanbul.
- [107] Gedik, A.C., Işıkhani, C., Alpkoçak, A. ve Özer, Y. (2005). "Automatic Classification of 10 Turkish Makams". Proc Int Cong on Representation in Music & Musical Representation, İstanbul.
- [108] Karaosmanoğlu, M.K., Yılmaz, S.M., Tören, Ö., Ceran, S., Uzmen, U., Cihan, G. et al. (2008). Mus2okur. Data-Soft Ltd.
- [109] Young, R.W. (1939). "Terminology for logarithmic frequency units". The Journal of the Acoustical Society of America, Acoustical Society of America. 11, 134–9.
- [110] Holzapfel, A. ve Stylianou, Y. (2010). "Parataxis: Morphological Similarity in Traditional Music". ISMIR, 453–8.
- [111] Cheng, H.-T., Yang, Y.-H., Lin, Y.-C. ve Chen, H.H. (2009). "Multimodal structure segmentation and analysis of music using audio and textual information". Circuits and Systems, 2009 ISCAS 2009 IEEE International Symposium on, 1677–80.
- [112] Sağer, T. (1998). Okul müziği çerçevesinde geleneksel Türk sanat müziği makam sistemi üzerine bir inceleme. Yüksek lisans tezi. Gazi Üniversitesi.
- [113] Levendoğlu, O. (1996). Türk Müziğinde Rast Makamının İstatistiksel Değerlendirilmesi. Selçuk University.

- [114] Sümbüllü, H.T. ve Albuz, A. (2011). "Türk Sanat Müziği dizilerinin bilgisayar destekli makamsal analizi". *International Journal of Human Sciences*, 8.
- [115] Doraisamy, S. (2004). *Polyphonic Music Retrieval: The N -gram Approach*. Comp. Gen. Pharmacol. Imperial College, University of London.
- [116] Gedik, A.C. ve Bozkurt, B. (2010). "Pitch-frequency histogram-based music information retrieval for Turkish music". *Signal Processing*, 90, 1049–63.
- [117] Heaps, H.S. (1978). *Information retrieval: Computational and theoretical aspects*. Academic Press, Inc.
- [118] Stubbs, F.W. (1994). *The art and science of taksim: an emprical analysis of traditional improvisation from 20th century Istanbul*. Wesleyan University.
- [119] Bozkurt, B. (2012). "Features for analysis of makam music". *2nd CompMusic Workshop, Istanbul*. 2–6.
- [120] Zeren, M.A. (2003). *Müzik sorunlarımız üzerine araştırmalar*. Pan.
- [121] Bozkurt, B. ve Karaçalı, B. (2014). "A computational analysis of Turkish makam music based on a probabilistic characterization of segmented phrases". *Journal of Mathematics and Music*, 1–22.
- [122] Bozkurt, B., Ayangil, R. ve Holzapfel, A. (2014). "Computational Analysis of Turkish Makam Music: Review of State-of-the-Art and Challenges". *Journal of New Music Research*, 43, 3–23.
- [123] Eerola, T. ve Toivainen, P. (2004). *MIDI toolbox: MATLAB tools for music research*. University of Jyväskylä, Jyväskylä, Finland, 14.
- [124] Cover, T. ve Hart, P. (1967). "Nearest neighbor pattern classification". *Information Theory, IEEE Transactions on, IEEE*. 13, 21–7.
- [125] Fukunaga, K. ve Hostetler, L. (1975). "The estimation of the gradient of a density function, with applications in pattern recognition". *Information Theory, IEEE Transactions on, IEEE*. 21, 32–40.
- [126] Cortes, C. ve Vapnik, V. (1995). "Support-vector networks". *Machine Learning, Springer*. 20, 273–97.
- [127] Vapnik, V.N. ve Vapnik, V. (1998). *Statistical learning theory*. Wiley New York.
- [128] Haykin, S.S. (2008). *Adaptive filter theory*. Pearson Education India.
- [129] McLachlan, G. (2004). *Discriminant analysis and statistical pattern recognition*. John Wiley & Sons.

- [130] Duda, R.O., Hart, P.E. ve Stork, D.G. (2001). Pattern classification. 2nd. Edition New York.
- [131] Alpaydın, E. (2011). Yapay öğrenme. Boğaziçi Üniversitesi Yayınevi, İstanbul.
- [132] Karaosmanoğlu, M.K., Bozkurt, B., Holzapfel, A. ve Doğrusöz Dişiaçık, N. (2014). A Symbolic Dataset of Turkish Makam Music Phrases". Fourth International Workshop on Folk Music Analysis (FMA2014), İstanbul.
- [133] Bozkurt, B., Karaosmanoğlu, M.K. ve Doğrusöz Dişiaçık, N.D. (2014). "A computational approach to representing melodic progression (seyir) for Turkish makam music". 3rd International Conference on Analytical Approaches to World Music (AAWM), London.
- [134] Cambouropoulos, E. ve Tsougras, C. (2004). "Influence of musical similarity on melodic segmentation: Representations and algorithms". Proceedings of the International Conference on Sound and Music Computing (SMC).
- [135] Konuk, A.A. (2007). 119 makamlı Fihrist-i Makamat. Nota Yayıncılık.
- [136] Karaosmanoğlu, M.K. (2005). Klasik Türk Musikisi - Seçmeler (16 Fasikül). Nota Yayıncılık, İstanbul.
- [137] Karaosmanoğlu, M.K. (2005). Türk Halk Müziği - Seçmeler (4 Fasikül). Nota Yayıncılık, İstanbul.

PAYLAŞIMA AÇILAN MALZEMELER

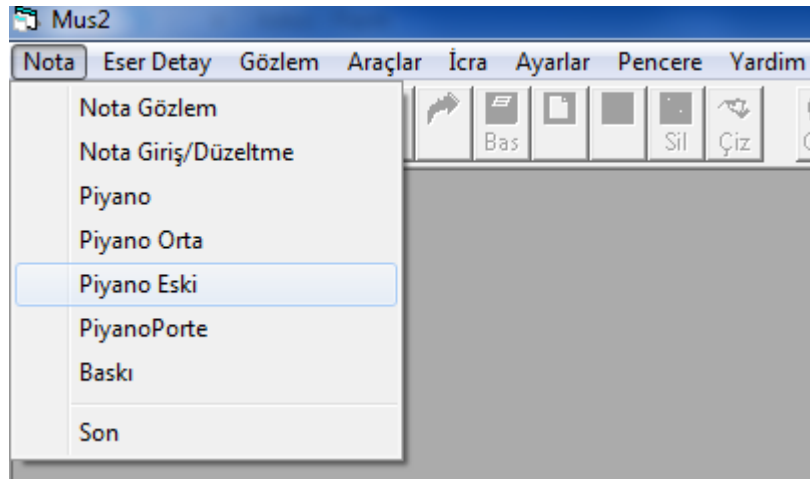
1. Orijinal ve etiketlenmiş sembolik veriler:
 - Otomatik bölütleme için Matlab araçları (matlabToolsForAutoSeg.zip: 340KB):
 - o Matlab kodları,
 - o readMe dosyası,
 - o codeTable,
 - o Eğitim ve test için örnek veriler.
 - Sembolik uzman bölütleme verileri (uzmanX_symbtr_txt, X=1, 2, 3; 3.69MB):
 - o Üç uzmanın bölüt ve geçki/çeşni işaretlerini içeren SymbTr v2 dosyaları.
 - MIDI Verileri (mid_500_1.rar, mid_500_2.rar: 1.2MB):
 - o Notaları yazılmış olan 1000 eserin MIDI dosyaları.
2. Mus2-Alfa yazılımı belgeleri:
 - o Visual Basic ile yazılmış kodlar
 - o Access, XLS ve CSV formatlarında veritabanı
 - o SymbTr derlemi (Yaklaşık 2500 eser)

MUS2-ALFA YAZILIMI

Türk musikisi eser notalarının bilgisayarla yazılıp seslendirilebildiği ilk yazılımdır. Bu programla 2500'ü aşkın eserin notası yazılmış, bunlardan bazıları kitap olarak yayınlanmış (Karaosmanoğlu [135], [136], [137]), bilgisayarın okuyabildiği SymbTr adlı formattaki 2200 adedi de araştırmacıların paylaşımına açılmıştır (Karaosmanoğlu ve Taşçı [94]).

a. Mus2-Alfa Piyanosuyla Nota Girişi

Nota menüsünden **Piyano Eski** seçilir (Şekil B. 1).



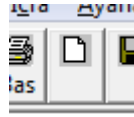
B. 1 Nota girişi için ilk adım

Gelen ekranın sağ alt köşesindeki komut tuşlarından, **Yeni Eser** seçilir (Şekil B. 2).



B. 2 Notu giriş ekranı komutları

Bu şekilde açılış ekranına dönülmüş olur. Buradaki üst araç çubuğundan **Yeni** (Boş Kâğıt) simgesi tıklanır (Şekil B. 3) veya başlık bilgileri belirlenmiş bir eserin notası girilecekse o kayıt seçilir.



B. 3 Yeni eser tanımlama

Eser başlığı, usul, makam, form, besteci ve güfte yazarı bilgileri ilgili bölümlerden seçilir (Şekil B. 4).

Usul : Aksak	2708 Sen Hangi Telin Nağmesi...	Beste : Özgen Gürbüz
Ölçü : 8 / 8	Evcârâ Sarkı	Güfte : Güngör Fahri Tüzün

B. 4 Eserin başlık bilgileri

Ayrıntı komut tuşuna basılır (Şekil B. 5).



B. 5 Ana ekrandaki iki komut tuşu

Gelen Şekil B. 6'da Güfte No, Tempo ve Dosya Adı gibi bilgiler girilir. Dosya adı

makam - - form - - usul - - eser_adı - - besteci

formatında olmalıdır (ilgili alanlar liste kutularından girilmişse, en alttaki Dosya Adlarını Oluştur tuşu bu görevi otomatik olarak yerine getirecektir.). Bilgiler girilince **Gizle** tuşuna basılır.

Başlık bilgileri girişi bittiğinde **Piyanoya Dön** tuşuna basılır (Şekil B. 5).

Gelen Şekil B. 9'da, her birinde 53'er perde bulunan üç oktavlık bir piyano yer alır. Ayrıca nota ritmik değer ve akış işareti araç çubukları vardır (Şekil B. 7, B. 8).

Piyanonun alttaki (pest) oktavı kabarast – rast (Sol3 – Sol4 / G3 – G4), orta oktavı rast – gerdaniye (Sol4 – Sol5 / G4 – G5), üstteki (tiz) oktavı gerdaniye - tiz gerdaniye (Sol5 – Sol6 / G5 – G6) ses bölgelerini temsil eder. Ancak tuşlara basıldığında çıkan sesler, seçili ahenge bağlıdır. Batı akordunda sesler işitilmek istenirse, **Mansur Nisfiyesi** ahengi seçilmiş durumda olmalıdır.

Beyaz tuşlar Sol'den başlayarak diyatonik notaları (Sol, La, Si, Do, Re, Mi, Fa, Sol) üretir ve kaydeder. Siyah ve gri tuşlar bemol ve diyezler içindir. 53TET söz konusu olduğu için, birçok enarmonik ses vardır (Şekil B. 9).

Eserin Ayrıntılı Bilgileri

Uyarılma: ☐ Kâğıt: 20.98 29.69 Güfte No: 949 Tempo: 96

TRT No: 0 Sütun, Aralık: 1 1.9

Pay/Payda: 6 2 0.5

Beste Yılı: 0 0.5 0.5

Kaynak: 0 0.5

Açıklama:

Notalar:

Altyazı:

Dosya Adı: Hicaz Ağırsemai~Ağırsenginsemai~Güller Kızarı~İbrahim Ağa

MidiDos: hicaz--agirsemai--agirsenginsemai--guller_kizarir--ibrahim_a

Özel Kodlar: ☐ ☐ ☐ Yöre: ☐ Popüler ☐ Folklorik ☐ Derleme

No	Şiddet (%)	No	Şiddet (%)
Enstrümanlar: 75	76	32	114
Vurmalar: 75	21	49	18

Âhenk: 0 Usul Vuruşu: 3

Otomatik Tremolo Sınırı (Salise): 0

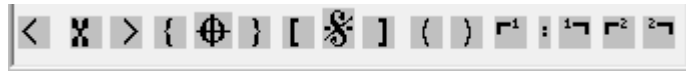
Puandorglar İçin Ek Ölçü: 0

3129

B. 6 Eserle ilgili ayrıntılı bilgiler



B. 7 Nota giriş araçları

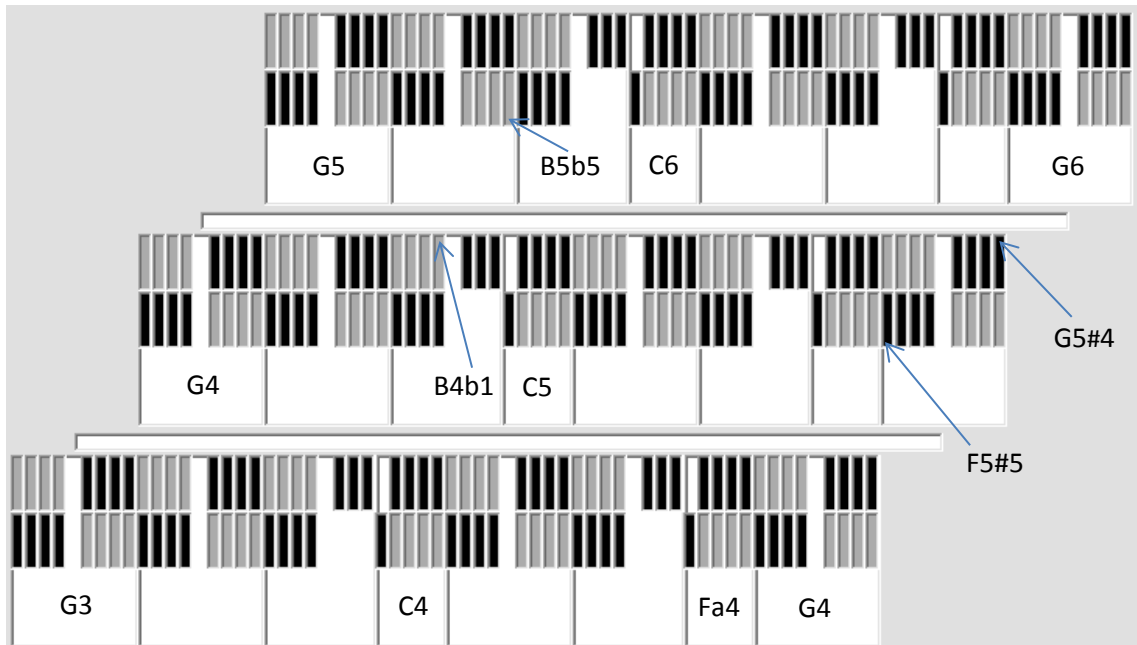


B. 8 Akış işaretleri araçları

Es'ler her oktavin altındaki geniş beyaz çubuk kullanılarak girilir.

Nota değerleri için sol üst köşedeki araç çubuğunun (Şekil B. 7) ilgili kısmına tıklanır veya fonksiyon tuşlarına basılır:

[F2]: Birlik nota, [F3]: İkilik nota, [F4]: Dörtlük nota, [F5]: Sekizlik nota, [F6]: On altılık nota, ...



B. 9 Mus2-Alfa'nın üç oktavlık piyanosu ve bazı perdelerin yerleri

Noktalı nota, triole (üçleme) ve çarpmalar da aynı araç çubuğu kullanılarak yazılır, seslendirilir.

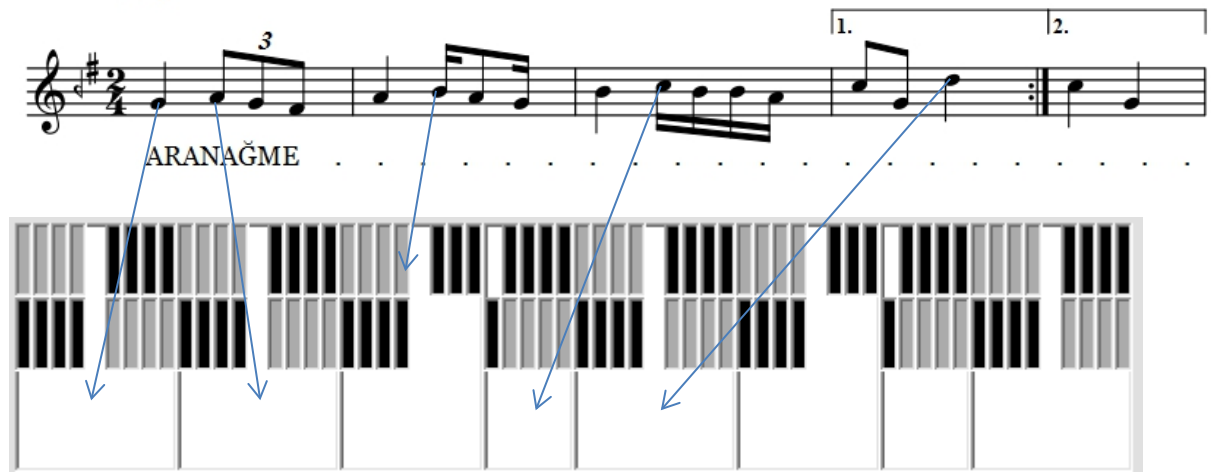
Akış işaretleri Şekil B. 8'deki araç çubuğuyla yazılır.

Örnek:

Şekil B. 10'daki nota girilirken hangi tuşlara basılması gerektiği aynı şekilde gösterilmiştir.

Eserin başı da olsa önce **Röpriz Başlangıcı** anlamında“(“ komut tuşuna basılır, Sol4, La4, ... notaları girilir, 1. dolaba gelindiğinde sırasıyla “)” ve “1” tuşlarına basılır; Do5, Sol4 ve Re5 notaları girildikten sonra “:”, “1” ve “2” tuşlarına basılır ve devam edilir.

Şekil B. 14’te görülen tabloyu kullanarak sözler de girildiğinde (sonradan Excel ile de girilebilir) Mus2-Alfa geri planda şu kaydı yapar (Tablo 1):



9	(1	3
9 Do5	1 8 95 96 64 .	3.25
9 Sol4	1 8 95 96 64 .	3.5
9 Re5	1 4 95 96 64 .	4
9	:	4
9	1)	4
9	(2	4
9 Do5	1 4 95 96 64 .	4.5
9 Sol5	1 4 95 96 64	5
9	2)	5

Senyo kullanımı benzer şekildedir. Şekil B. 11’de hangi noktada hangi tuşa basılması gerektiği gösterilmiştir.

Şekil B. 11, bir müzik notasıdır. Notanın başında bir Senyo işareti (¶) yer almaktadır. Notanın altında Türkçe sözler yazılmıştır. Notanın sonuna bir Senyo işareti (¶) yer almaktadır. Notanın başında bir Senyo işareti (¶) yer almaktadır. Notanın sonuna bir Senyo işareti (¶) yer almaktadır. Notanın başında bir Senyo işareti (¶) yer almaktadır. Notanın sonuna bir Senyo işareti (¶) yer almaktadır.

Çık maz ki gö nül a nı la rın dan O es ki
Böy le mi o lur tüm_ay rı lık lar Yok sa

tat lı dün ya gü ze li gü ze li
yal nız ba na mı ça tar mı ça tar

Dün ya dü ze ni hep böy le mi dir Yok sa

yal nız mı hep ba na ça tar yalnız mı hep ba na ça tar

B. 11 Senyo işareti kullanımı

Türk müziğinde peşrev ve sazsemailerinin akış trafiği oldukça karışıktır. Fakat Mus2-Alfa ile nota girerken doğru akış işaretlemesi yapılırsa, eser tam gerektiği gibi çalar. Şekil B. 12’de hangi noktada hangi tuşa basılması gerektiği gösterilmiştir.

Peşrev ve sazsemaileri için dönüş işaretleri kullanımı

Nota kaydedilirken, basılan tuşlar ekranın altındaki portede görüntülenir (Şekil B. 13).

Şekil B. 2'deki Tablo tuşuna basılırsa, Şekil B. 14'teki pencere açılır. Satır ekleme/silme gibi işlemler buradan yapılabilir.

Nota giriş bittiğinde yine bu pencereden **Excel'e Aktar** ya da **Esere Aktar** tuşlarından birine basılır.

Hicaz Sazsemâîsi

Üsul: Aksaksemâî
108 ⇒ 5 Dk 37 Sn

Beste: Refik Talat Alpman (1894 - 1947)

1. HANE

MULÂZİME

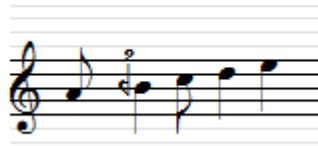
SON

2. HANE

3. HANE

Semâî 4. HANE

B. 12 Peşrev ve sazsemaileri için dönüş işaretleri kullanımı

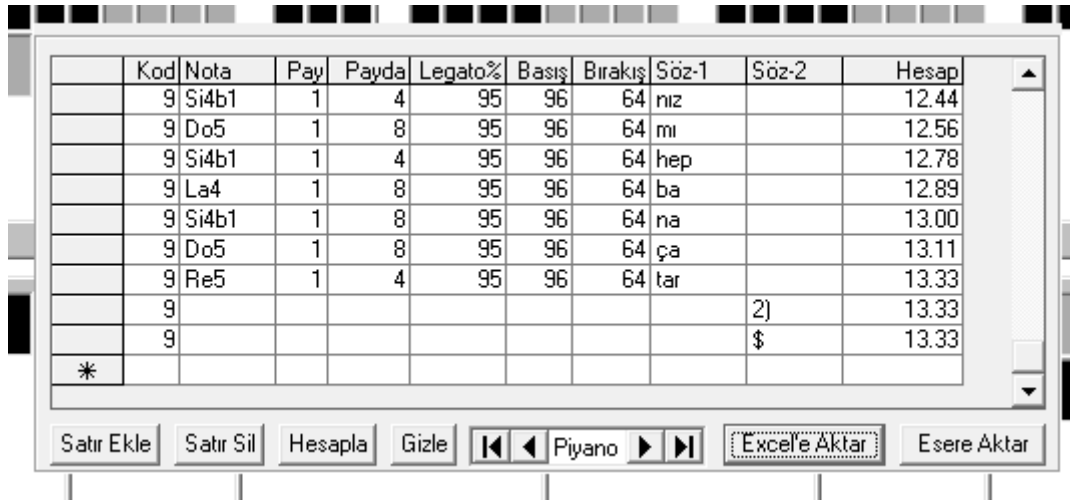


B. 13 Girilen-çalınan notaların görüntülenişi

Mus2-Alfa, yarattığı bilgileri virgülle ayrılmış metin dosyası (.CSV) formatında ...\\Mus2\\tmp klasörüne kaydeder.

Bu dosya Excel ile açılıp, satırbaşı, gruptama, hece girişi gibi işlemler yapılır.

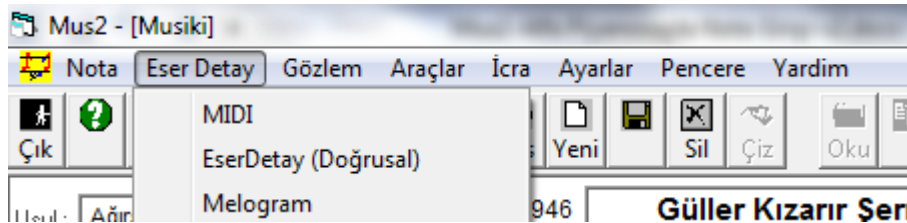
İşlem tamamlanınca, dosya ...\\Mus2\\CSV klasörüne kaydedilmelidir.



B. 14 Nota girişi alt penceresi

b. Veritabanına Aktarım ve MIDI Dosyasının Oluşturulması

Ana ekrandaki Eser Detay menüsünden MIDI altmenüsü seçilir (Şekil B. 15).



B. 15 MIDI oluşturma

Şekil B. 16'daki ekran gelir.

Ekranın altındaki **Eser Adı** komut tuşu tıklanır (Şekil B. 17).

Gelen pencereden, girilen eser seçilir (Şekil B. 18).

Aktar tuşuna basılır (Şekil B. 19).

Dosya seçilir (Şekil B. 20).

Mus2 - [MIDI İşlemleri]

Nota Eser Detay Gözlem Araçlar İcra Ayarlar Pencere Yardım

Çık Bul Bas Yeni Sil Çiz Oku Çal

MIDI Listesi

No	Kod	Nota	Pay	Payda	Legato %	Başı	Brakış	Söz-1	Söz-2	Hesap
1	9	Mi5	1	8	99	96	64	Gül	Sün	0.04
2	9	Re5	1	8	99	96	64			0.08
3	9	Do5#4	1	8	99	96	64			0.13
4	9	Re5	1	8	95	96	64			0.17
5	9	Mi5	1	8	99	96	64	ler	bül	0.21
6	9	Fa5	1	8	99	96	64			0.25
7	9	Mi5	1	8	99	96	64			0.29
8	9	Re5	1	8	99	96	64			0.33
9	9	So15	1	8	99	96	64			0.38
10	9	Fa5	1	8	99	96	64			0.42
11	9	Mi5	1	8	99	96	64			0.46
12	9	Re5	1	8	95	96	64			0.50
13	9	Do5#4	1	8	99	96	64	kı	hâm	0.54
14	9	Si4b4	1	8	95	96	64			0.58
15	9	La4	1	8	99	96	64	za	o	0.63
16	9	Si4b4	1	8	95	96	64			0.67
17	9	Do5#4	3	8	99	96	64	rır	lur	0.79
18	9	Re5	1	8	99	96	64			0.83
19	9	Do5#4	1	8	99	96	64			0.88
20	9	Si4b4	1	8	99	96	64			0.92
21	9	La4	1	4	95	96	64			1.00
22	9		1	4	100	0	0			1.08
23	9	La4	1	8	99	96	64	şerm	reşk	1.13
24	9	Si4b4	1	8	99	96	64			1.17
25	9	La4	1	4	99	96	64			1.25
26	9	So14#4	1	4	99	96	64			1.33
27	9	La4	1	2	95	96	64			1.50
28	9	La4	1	4	95	96	64	i	i	1.58
29	9	Re4	1	4	95	96	64	le	le	1.67
30	9	La4	3	8	99	96	64	ol	kâ	1.79
31	9	Si4b4	1	8	99	96	64			1.83
32	9	La4	1	4	99	96	64			1.92
33	9	Si4b4	1	4	95	96	64			2.00
34	9		1	4	100	0	0			2.08
35	9	La4	1	8	99	96	64	gon	kül	2.13

Ayrıntılar İncele Kısmi Olarak Çal Doğrusallaştır Doğrusallaştır ve EserDetLin'e Aktar Topluca CSV Düzenle Hece Bağları CSV'den Lineerleştir

Güller Kızarı Şerm ile Ses Sistemi: 53E Âhenk: -22

B. 16 MIDI ekranı

Geldi_Yine Ses Sistemi: 53E Âhenk: -44

B. 17 Eser Adı komut tuşu

Oku

53 Eşit (53-TET) (-)

A Benim Gözüm Nuru (Dellalzâde İsmail Efendi)

A Benim Mor Çiçeğim (Osman Pehlivan)

A Canım Gel Açma (Tanburî Mustafa Çavuş)

A Fadimem Hadi Senle Kaçalım ((Anonim))

Âb ü Tâb ile Bu Şeb (III. Selim (İlhâmî))

Acaba Şen misin (Bîmen Şen)

Acem Seyir (Erol Bingöl)

Acem Seyir (Şefik Gürmeriç) , (1)

Acem Ülkesinde ((Anonim))

Acemaşîrân Aranağme (Ağıraksak) (?)

Acemaşîrân Aranağme (Aksak) (?)

Acemaşîrân Aranağme (Curcuna) (?)

Acemaşîrân Aranağme (Semâî) (?)

Acemaşîrân Aranağme (Senginsemâî) (?)

Acemaşîrân Aranağme (Sofyan) (?)

Acemaşîrân Aranağme (Yürüksemâî) (?)

Acemaşîrân Peşrev (Nuri Halil Poyraz)

Acemaşîrân Peşrev (Neyzen Salih Dede) , (1)

Acemaşîrân Peşrev (Hüseyin Fahreddin Dede) , (2)

Acemaşîrân Peşrev (Gazi Giray Han) , (3)

Acemaşîrân Sazsemâisi (Mısırlı Udî İbrahim Efendi)

Acemaşîrân Sazsemâisi (Şerafettin Şeref Çakar) , (1)

Eser Adedi: 2833

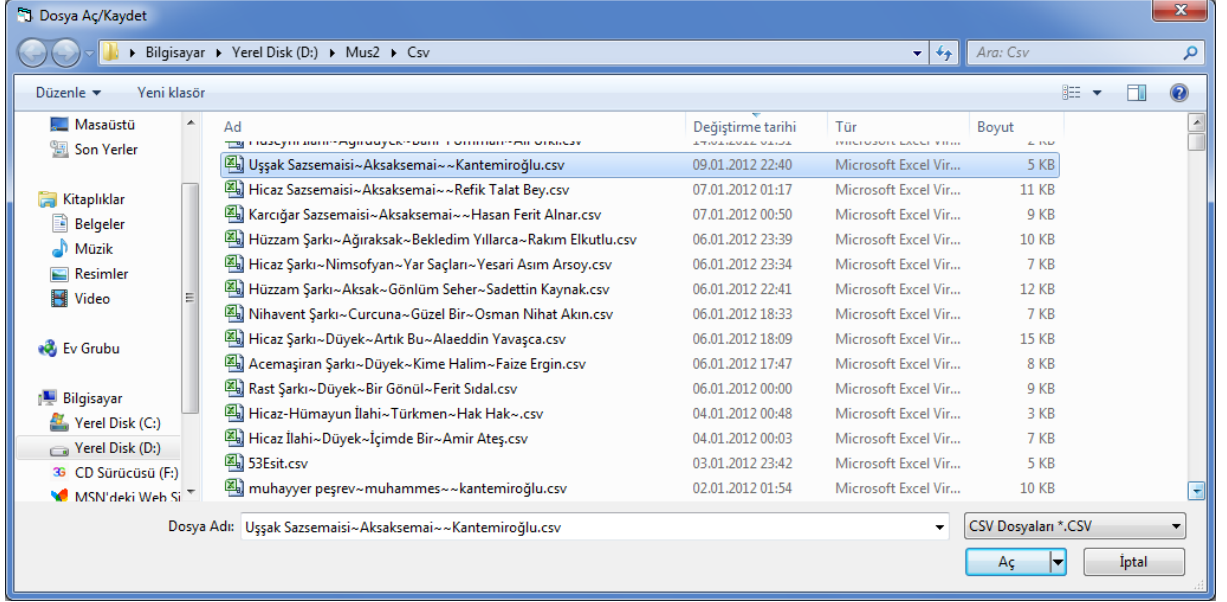
Tamam İptal

☐ Mus2okur'da olanlar ☐ Olmayanlar ☒ Hepsi

B. 18 Veritabanındaki eserler



B. 19 CSV'den veritabanına aktarma



B. 20 Girilen dosyayı seçme

MIDI'ye Dönüştür tuşuna basılır (Şekil B. 21).



B. 21 MIDI'ye dönüştürme tuşu

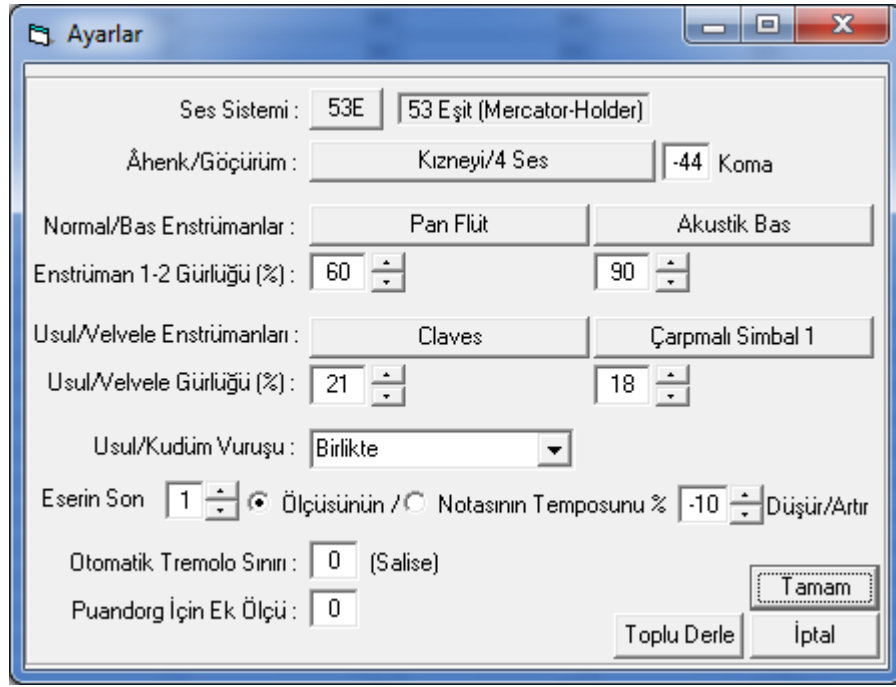
İstenen ahenk, çalgılar vb. işaretlenip **Tamam** tuşuna basılır (Şekil B. 22).

Artık eser sağ alt köşedeki tuşa basılıp çalınabilir (Şekil B. 23).

Notayı Görüntüleme, Basma

Ana ekrandaki **Nota** menüsünden **Baskı** altmenüsü seçilir (Şekil B. 24).

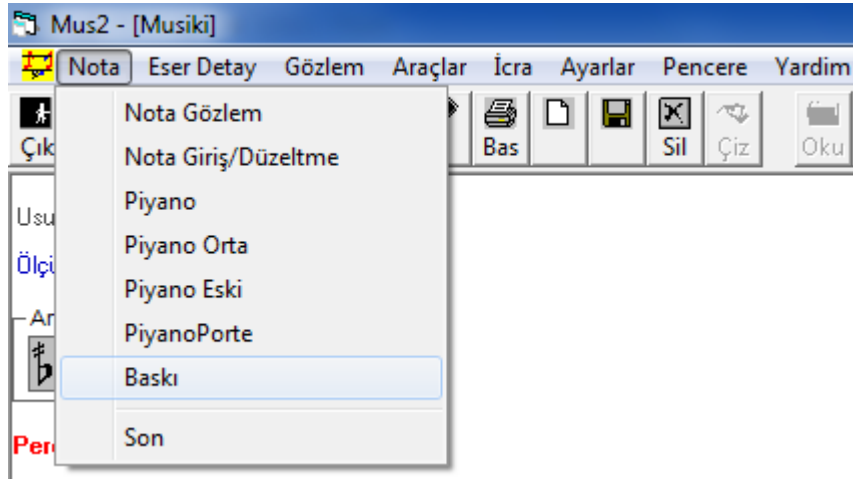
Araç çubuğundaki **Bul** tuşuna basılarak, basılacak eserin adındaki ilk birkaç harf yazılır (Şekil B. 25).



B. 22 MIDI parametreleri



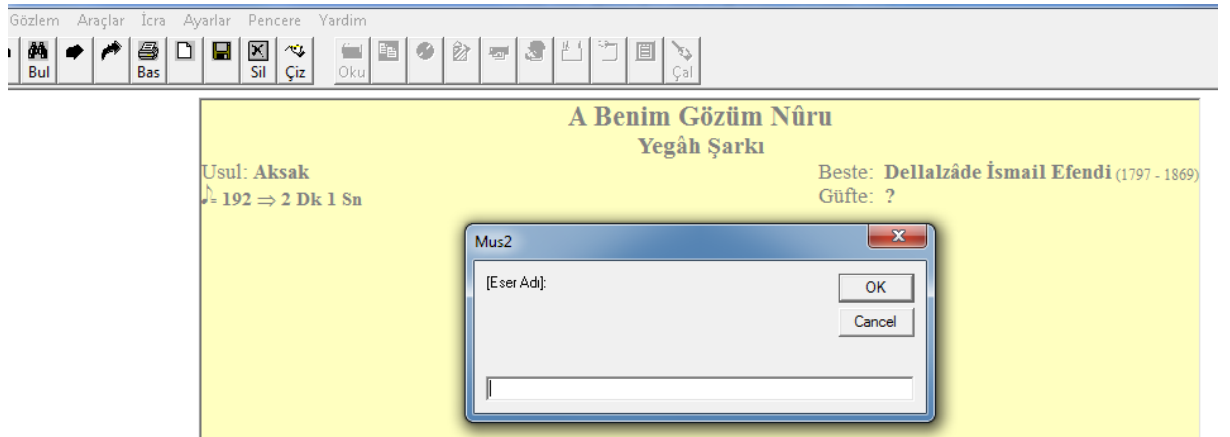
B. 23 MIDI dosyasını çalma



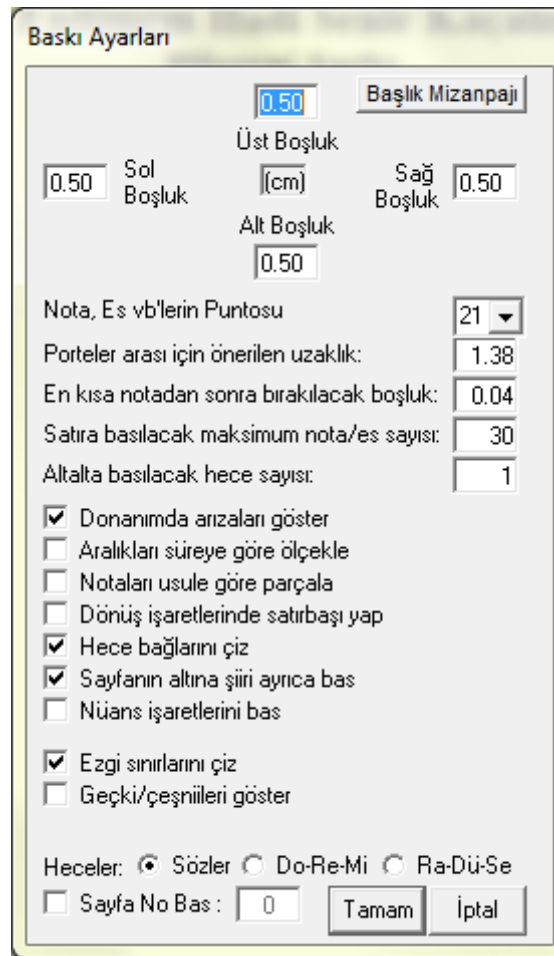
B. 24 Baskı menüsüne geçme

Gerekirse araç çubuğundaki sol/sağ ok tuşları kullanılarak aranan eser bulunduğundan sonra, istenirse önce **Çiz** komutu ile nota ekranda görülür, bundan sonra ya da direkt olarak Bas tuşuna basılır (Şekil B. 26).

İlgili seçimler yapılarak **Tamam** tuşuna basılır.



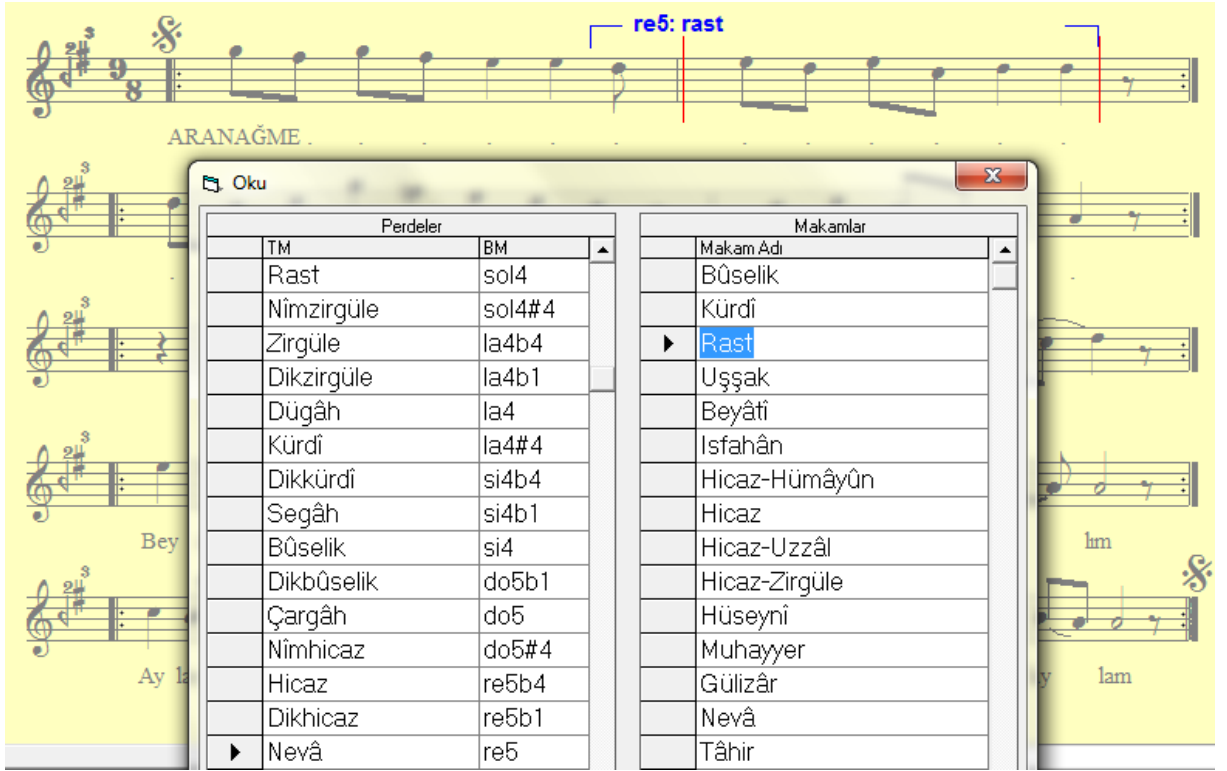
B. 25 Baskı menüsünde eser arama



B. 26 Baskı parametreleri

c. Ezgi Analizi İçin Geliştirilen Ek Araçlar

Girilmiş notalar için ezgi parçacıklarının sınırlarını ve çeşni / geçkileri işaretleyip kaydetmek üzere ilgili nota önce ekrana çizdirilir (Şekil B. 27). Bir ezgi parçacığının bitim noktası, imleci ilgili noktaya getirip fareyi tıklamak suretiyle işaretlenir. Bu takdirde sözkonusu yere düşey bir kırmızı çizgi çizilecektir. Geçki / çeşninin başlangıç noktası ise, fareyi Shift tuşu ile birlikte tıklayarak belirlenir. Hangi perdede hangi geçki / çeşninin yapıldığı, beliren pencerede bu iki bilgi fare ile işaretlenmek suretiyle belirtilir (*Makam Adı* vb. sütun başlığını tıklayarak listeyi alfabetik sıraya dizmek ve alttaki kutuya aranan makamın ilk birkaç harfini yazarak bilgiye hızlı erişim mümkündür). Geçki/çeşninin bittiği nokta, fareye Ctrl tuşuyla birlikte basılarak işaretlenir. Yanlış işaretleme yapıldığı farkedildiğinde Ctrl-Z tuşlarına birlikte basılarak son yapılan işlem den ilk yapılamana doğru geri alma yapmak mümkündür.



B. 27 Ezgi parçacık sınırları ve geçki / çeşnileri işaretleme

İşaretlemler bitince F12 tuşuna basılır. Bu takdirde Şekil B. 28 belirecektir.

Yapılan işaretlemler hangi analizciye aitse, Seç sütunundaki o alan işaretlenir ve Tamam tuşuna basılır. (Sözkonusu eser için aynı analizcinin işaretlemleri daha

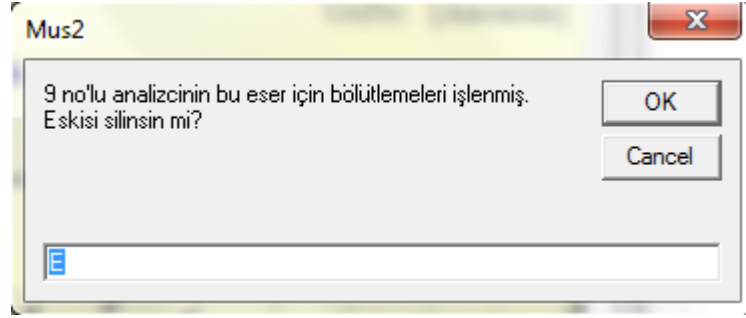
önceden girilmişse, Şekil B. 29’da görüldüğü gibi, program bunu bildirir ve eskisinin silinip yenisinin yazılmasına ya da yalnızca ek yapılmasına olanak tanır.)



Analizciler

Seç	No	Alg.	Açıklama
☐	1	☐	Cem Çırak
☐	11	☐	C-M
☐	2	☐	Eren Özek
☐	14	☒	Gestalt
☐	15	☒	Histogram
☒	3	☐	Korkutalp Bilgin
☐	13	☒	LBDM
☐	9	☐	MKK
☐	4	☐	Ozan Yarman
☐	6	☐	Ömer Dilek
☐	8	☐	Ruhi Ayangil
☐	5	☐	Sinan Sipahi
☐	7	☐	Şirin Karadeniz

B. 28 Analizciyi işaretleme penceresi



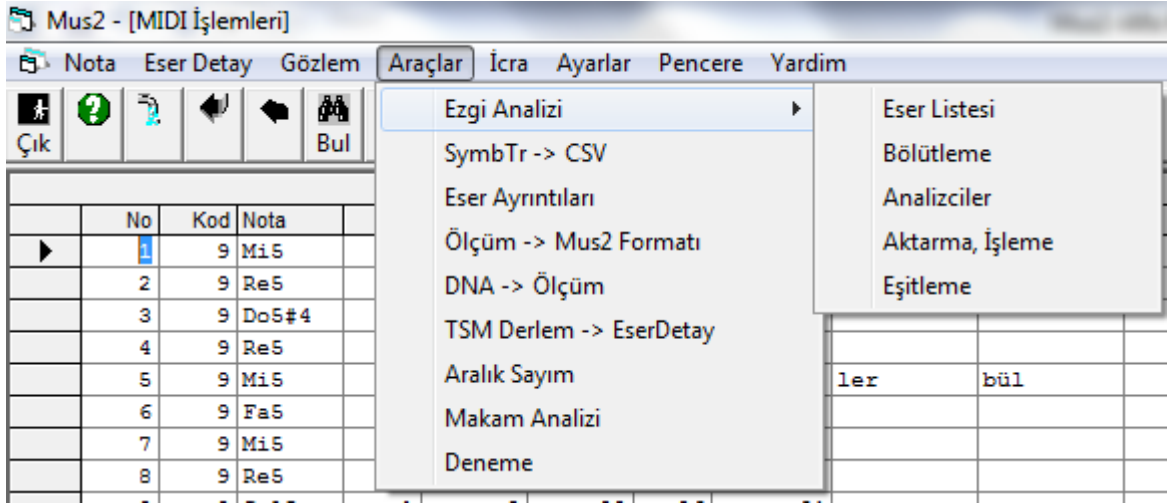
B. 29 Eski işaretlemeleri silme ya da ek yapma

Ezgi parçacıklarının sınırları girilip kaydedildikten sonra, *Ezgi parçacıklarını çiz* kutusu işaretlenerek bir ya da daha çok analizcinin bölütlemeleri çizdirilip bastırılabilir.

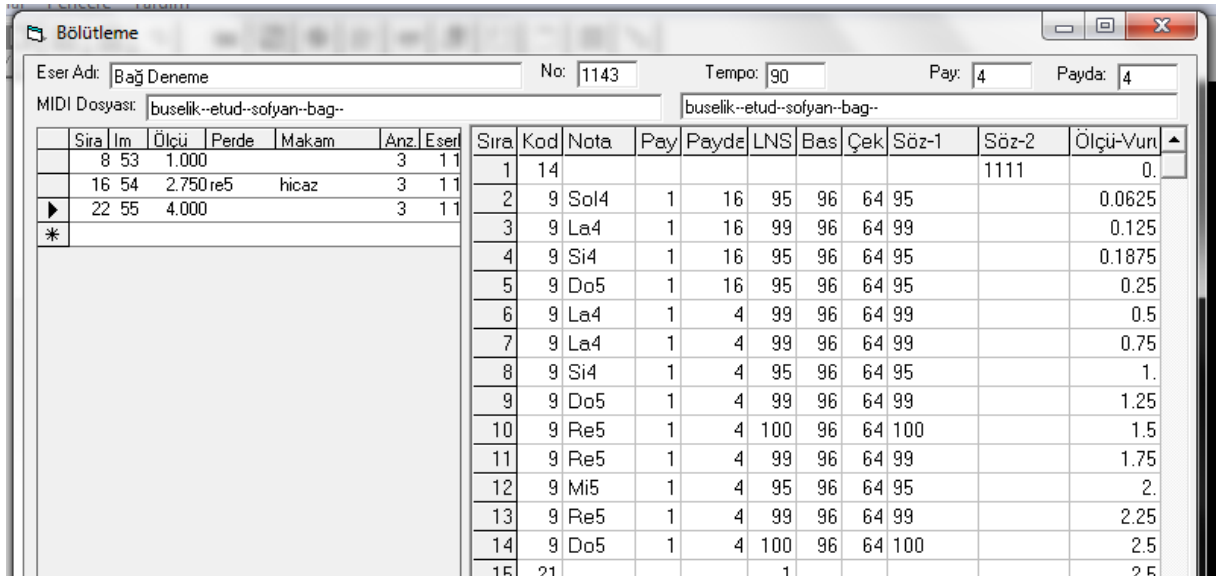
Ezgi analiziyle ilgili verilere daha sonra Araçlar menüsünün Ezgi Analizi alt-menüsünden de erişilebilir (Şekil B. 30).

İşaretlemelerin buradaki Bölütleme alt-alt-menüsü ile yapılması da mümkündür:

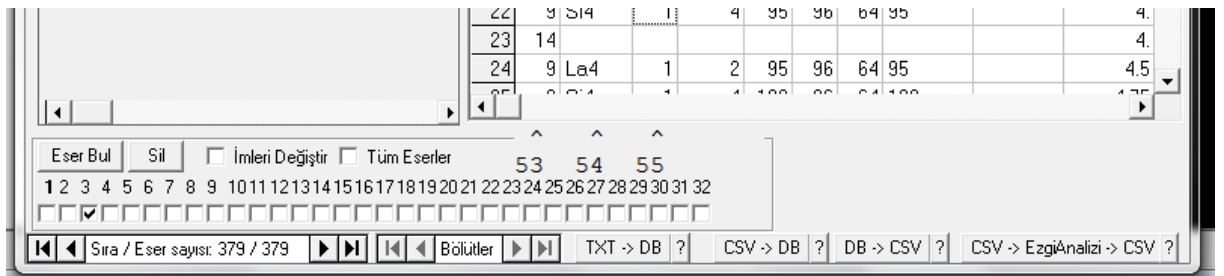
1. Eser Bul düğmesine basılarak, işaretlemeleri işlenecek eser seçilir (Şekil B. 31).
2. 1 ile 32 arasındaki onay kutularından, işaretlemeyi yapmış analizcinin koduna çentik konur (Şekil B. 32).



B. 30 Ezgi analizi verileri menüsü



B. 31 İşaretleme bilgilerine bilgisayara işlenmeye başlanması



B. 32 Komut tuşları

3. Eser ayrıntılarından oluşan sağdaki tabloda, işaretleme yapılacak satıra konumlanılır (Ezgi parçacığı sınırı ve geçki / çeşni bitim noktası işaretleme için, işaretin hangi nota/es'ten sonra konulması isteniyorsa o nota/es'in bulunduğu

satıra konumlanılmalıdır. Geçki / çeşni başlangıç noktası işaretlenirken ise, işaretin hangi nota/es'ten önce konulması isteniyorsa o nota/es'in bulunduğu satıra konumlanılır. Örneğin Şekil B. 32'de 1. ölçünün bitim noktasına bir ezgi parçacığı sınır bitim işareti konulacaksa, satır 8'e konumlanılır. 2. ölçünün başından itibaren bir geçki / çeşni başlıyorsa satır 9'a konumlanılmalıdır vb.)

4. Konumlanmadan sonra, işaretlerin işlenmesi için iki yol vardır:

a. Fare ile:

- i. Konumlanılan satırla 1. sütunun (Kod) kesiştiği hücreye fare ile çift tıklanırsa bu satırın sonrasına bir ezgi parçacığı sınırı işaretlenmiş olur ve bu, soldaki tabloda görünür.
- ii. Konumlanılan satırla 2. sütunun (Nota) kesiştiği hücreye fare ile çift tıklanırsa bu satırın öncesine yerleştirilmek üzere perde/makam seçimi yapılması için Şekil B. 27'deki pencere gelir.
- iii. Konumlanılan satırla 3. sütunun (Pay) kesiştiği hücreye fare ile çift tıklanırsa bu satırın sonrasına bir geçki/çeşni bitimi konulmuş olur (Şekil B. 31).

b. Klavyeden:

- i. Konumlanılan satırın herhangi bir hücresindeyken Ctrl-M tuşlarına birlikte basılırsa ezgi parçacığı sınırı,
- ii. Ctrl-G tuşlarına birlikte basılırsa geçki/çeşni başlangıcı,
- iii. Ctrl-K tuşlarına birlikte basılırsa geçki/çeşni bitimi işareti işlenmiş olur.

5. Şekil B. 33'ün solundaki tabloya bir satır yanlılıkla eklenmişse, satırın en solundaki gri hücreyi tıklamak suretiyle tüm satırı seçmek ve Delete tuşuna basarak bu kaydı silmek mümkündür.

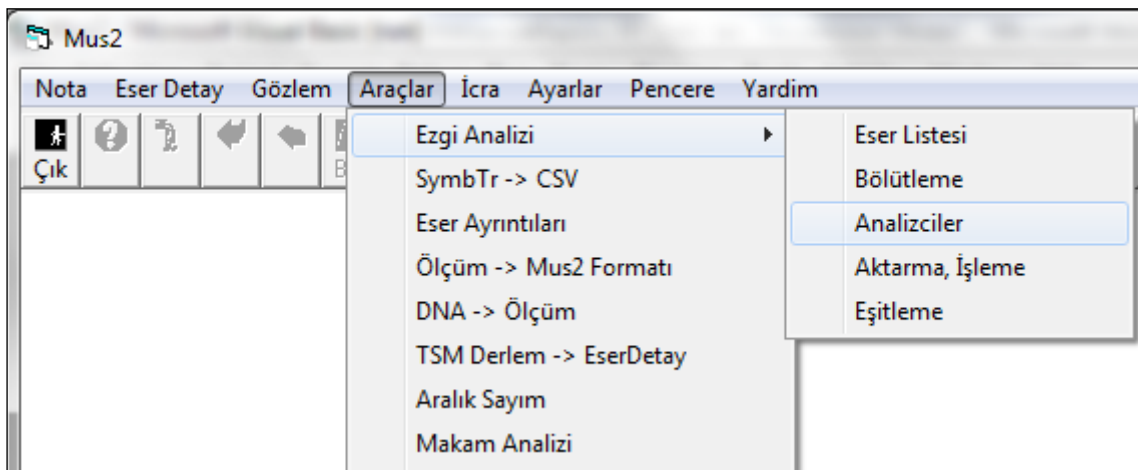
6. Bu tabloya elle giriş de yapılabilir. Özellikle bir işaretleme ile ilgili ek açıklama vb. bilgiler Not alanına yazılır.

Sıra	İm	Ölçü	Perde	Makam	Anz	Eser
1	8	53	1.000		3	1
2	9	So4	1	16	95	96
3	9	La4	1	16	99	96
4	9	Si4	1	16	95	96
5	9	Do5	1	16	95	96
6	9	La4	1	4	99	96
7	9	La4	1	4	99	96
8	9	Si4	1	4	95	96
9	9	Do5	1	4	99	96
10	9	Re5	1	4	100	96

B. 33 Ezgi parçacığı sınırı

Veri girişi bitince, pencerenin altındaki [DB -> CSV] düğmesine tıklanarak, işaretlemelerin de işlendiği CSV dosyası oluşturulur. ([TXT -> DB] düğmesi, nota ekranından fare ile işaretleme yapılması sonucu oluşan ve Mus2\Ayıkla klasörüne yazılan geçici dosyadaki bilgilerin veritabanına aktarılmasını sağlar).

Gerek işaretlenen, dolayısıyla bilgisayara işlenmesi gereken veri sayısının çok olması, gerekse uzmanların işaretledikleri ezgi ve geçki sınırlarıyla ilgili istatistik bilgilere gereksinim duyulması, grafik arayüz ve Excel makrolarına ek araçlar geliştirilmesini gerektirmiştir. Mus2-Alfa yazılımına eklenen ve listesi Şekil B. 34'te görülen bu modüller aşağıda anlatılmıştır.

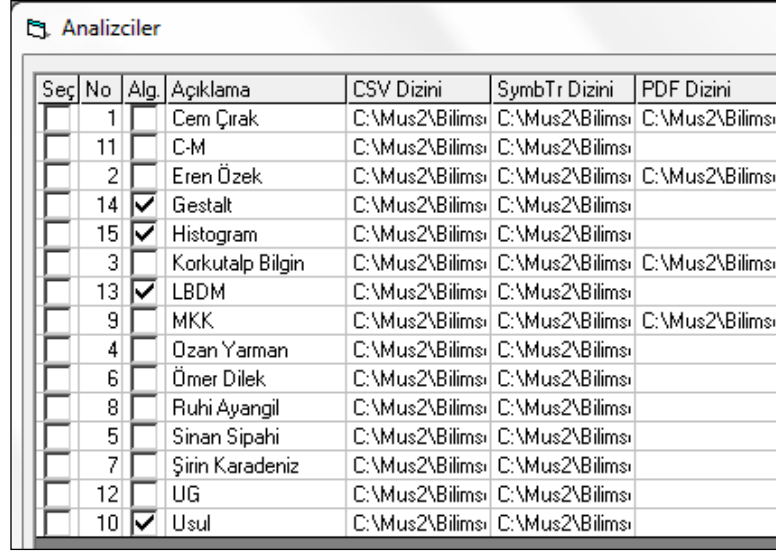


B. 34 Veri işleme için geliştirilen araçlar

Analizciler

İşaretleme yapan kişilerin ve algoritmaların çıktılarının saklandığı klasörler bir sisteme bağlanmıştır. Dolayısıyla, bir bilginin nereden okunacağı ya da yapılacak bir dönüşümün çıktısının nereye yazılacağı otomatik olarak belirlenmektedir (Şekil B. 35).

Analizcinin her bir eser için kaç ezgi sınırı ve kaç geçki / çeşni işaretlediği bilgisi önemlidir. Bu modül sözkonusu gereksinimi karşılamak üzere yazılmıştır (Şekil B. 36).



Seç	No	Alg.	Açıklama	CSV Dizini	SymbTr Dizini	PDF Dizini
☐	1	☐	Cem Çırak	C:\Mus2\Bilimsi	C:\Mus2\Bilimsi	C:\Mus2\Bilimsi
☐	11	☐	C-M	C:\Mus2\Bilimsi	C:\Mus2\Bilimsi	
☐	2	☐	Eren Özek	C:\Mus2\Bilimsi	C:\Mus2\Bilimsi	C:\Mus2\Bilimsi
☐	14	☒	Gestalt	C:\Mus2\Bilimsi	C:\Mus2\Bilimsi	
☐	15	☒	Histogram	C:\Mus2\Bilimsi	C:\Mus2\Bilimsi	
☐	3	☐	Korkutalp Bilgin	C:\Mus2\Bilimsi	C:\Mus2\Bilimsi	C:\Mus2\Bilimsi
☐	13	☒	LBDM	C:\Mus2\Bilimsi	C:\Mus2\Bilimsi	
☐	9	☐	MKK	C:\Mus2\Bilimsi	C:\Mus2\Bilimsi	C:\Mus2\Bilimsi
☐	4	☐	Ozan Yarman	C:\Mus2\Bilimsi	C:\Mus2\Bilimsi	
☐	6	☐	Ömer Dilek	C:\Mus2\Bilimsi	C:\Mus2\Bilimsi	
☐	8	☐	Ruhi Ayangil	C:\Mus2\Bilimsi	C:\Mus2\Bilimsi	
☐	5	☐	Sinan Sipahi	C:\Mus2\Bilimsi	C:\Mus2\Bilimsi	
☐	7	☐	Şirin Karadeniz	C:\Mus2\Bilimsi	C:\Mus2\Bilimsi	
☐	12	☐	UG	C:\Mus2\Bilimsi	C:\Mus2\Bilimsi	
☐	10	☒	Usul	C:\Mus2\Bilimsi	C:\Mus2\Bilimsi	

B. 35 Analizcilere göre veri organizasyonu

Verilerin asıl işlendiği platform olan Matlab'a girdiler, sekme ya da virgül ile ayrılmış metin dosyaları (.CSV) olarak verilmektedir. Bu nedenle, makam, form, usul, söz başlangıcı ve besteci bilgilerini içeren dosya adlarından oluşan listelere sık sık gerek duyulmaktadır. Analizciler modülü, bu listeleri de otomatik olarak üretmektedir. Şekil B. 37'de, beş eseri etiketleyen çok sayıda uzmandan birisine ait liste görülmektedir.

Açıklama : Cem Çırak No 1

Algoritma : ☐

CSV Dizini : C:\Mus2\Bilimsel\Tubitak-2012\Segmented\SegmentedCSV_CC

SymbTr Dizini : C:\Mus2\Bilimsel\Tubitak-2012\Segmented\SegmentedSymbTr\1cc\Tumu

PDF Dizini : C:\Mus2\Bilimsel\Tubitak-2012\Segmented\SegmentedPDF_CC

Geçici Dizin :

İstatistik ☐ Ezgi Analizi tablosundan ☒ SymbTr dosyalarından [Ayrıntı](#)

EserID	Ezgi	(Geçki	Geçki)	Dosya
1	94	2	2	
3	-1	-1	-1	
4	48	4	4	
8	23	0	0	
9	32	7	7	
12	30	0	0	
13	42	0	0	
16	42	0	0	
20	31	0	0	
27	38	2	2	
28	95	0	0	
29	26	0	0	
31	31	4	4	
32	40	1	1	
33	84	25	25	
34	51	10	10	
36	30	1	1	
37	32	1	1	
39	38	1	1	
40	49	0	0	

Bölütlediği eser sayısı : 401
Sınır sayısı : 9264
Geçki başlangıcı : 514
Geçki bitimi : 529

B. 36 Analizci istatistikleri

Açıklama : Ozan Yarman No 4

Algoritma : ☐

CSV Dizini : C:\Mus2\Bilimsel\Tubitak-2012\Segmented\SegmentedCSV_OY

SymbTr Dizini : C:\Mus2\Bilimsel\Tubitak-2012\Segmented\SegmentedSymbTr\4oy\Tumu

PDF Dizini :

Geçici Dizin :

İstatistik ☒ Ezgi Analizi tablosundan ☐ SymbTr dosyalarından [Ayrıntı](#)

Adet: 5

hicazkar--sarki--devrihindi--gonlumu_ducar--sevki_bey
hicazkar--sarki--duyek--cozmek_elinde--sadettin_kaynak
hicaz--sarki--aksak--su_karsiki_dagda--dede_efendi
huseyni-agirsemal--aksaksemal--talatin_devri--zaharya
huseyni--sarki--curcuna--cektim_elimi--tatyos_efendi

B. 37 Bir uzmanın bilgileri ve işaretlediği eser listesi

d. Bölütleme

Uzmanlar işaretlemelerini genellikle basılı notalar üzerine yapmışlardır. Bunlara bir örnek Şekil B. 39’da sunulmuştur.

Bu örnekte de görüldüğü gibi, hemen tüm basılı eserlerde röpriz, senyo, koda gibi akış işaretleri bulunmaktadır. O nedenle konulan bir işaret, eserin icrası sırasında çoğu zaman 2 ya da daha fazla kez ortaya çıkmaktadır. Uzmanlara, akış işareti olmayan, doğrusallaştırılmış notalar üzerinde işaretleme yaptırmak hem onların, hem de bu işaretleri bilgisayarın okuyacağı formatta işleyecek kişinin yükünü artıracığı için tercih edilmemiştir. Buna karşılık, veriler, basılı notalardaki düzene uygun olarak CSV formatında veri girişi yaptırıldıktan sonra doğrusallaştırılmıştır. Bu işlem kritik önem taşıdığı için, **Bölütleme** adlı bir araç tasarlanmıştır (Şekil B. 38).

The screenshot shows the 'Bölütleme' software interface. At the top, there are input fields for 'Eser Adı' (Gönülmü Düçar Eden Bu Hale Hep), 'ID' (47), 'Tempo' (42), 'Pay' (7), and 'Payda' (8). Below these are 'MIDI Dosyası' and 'Hicazkar Şarkı Devrihindi Gönülmü Düçar Şevki Bey' fields. The main part of the interface is a table with columns: Sıra, Kod, Nota, Pay, Payda, LNS, Bas, Çek, Söz-1, Söz-2, Ölçü-Vu. The table contains 25 rows of data. To the right of the table is a list of measures with columns: Sıra, İm, Ölçü, Perde, Makam, Anz, E. The list contains 55 measures. At the bottom, there are buttons for 'İmleri Tersine Çevir', 'Sıra/Eser sayısı: 405/405', and 'Tüm Eserler'. There are also checkboxes for 'Eser Bul', 'TXT -> DB', 'CSV -> DB', 'DB -> CSV', 'CSV -> Ezgi Analizi -> CSV', 'SymbTr'den', 'İstatistik', and 'Tüm Analizcilerin Seçilinin'.

Sıra	Kod	Nota	Pay	Payda	LNS	Bas	Çek	Söz-1	Söz-2	Ölçü-Vu
1	14							2122		0.
2	9							(		0.
3	9	Sol5	1	4	95	96	64	Gön		0.2857
4	9	Sol5	1	8	95	96	64	lü		0.4286
5	9	Fa5#4	1	16	99	96	64	mü		0.5
6	9	Sol5	1	16	99	96	64			0.5714
7	9	La5b4	1	16	99	96	64			0.6429
8	9	Sol5	1	16	95	96	64			0.7143
9	9	Sol5	1	4	95	96	64	dü		1.
10	9	Si5b1	1	16	99	96	64	çar_		1.0714
11	9	La5b4	1	16	99	96	64			1.1429
12	9	La5b4	1	16	99	96	64			1.2143
13	9	Sol5	1	16	95	96	64			1.2857
14	9	Sol5	1	16	99	96	64	e		1.3571
15	9	Fa5#4	1	16	95	96	64			1.4286
16	9	Fa5#4	1	16	99	96	64	den		1.5
17	9	Mi5b4	1	16	99	96	64			1.5714
18	9	Mi5b4	1	16	99	96	64			1.6429
19	9	Re5	1	16	95	96	64			1.7143
20	9	Re5	1	4	95	96	64	bu		2.
21	9							)		2.
22	21									2.
23	14								2122	2.
24	9							(1		2.
25	9	Sol5	3	32	99	96	64	ha		2.1071

Sıra	İm	Ölçü	Perde	Makam	Anz	E
3	54	0.000	sol5	nihavent	4	
4	53	0.429			4	
9	53	1.000			3	
9	53	1.000			5	
9	53	1.000			4	
9	53	1.000			9	
9	53	1.000			1	
14	55	1.357			4	
14	53	1.357			4	
15	54	1.357	re5	hicaz	4	
20	55	2.000			4	
20	53	2.000			3	
20	53	2.000			4	
20	53	2.000			9	
20	53	2.000			5	
21	53	2.000			1	
25	54	2.000	sol4	hicazkar	4	
28	53	2.429			4	
29	53	2.643			1	
29	53	2.643			9	
36	55	3.000			4	
36	53	3.000			4	
36	53	3.000			9	
36	53	3.000			3	
36	53	3.000			5	
38	53	3.000			2	
40	53	3.000			1	
44	53	3.429			4	
45	53	3.643			9	
45	53	3.643			1	

B. 38 Bölütleme veri girişi/gözlem

Örneğin Şekil B. 39'un 2. porte satırındaki ilk üç ezgi parçacığı (53) ve geçki (54/55: re5'te Buselik), en dıştaki senyo işaretleri nedeniyle, eserin akışı içinde 4 kez ortaya çıkmaktadır:

1. Eserin genelinin ilk turunda ikinci röprizin ilk icrasında ("Şu karşıki dağda..."),
2. Aynı turda aynı röprizin ikinci icrasında,
3. Eserin genelinin ikinci turunda ikinci röprizin ilk icrasında ("Karşıda yananı..."),
4. Aynı turda aynı röprizin ikinci icrasında.

Gerek bu karmaşık akış şemasının doğrusallaştırılması, gerekse bu bilgilerin tıpkı MIDI formatında olduğu gibi sus işareti içermeyen SymbTr veritabanına gömülmesi, özenli bir veri girişi ve kodlama gerektirmiştir.

Bölütleme aracı, daha önce sözü edilen grafik arayüz ve Excel makrolarına ek olarak veri girişi yapılmasını sağladığı gibi, doğrusallaştırarak SymbTr formatına dönüştürmeyi, işaretlerin uyum kontrollerini ve çeşitli istatistikleri de gerçekleştirmektedir. Şekil B. 38, aynı bir eseri işaretleyen 6 farklı uzmanın verilerini, işaretin cinsi (53: Ezgi sınırı, 54: Geçki / çeşni başlangıç noktası, 55: Geçki / çeşni bitim noktası) ve yeri (ham CSV tablosundaki sıra no'su ve ölçü – vuru yeri) dahil göstermektedir. Bu ekranın altında yer alan komut tuşlarını kullanarak çeşitli dönüşümler yapmak ve bilgi almak mümkündür. Örneğin Şekil B. 40'ta uzmanların bu eserle ilgili işaretlerinin bir istatistiği görülmektedir.

Şu Karşıkı Dağda Bir Yeşil Çadır Hicaz Şarkı

Usul: Aksak
♩ = 204 ⇒ 3 Dk 32 Sn

Beste: Dede Efendi (9/1/1778 - 29/11/1846)
Güfte: ?

ARANAĞME ...

Şu kar şı ki dağ da bir ye şil san ça
Kar şı da ya na nı fe ner mi san 2
dır SAZ dın dır SAZ hüseyin'de Kürdileşmiş KARÇIGAR
Ça dı rın neva'da Buselik i çin de ah HUMAYUN
Sa lı nıp ge ze ni ah
bir ci rin mi van san ya tır SAZ
yâ rin mi van san ya tır SAZ
O Bu ci gü zel lik bil sen mi yor de ZIRGULE
hiç gö lür mi nül san ha tır SAZ
ka lır mı san tır dın . Ley lâ nın aş kı na dağlar me kâ nım SAZ.
Şev dâ ne müşkül ah ya nar ağ la rım

Şu karşıkı dağda bir yeşil çadır
Çadırın içinde bir civan yatır
O civan bilmiyor hiç gönül hatır

Turuncun yaprağı al değil yeşil
Sıva kollarını boynumdan aşır
İsmi andıkça dilim dolaşır

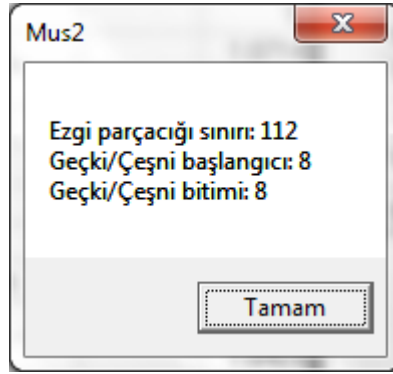
Karşıda yanarı fener mi sandın
Salınıp gezeni yârin mi sandın
Bu güzellik sende kalır mı sandın

Leylâ'nın aşkına dağlar mekânım
Sevdâ ne müşkül ah yanar ağlarım

Leylâ'nın aşkına dağlar mekânım
Sevdâ ne müşkül ah yanar ağlarım

Leylâ'nın aşkına dağlar mekânım
Sevdâ ne müşkül ah yanar ağlarım

B. 39 Dışarıdan bir uzmanın işaretlediği bir eser



B. 40 Bir eserle ilgili işaret istatistiği

Bu araçlardan, işlenen verinin doğrulanmasında da yararlanılmaktadır. Örneğin Şekil B. 36'nın sol alt çerçevesinde, analizcinin 514 geçki başlangıcına karşılık 529 geçki bitimi işaretlediği; işlenmesi unutulmuş 15 geçki bitim işareti bulunduğu görülmektedir.

Aynı menüde görülen öteki araçlar da özellikle bir klasördeki tüm dosyaları istenen formata dönüştürme vb. olanaklar sunmaktadır, fakat burada ayrıntısına girmeye gerek görülmemiştir.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Mustafa Kemal KARAOSMANOĞLU
Doğum Tarihi ve Yeri : 12.12.1952, Kayseri
Yabancı Dili : İngilizce
E-posta : kkara@yildiz.edu.tr

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Alan	Okul/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Y. Lisans	Sistem Analizi	İTÜ Fen Bil. Ens.	1984
Lisans	Matematik	İstanbul Ün. Fen Fak.	1975
Lise	Fen	Pertevniyal Lisesi	1970

İŞ TECRÜBESİ

Yıl	Firma/Kurum	Görevi
2013 -	İTÜ TMDK	Öğretim Görevlisi
2003 -	YTÜ Sanat ve Tasarım Fak.	Öğretim Görevlisi
2002 - 2011	Data-Soft Ltd.	Proje Yürütücüsü

1984 - 2002	Plekom Bilgisayar A.Ş.	Yazılım/Eğitim Müd.
1982 - 1984	YTÜ Fen – Ed. Fak. Matematik	Araştırma Görevlisi

YAYINLARI

Makale

1. *Usul and Makam driven automatic melodic segmentation for Turkish music*. 2014 (Barış Bozkurt, Bilge Karaçalı ve Erdem Ünal ile birlikte). Journal of New Music Research, 43(4), 375-389.
2. *A hierarchical approach to makam classification of Turkish makam music, using symbolic data*. 2014 (Erdem Ünal ve Barış Bozkurt ile birlikte). Journal of New Music Research, 43 (1), 132-146.
3. *Türk musikisi için Symbtr sembolik derlemi üzerinde otomatik ezgi analizi*. 2014 (Fatih Taşçı ile birlikte). Porte Akademik: Müzik ve Dans Araştırmaları Dergisi / Journal of Music and Dance Studies (Baskıda).
4. *Türk makam müziğinde ezgi sınırlarının otomatik olarak belirlenmesi üzerine bir çalışma*. 2014 (Funda Yazıcı ile birlikte). Porte Akademik: Müzik ve Dans Araştırmaları Dergisi / Journal of Music and Dance Studies (Baskıda).
5. *Weighing Diverse Theoretical Models On Turkish Maqam Music Against Pitch Measurements*. 2009 (Barış Bozkurt, Ozan Yarman ve Can Akkoç ile birlikte). Journal of New Music Research, cilt 38, sayı 1, 45-70.
6. *Yarman-36 Makam Tone-system for Turkish Art Music*. 2014 (Ozan Yarman ile birlikte). TWMS Journal of Applied and Engineering Mathematics, 4(2), 175–198.

Bildiri

1. *A computational approach to representing melodic progression (seyir) for Turkish makam music*. 2014 (Barış Bozkurt ve Nilgün Doğrusöz Dişiaçık ile birlikte). Third Int. Conference on Analytical Approaches to World Music, London.
2. *A symbolic dataset of Turkish makam music phrases*. 2014 (Barış Bozkurt, Andre Holzapfel ve Nilgün Doğrusöz Dişiaçık ile birlikte). 4th International Workshop on Folk Music Analysis, İstanbul.

3. *Türk musikisi notaları için otomatik ezgi bölütleme*. 2014 (Barış Bozkurt, Bilge Karaçalı ve Erdem Ünal ile birlikte). SİU (IEEE 22. Sinyal İşleme ve İletişim Uygulamaları Kurultayı), Trabzon.
4. *A Turkish makam music symbolic database for music information retrieval: SymbTr*. 2012. In Proceedings Int. Society for Music Information Retrieval (ISMIR). Porto.
5. *N-gram based Statistical Makam Detection on Makam Music in Turkey using Symbolic Data*. 2012 (Erdem Ünal ve Barış Bozkurt ile birlikte) (ISMIR). Porto.
6. *Türk Müziği Öğretiminde Bilgi Teknolojilerinin Kullanımı*. 2010. Marmara Üniversitesi Eğitim Fakültesi, 9. Ulusal Müzik Eğitimi Sempozyumu.
7. *Türk Musikisi perdelerini ölçüm, analiz ve test teknikleri*. 2004. Türk Müziği Geleneksel Perdelerini Çalabilen Piyano İmalı proje konferansı.
8. *Türk Musikisinde İcra-Teori Birliğini Sağlama Yolunda Bir Girişim*. 2003 (Can Akkoç ile birlikte). 10. Müz-Dak Sempozyumu.

Kitap

1. *Fihrist-i Makamat – Ahmet Avni Konuk*. Nota Yayıncılık, İstanbul, 2007.
2. *Türk Halk Müziği Seçmeler* (4 fasikül). 2005, Nota Yayıncılık.
3. *Klasik Türk Müziği Seçmeler* (16 fasikül). 2005, Nota Yayıncılık.

Proje

1. *Türk Musikisinin Otomatik Ezgi Analizi, 2012 - 2014, TÜBİTAK 1001* (Proje No: 112E162).
2. *Hesaplamalı Modellerle Dünya Müzikleri Araştırması (CompMusic), 2011 – 2015, Universitat Pompeu Fabra (İspanya), Avrupa Birliği projesi*. (No: FP7/2007–2013/ERC)
3. *Klasik Türk Müziği Kayıtlarının Otomatik Olarak Notaya Dökülmesi ve Otomatik Makam Tanıma, 2007 – 2010, TÜBİTAK 1001* (Proje No: 107E024).

4. *Mus2okur – Türk Müziği Multimedya Ansiklopedisi*, 2008. Data-Soft Ltd, KOSGEB.
5. *Türk Müziği Perdelerini Çalabilen Piyano İmâli*, 2006, Yıldız Teknik Üniversitesi BAP.