

**T.C.
BAHÇEŞEHİR ÜNİVERSİTESİ**

**MAKAM MÜZİKLERİ İÇİN ETKİLEŞİMLİ
EĞİTİM SİSTEMİ**

Yüksek Lisans Tezi

BİLGE MİRAC ATICI

İSTANBUL, 2016

T.C.
BAHÇEŞEHİR ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
SES TEKNOLOJİLERİ

MAKAM MÜZİKLERİ İÇİN ETKİLEŞİMLİ
EĞİTİM SİSTEMİ

Yüksek Lisans Tezi

BİLGE MİRAC ATICI

Tez Danışmanı: Doç. Dr. BARIŞ BOZKURT

İSTANBUL, 2016

T.C.
BAHÇEŞEHİR ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
SES TEKNOLOJİLERİ

Tezin Adı: Makam Müzikleri İçin Etkileşimli Eğitim Sistemi
Öğrencinin Adı Soyadı: Bilge Miraç Atıcı
Tez Savunma Tarihi: 25.05.2016

Bu tezin Yüksek Lisans tezi olarak gerekli şartları yerine getirmiş olduğu Fen Bilimleri Enstitüsü tarafından onaylanmıştır.

Doç. Dr. NAFİZ ARICA
Enstitü Müdürü

Bu tezin Yüksek Lisans tezi olarak gerekli şartları yerine getirmiş olduğunu onaylarım.

Yrd. Doç. Dr. YAHYA BURAK TAMER
Program Koordinatörü

Bu Tez tarafımızca okunmuş, nitelik ve içerik açısından bir Yüksek Lisans tezi olarak yeterli görülmüş ve kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

İmzalar

Tez Danışmanı
Doç. Dr. BARIŞ BOZKURT

Üye
Yrd. Doç. Dr. Y. BURAK TAMER

Üye
Doç. Dr. Ozan BAYSAL



Kıymetli dostlara, unutulmayacak anılara ve bekleyen güzel günlere...

TEŐEKKÜR

Tez çalıőmam sũresince bana destek olan, bilgisi ve ilgisi ile yol gũsteren danıőmanım Doç. Dr. Barış Bozkurt'a; her tũrlũ soruma itina ile cevap veren ve yardımcı olan program koordinatũrũ Yrd. Doç. Dr. Y. Burak Tamer'e; çalıőmalarına katkı sağlayan Prof. Dr. Nilgũn Doėrusũz Diőiaçık'a, Prof. Dr. Turan Sağer'e, Doç. Dr. M. Kemal Karaosmanoğlu'na, Doç. Dr. Ozan Baysal'a, Doç. Dr. Can Karadoğan'a ve Emre Pınarbaşı'na; bildiği her Őeyi aktarmak için çaba sarf eden Sertan Őentũrk'e ve son olarak hiç bir zaman desteklerini esirgemeyen sevgili aileme sonsuz teőekkũrlerimi sunarım.

Bu alıőma, Avrupa Birliği 7. ereve Programı (FP7/2007-2013) bũnyesindeki Avrupa Araştırma Konseyi (ERC) CompMusic¹ projesi (267583) tarafından desteklenmiőtir.

İstanbul, 2016

Bilge Miraç Atıcı

¹ <http://compmusic.upf.edu/>

ÖZET

MAKAM MÜZİKLERİ İÇİN ETKİLEŞİMLİ EĞİTİM SİSTEMİ

Bilge Miraç Atıcı

Ses Teknolojileri

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Barış Bozkurt

Haziran 2016, 42 Sayfa

Müzik eğitim sistemi kullanıcıların müzik icralarını geliştirmeye yardımcı olan bir araçtır. Bu çalışma, yalnızca Türk Müziği değil, Arap ve İran müziği gibi diğer makam müzikleri özelinde de bilgisayar destekli etkileşimli eğitim sistemi yazmayı amaçlamaktadır. Bu araç kapsamlı bir öğretim sistemi olmaktan çok, kullanıcıların kendi seçtiği üstatlara ait kayıtlarla çalışma ve pratik yapma olanağı tanımaktadır. Sistem; referans kayıt ve kullanıcının çaldığı arasında gerçek zamanlı karşılaştırma yapan, bunu görsel bir sonuç olarak veren ve aynı zamanda perde analizi yapan küçük araçlar içerecektir.

Bununla birlikte her müzik kültürü kendine has ritmik, melodik ve tınısal özellikler ile problem tanımları barındırmaktadır. Türk makam müziği ve diğer geleneksel müzik kayıtları için hesaplamalı analizler yapılmak istendiğinde çoğunlukla tercih edilen yol, bu kültürlerle özgü çözümler ve teknolojiler üretmektir. Daha önceki çalışmalarda Türk makam müziği kayıtları için entonasyon analizi yapabilen araçlar geliştirilmiştir. Bu çalışmada ise müzisyenlere ve müzikologlara yönelik hazırlanmış, ortak özellikler barındıran diğer makam kültürleri için de kullanılabilir etkileşimli müzik analiz aracı tasarlanmıştır. Ayrıca, gerekli bilgiler sağlandığında bu aracın Türk makam müziği ve benzer kültürler için nasıl kullanılacağı anlatılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Sinyal İşleme, Ses Sinyali İşleme, Türk Makam Müziği, Hesaplamalı Müzikoloji

ABSTRACT

INTERACTIVE MUSIC TUITION SYSTEM FOR MAKAM MUSIC CULTURES

Bilge Miraç Atıcı

Audio Technologies

Thesis Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Barış Bozkurt

June 2016, 42 pages

A music tuition system is a tool that helps users to improve their skills to perform music. This thesis aims at developing a computer based interactive tuition system specifically for Turkish music. The tuition system will not be a comprehensive educational system but is limited to the implementation of a system that helps the user to learn from a recording uploaded by the user. This involves implementation of pitch analysis and visualization tools that can work real-time and provide a visual feedback to the user for comparison of the user input signal and the reference recording.

On the other hand, each traditional music culture has unique rhythmic, melodic and timbral features and also problem definitions. Therefore, computational analysis of Turkish makam music and other traditional music recordings often requires culture-specific technologies and solutions. Previous studies aimed that developing analysis tools for Turkish makam music recordings. In this study an interactive intonation analysis tools is presented that can be used for both Turkish makam music and other traditional music recordings, which shares similar features. In addition, it is demonstrated that how to use this tool effectively once the user supplies the required settings.

Keywords: Signal Processing, Audio Signal Processing, Turkish Makam Music, Computational Musicology

İÇİNDEKİLER

TABLolar	viii
ŞEKİLLER	ix
KISALTMALAR	x
1. GİRİŞ	1
2. İLGİLİ ARAŞTIRMALAR	3
3. VERİ VE YÖNTEM	6
3.1 FREKANS KESTİRİMİ VE EZGİ ANALİZİ	6
3.2 PERDE DAĞILIMLARININ HESAPLANMASI	8
3.2.1 Kayıtların Histogramları	8
3.2.2 Kuramsal Histogramlar	11
3.3 KARAR PERDESİNİN OTOMATİK KESTİRİMİ	13
3.4 MAKAM ŞABLON HİSTOGRAMLARININ HAZIRLANMASI	15
3.5 OTOMATİK MAKAM TANIMA	17
3.6 TEST VERİ KÜMESİ	19
4. BULGULAR	21
4.1 ANALİZ SONUÇLARI	21
4.1.1 Otomatik Karar Perdesi Bulma	21
4.1.2 Otomatik Makam Tanıma	22
4.2 TASARLANAN ARAÇLAR	26
4.2.1 MakamBox	27
4.2.2 Perde Analiz Aracı	29
4.2.3 Karşılaştırmalı Perde - Derece Analizi	33
4.2.4 Şablon Histogram Hesaplama Aracı (Template Extractor)	34
4.2.5 DataTool	36
5. TARTIŞMA VE SONUÇ	40
5.1 KULLANICI YORUMLARI	41
KAYNAKÇA	43
ÖZGEÇMİŞ	49

TABLÖLAR

Tablo 3.1 Veri kümesinde eser sayıları.....	20
Tablo 4.1 Otomatik karar perdesi belirleme analizi sonuçları	22
Tablo 4.2 En büyük ve en küçük sapma miktarı	22
Tablo 4.3: 12TET ile TMM için nota adları ve AEU kuramına göre	37



ŞEKİLLER

Şekil 3.1: Frekans analizi sonucu örneği.....	6
Şekil 3.2: Hüseyini makamından bir eserin perde histogramı	9
Şekil 3.3: Hüseyini makamına ait kuramsal histogram.....	12
Şekil 3.4: Otomatik karar perdesi hesaplama.....	14
Şekil 3.5: Uzaklık fonksiyonu sonuçları	14
Şekil 3.6: Eser - kuramsal histogram eşleşmesi	15
Şekil 3.7: Makam şablon histogramlarının oluşturulması (Bozkurt 2008)	16
Şekil 4.1: Otomatik olarak yapılmış doğru eşleştirme	24
Şekil 4.2: Otomatik olarak yapılan yanlış eşleştirme.....	24
Şekil 4.3: Elle makam bilgisi girilerek yapılan eşleştirme.....	25
Şekil 4.4: Karar perdesi frekansı elle girilen eşleştirme	26
Şekil 4.5: MakamBox'ın akış diyagramı	28
Şekil 4.6: MakamBox'ın ekran görüntüsü.....	29
Şekil 4.7: Perde Analiz Aracı'nın ekran görüntüsü	30
Şekil 4.8: Aynı makamdan iki taksimin karşılaştırılması	31
Şekil 4.9: Farklı makamların şablon histogramlarının karşılaştırılması	32
Şekil 4.10: Bir eserin farklı ses sistemleri ile karşılaştırılması	33
Şekil 4.11: Karşılaştırmalı perde analizi aracı ekran görüntüsü	34
Şekil 4.12: Şablon histogram hesaplama aracının.....	35
Şekil 4.13: Örnek kuramsal makam aralıkları.....	35
Şekil 4.14: DataTool programının ekran görüntüleri.....	38
Şekil 4.15: Munir & Omar Bashir'e ait icra analizi (Rast).....	39
Şekil 4.16: Munir Bashir'e ait icra analizi (Nahawend).....	39

KISALTMALAR

AEU	: Arel-Ezgi-Uzdilek
Hz	: Hertz
Kb	: Kilobit
kHz	: Kilohertz
MIR	: Music Information Retrieval
ms	: Milisaniye
TET	: Tone-equal Temperement
TMM	: Türk Makam Müziği



1. GİRİŞ

Dünyadaki her müzik geleneği kendine özgü ezgisel, ritmik ve tınısal özellikler ile bunlara ek olarak kültürel bağlar barındırır (Tzanetakis ve diğ. 2007). Müzik kültürleri üzerine yapılan çalışmalarda, bu bileşenler ve kültürlerin birbirleriyle olan ilişkileri dikkatlice ele alınmalıdır. Yakın zamana kadar müzik teknolojisinde kullanılan hesaplamalı yöntemler ve araçlar, Batı müziği kültürü üzerine yapılan çalışmalar için geliştirilmekteydi (Serra 2011). Bu tür yaklaşımlar farklı müzik kültürlerine özgü araştırma konularında ve ilgili hesaplamalı çalışmalarda yetersiz kalmaktadır (Gulati ve diğ. 2015, Bozkurt 2008). Bu, bahsedilen sorunları çözmek için kültüre özgü problem tanımlama ve yeni yöntemler geliştirme gerekliliğini beraberinde getirmektedir.

Diğer yandan, yaygın müzik kavramlarını analiz etmeyi ya da modellemeyi amaçlayan hesaplamalı araştırma araçları belirli ölçüde esneklikle geliştirilebilmektedir. Karşılaştırmalı müzik kültürleri araştırmalarında, kültürlerarası benzerlikleri ve farkları açıkça ortaya koyabilen yöntemlerin varlığı oldukça önemlidir.

Bu çalışmada, araştırılan müzik kültürünün özelliklerine uyum sağlayabilen bir analiz programı ve eğitim sürecine yardımcı olacağı düşünülen bir araç tasarımı ortaya konmuştur. Kuramsal temellerini, daha önce Barış Bozkurt'un geliştirdiği *MakamToolBox* (Bozkurt 2008) adlı araçtan alan bu çalışma; ilgili aracın ilerletilmiş/geliştirilmiş hali olarak düşünülebilir. Temel olarak, birçok müzik kültürünün ezgi analizi çalışmalarının önemli bir kısmını oluşturan perde analizi adımına yoğunlaşmıştır. Bu adımda, bir yada daha fazla eser kaydının analiz edilmesiyle perde aralıkları çıkartılmıştır. Elde edilen bilgiler ve modeller karar perdesi belirleme (Bozkurt 2014), makam tanıma (Koduri ve diğ. 2014, Gedik ve Bozkurt 2010), icra ve kuram karşılaştırması (Bozkurt ve diğ. 2014) gibi ilgili araştırma konularında kolaylıkla kullanılabilir. Çalışmanın en önemli noktalarından biri, daha önceden *MakamToolBox* aracı içinde geliştirilen bu araçları farklı coğrafyalarda yaşayan diğer makam müziği kültürleri ile de kullanabilmek için gerekli uyarlamalara sahip olmasıdır. Geliştirilen yazılımlar, var olan örneklerden farklı olarak,

kültüre özgü analizler yapabilmekte ve bu bilgiler kullanıcı tarafından genişletilebilmekte veya değiştirilebilmektedir.

Başlangıç adımı olarak *MakamBox* (Atıcı ve diğ. 2015) adlı bir yazılım ve yazılımın kullandığı, kuramsal bilgileri içeren ayar dosyasını oluşturabilen bir araç geliştirilmiştir. Ayar aracı *MakamBox*'ın kültüre özgü müzik kuramı bilgi ihtiyacını karşılamakta ve farklı kültür dosyaları hazırlamaya olanak sağlamaktadır. Çalışmada, geliştirilen programların Türk ve Arap makam müzikleri üzerinde nasıl kullanılabileceği de gösterilmiştir.

Tüm bu çalışmalar derlenirken; Bölüm 2'de hem Türk makam müziği hem de diğer kültürler için yapılmış çalışmalar ele alınmış, gereksinimler ortaya konmuştur.

Bölüm 3'te araştırma boyunca kullanılan ezgi analizi, karar perdesi bulma ve makam tanıma algoritmaları detaylıca açıklanmış, veri kümesinin içeriğinden bahsedilmiştir.

Bölüm 4'te yapılan gereklemelerin testleri ve sonuçları açıklanmış, hata oranları ve sistemin eksiklikleri ortaya konmuştur. Ayrıca son kullanıcı için tasarlanan arayüzler, kullanım alanları ve gereksinimleri ile birlikte detaylıca anlatılmıştır.

Bölüm 5'te yapılan araştırma ile geliştirilen yazılımlar tartışılmış ve sonuçlar açıklanmış, gelecek çalışmalara yol göstereceği düşünülen fikirler paylaşılmış, geliştirme sürecine dahil olan kullanıcıların yorumlarına yer verilmiştir.

2. İLGİLİ ARAŞTIRMALAR

Dünya üzerindeki müzikler arasında geleneksel müzik kültürleri oldukça büyük yer kaplamasına rağmen, bir çok müzik bilgi erişim (music information retrieval, MIR) çalışması Batı müziğini baz almaktadır (Serra 2011). Önemli sayıda çalışma, Batı müziği notalarını ve kuramını temel alarak yapılmıştır. Geleneksel müziklerin kültüre özgü karakteristikleri göz önünde bulundurulduğunda, bu çalışmalar geleneksel müzik kültürleri için yetersiz kalmaktadır. Son zamanlarda, geleneksel müzik kültürleri üzerinde yapılan hesaplamalı araştırmalar artmaktadır. Yeni problemlerin çözümünde müzik bilgi erişiminin hesaplamalı işlemleri için yeni araştırma yöntemlerine yoğunlaşmıştır. Otomatik notaya dökme, müzik - nota eşleşmesi, karar perdesi bulma gibi çalışmalar yapılırken kültüre özgü özelliklerin dikkate alınması gerekmektedir. Bu nedenle kültüre özgü bilgileri ve karakteristikleri içeren, modelleyebilen ve veri analizini bu bilgiler ışığında yapabilen araçlara ihtiyaç duyulmaktadır.

Örneğin *CompMusic* projesi kapsamında çalışılan geleneksel müzik kültürlerinden Hindistan klasik müziğine bakıldığında, Batı müziğinde olduğu gibi basılı nota kullanımının yaygın olmadığı, bu yüzden veri olarak kullanılacak nota dağarcıklarına rastlanmadığı görülmüştür (Koduri ve diğ. 2014). Bu nedenle söz konusu alandaki araştırmalar, ses dosyalarını kullanmaya odaklanmıştır. Çin (Han) kültürüne bakıldığında, bunun da Batı müziği ile en az ilişkisi bulunan kültürlerden biri olduğu görülmektedir. Arap - Endülüs müziği ise coğrafi ve siyasi değişimlerden fazlasıyla etkilenmiştir. Bu durum, müziğin zenginleşmesini sağlamış, ancak o kültürün modellenmesi veya standardize edilmesinin zor bir yapıya sahip olmasına yol açmıştır (Chaachoo 2011). Bu nedenlerle, geleneksel müzik kayıtları içeren veri kümeleri üzerinde yapılacak hesaplamalı analizler, klasik MIR yöntemleriyle birlikte, geleneksel müzik kuramları ve uygulamaya dair sözel kültürde iletilen bilgiler ve ilgili müzik kültürlerine özgü karakteristik öğeler dikkate alınarak gerçekleştirilmelidir (Serra 2011).

Moelants ve diğ. (2006) çalışmasında, bugün kullanılan MIR yöntemlerinin dünya müzikleri üzerinde kullanımına ilişkin problemlere kısaca değinilmiştir. Bu çalışmada,

problemler Orta Afrika özelinde anlatılsa da, Türk makam müziği ve Kuzey Afrika müziği için de benzer problemler bulunmaktadır. Önemli problemlerden bir tanesi Batı müziği ve Afrika müziğinin frekans uzaylarının farklılık göstermesinden kaynaklanan gösterim problemidir. Notalar için sabit bir frekans değerinin olmaması ve perde aralıklarının değişken olması, bu müziklerin Batı müziğindeki gibi ayırık frekans uzayı ile değil, sürekli frekans uzayı ile açıklanmasını gerektirmektedir.

Dünya müziklerin güvenilir bir müzik kuramı üzerine kurulmaması, hesaplamalı analiz süreçleri açısından ortaya çıkan bir başka zorluktur. Bu bağlamda Ortadoğu, Orta ve Kuzey Afrika müzikleri için yapılan MIR çalışmaları benzerlikler taşımaktadır. Bu kültürlerde, Batı müziğinin aksine kuramsal bilgi ve notalar üzerinden değil ses kayıtları üzerinden araştırma yapılmaktadır.

Ortadoğu ve Asya'nın önemli bir kısmı ile Kuzey Afrika gibi geniş bir coğrafyada yaşamaya devam etmekte olan müzikal geleneklerle benzerliği düşünüldüğünde, Türk müziği bilgi erişim uygulamalarının geliştirilmesinin Batı müziği dışındaki müzikler için bilgi erişim alanında özel ve merkezi bir öneme sahip olduğu ortaya çıkmaktadır (Bozkurt 2009). Bu alanda yapılan makam - histogram şablonu oluşturma, karar sesi bulma, makam sınıflandırma, ses sistemi analizi, kuram - icra uyuma düzeyinin ölçülmesi gibi çalışmalar, Türk müziği bilgi erişim yöntemlerinin benzer kültürler için de kolaylıkla kullanılabilmesini ortaya koymuştur.

Türk müziği kültüründe kuşaklar arası paylaşım büyük oranda sözel aktarıma dayanmaktadır. Makamlar, nota dizilerine ek olarak ezgi kuralları ile açıklanmakta, meşk sistemiyle öğretilmektedir. Türk müziği kuramı, icrası ile uyuma sorunları yaşayan; ses sistemleri, makam dizileri gibi konular üzerinde çalışmalar yapılan bir alandır.

Türk müziğinde, Batı müziğinde olduğu gibi referans alınan bir akort frekansı bulunmamaktadır (Ör: La₄=440Hz). Türk müziğinde, genellikle *ahenk* olarak anılan, ney uzunlukları ilişkilendirilen, birden fazla ses sistemi kullanılmaktadır (Erguner 2007). Bununla birlikte, bir oktavin bölündüğü müzikal aralık sayısı ile ilgili kuramsal

araştırmalar devam etmekte, oktavdaki perde sayısı için 17 ila 79 arasında değişen çeşitli öneriler bulunmaktadır (Yarman 2008). Bozkurt (2009)'da da belirtildiği gibi bazı makamların özellikle bazı perdeleri müzisyenin kişisel tercihine bağlı olarak değişebilmekte (pesleşme ya da tizleşme); kaydırma, vibrato, çarpma gibi süslemelerin de sık kullanılması nedeniyle Batı müziğine göre frekans uzayında daha geniş (yayvan) dağılımlar gözlenmektedir. Bu ise bilgi erişimi uygulamaları tasarımında kuramdan Batı müziğindeki düzeyde yararlanma olanağını ortadan kaldırmaktadır.

Bu nedenlerle, frekans uzayının düzenli bir gösteriminin tekrar tartışmaya açılması, geleneksel müzikler için yapılan MIR çalışmalarının başlangıç noktası olmuştur. Bu çalışmada da, Türk makam müziği için frekans uzayı ve perde analizi ele alınmıştır. Buna ek olarak, geliştirilen yöntemlerin benzer makam kültürleri için de kullanılabilereği ortaya konmuştur. Bunun için, geliştirilen arayüzler; farklı kültürlerden bilgiler kullanabilecek, analizler gerçekleştirebilecek ve bunları görselleştirebilecek şekilde yeniden tasarlanmış, bazı eklemeler yapılmıştır.

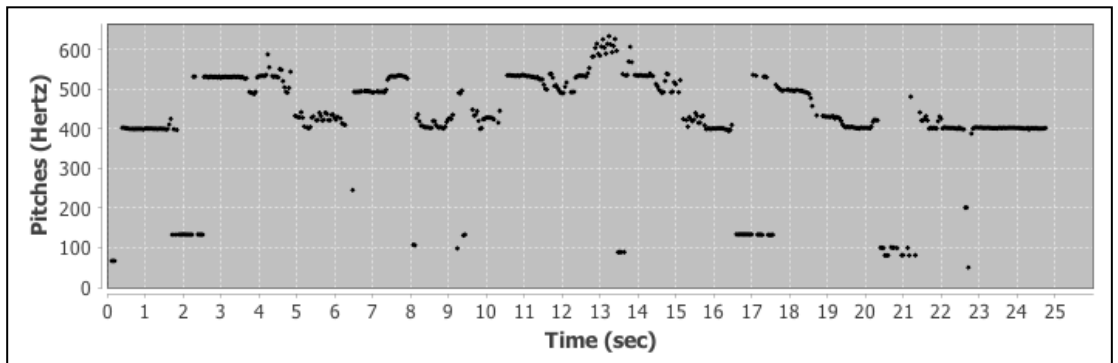
3. VERİ VE YÖNTEM

Bir müzik kültürünün hesaplamalı analizlerini gerçekleştirebilmek ve farklı yönlerini keşfetmek için birçok yönteme başvurulmaktadır. Temel olarak, müzik kültürlerinin ezgisel ve ritmik bileşenlerini analiz etmek önemli miktarda bilgi sunmaktadır. Bu amaçla ses kayıtları, ilişkili meta-veriler² ve bilgisayar tarafından okunabilir notalar kullanılabilir (Uyar ve diğ. 2014). Gerekli bilgiler bu kaynaklardan elde edildiğinde o geleneğe ait birçok karakteristik özellik ile ilgili çalışmalar yapılabilmektedir. Bu bölümde Türk makam müziği analizinde kullanılan hesaplamalı yöntemlerden bahsedilecektir.

3.1 FREKANS KESTİRİMİ VE EZGİ ANALİZİ

Frekans kestirimi ve ezgi analizi, ezgisel yönden yapılan analizlerin ilk basamağını oluşturmaktadır. Bu işlemin sonucunda zaman – perde serisi verisi (*melogram*) oluşmaktadır. Elde edilen bilgi; perde analizi (Bozkurt 2012), seyir analizi (Şentürk ve diğ. 2014) ve süsleme analizinde (Özaslan ve diğ. 2012) kullanılabilir. Ayrıca bu veri ile perde histogramı da elde edilebilmektedir. Perde histogramı bir kayıt içerisinde icra edilen tüm perdelerin dağılımı bulunarak hesaplanmaktadır.

Şekil 3.1: Frekans analizi sonucu örneği



² Besteci, söz yazarı, makam – usul – form ve icracı bilgileri, kayıt yeri ve yılı gibi bir eser hakkında belirtilen tamamlayıcı nitelikteki tüm bilgilere meta-veri (üst-veri, *metadata*) denir.

Frekans kestirimi ve ezgi analizi algoritmaları, bazı koşullar altında güvenilir sonuç verememektedir. Özellikle monofonik kayıtlarda güvenilir sonuçlar verebilen yöntemler, polifonik/heterofonik kayıtlarda aynı başarıyı gösteremeyebilir (Şentürk ve diğ. 2014). Ayrıca, analiz sonucunda ortaya çıkan bazı oktav hataları, perde dağılımlarının da hatalı hesaplanmasına yol açabilmektedir. Bu nedenle frekans kestirimi sonuçlarından sentezlenen ses ve esas kaydın birlikte dinlenilmesi, analizin kesinliği hakkında bilgi edinmek için oldukça kullanışlı bir yöntemdir. Buna ek olarak, perde histogramında oluşan tepelerin değerlerinden sentezlenen sesler enstrüman akortlamada kullanılabilir.

Şekil 3.1'de, bu çalışmada kullanılan frekans analiz algoritmasının sonuçları görülmektedir. Bu çalışmanın başlangıç noktası olma özelliği taşıyan uygulamada (Bozkurt 2008) frekans analizi algoritması olarak YIN (De Cheveigné & Kawahara, 2002) adlı algoritma kullanılmıştır. Bu algoritma, müzik ve ses kayıtlarının analizinde oldukça önemli bir yer tutan temel titreşim frekansı (*fundamental frequency*) kestiriminde kullanılmaktadır. Temelini, bilinen öz-ilinti (*auto-correlation*) yöntemi üzerinde yapılan birçok değişiklik ve eklemeler oluşturmaktadır. Ayrıca yapısı itibariyle farklı programlama dillerinde kolaylıkla gerçekleştirilebilmesi, hem çalgı hem de vokal kayıtlarında başarılı sonuçlar verebilmesi, hızlı ve gecikmesiz kullanılabilmesi, parametre değişiklikleri ile ince ayar yapılabilmesi bu algoritmanın tercih edilmesini sağlamıştır. Önemli dezavantajlarından biri polifonik/heterofonik kayıtlarda hata oranlarının çok yükselmesidir.

Tasarım sürecinde daha hızlı ilerleyebilmek adına YIN algoritmasının Java³ dilindeki gerçekleştirilmesi Joren Six tarafından yazılan TarsosDSP⁴ (Six, J. & Cornelis, O. 2011) adlı Java ses sinyali işleme kütüphanesinden alınmıştır. Türk makam müziği kayıtlarındaki başarı oranının artırılması için parametrelerde iyileştirmeye gidilmiştir. Verilen kaydın frekans analizinin yapılabilmesi için, kayıt 30 milisaniyelik dilimler (*buffer*) halinde algoritmaya girdi (*input*) olarak sunulmaktadır. Her dilimin temel titreşim frekansı hesaplandıktan sonra sonuçlar bir dizi (*array*) içinde tutulmakta ve kullanılmaktadır.

³ <http://www.java.com>

⁴ <http://0110.be/releases/TarsosDSP/>

3.2 PERDE DAĞILIMLARININ HESAPLANMASI

Aynı karaktere sahip birden fazla kaydın analiz edilip perde dağılımlarının hesaplanması ile o kayıt grubuna ait dizi özellikleri hakkında bilgi edinilebilir. Bir eserin seyri ve perdeleri arasındaki ilişki o makama özgü bir dağılım oluşturmaktadır. Bu yaklaşım daha önce birçok çalışmada kullanılmıştır (Şentürk ve diğ. 2013, Bozkurt 2008, Karaosmanoğlu ve Akkoç 2003, Tzanetakis ve diğ. 2003, Zeren 2003, Akkoç 2002). Örneğin, kuramsal bilgiler ve perde dağılımları birlikte kullanılarak makamlara ait şablon dağılımlar çıkartılabilmektedir. Türk makam müziğindeki makamlara ait şablonlar Bozkurt (2008)'de açıklandığı üzere *yönlendirilmiş öğrenme (supervised learning)* yöntemi ile hesaplanabilmektedir. Bozkurt (2008)'de anlatılan otomatik makam bulma ve karar perdesi belirleme uygulamaları bir kaydın perde dağılımı ile makam şablonlarının eşlenmesi yöntemine dayanmaktadır.

3.2.1 Kayıtların Histogramları

Perde histogramı, ezgi analizi sonucu elde edilen verinin (f_0 serisi) belli aralıklarla (*bin*) gruplandırılarak sayılması ve her bir gruba ait sayacın gösterilmesi olarak açıklanabilir. Daha özelden, bir eser içinde icra edilen perdelerin (notaların) sıklığını veya dağılımlarını gösteren grafiklerdir.

$$Hf_0[n] = \sum_{k=1}^K m_k \quad (3.1)$$

$$m_k = 1, \quad f_n \leq f_0[k] < f_{n+1}$$

$$m_k = 0, \quad \text{diğer}$$

Yukarıdaki denklemde yer alan f_n ve f_{n+1} , n 'yinci aralığın (*bin*) frekans sınır değerleridir.

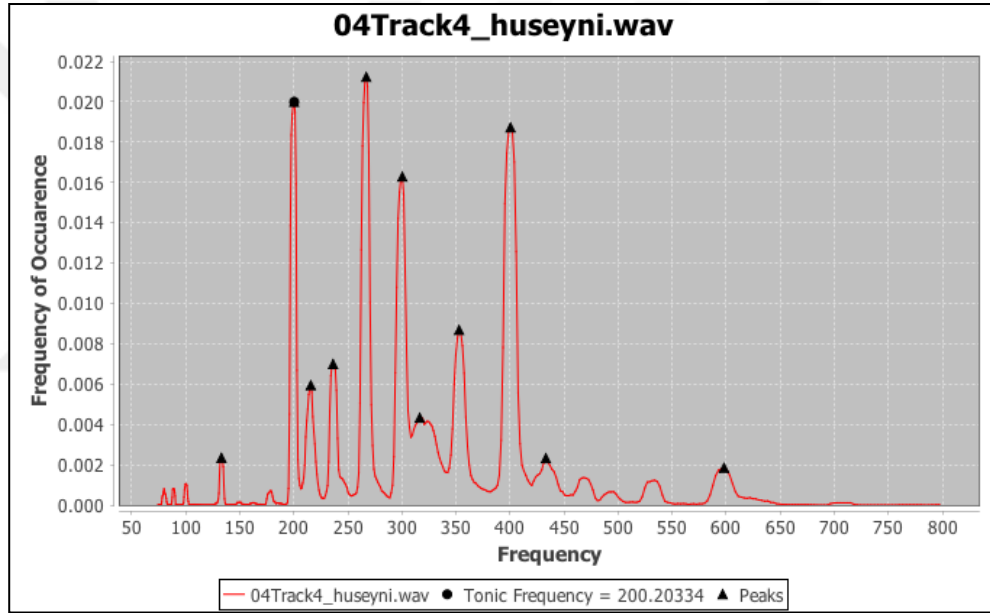
Aralık genişliğinin (*bin width*) seçimi, hesaplanan histogramın çözünürlüğünü belirlemektedir. Kuramsal perde – makam çalışmalarında ezgi analizi sonucunu sabit bir aralıkla örneklemek sıklıkla kullanılan bir yöntemdir. Aralık sayısı (N) ve f_0 değerlerinin minimum – maksimum değerleri belirlendikten sonra aralık genişliği

$$W_b = \frac{f_{0max} - f_{0min}}{N} \quad (3.2)$$

$$f_n = f_{0min} + (n - 1)W_b \quad (3.3)$$

formülleri ile hesaplanabilmektedir. Burada frekans değerleri, sent⁵ veya Holder koması⁶ gibi logaritmik değerlerden seçilmeli, bir başka ifade ile frekans uzayı logaritmik eşit parçalara ayrılmalıdır. Şekil 3.2’de, verilen formüllerle elde edilmiş perde histogramı gösterilmiştir.

Şekil 3.2: Hüseyini makamından bir eserin perde histogramı



Otomatik yapılan hesaplamalar ve analizler göz önünde bulundurulduğunda aralık genişliğini belirlemek oldukça önemli bir noktadır. Histogramlar kullanılarak yapılan otomatik analizlerde tepe noktası bulma işlemi sık kullanılan temel işlemlerden birisidir. Bu nedenle aralık genişliği belirlenirken tepe noktası bulma işlemi sonuçlarını iyileştirme hedefi göz önünde bulundurulmuştur.

⁵ Bir oktav aralığın 1200 eşit parçaya bölünmesiyle elde edilen birim.

⁶ Bir oktavın logaritmik olarak 53 eşit parçaya bölünmesiyle elde edilen (53-TET sistemde kullanılan) birim.

Yüksek çözünürlüklü (dar aralıklı) hesaplamalar doğruluk ve duyarlık için oldukça avantajlı olmaktadır. Ancak bu yöntem tepe noktası hesaplamada zorluklar doğurmakta ve çok sayıda hatalı tepe noktası oluşturmaktadır. Aynı şekilde düşük çözünürlüklü, geniş aralıklı histogramlar kullanılması da birbirine yakın perdelerin histogramda gözlenememesine, tepe noktalarının doğru oluşmamasına yol açmaktadır.

Perde histogramları, makam müziği kayıtlarında ses sistemi analizi için Gedik ve Bozkurt (2010), Bozkurt ve diğ. (2009), Bozkurt (2008) çalışmalarında kullanılmıştır. Aynı makamdan iki farklı kaydın perde histogramlarının eşleştirilip karşılaştırılması, farklı perde kullanımları olan üstatların icralarının farklarını ortaya koymakta oldukça kullanışlıdır. Ayrıca bir referans kayıt ile bir öğrencinin performansının karşılaştırılması konusunda da yararlı olabilmektedir. Araç bu sayede bir eğitim materyali olarak kullanılabilir.

Bozkurt (2008)'de anlatıldığı üzere, tepe noktası bulma yöntemi yüksek çözünürlüklü histogramlarda çok daha fazla nokta belirmesine yol açmıştır. Aynı çalışmada farklı çözünürlük değerleri ile yapılan deneyler sonucunda 1/3 Holder koması (yaklaşık 7.5 sent) çözünürlükte histogram hesaplaması yapılması uygun bulunmuştur. Bu değer perde histogramında tepelerin birbirinden ayrılmasına olanak tanımakta ve yeterli duyarlığı sağlamaktadır. Ayrıca yapılan kuramsal çalışmalarda en yüksek duyarlık değeri olarak kullanıldığı görülmüştür (Yarman 2008). Bu çalışmada hesaplanan tüm histogramlarda 1/3 Holder koması en küçük aralık birimi olarak kullanılmıştır. Bu seçim, işitmeye dair bilgilerden çok yukarıda anlatılan pratik nedenlere (tepe noktası bulma algoritmasını kolaylaştırma ve Türk müziği kuramlarında kullanılan en küçük aralıkları içerme kriterlerine) dayanmaktadır.

Yapılan çalışmalarda (Zeren 2003, Akkoç 2002, Akdoğu 1993, Arel 1968), Türk makam müziği eserlerinin perde histogramı hesaplaması 4 oktavlık bir alanda yapıldığında hem eser içinde icra edilen perde bilgilerinde kayıp olmadığı hem de hesaplamalı modellerde kullanılması için yeterli çözünürlüğün elde edildiği görülmüştür. Arel-Ezgi-Uzdilek (AEU) sistemi, tam beşli ve tam dördü aralıklarıyla ilenerek elde edilmiş olması bakımından Pisagor ve Safiyüddin sistemlerinin geliştirilmiş bir uyarlamasıdır. Yani tampere edilmiş (eşit yedirimli) bir sistem değildir. Ancak oktav 53 eşit aralığa (Holder koması) bölündüğünde elde edilen perdelerden

belirli 24 adedi bu sisteme çok yakın değerler sağlamaktadır (Karaosmanoğlu 2012). Daha önce belirtildiği gibi histogram gösteriminde 1/3 koma aralığı ve 4 oktavlık alan kullanıldığında $53 \times 3 \times 4 = 636$ noktalık histogram gösterimleri elde edilmiştir.

Tüm eserlerin histogramlarının aynı ölçüde bilgi taşımalarını sağlamak ve aşırı tiz-pes frekanstaki perdeleri (ya da hatalı sonuçları) filtrelemek için frekans analizi sonuçları basit bir işleme tabi tutulmaktadır. Bu işlemde frekans analizi sonuçları büyükten küçüğe sıralandığında orta noktadaki değer (*median*) merkez olarak seçilir, bu değer 2 oktav altında ve üstünde kalan değerler ayrıştırılır. Ayrıca 0 değerli noktalar (frekans değeri hesaplanamamış girdi dilimleri sonuçları ya da hiç icra edilmemiş perde frekansları) da hızlı ve verimli işlem yapabilmek adına ayrıştırılır. Sonrasında filtrelenmiş analiz sonuçları histogram hesaplamasında kullanılır.

Denklem 3.1, 3.2 ve 3.3'teki hesaplamaya dayanan basit bir sayma işlemi olarak adlandırılabilen histogram hesabının ardından, sonra daha sonraki aşamalarda başarılı sonuçlar vermesi için iki adımlı normalizasyon işlemi uygulanır. Bu adımlardan ilki histogram tepelerinden en büyüğünün değeri 1 olacak şekilde normalize edilmesidir. Bu işlem basit olarak, histogramdaki tüm değerlerin en yüksek tepe değerine bölünmesiyle yapılır. İkinci adım ise histogram grafiğinin altında kalan alanın (integral) değeri 1 olacak şekilde normalize edilmesidir. Bu işlem ile, *histogram* yerine *dağılım* teriminin kullanılması da mümkün hale gelir. Tüm bu işlemler uygulandığında eser histogramı hazır olmuş olur. Histogram tepe noktalarını kestirmek için yapılan işlemde en son elde edilen histogram verisi kullanılır.

3.2.2 Kuramsal Histogramlar

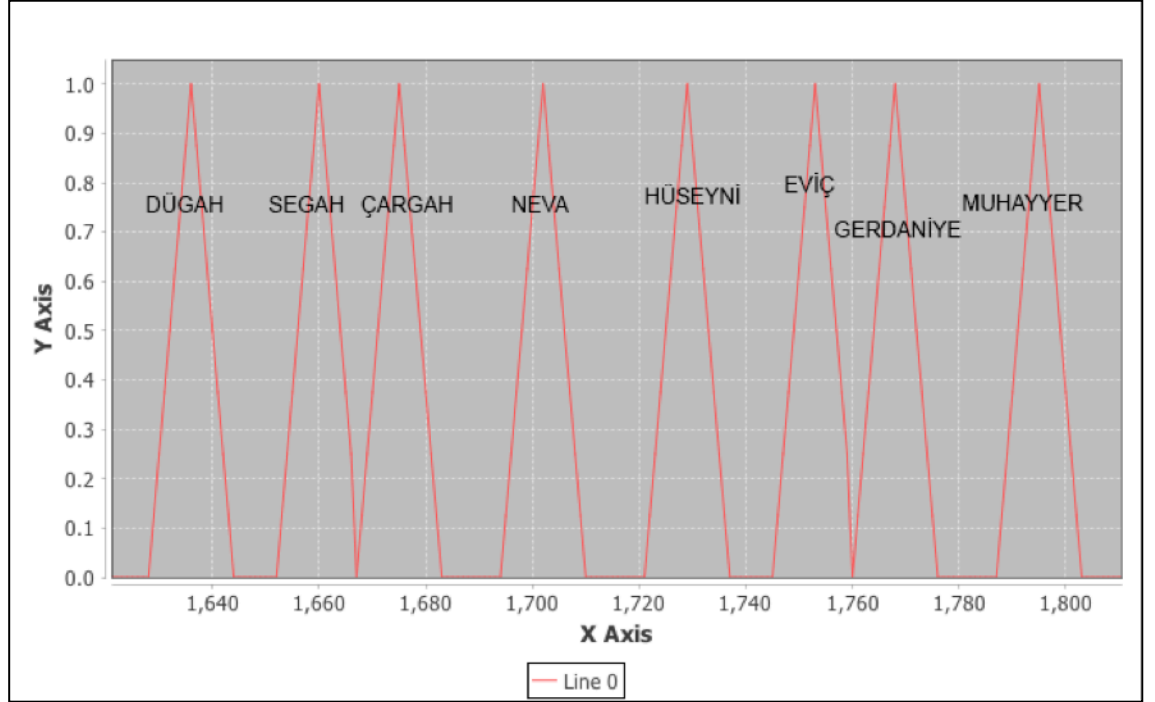
Frekans kestirimi yapılan ve perde histogramları hesaplanan eserlerin ses sistemi analizini yapmak için başlangıç olarak kuramsal histogramlara ihtiyaç duyulmaktadır. Bu histogramlar, kuramda belirtilen aralık bilgisi ile eserde icra edilen aralıklar arasında ilişki kurmak ve yorumlama yapmak için başlangıç noktasıdır.

Arel-Ezgi-Uzdilek (AEU) sisteminde her makam için Holder koması cinsinden aralık dizileri kullanılarak tüm makamlar için kuramsal şablon histogramlar oluşturulabilir. Bu histogramlar, tepe noktaları ses sistemindeki aralıklara denk gelecek şekilde

yerleştirilen üçgenlerden oluşmaktadır. Oluşturulan ilk üçgen kuramda belirtilen karar perdesi olarak atanmış ve diğer üçgenlerin tepe noktaları karar perdesine olan koma uzaklıkları ile yerleştirilmiştir. Kuramsal histogramlarda kullanılan çözünürlük de 1/3 Holder koması olarak belirlenmiştir.

Oluşturulan histogramlarda kullanılan üçgenlerin tepe noktalarına sabit değerler atanmış, her perdenin ağırlığı (görülme sıklığı) eşitlenmiştir. Bu sabit değer ise karşılaştırılacak olan kayıt histogramında bulunan maksimum tepe noktasıyla eşleştirilmiştir. Örnek olarak Hüseyni makamına ait, AEU ses sistemindeki aralıklarla oluşturulmuş kuramsal histogram Şekil 3.3'te görülmektedir.

Şekil 3.3: Hüseyni makamına ait kuramsal histogram



AEU ses sistemi, sık kullanıldığı ve eksiklerine rağmen bir çeşit 'standart sistem' olarak değerlendirildiği için seçilmiştir. Veri analizlerimizde dayanak noktası olarak kullanılmamaktadır. Kuramsal histogramlar, sadece eser histogramlarının birbirleriyle eşlenmesi (aynı *ahenk*'e çekilmesi) sırasında ilk adımda kullanılmakta, daha sonra analizlerin dışında bırakılmaktadır. Diğer ses sistemlerinin kullanımı bu projenin kapsamı dışında bırakılmakla birlikte, analiz edilen kayıtların diğer ses sistemleri ile karşılaştırılmasına olanak tanıyan araç da proje kapsamında geliştirilmiştir.

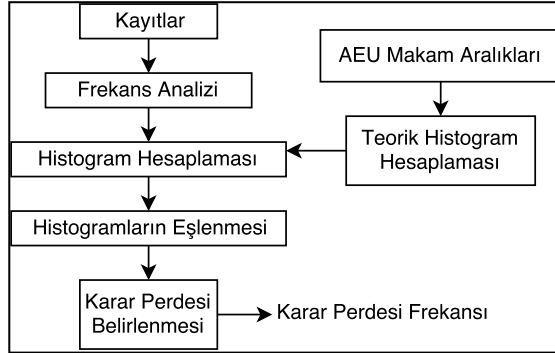
3.3 KARAR PERDESİNİN OTOMATİK KESTİRİMİ

Karar perdesi ve ahenk bilgisi, bir kayıta kullanılan perde frekansları ve aralıkların analizi için gerekli bilgiler arasındadır. Bu bilgi, akortlama için birden fazla referans noktası kullanılabilen (Ör: Mansur *ahenk* için A5=440 Hz, Bolahenk *ahenk* için D4=440 Hz) Türk makam müziği kültüründe oldukça önemlidir. Bir müzisyen, kayıt ile birlikte çalarak prova yapmak istediğinde, kayıta kullanılan ve müzisyenin sahip olduğu çalgı arasında akortlama farklılıkları sorun olabilmektedir. Bu noktada uygulanabilecek bir transpozisyon (kaydın bütününde sabit oranda perde kaydırma) işlemi çözüm olabilmektedir. Bunu yapabilmek için kaydın karar perdesi frekansının istenilen ahenkteki kuramsal değere kaydırılması gerekmektedir. Gerekli kaydırma miktarı analiz sonuçlarından elde edilmektedir.

Şekil 3.4'teki blok diyagramda gösterildiği üzere, belirli bir makama ait şablon histogram (kuramsal histogram da dahil) elde edildiğinde, otomatik karar perdesi belirleme işlemi aşağıdaki basamaklar takip edilerek yapılabilir:

- a) Kayıt histogramı, kuramsal histogram üzerinde adım adım kaydırılır ve her adımda benzerlikleri karşılaştırılır (*distance measure, d[n]*)
- b) En iyi eşleştiği nokta ve bu noktanın başlangıç noktasına uzaklığı (kaydırma miktarı) bulunur
- c) Kayıt histogramı ve kuramsal histogram bu noktadan eşlenir
- d) Kuramsal histogramdaki ilk tepe noktasının kayıt histogramında denk geldiği tepe noktası karar perdesi olarak atanır

Şekil 3.4: Otomatik karar perdesi hesaplama yöntemi (Bozkurt 2008)

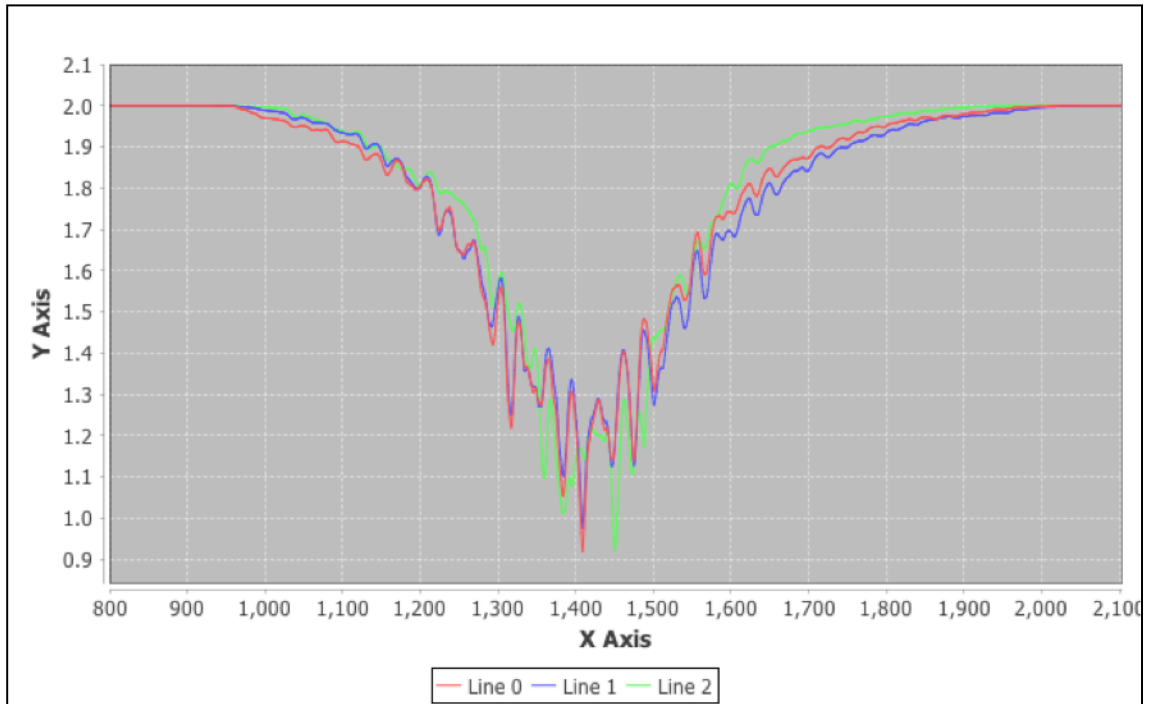


Bu çalışmada; kayıt histogramı, $x[n]$, ve kuramsal histogram, $y[n]$, fonksiyonları arasındaki uzaklık fonksiyonu, $d[n]$, aşağıdaki formülle L1-norm (City Block) yöntemi hesaplanmıştır.

$$d[n] = \frac{1}{K} \sum_{k=0}^K |x[k+n] - y[k]| \quad (3.4)$$

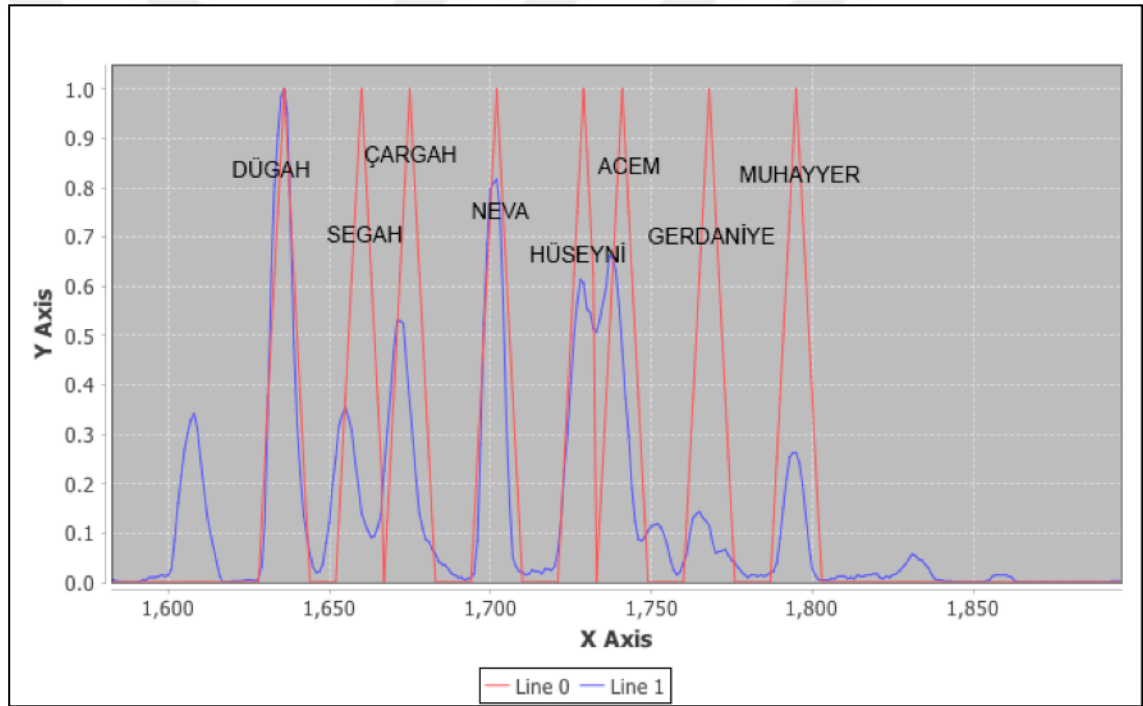
$n = \text{kaydırma miktarı}$

Şekil 3.5: Uzaklık fonksiyonu sonuçları



Şekil 3.5'te kayıt histogramı ve kuramsal histogram kullanılarak hesaplanmış 3 ayrı uzaklık fonksiyonu, $d[n]$ grafiği görülmektedir. İki histogram arasındaki en küçük uzaklık değeri maksimum eşleşmeyi yani benzerliği ifade etmektedir. Bu değerinki indisi olan n noktası da kaydırma miktarını vermektedir. Şekil 3.6'da eşlenmiş iki histogram gösterilmektedir. Açıklanan karar perdesi bulma yöntemi Bölüm 3.6'da açıklanan veri kümesi üzerinde uygulanmış, elde edilen değerler müzisyenler tarafından elle işaretlenen karar perdesi frekansı değerleri ile karşılaştırılmış ve analiz sonuçları Bölüm 4.1.1'de tartışılmıştır.

Şekil 3.6: Eser - kuramsal histogram eşleşmesi



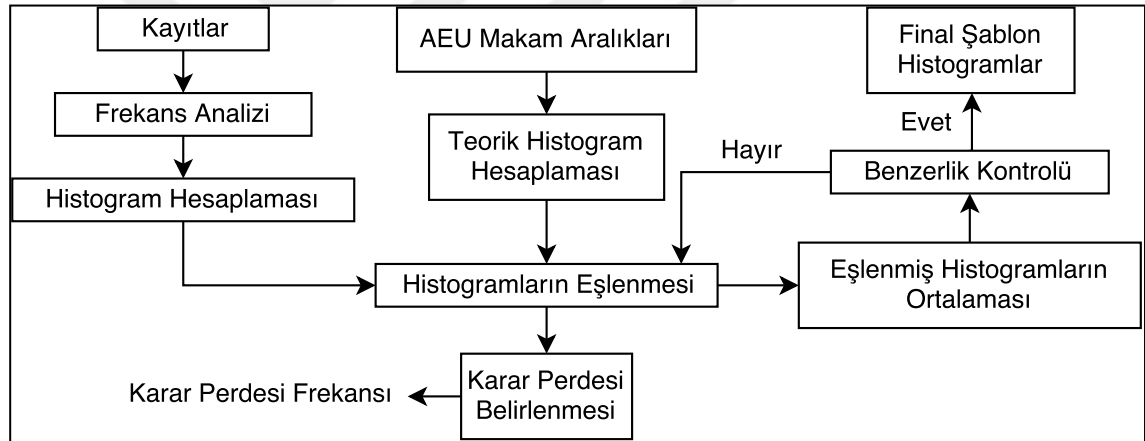
3.4 MAKAM ŞABLON HİSTOGRAMLARININ HAZIRLANMASI

Standart bir akort frekansının bulunmaması Türk müziği bilgi işleme sistemi açısından bir zorluk yaratmaktadır: farklı kayıtlardan elde edilen histogramların doğrudan birleştirilerek geniş veritabanlarının analizinin yapılması mümkün olamamaktadır. Histogramları birleştirmenin bir yolu bir referans noktasına göre histogramları

göçürmek (*transposition*) ve birleşim (toplama) işlemini daha sonra yapmaktır. Türk müziği için en uygun referans noktası karar perdesidir. Karar perdesi bilindiğinde aynı makamdan olan eserlerin histogramları rahatlıkla eşleştirilip toplanabilmektedir.

Otomatik karar perdesi bulma yöntemi ile kayıtların histogramları hesaplandıktan sonra karar perdesi frekansı belirlendiğinde; aynı makama ait kayıtların histogramları karar perdeleri üst üste gelecek şekilde hizalanıp ortalamaları alındığında o makama ait şablon histogram hesaplanmış olur. Bozkurt (2008)'de anlatıldığı üzere Türk makam müziği için 44 makama ait şablon histogramlar, yönlendirilmiş öğrenme (*supervised learning*) yöntemi ile hesaplanmıştır. Uygulanan yöntem Şekil 3.7'deki blok diyagramında gösterilmiştir.

Şekil 3.7: Makam şablon histogramlarının oluşturulması (Bozkurt 2008)



Kayıtların karar perdesi frekansları ilk olarak kuramsal histogramlar kullanılarak bulunur. Sonrasında elde edilen tüm histogramlar toplanarak ortalaması alınır ve performanslardan elde edilen ilk şablon histogram hazır olur. Elde edilen şablon kuramsal histogramdan çok farklı olacağından, döngü tekrar başlar ve bu döngü de kuramsal histogram yerine bir önceki adımda elde edilen şablon histogram karar perdesi belirleme için kullanılır. Tüm kayıtların karar perdeleri bu şablon kullanılarak tekrar hesaplanır, histogramları hizalanır ve ortalamaları alınır. Bu döngünün tekrarı, son adımda edilen şablon ile bir önceki döngüde elde edilen şablon histogramın aynı olmasına kadar devam eder. Aynı olduğu anda döngüden çıkılır ve makam şablon histogramı hesabı sona erer.

Karar perdesi frekansının yanlış bulunduğu durumlarda, kayıt histogramı yanlış yerle eşlenecektir. Bu durumda istenmeyen noktalarda aralıklar ve histogram tepeleri oluşacaktır. Söz konusu hata oranlarını en aza indirmek için yöntemin sonuna benzerlik kontrolü uygulaması eklenmiştir. Bu sayede az sayıda oluşan hatalı karar perdesi sonuçlarının etkileri en aza indirilmiş olur. Böylelikle makam şablon histogramı sırasında kullanılan hatalı karar perdesi bilgileri göz ardı edilebilmektedir.

Türk makam müziği kuramında açıklanan makam dizileri icra edilen diziler ile her zaman örtüşmeyebilmektedir. Karar perdesi belirleme, ses sistemi analizi gibi çalışmalar hesaplamalı modeller ile yapılmak istediğinde bu önemli bir problem olarak karşımıza çıkmaktadır. Performanslardan elde edilen şablon histogramlar sayesinde icra alışkanlıkları, ustaların tercihleri, zaman içerisinde aralık anlayışındaki değişimler rahatlıkla gözlenebilmektedir. Ayrıca makam kültürünün dizi özelliklerini açıklamak için çok kullanışlı bilgiler vermektedir. Örnek vermek gerekirse Uşşak makamının (karar perdesine göre) ikinci derecesi olan segah perdesi AEU sisteminde belirtilenden daha pes icra edilmiştir. Bunun gibi birçok durum müzikologlarca halen tartışılmakta, geliştirilen teknolojiler ile de sorunların ortaya konulması kolaylaştırılmaktadır.

3.5 OTOMATİK MAKAM TANIMA

Desen tanıma (*pattern recognition*) kaynaklarına (Santini ve Jain 1999, Brunelli ve Poggio 1993) bakıldığında şablon eşleme yöntemi sıklıkla kullanılan ve performansı bilinen bir yöntemdir. Temperley (2001) de çalışmasında Batı müziği tonalite kavramını araştırırken şablon eşleme yöntemini kullanmıştır. Bugüne kadar yapılan Türk makam müziği otomatik makam tanıma çalışmalarında da şablon eşleme sıkça kullanıldığı görülmektedir. Daha önce anlatılan yöntemler ile *veri güdümlü model* kullanılarak oluşturulan makam şablon histogramları otomatik makam tanıma için kullanılabilir.

Her ne kadar daha önce kısıtlı verilerden bahsedilmiş olsa da, Türk makam müziği için otomatik makam tanıma yöntemlerinden bir tanesi de sembolik veri yani notalar üzerine uygulanmıştır. Ünal ve diğerleri (2014) Türk makam müziği sembolik veritabanı olan

SymbTr⁷ kütüphanesini (Karaosmanoğlu 2012) kullanarak n-gram tabanlı istatistiksel makam tanıma yöntemi çalışması gerçekleştirmiştir. Bu çalışmada 13 popüler makam üzerine çalışılmıştır. Dizi, perde, aralıklar, inici-çıkıcı özellik, makama has ezgi cümleleri gibi her makamın kendine özgü özelliklerinin oluşturduğu n-gram dağılımlarını kullanarak makam tanıma yöntemi ortaya konmuştur.

Kalaycı ve Korukoğlu (2012), çalışmasında *K-Means* algoritması ve yapay sinir ağları kullanılarak otomatik sınıflandırma yönteminden yararlanılmıştır. Bu çalışmada, ses kayıtlarından elde edilmiş 33 adet farklı öznitelik (*features*) göz önünde bulundurularak önce *K-Means* algoritması kullanılmak suretiyle sınıflandırma yapılmış, ardından aynı öznitelik vektörünü kullanan yapay sinir ağları ile sınıflandırma gerçekleştirilmiştir. *K-Means* yönteminde genel olarak yüzde 41.7, yapay sinir ağlarında ortalama yüzde 54 başarı oranı yakalanmıştır.

Kızrak ve Bolat (2015) çalışmasında altı Türk müziği makamının derin anlama ağ yapısı ile sınıflandırılması üzerine çalışmıştır. Bu çalışmada öznitelik olarak Mel Frekans Kepstral Katsayıları (*MFCC*) kullanılmıştır. Derin Anlama Ağları (*Deep Belief Networks*) yapısı ile oluşturulan sınıflandırıcı parametreleri deney yoluyla belirlenmiş ve belirtilen altı makam için yüzde 92.7 tanıma başarısı sağlanmıştır.

Makam tanıma çalışmalarında kullanılan şablon eşleştirme yönteminde, perde histogramı tabanlı sınıflandırma uygulamalarına çok benzer olarak kaydın perde histogramı hesaplanır ve daha önce hesaplanmış olan tüm şablonlar ile karşılaştırılır. En çok benzeyen şablon, kaydın makamı olarak belirlenir. Buna karşılık, Batı müziğindeki çalışmaların aksine herhangi bir referans perde frekansı kullanılmamaktadır. Otomatik karar perdesi belirleme uygulamasındaki çok benzer bir şekilde, kayıt histogramı şablon histogramları üzerinde de 1/3 komalık adımlarla kaydırılır ve en çok benzediği nokta bulunmaya çalışılır. Tüm şablonlarla karşılaştırıldığında en küçük uzaklık değeri (*distance measure*) veya en büyük ilinti (*correlation*) değerine göre sınıflandırma yapılmış olur. Bu yöntem oldukça basit ve kullanışlı olmaktadır. Türk makam müziği veri kümesi üzerinde yapılmış olan testler, yöntemin avantajları ve dezavantajları, gelecekte yapılabilecek ilerlemeler Bölüm 4.1.2’de tartışılmıştır.

⁷ <http://www.mus2.com.tr/symbtr/>

Bu çalışmada Bozkurt (2008)'de açıklanan yöntemler kullanılarak 44 makama ait şablon histogramlar tekrar hesaplanmıştır. Bozkurt (2008)'de kullanılan frekans analizi algoritması ile bu çalışmada kullanılan algoritma kuramsal olarak aynı olsa da farklı programlama dillerinde gerçekleşmesinden dolayı sonuçlar arasında az da olsa farklar oluşmaktadır. Ayrıca histogram hesaplama sırasında kullanılan ek normalizasyon işlemleri şablonların tekrar oluşturulmasını kaçınılmaz kılmıştır. Şablonlar oluşturulurken Bozkurt (2008)'deki veri kümesi kullanılmıştır.

3.6 TEST VERİ KÜMESİ

Türk makam müziği analizi için birçok farklı türde veri kullanmak mümkündür. Bunlar kayıtlar, notalar ve bu veriler ile ilgili olabilecek tüm meta-veriler (*editorial metadata*) olarak sıralanabilir. Ne yazık ki bu bilgilerin büyük bir kısmı hesaplamalı analizler için kullanılabilir durumda değildir. Erişimlerinin kolay olmaması, gerekli kaliteye sahip olmamaları veya yeterli açıklayıcı bilgi içermemeleri, bu verilerin sözü edilen analizler için kullanımını kısıtlamaktadır. CompMusic projesi altında Türk makam müziği için derlenen kapsamlı bir kütüphane (derlem/*corpus*) bulunmaktadır (Uyar ve diğ. 2014). Bu kütüphane öncelikli olarak hesaplamalı yöntemler geliştirmek ve analizler yapabilmek için tasarlanmış ve tasarımında bazı kriterlere önem verilmiştir. Amaç, kapsam, bütünlük, kalite ve tekrar kullanılabilirlik bu kriterlerin başında gelmektedir. Bu amaçla Türk makam müziği arşivlerinden yaklaşık 6600 kayıt, 2200 bilgisayarca okunabilir nota ve 27000 *metadata* derlenmiştir. Kayıtlara ait eser, makam – usul – form, besteci, söz yazarı, icracı gibi tüm bilgiler ve bunlar arasındaki ilişkiler; sözü edilen *metadata* kümesini oluşturmaktadır. Tüm bu bilgiler MusicBrainz adlı web sitesinde tutulmaktadır. Bu çalışmanın detayları Uyar ve diğ. (2014)'te bulunabilir.

Otomatik karar perdesi frekansı hesaplama ve makam tanıma yöntemlerinin gerçekleşmesinden sonra, testlerini gerçekleştirmek için yukarıda sözü geçen Türk müziği kütüphanesinden bir test veri kümesi oluşturulmuştur. Bu veri kümesi oluşturulurken yöntemlerin kısıtlarına göre seçim yapılmıştır. Yöntemlerin doğruluğunu ölçmek için kullanılan bilgiler, daha önceden müzisyenler ve müzikologlar tarafından elle girilen notlardan (*annotations*) derlenmiş; bunlar referans bilgiler (*ground truth*) olarak belirlenmiştir.

Oluşturulan veri kümesinde 26 makamdan 255 adet MP3 formatında 44.1 kHz / 160 Kb çözünürlükte eser kaydı bulunmaktadır. Bu kayıtlar ile birlikte müzisyenler ve müzikologlar tarafından bildirilmiş karar perdesi frekansları ile makam bilgileri yer almaktadır. Perde histogramı eşleştirme yöntemine dayanan iki yöntemin birden fazla makam içeren eserlerde doğru sonuç vermeyeceği önceden bilindiği için bu kayıtlar tek makamdan oluşan eserlerden seçilmiştir. Yapılan deneyler sonucunda frekans analizi algoritması YIN'in polifonik/heterofonik kayıtlarda fazla hata yaptığı tespit edildiği için, veri kümesinde sadece solo performanslar yer almaktadır. Tablo 3.1'de veri kümesinin kapsadığı makamlar ve eser sayıları gösterilmiştir.

Tablo 3.1 Veri kümesinde eser sayıları

Makam	#					
<i>Hicaz</i>	22	<i>Nihavent</i>	14	<i>Suzinak</i>	9	<i>Müstear</i> 1
<i>Hüzzam</i>	21	<i>Hicazkar</i>	11	<i>Acemaşiran</i>	8	<i>Neveser</i> 1
<i>Rast</i>	21	<i>Saba</i>	11	<i>Bestenigar</i>	8	<i>Pençgâh</i> 1
<i>Uşşak</i>	20	<i>Sultaniyegâh</i>	11	<i>Mahur</i>	6	<i>Şehnaz</i> 1
<i>Kürdilihicazkâr</i>	18	<i>Karcığar</i>	10	<i>Ferahfeza</i>	4	<i>Suzidil</i> 1
<i>Segah</i>	18	<i>Muhayyer</i>	10	<i>Beyati</i>	3	
<i>Hüseyni</i>	14	<i>Neva</i>	10	<i>Beyatiaraban</i>	1	

Şablon histogramı oluşturulan diğer 19 makam için kriterlere uygun kayıt bulunamadığından, onlar analizlere dahil edilememiştir. Veri kümesinde kullanılan eserlerin adlarına, *MBID (MusicBrainz ID)* numaralarına, müzisyenler ve müzikologlar tarafından belirlenen makam ve karar perdesi frekansı bilgilerine, belirtilen internet sitesinden ulaşılabilmektedir. Tüm bilgiler araştırmacıların kullanımına açılmıştır.

4. BULGULAR

4.1 ANALİZ SONUÇLARI

Bölüm 3’te belirtilen ve *MakamToolBox* (Bozkurt 2008) içinde yer alan yöntemler bu çalışma için Java dilinde tekrar gerçekleştirilmiştir. Bununla birlikte, tüm analizler, araçlar ve yöntemlerin de gerçekleştirildiği Java dilinde, Eclipse yazılım geliştirme ortamında (IDE) yapılmıştır. Analiz için yazılan kodlara ve analiz sonuçlarının detaylarına belirtilen⁸ web sitesinden ulaşılabilir. Sözü geçen analizler yöntemlerin başarısını test etmekten çok, gerçeklemenin başarısını test etmektedir. O nedenle, temel olarak, hedeflenen başarı oranları önceki çalışmalardan gelmektedir. Aynı gerekçeyle yapay öğrenme basamaklarındaki detaylı analizler kapsam dışında bırakılmıştır.

Önceki çalışmalardan farklı olarak, elde edilmiş olan tüm makam şablon histogramları kullanılmıştır. 45 adet makam şablonunda herhangi bir kısıtlayama gidilmemiş ve veri kümesinde maksimum kapsam hedeflenmiştir. Bu tercihlerin otomatik makam tanıma sonuçlarına etkisi Bölüm 4.1.2’de tartışılmıştır. Otomatik karar perdesi ve makam tanıma yöntemleri için ayrı ayrı analizler yapılmıştır. Analiz sonuçları ilgili başlıklarda yorumlanmıştır.

4.1.1 Otomatik Karar Perdesi Bulma

255 kaydın her biri için şablon histogram eşleştirme yöntemi ile bulunan karar perdesi frekansı elle girilen notlar ile karşılaştırılmıştır. Bu yöntemde tüm eserlerin makam bilgisinin belli olduğu varsayılmıştır. Bu nedenle yöntemde girdi olarak kayıt ile birlikte makam bilgisi de verilmiştir. Makamlara göre ayrılmış doğru – yanlış sayıları ve toplam başarı oranı Tablo 4.1’de gösterilmiştir.

⁸ <https://github.com/miracatici/MakamBox>

Tablo 4.1 Otomatik karar perdesi belirleme analizi sonuçları

Makam	Doğru	Yanlış	Top.	Makam	Doğru	Yanlış	Top.
<i>Hicaz</i>	18	4	22	<i>Muhayyer</i>	6	4	10
<i>Hüzzam</i>	18	3	21	<i>Mahur</i>	6	0	6
<i>Segah</i>	18	0	18	<i>Hicazkar</i>	4	7	11
<i>Rast</i>	18	3	21	<i>Beyati</i>	2	1	3
<i>Uşşak</i>	17	3	20	<i>Acemaşiran</i>	1	7	8
<i>Hüseyni</i>	12	2	14	<i>Beyatiaraban</i>	1	0	1
<i>Nihavent</i>	11	3	14	<i>Pençgâh</i>	1	0	1
<i>Saba</i>	9	2	11	<i>Suzidil</i>	1	0	1
<i>Neva</i>	8	2	10	<i>Sultaniyegâh</i>	0	11	11
<i>Suzinak</i>	8	1	9	<i>Ferahfeza</i>	0	4	4
<i>Karcığar</i>	7	3	10	<i>Müstear</i>	0	1	1
<i>Bestenigar</i>	7	1	8	<i>Neveser</i>	0	1	1
<i>Kürdilihicazkâr</i>	6	12	18	<i>Şehnaz</i>	0	1	1
Genel Toplam	179	76	255				
Oran	%70,2	%29,8	%100				

Yöntem tarafından bulunan sonuçlar, belirtilen notlara göre ± 1.5 Holder koması uzaklıktaysa doğru, değilse yanlış olarak belirlenmiştir. Analiz sonuçlarına göre, hesaplanan en küçük ve en büyük uzaklık değerleri Tablo 4.2’de belirtilmiştir.

Tablo 4.2 En büyük ve en küçük sapma miktarı

	En Küçük	En Büyük
Uzaklık (Frekans Oranı)	0.98	1.02
Uzaklık (Holder Koması)	-1.36	1.48

4.1.2 Otomatik Makam Tanıma

Birbirlerine çok benzeyen veya aynı diziyi kullanan ancak ezgisel yürüyüş (seyir) bakımından farklılık gösteren makamların otomatik yolla ve perde histogramı eşleştirme yöntemi ile sınıflandırması oldukça güç bir uygulamadır. Bundan önceki çalışmalarda çoğunlukla, kullandıkları dizi açısından aralarında belirgin farklar olan makamlar tercih edilmiştir.

Aynı yada çok benzer dizileri kullanan makamların benzerlikleri de birbirine çok yakın çıkmaktadır. Makam tanıma testleri gerçekleştirilirken bugüne kadar elde edilmiş tüm verileri kullanmak adına şablon sayısında bir kısıtlama yapılmamış ve derlem (*corpus*) içinde kriterlere uyan tüm kayıtlar kullanılmıştır. Bu nedenle yapılan testler sonunda başarı oranının çok düşük olduğu gözlenmiştir. Bu yöntem için detaylı yapay öğrenme analizleri ve sonuçlarına ilgili yayından ulaşılabilmektedir.

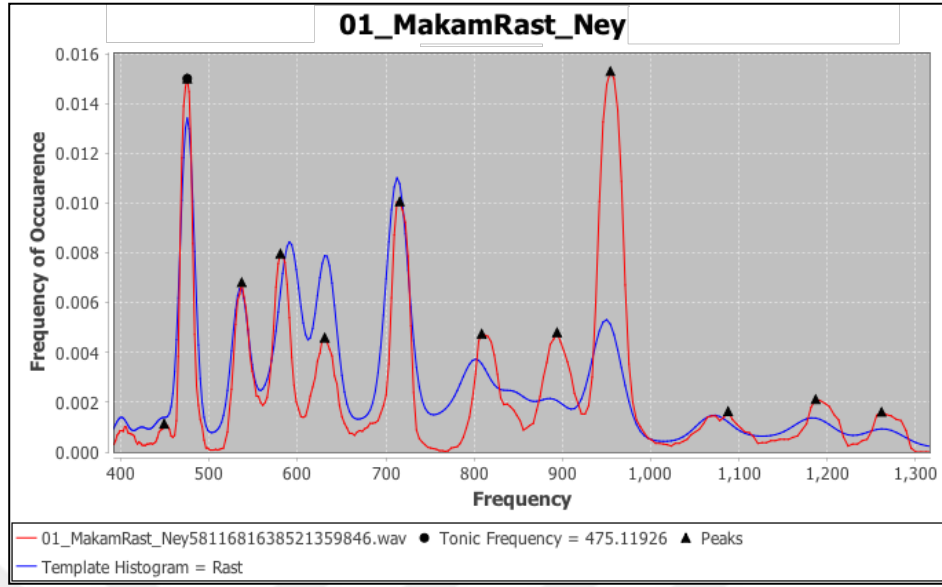
Bu çalışmadaki temel hedef yüksek başarılı bir makam tanıma gerçekleştirmesinden çok eldeki yöntemi en rahat kullanılabilir yapıya kavuşturmak olmuştur. Makam tanıma üzerinde yapılabilecek iyileştirmeler çalışma sonrasına bırakılmıştır.

Aynı yöntemin 9 adet makam (Hicaz, Rast, Segah, Kürdilihicazkar, Hüzam, Nihavend, Hüseyini, Uşşak ve Saba) üzerinde 172 adet kayıt ile yapılmış çalışmasında (Gedik ve Bozkurt 2010) farklı uzaklık ölçüm metotları, detaylı analiz (*Recall, Precision, F-Measure*) sonuçlarına ulaşılabilir. Bu çalışmada daha az sayıda makam şablonu kullanıldığından ve birbirlerine benzer makam sayısı görece daha az olduğundan başarı oranları daha yüksek çıkmaktadır.

Şekil 4.1’de, şablon histogram ve eser⁹ histogramının otomatik olarak doğru eşleştirildiği örnek gösterilmiştir. Bu şekilde, siyah top ile gösterilen nokta tespit edilen karar perdesi frekansını, üçgenler ise tepe noktalarını göstermektedir.

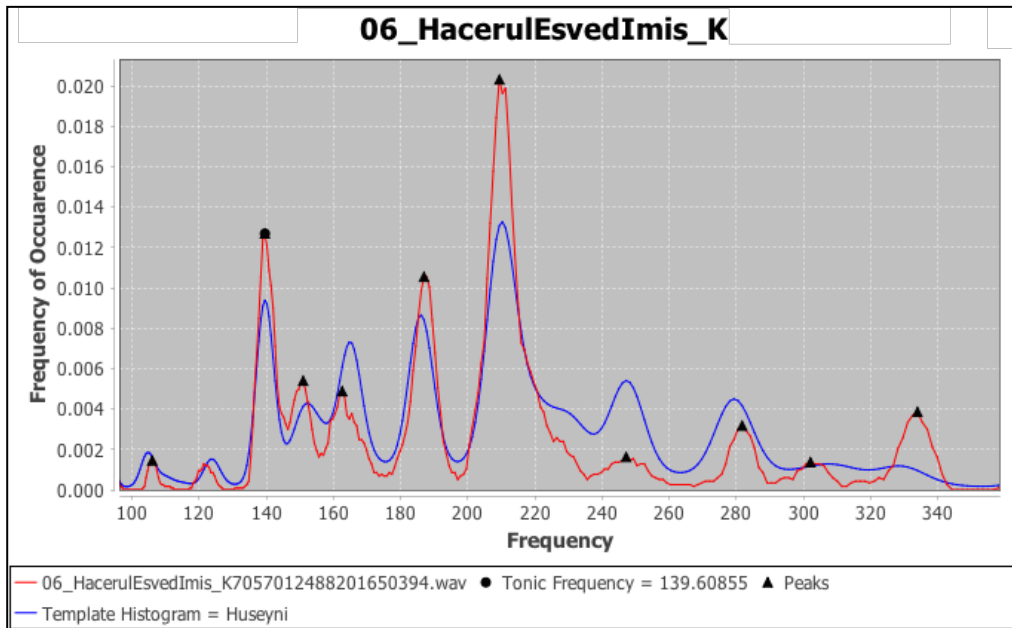
⁹ ErgunerKaracaKutbay_makam/01_MakamRast_Ney.mp3

Şekil 4.1: Otomatik olarak yapılmış doğru eşleştirme



Şekil 4.2’de yanlış şablon histogram ile eşleştirilen bir eserin¹⁰ histogramı gösterilmiştir. Daha önce de belirtilen analiz zorlukları göz önünde bulundurulduğunda bu tip hatalar kaçınılmaz olmaktadır. Bu durumlarda, analizlerin ve yapılan araştırmaların doğru ilerleyebilmesi açısından kullanıcıya bazı seçenekler sunulmuştur.

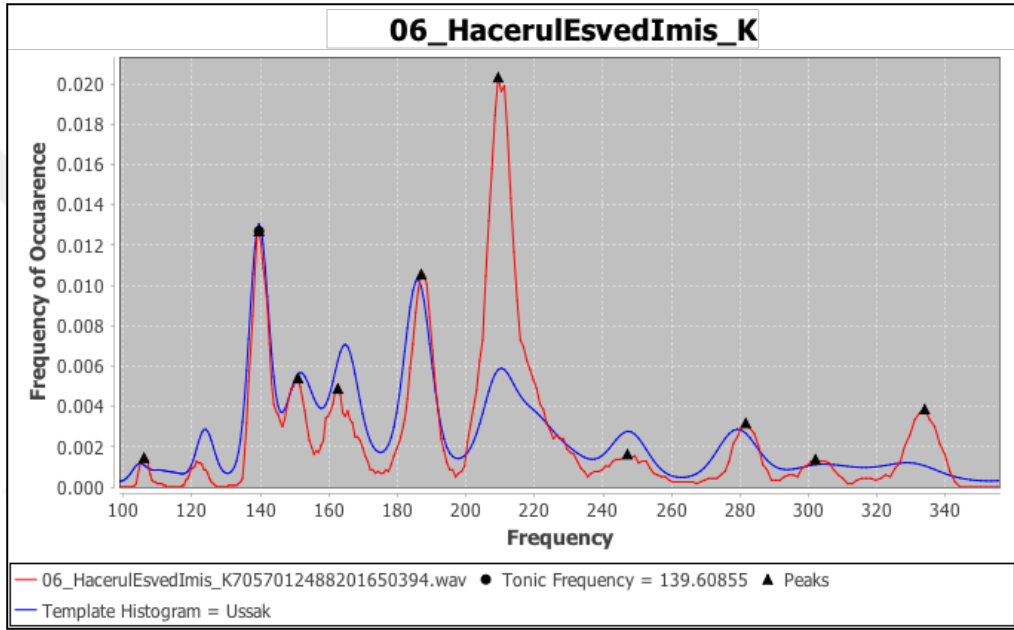
Şekil 4.2: Otomatik olarak yapılan yanlış eşleştirme



¹⁰ gazeller__vol_2/06_HacerulEsvedImis_K.mp3

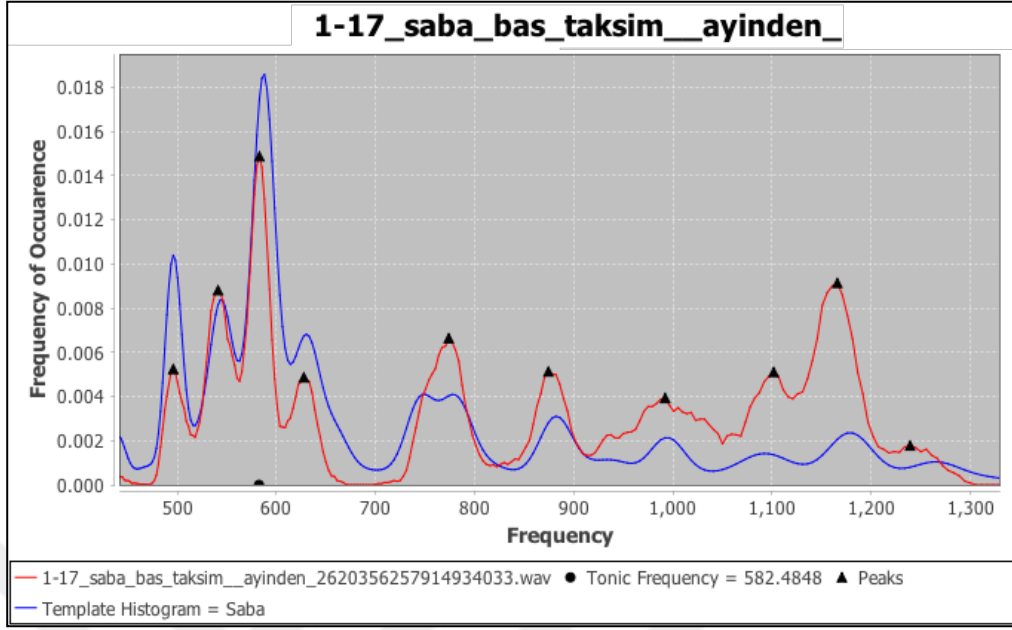
Hatalı eşleştirme yapılan durumlarda, *MusicBrainz.Org* isimli internet sitesinden eser için derlenmiş meta-verilere ulaşılarak, doğru makam bilgisi ile bu eşleştirme tekrar yapılabilmektedir. Kullanıcı, “Perde Analizi (*Tuning Analysis*)” adlı pencerede bulunan “Manuel Makam İsmi (*User Defined Makam Name*)” adlı listeden doğru makam bilgisini seçerek yeniden analiz yapabilir. Şekil 4.3’te yeniden yapılan eşleştirme sunulmuştur.

Şekil 4.3: Elle makam bilgisi girilerek yapılan eşleştirme



Ancak bazı eserlerde yeniden yapılan eşleştirme de doğru sonuç verememektedir. “Perde Analizi (*Tuning Analysis*)” penceresinde yer alan, eser histogramındaki herhangi bir tepe noktasının karar perdesi olarak kullanılmasına imkan veren araç bu problemi aşmak için tasarlanmıştır. Kullanıcı, karar perdesinin frekansını (histogram üzerindeki yerini) ya histogram üzerine tıklayarak ya da tespit edilen karar perdesi noktasına göre sent cinsinden uzaklık tanımlayarak yeni yeri belirleyebilir. Bu yolla elde edilmiş karşılaştırma Şekil 4.4’te gösterilmiştir.

Şekil 4.4: Karar perdesi frekansı elle girilen eşleştirme



4.2 TASARLANAN ARAÇLAR

Daha önce de belirtildiği gibi, geliştirilen araçlar müzisyenlerin ve müzikologların en rahat şekilde kullanabileceği şekilde tasarlanmaya çalışılmış; ek kurulum adımları gerektirmeyen çözümler seçilmeye çalışılmıştır. Yukarıda belirtilen web sitesinde geliştirilen araçların kaynak kodlarına ulaşabilmek mümkündür. Tüm kodlar GNU/GPL lisansı ile lisanslanmıştır. Gelecekteki çalışmalara basamak olması adına açık kaynak kodlu ve ücretsiz dağıtılan sistem tüm araştırmacılara açıktır.

Tamamıyla Java dilinde geliştirilen araçlarda arayüz tasarımı için, yine Java için geliştirilmiş *Swing* kütüphanesi kullanılmıştır. *Eclipse* yazılım geliştirme programında kullanılabilen eklentisi sayesinde görsel olarak tasarımlar yapılabilmekte ve kod karşılıkları otomatik olarak üretilmektedir. *What-You-See-Is-What-You-Get* (*WYSIWYG*) çalışma ilkesine dayanan bu kütüphane ve eklenti sayesinde yapılan tasarımın aynısı çıktı olarak alınabilmekte, herhangi bir yapılandırma adımına ihtiyaç duyulmamaktadır. Bu, tasarım sürecini oldukça hızlandırmış, gerekli değişiklikleri rahatlıkla yapmaya olanak tanımıştır. Kaydın dalga şekli, frekans kestirim sonuçları, perde histogramları ve histogram karşılaştırma sonuçlarını görselleştirmek için grafik

kütüphanesi olarak *JFreeChart* adlı kütüphane kullanılmıştır. Bazı matematik işlemleri, dizi (*array*) hareketleri ve dosya okuma – yazma – listeleme işlemleri için *Apache Commons*¹¹ adlı Java kütüphaneleri grubu kullanılmıştır. Frekans kestirimi ve ezgi analizi algoritması olan YIN algoritmasının Java sürümü için *TarsosDSP* kütüphanesi kullanılmıştır. Kullanılan kütüphanelerin detaylı isimleri ve erişim adresleri proje sayfasında bulunmaktadır.

4.2.1 MakamBox

Türk makam müziği için yapılan hesaplamalı çalışmaların kullanılabilirliğini arttırmak için *Makam Aracı* adlı araç Barış Bozkurt tarafından geliştirilmiştir. MATLAB¹² ortamında geliştirilen bu araç müzisyenlerin ve müzikologların kullanımına sunulmuş, konservatuarlarda ve müzikoloji bölümlerinde birçok tez çalışmasında (Ekşi 2011, Özek 2011, Tan 2011) kullanılmıştır. Bu araçta geliştirilen teknolojilerin birçoğu çalışmamızda da uygulanmıştır. Ayrıca, Türk makam müziğinin Orta Doğu, Asya ve Kuzey Afrika'daki müzik kültürleri ile benzerliği düşünüldüğünde, yapılabilecek bazı uyarlamalarla bu aracın bahsedilen kültürler üzerinde rahatlıkla kullanılabileceği ortaya konmuştur.

Makam Aracı oldukça kullanışlı olmasına rağmen tek başına çalışabilecek bir program olarak tasarlanmamıştır. Çalışabilmesi için bazı ek adımlara ve programlara (YIN (De Cheveigné ve Kawahara 2002) algoritmasının kurulması, MATLAB programı) ihtiyaç duymaktadır. Bu ihtiyaçlar kullanıcılar için engel teşkil edebilmektedir. Buna ek olarak, programın içine gömülmüş olan Türk makam müziği kuramsal bilgileri, bu aracın sadece Türk müziği ile çalışmasına olanak vermektedir.

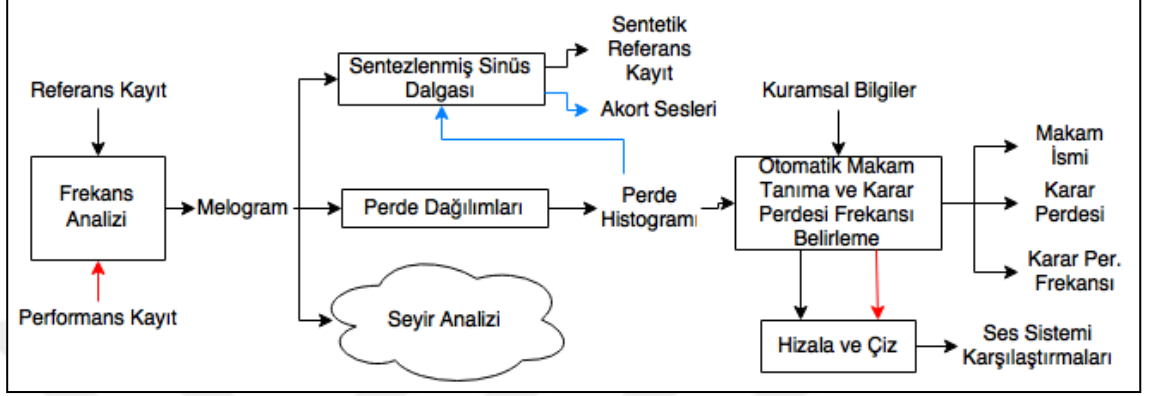
Bu sınırlamaları ve zorlukları aşmak için Makam Aracı tekrar tasarlanmış ve *MakamBox* olarak yeniden adlandırılmıştır. *MakamBox* Java programlama dili ile geliştirilmiştir. Bu sayede kullanıcılara daha kolay ulaşılması planlanmıştır. Temel amaç platformdan (Windows, Linux, Mac OS X) bağımsız, ek kurulum veya program ihtiyacı

¹¹ <https://commons.apache.org/>

¹² <http://www.mathworks.com/products/matlab/>

olmayan (Java Sanal Makinası, JVM/JRE hariç) ve tek başına çalışabilen bir araç sunmak olmuştur. Tasarlanan aracın akış diyagramını Şekil 4.5'te gösterilmiştir.

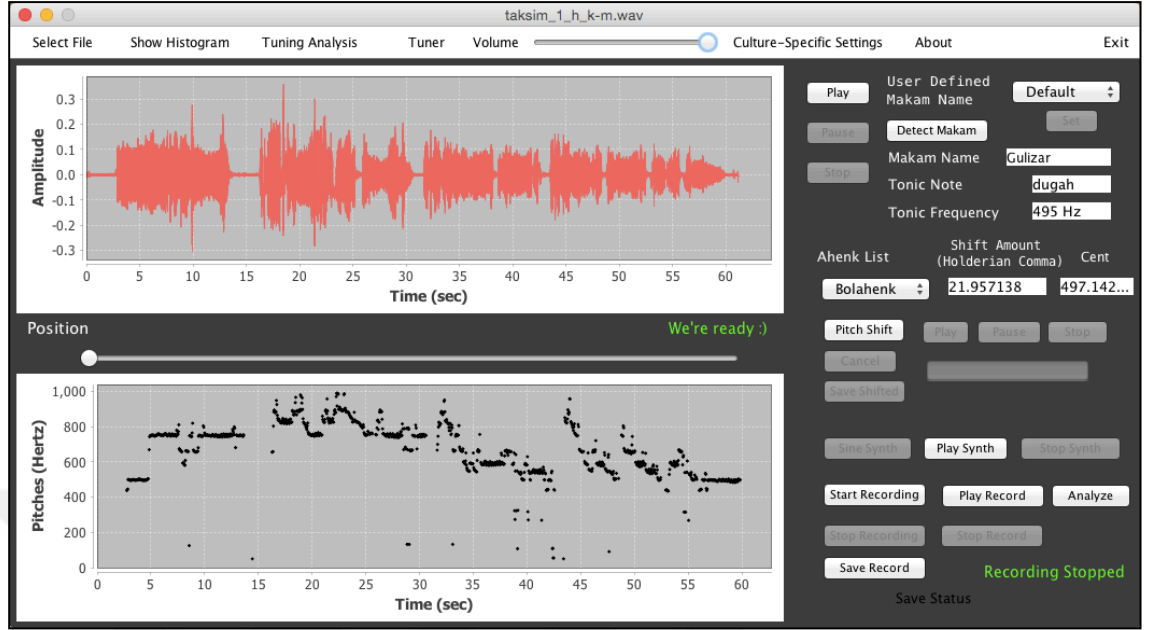
Şekil 4.5: MakamBox'ın akış diyagramı



MakamBox'ın bir diğer avantajı farklı müzik kültürlerinden eserleri de analiz edebilmesidir. Bunun için, Türk müziğine ilişkin tüm kuramsal bilgiler programın kodları içinden çıkartılmış ve kullanıcıların kültüre özgü ayar dosyalarını ekleyebilecekleri yeni bir özellik eklenmiştir. Bu ayar dosyası, yeni geliştirilen bir programla oluşturulabilmektedir. Ayar dosyaları, çalışılmak istenen müzik kültürüne ait tüm kuramsal bilgileri (nota ve makam adları, makam şablon histogramları, ahenk bilgileri vs.) barındırmaktadır. Kullanıcı elde ettiği bu bilgileri *DataTool* adlı programa girerek ayar dosyaları hazırlayabilmektedir.

MakamBox'ın ekran görüntüsü Şekil 4.6'da gösterilmiştir. Programda analiz edilen eserin dalga formu ve ezgi analizi sonuçları ana ekranda gösterilmiştir. Kullanıcı bu grafiklere yaklaşıp uzaklaşabilir, yaklaştığı bölgeyi tekrarlı çalarak dinleyebilir. Ek olarak, ezgi analizi sonuçlarından sinüs dalgaları kullanarak sentetik ses elde edebilir ve sonuçların doğruluğunu kulakla kontrol edebilir. Ayrıca frekans analizi sonucu hesaplanan perde histogramında oluşan tepe değerlerini de sentezlemede kullanabilir. Bu sesler enstrüman akortlamada referans olarak da kullanılabilir.

Şekil 4.6: MakamBox'ın ekran görüntüsü



Sağ tarafta bulunan kontrol bölümünde çal - durdur komutları, otomatik makam ve karar perdesi bulma, ahenk değiştirme (karar perdesine bağlı perde göçürme, transpozisyon), sentetik ses ile dinleme ve performans kaydetme özellikleri bulunmaktadır.

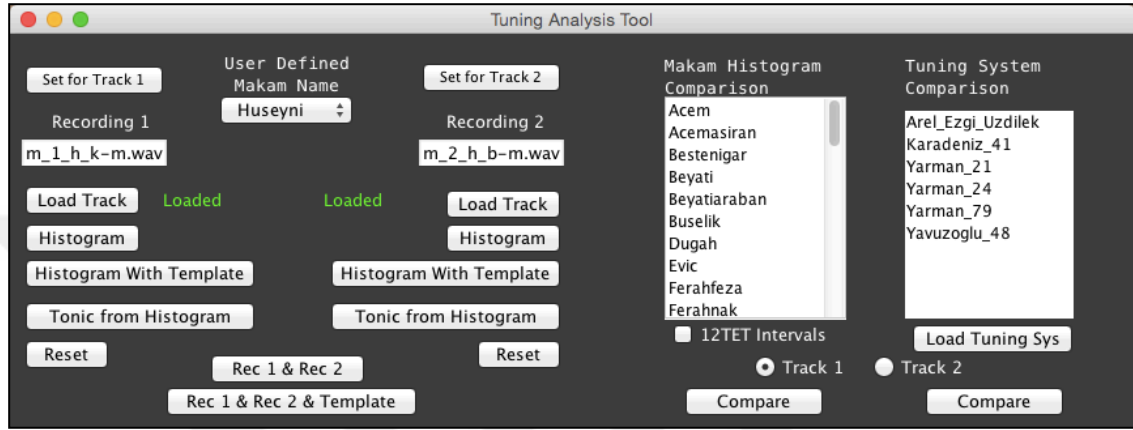
Üst menüde analiz edilecek kaydı seçme, farklı histogram gösterimleri, perde analizi penceresi, akort aracı penceresi ve ayar dosyası değiştirme komutları bulunmaktadır.

4.2.2 Perde Analiz Aracı

Türk müziği kuramı genellikle sözel açıklamalardan oluşur. Makamlar dizi özelliklerine ek olarak bu dizinin nasıl icra edildiğini tanımlayan ezgisel kurallar da içermektedir. Bununla birlikte makam müziği eğitimleri meşk sistemi ile ilerlemektedir. Meşk sisteminde öğrenci üstat ile birebir çalışmakta, üstadın anlattıklarını tekrar etmekte ve yönlendirmelerine uymaktadır. Bu olgular birleştiğinde kuram ile icra arasında belirli bir düzeyde de olsa örtüşmeme sorunları doğmaktadır ve kuram geliştirmekte olan bir çalışma alanı olarak kabul edilmektedir.

Daha önce de bahsedildiği gibi, otomatik analizlerde Türk makam müziği kuramından yeterince yararlanılmadığından ses kayıtlarının karşılaştırmalı analizlerini yapmak için geliştirilmeye başlanan Perde Analiz Aracı, önceki bölümlerde anlatılan, kayıt analiz yöntemlerini kullanmaktadır. Aracın ekran görüntüsü Şekil 4.7’de gösterilmektedir.

Şekil 4.7: Perde Analiz Aracı'nın ekran görüntüsü

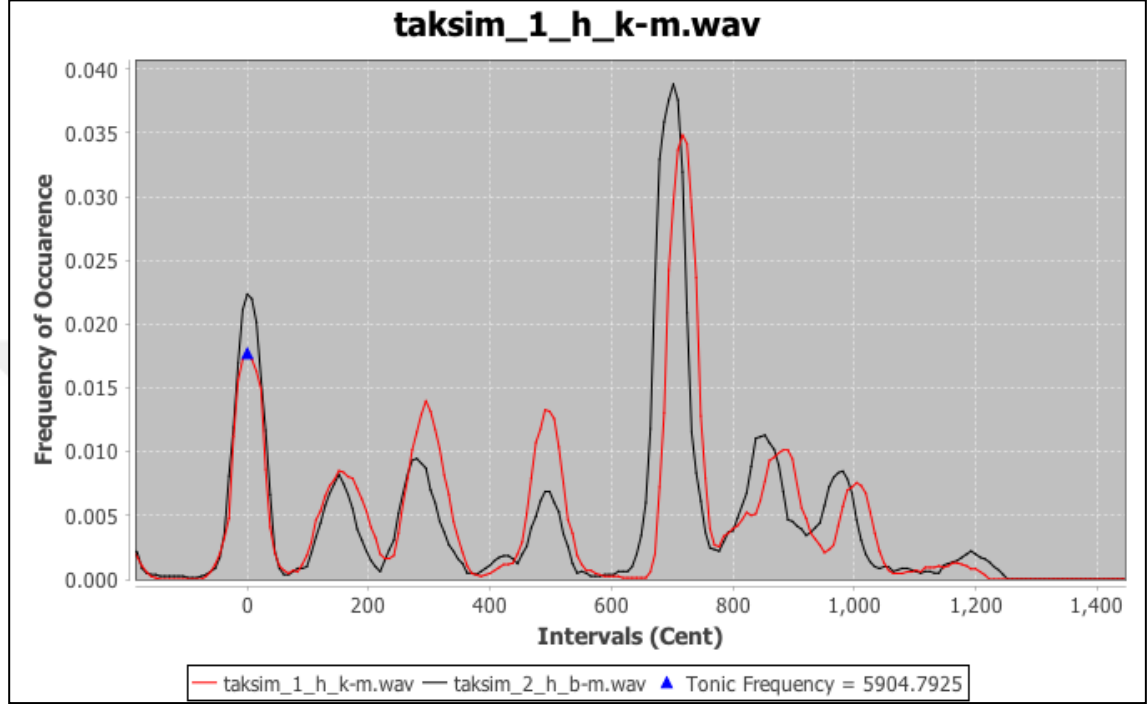


Bu araçta, 2 kayıt ayrı ayrı analiz edildikten sonra, hesaplanan histogramlar karar perdesi noktalarından eşlenerek üst üste çizdirilir. Bu yöntem, aynı eser farklı üstatlar tarafından icra edildiğinde tercih edilen müzikal aralıkları sade bir şekilde ortaya koymaktadır. Buna ek olarak, aynı üstadın aynı makamdan eserlerde aralıkları değiştirebildiğini açıklamada yardımcı olmaktadır. Analiz sonuçlarında bahsedilen hatalı hesaplama durumlarında, yapılan araştırmanın sağlıklı bir şekilde devam edebilmesi için kullanıcıya bazı imkanlar sunulmuştur. Örneğin eserin makamı yanlış tespit edildiğinde kullanıcı doğru makamı listeden seçim yaparak atayabilmektedir. Bu durumda dahi karar perdesi frekansı hatalı hesaplanabilmektedir. Bu durumda da hesaplanan histogram üzerindeki herhangi bir noktayı (tepe değerleri olmayabilir) karar perdesi frekansı olarak atayabilmekte ve karşılaştırmaları yorumlamaya devam edebilmektedir.

Örneğin, aynı icracının aynı makam üzerinde yaptığı iki farklı ney taksimi analiz edildiğinde bazı perdelerin frekanslarının birbirlerine göre farklılaştığı kolaylıkla gözlemlenebilmektedir. Şekil 4.8’de Huseyni makamında Emre Pınarbaşı’ya ait iki ney

taksiminin analiz sonuçlarının karşılaştırılması gösterilmiştir. Neylerden biri Kız (k), diğeri Bolahenk (b) ahenktedir.

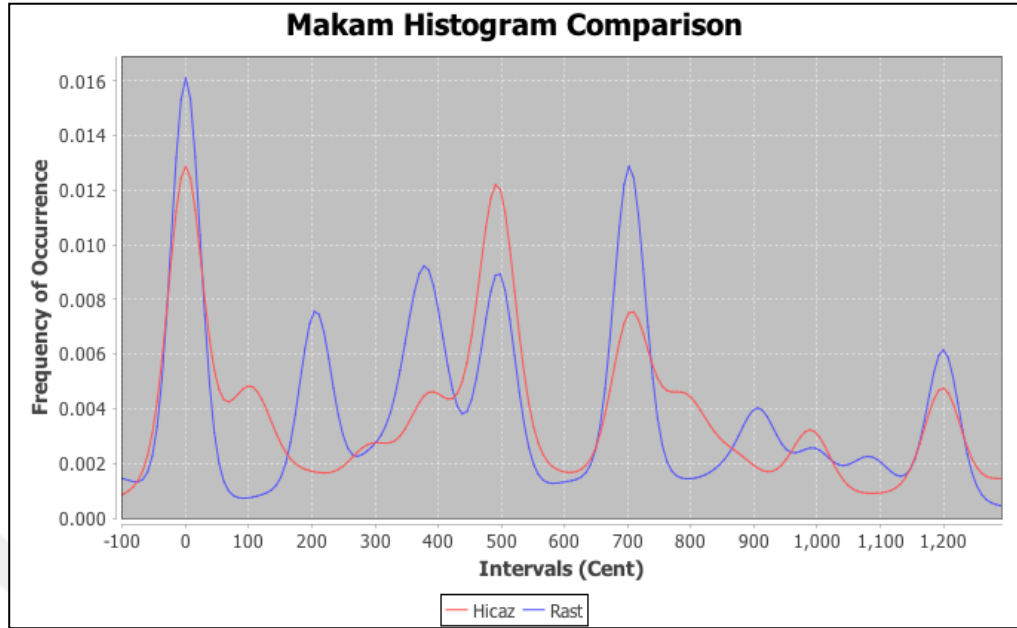
Şekil 4.8: Aynı makamdan iki taksim karşılaştırılması



Şekil 4.8’de görüldüğü gibi icracı aynı makamda taksim yapmasına rağmen kişisel tercihlerine ve alışkanlıklarına bağlı olarak perdeler arasındaki mesafeleri değiştirebilmektedir.

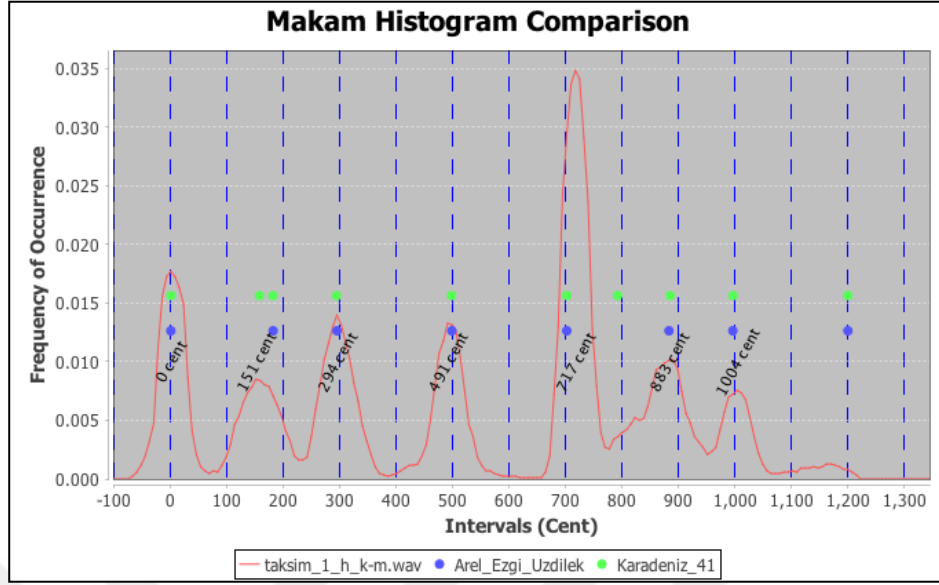
Bunlara ek olarak, kayıtlardan elde edilmiş şablon histogramlar da bu araç üzerinde karşılaştırılabilmektedir. Makam adlarının bulunduğu listeden seçilecek birden fazla makam şablonu yine karar perdeleri üst üste gelecek şekilde çizdirilir. Bu sayede hangi makamların benzer dizileri kullandığı ve hangi perdelerin sıklıkla icra edildiği kolaylıkla gözlemlenebilir. Şekil 4.9’da Hicaz ve Rast makamlarına ait şablon histogramların karşılaştırılması gösterilmiştir.

Şekil 4.9: Farklı makamların şablon histogramlarının karşılaştırılması



Türk makam müziği ses sistemleri konusu, halen çalışılmakta olan bir alan olduğundan, bugüne kadar önerilen veya kullanılan ses sistemlerinin birbirleriyle karşılaştırılması oldukça yararlı olmaktadır. Perde histogramı hesaplanan kayıdın karar perdesi 0 noktasına gelecek şekilde çizdirilip ait olduğu makamın kuramsal aralıkları grafik üzerine çizdirilerek yorumlanabilir. Aynı şekilde birden fazla ses sistemi seçilerek bir makamın dizi özelliklerinin farklı ses sistemlerinde nasıl tanımlandığı gösterilebilir. İstenildiğinde kayıt histogramı yerine şablon histogram kullanılarak icra – kuram uyumsuzluğunun hangi perdelerde gözlemlendiği, yaygın tercihler düzeyinde incelenebilmektedir. Şekil 4.10’da Hüseyini makamından bir ney taksiminin AEU ve Ekrem Karadeniz’in 41 perde içeren ses sistemleri ile karşılaştırılması gösterilmiştir.

Şekil 4.10: Bir eserin farklı ses sistemleri ile karşılaştırılması

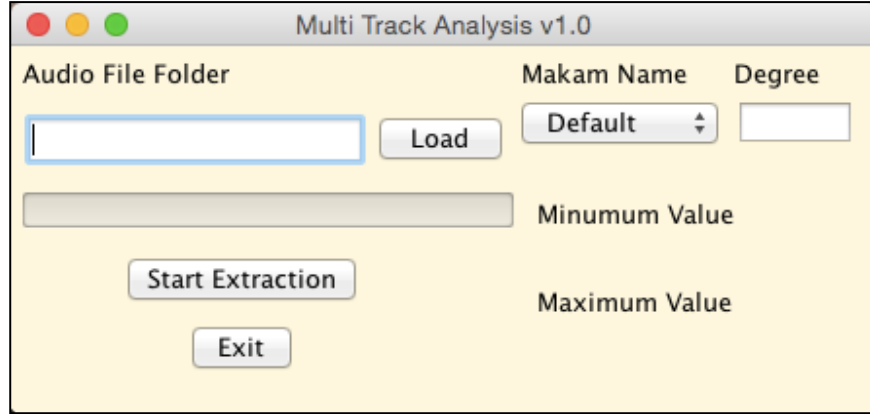


4.2.3 Karşılaştırmalı Perde - Derece Analizi

Türk makam müziği geleneğinin sözel içeriklere dayanması, üretilen eserlerin coğrafi bölgelere ve üreten üstatlara göre göz ardı edilemeyecek farklılıklar barındırmasına yol açar. Bu farklılıkları nota düzeyinde araştırmak ise çok detaylı sonuçlar vermektedir.

Son zamanlarda, aynı makama, aynı üstada ya da aynı esere ait bir grup kaydın ortak analizi bu araştırmalar için sıklıkla başvurulan yöntem olmuştur. Tasarlanan araçta, daha önce açıklanan yöntemler rahatlıkla kullanılabilmiştir. Kullanıcı analiz etmek istediği bir grup kaydın bilgisayar üzerinde bulunduğu yolu (adres, *path*) ve elde etmek istediği dizi derecesini (karar perdesine göre belirlenen uzaklıktaki perde, n'yinci perde) belirleyerek analize başlayabilmektedir.

Şekil 4.11: Karşılaştırmalı perde analizi aracı ekran görüntüsü



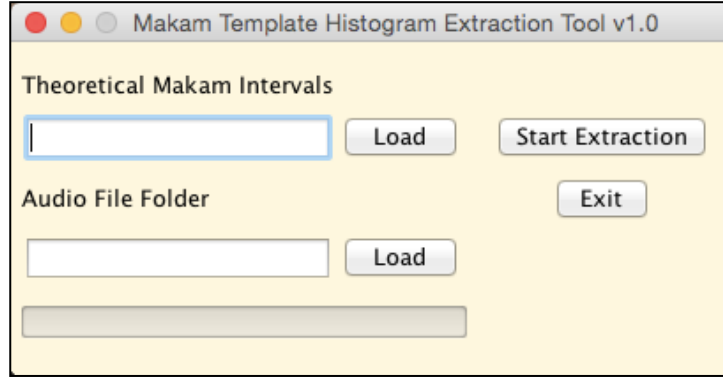
Belirlenen klasördeki (*folder*) kayıtlar tek tek analiz edilip perde histogramları hesaplanmaktadır. Belirlenen kayıtlar *wav* ya da *mp3* formatında olmak zorundadır. Kullanıcı bu kayıtların makamını elle belirleyebilmektedir. Daha sonra kullanıcı tarafından belirlenen derece gerekli alana girilir ve işlemlerin başlaması için “*Start Extraction*” butonuna basılır. İstenilen derece histogram üzerinde otomatik olarak bulunur ve bu perdenin karar perdesine olan uzaklığı sent veya Holder koması cinsinden hesaplanır. Son basamakta bu değerlerden en büyük ve en küçük değerli olanlar ekrana yazdırılır. Bu sayede belirli bir grup kayıta, belirlenen derecenin hangi aralıklarla icra edildiği görülebilmektedir. Araç penceresinde bulunan ilerleme çubuğundan süreç takip edilebilir. Tasarlanan aracın ekran görüntüsü Şekil 4.11’de gösterilmiştir.

4.2.4 Şablon Histogram Hesaplama Aracı (Template Extractor)

MakamBox’ın farklı kültürler üzerindeki araştırmalarda kullanımını kolaylaştırmak ve yaygınlaştırmak için; otomatik karar perdesi belirleme ve makam sınıflandırma yöntemlerinin temelini oluşturan ve icralardan elde edilmiş makam şablon histogramlarını oluşturma aracı kullanıcılara sunulmuştur. Bu sayede, kültüre özgü ayar dosyası oluşturma özgürlüğü kullanıcılara bırakılmıştır.

Bölüm 3.4’te açıklanan şablon oluşturma yöntemi bu aracın arka planında çalışmaktadır. Aracın ekran görüntüsü Şekil 4.12’de verilmiştir.

Şekil 4.12: Şablon histogram hesaplama aracının ekran görüntüsü



Yöntemin uygulanabilmesi için gereken girdilerin bilgisayardaki yerleri gösterildikten sonra tüm basamaklar otomatik yapılmakta ve en sonda elde edilen şablon histogramlar kayıtların bulunduğu klasörde “*Templates*” adlı bir klasör içinde tutulmaktadır. İlk olarak, seçilen ses sisteminde tanımlanmış her makamın içerdiği notaların aralık değerleri koma cinsinden belirlenerek bir metin dosyasına yazılır. Bu dosya hazırlanırken önce makam adı ilk harfi büyük diğer harfleri küçük olacak şekilde, sonrasında her aralık 1 sekme (*tab*) karakteri boşluk bırakılmak suretiyle yazılır. Yazılan sayılar aralıkların koma cinsinden değerlerini belirtmektedir. Çalışmada kullanılan ve AEU ses sistemi için hazırlanmış kuramsal aralık bilgileri dosyasından bir örnek Şekil 4.13’te verilmiştir.

Şekil 4.13: Örnek kuramsal makam aralıkları

	A	B	C	D	E	F	G	H
1	Hicazkar	5	17	22	31	36	48	53
2	Huseyni	8	13	22	31	39	44	53
3	Huzzam	5	14	19	31	36	49	53
4	Irak	5	14	22	27	36	45	53
5	Isfahan	8	13	22	31	35	44	53
6	Karcigar	8	13	22	27	39	44	53
7	Kurdi	4	13	22	31	35	44	53
8	Kurdilihicazk	4	13	22	31	35	44	53
9	Mahur	9	18	22	31	40	49	53
10	Muhayyer	8	13	22	31	39	44	53
11	Mustear	9	14	22	31	36	49	53
12	Neva	8	13	22	31	39	44	53

Ardından kayıtların bulunduğu klasör seçilir ve hesaplama işlemi için “*Start Extraction*” tuşuna basılır. Araç penceresinde bulunan ilerleme çubuğundan süreç izlenebilir.

4.2.5 DataTool

DataTool, *MakamBox* aracının ihtiyaç duyduğu ayar dosyasını oluşturmak için geliştirilmiş bir yazılımdır. Ayar dosyası oluşturulurken *DataTool* üç ana başlıkta toplanmış olan, istenilen müzik kültürüne özgü müzik kuramı bilgilerine ihtiyaç duymaktadır. Bunlardan ilki geleneksel müzik kuramında perde (nota) bilgileridir. Bu bölümde kullanıcı kullanmak istediği notaların adlarını ve ilk notaya göre hesaplanmış frekans oranlarını belirleyebilmektedir. Batı müziğinden örnek verilecek olursa, kuramda belirlenen La4 (A4) notası başlangıç kabul edildiğinde frekans oranı 1.0, bir oktav tizdeki La 5 (A5) notasının frekans oranı 2.0 olmaktadır. Bu bilgiler, ses sistemi analizi başlangıcında referans bilgi olarak kullanılmaktadır. 12 ton eşit yedirilmiş (12-TET) batı müziği kuramındaki nota adları ve frekans oranları ile Türk makam müziğinde kullanılan, AEU sisteminde (Arel, 1968) tanımlanan perde adları ve frekans oranları Tablo 4.1’de gösterilmiştir. Yazılımdaki ‘*Note Tab*’ sekmesinde girilen bu bilgiler yine aynı sekmede bulunan ‘*Save to File*’ tuşu ile bir düzyazı dosyasına (*text file*) kaydedilmektedir. Kullanıcı bu dosyanın adını kendi belirleyebilmekte ve daha sonra tekrar kullanabilmektedir. Ekran görüntüsü Şekil 4.4’te gösterilmiştir.

İkinci bölüm ‘*Ahenk Settings*’ yani Ahenk Ayarlarıdır. Kullanıcı bu bölümde istenilen müzik kuramında kullanılan akort sistemlerinin adlarını, referans notalarını ve o notalara ait frekans bilgilerini girebilmektedir. Bu bilgiler perde göçürme işlemi gerektiğinde başlangıç noktası olarak kullanılabilir. ‘*Ahenk Settings*’ sekmesinde bulunan ‘*Save to File*’ tuşu ile bu bilgiler bir dosyaya yazılmaktadır. Kullanıcı bu bilgileri daha sonra değiştirebilir, tekrar kullanabilir. Ekran görüntüsü Şekil 4.10’da gösterilmiştir.

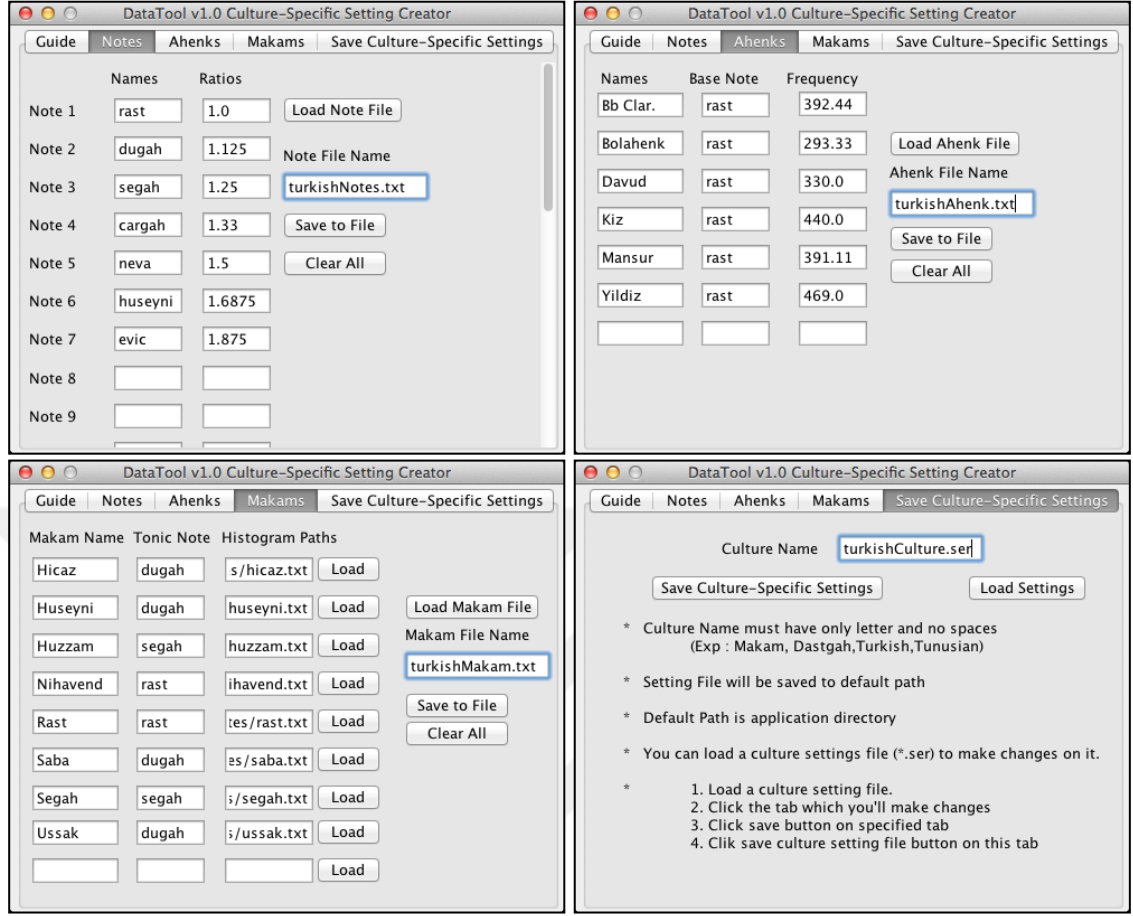
Tablo 4.3: 12TET ile TMM için nota adları ve AEU kuramına göre frekans oranları

12-TET Notaları	Frekans Oranları	TMM Notaları	Frekans Oranları
C	1.0000	Rast	1.0000
D	1.1225	Dügah	1.1250
E	1.2599	Segah	1.2500
F	1.3348	Çargah	1.3333
G	1.4983	Neva	1.5000
A	1.6818	Hüseyni	1.6875
B	1.8877	Eviç	1.8750
C (oktav)	2.0000	Gerdaniye	2.0000

Üçüncü bölüm ‘*Makam Settings*’ olarak adlandırılmıştır. Her makama ait makam adı, karar perdesi adı ve şablon histogramı bilgileri bu bölümde girilmektedir. Şablon histogramlar daha önce de açıklanan yöntemle elde edilip bir dosya içerisinde tutulabilmektedir. Kullanıcı makama ait şablon dosyasının bilgisayarda bulunduğu konumu göstermek zorundadır. Ahenk değiştirme işleminde de kullanılan karar perdesi adı, kaydırma miktarını belirlemek için kullanılmaktadır. ‘*Save to File*’ tuşu makam adı, karar perdesi adı ve histogram dosyasının bulunduğu konumu bir dosyaya yazmaktadır. Kullanıcı bu bilgileri daha sonra değiştirebilmektedir. Ekran görüntüsü Şekil 4.14’te gösterilmiştir.

Tüm bu işlemler sonunda girilen bütün bilgiler, adını kullanıcının belirleyebildiği bir Java SER dosyasına yazılmaktadır. ‘*Save Culture-Specific Settings*’ tuşu bu dosyayı oluşturmaktadır. Bu dosya *MakamBox* yazılımının kültüre özgü özelliklerini istenilen müzik geleneğine uyarlamaktadır. Bu sekmede, daha önceden hazırlanmış bir ayar dosyasının geri çağırılması (yüklenmesi) da mümkündür. Bu şekilde, üretilmiş dosya üzerinde değişiklik yapmak da mümkün olmaktadır. Ekran görüntüsü Şekil 4.14’te gösterilmiştir.

Şekil 4.14: DataTool programının ekran görüntüleri



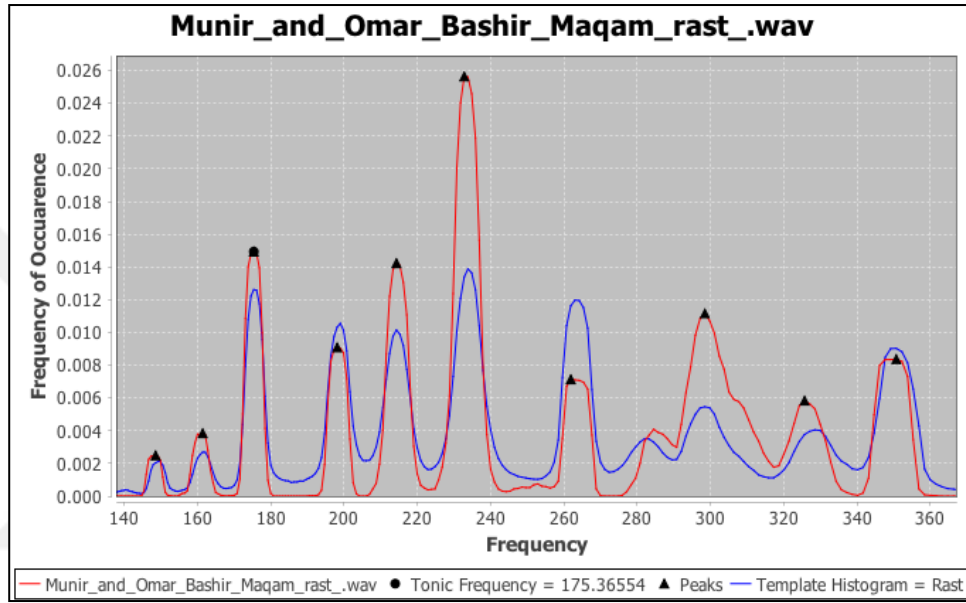
Tez çalışması kapsamında örnek amaçlı olarak Arap makam kültürüne ait kuramsal ayar dosyası da oluşturulmuştur. Kapsamı oldukça dar olan bu ayar dosyasının amacı, geliştirilen yazılımların beklendiği gibi farklı kültürler üzerinde de rahatlıkla uygulanabilir olduğunu göstermektir.

Bu amaçla, Munir ve Omar Bashir'e ait Rast ve Nahawand makamlarından taksimler video paylaşım sitesi YouTube üzerinden derlenmiştir. Aynı zamanda Maqam World¹³ internet sitesinde bulunan ve makamlar için örnek olarak verilmiş ses kayıtları da veri kümesine dahil edilmiştir. Bu noktadan sonra işleyiş Türk makam müziği ayar dosyasını oluşturma basamakları ile birebir aynıdır. Şablon histogramlar çıkartıldıktan sonra yine aynı siteden makamların kuramsal aralıklarına ve bazı notaların frekans oranlarına

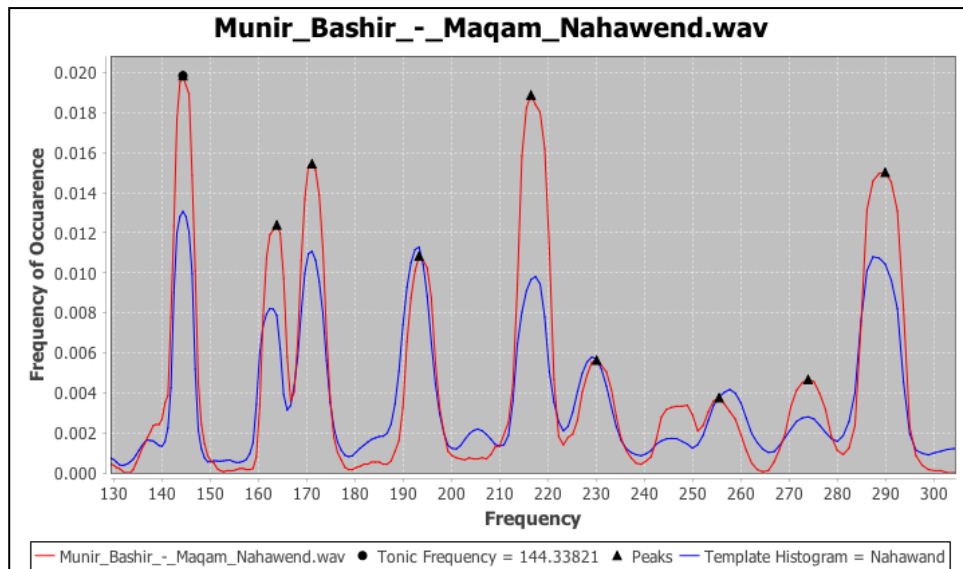
¹³ <http://www.maqamworld.com/>

erişilmiştir. Tüm bu bilgiler *DataTool* programında bir araya getirilerek test amaçlı Arap ayar dosyası oluşturulmuştur. Bu dosyaya programın web sitesinden erişilebilmektedir. Aynı zamanda *MakamBox* programının içinde kullanıcılara sunulmaktadır. Şekil 4.15 ve Şekil 4.16’da iki farklı eser için yapılan karşılaştırmalar sunulmuştur.

Şekil 4.15: Munir & Omar Bashir'e ait icra analizi (Rast)



Şekil 4.16: Munir Bashir'e ait icra analizi (Nahawend)



5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Bu tez çalışmasında otomatik karar perdesi bulma, otomatik makam tanıma, ses sistemi analizi ve karşılaştırmalı perde analizi yapabilen; müzikoloji araştırmalarında ve müzik eğitimi süreçlerinde kullanılabilir bilgisayar yazılımları geliştirilmiştir. Daha önce yapılan çalışmalara dayanan altyapısı, farklı makam müziği kültürleri üzerinde de çalışılabilir hale getirilmiş, Türk makam müziği için kapsamlı bir kuramsal bilgi dosyası ve Arap makam müziği için kavram kanıtı niteliği taşıyan örnek bilgi dosyası oluşturulmuştur.

Java ortamında geliştirilen *MakamBox* adlı program ve bu programın ihtiyaç duyduğu kuramsal bilgileri derlemeye yardımcı olan *DataTool* adlı program tez çalışmasının ana çıktıları oluşturmaktadır. Bununla birlikte kullanıcılardan gelen öneriler ve ihtiyaçlar doğrultusunda geliştirilen yardımcı araçlar *MakamBox* programının bir parçası haline getirilmiştir. Bu sayede, kullanıma hazır paket bir program haline almıştır. Çalışmanın ana hedeflerinden biri olan kurulum gerektirmeyen ve her platformda çalışabilecek bir yazılım tasarımı, yine bu çalışma kapsamında başarı ile gerçekleştirilmiştir.

Programda bulunan kayıt imkanı ile kullanıcı kendi performansını kaydederek sunulan analiz yöntemlerini kullanabilmekte, referans olarak vereceği eserle karşılaştırma yapabilmektedir. Ayrıca referans eserin istediği bölümlerini tekrara alarak dinleyebilmekte, seçtiği kısımdaki frekans tahmini sonuçlarını detaylıca görebilmektedir. Tüm bunlar, bilgisayar ile eser çalışmak / prova etmek isteyen kullanıcılar için faydalı bilgiler sunmakta ve eğitim sürecine olumlu katkılarda bulunmaktadır.

Gelecekteki çalışmaların en başında, kullanılan frekans kestirimi algoritmasının iyileştirilmesi yer almaktadır. Literatürde güncel olan ve sıklıkla kullanılan, polifonik kayıtlarla daha başarılı sonuçlar veren algoritmaların kullanılması, analizlerin başarısını doğrudan etkileyecektir. Bunun yanı sıra, Türk makam müziğinde oldukça önemli bir yere sahip olan seyir bilgisinin analizlere eklenmesi de hedeflenmektedir. Histogram

eşleştirme yönteminin dışında olan makam tanıma ve karar perdesi frekansı kestirimi yöntemleri de eklenerek çok daha kapsamlı ve daha başarılı analizler yapılabilecektir.

5.1 KULLANICI YORUMLARI

Samsun Ondokuz Mayıs Üniversitesi Devlet Konservatuvarı Müzikoloji bölümü öğretim görevlilerinden Emre Pınarbaşı, doktora tezi kapsamında gerekli analizler için *MakamBox* yazılımını kullanmış ve görüşlerini aşağıda aktarmıştır:

Türk müziği ses sistemi teorik olarak genel hatlarıyla oluşturulmuş olsa da uygulama ile farklılıklar ortaya koymaktadır. Tampere sistemde piyanonun teoriye göre standardize olmuş olması diğer çalgıların icrasını kendi ekseninde standart hale getirmiş ve teori ile ilgili problemler ortadan kalkmıştır. Türk müziğinde ise teoriye göre standardize edilmiş bir çalgısı olmaması sebebiyle çalgıların kendi aralarında hatta aynı çalgının farklı icracıları arasında bir uygulama farklılığı durumu ortaya çıkmaktadır. Teoriden farklı olarak ortaya çıkan bu icraların tespiti noktasında bilgisayardan faydalanmak bu yüzyılda vazgeçilmez bir nimettir.

Bu noktada yazılmış uygulamalardan birisi Bilge Miraç Atıcı tarafından Java ortamında geliştirilmiş MakamBox yazılımıdır. Java platformunda yazılmış olması sayesinde her işletim sisteminde çalışması sağlanmış bir yazılım olması kuvvetli yönlerinden birisidir. Programla doktora tezimin analizlerini yapmaya başladığımda Sayın Barış Bozkurt sayesinde tanıştım. Makam aracı olarak MATLAB programında tasarladığı programı kullanmak üzere kendisi ile görüştüğümde programın kurulumundan kullanımına kadar oldukça zorluk yaşamam sebebiyle beni MakamBox yazılımına yönlendirdi. Tikla çalıştır özelliği sayesinde kurulum sıkıntısı olmayan program MATLAB ortamında yazılan Makam aracına kıyasla daha da hızlı veri analizi yapmaktadır.

MakamBox yazılımı tezimde temel olarak iki farklı analiz yapmamda yardımcı oldu. Birincisi herhangi bir kaydın makam dizisi ile olan icra farkının tespiti, ikincisi ise aynı makamdaki farklı iki kaydın hem kendi aralarındaki hem de makam dizisi ile aralarındaki icra farkının tespitidir. Hem sent hem de Holder koması olarak icra farkını tespit edebilen program sayesinde icraların kendi makam dizisi aralıkları ile olan farklılıklarını grafik verisi şeklinde çıktı alınabilmektedir. Grafikte Arel-Ezgi-Uzdilek, Karadeniz, Yavuzoğlu ve Yarman ses sistemlerinin referans nokta ve sayısal verileri ile icranın sayısal verileri de eğriler yardımı ile ortaya çıkarılmaktadır. Her bilgisayar yazılımında olduğu gibi bu yazılımda da bir hata payı olmasına rağmen, hata payı analiz sonuçlarını negatif etkileyecek derecede olmadığından elimize neredeyse hatasız veri vermektedir.

Sonuç olarak, perde analizi açısından kullandığım MakamBox yazılımı şu ana kadar kullandığım programlar arasında en hızlı, en kullanışlı ve minimum hata ile sonuç veren bir yazılımdır. Detay açısından daha da fazla geliştirilmesi sağlanması halinde Türk müziği ses sistemi analizi için yazılmış en kapsamlı program olma yolundadır. Destekçilerine ve yazılımın yapımcılarına teşekkürü bir borç bildiğim bu programın daha fazla geliştirmesini temenni ediyorum.

Yıldız Teknik Üniversitesi ve İstanbul Teknik Üniversitesi öğretim görevlilerinden Doç. Dr. Mustafa Kemal Karaosmanoğlu'nun *MakamBox* ile ilgili görüşleri aşağıdaki gibidir. Metin, yazarın izni ile 23. İstanbul Türk Müziği Günleri kapsamında yapılan sempozyum sunumundan alınmıştır.

“MakamBox, kültüre özgü makam müziği gelenekleri için bir tınılama analizi yazılımıdır. Daha önce TÜBİTAK destekli bir proje kapsamında Dr. Barış Bozkurt tarafından geliştirilen Türk makam müziğine özgü Makam Toolbox (Bozkurt 2008) uygulamasının Arap ve İran müzikleri gibi Türk makam müziği ile benzerlik taşıyan ezgileri de işleyebilecek ve platformdan bağımsız olarak kullanılacak biçimde geliştirilmiş sürümüdür. Daha önce kaydedilmiş veya canlı icraları analiz edip melogramlarını, histogramlarını ve sinüs sentezlerini oluşturabilmektedir. İcra, var olan ya da kullanıcının oluşturabileceği ses sistemleriyle karşılaştırılıp analiz edilebilmektedir. MakamBox, dağarcığındaki makam şablonlarıyla eşleştirmek suretiyle bir icranın makamını yüzde 70'lerin üzerinde bir isabetle tahmin edebilmektedir. Java platformunda çalışan bu uygulama Bilge Miraç Atıcı tarafından geliştirilmiştir (Atıcı ve diğ. 2015).”

KAYNAKÇA

Kitaplar

- Akdoğu, O. (1993). Türk müziği nazariyatı tarihine genel bir bakış. *Türk Musikisi Nazariyatı Dersleri* (ss. 11 – 16). Ankara: Kùltür Bakanlığı Yayınları.
- Arel, H. S. (1930). *Türk Musikisi Nazariyatı*. Istanbul, Turkey: Hüsütabiat Matbaası.
- Chaachoo, A. (2011). *La música Andalusí al-Ála: Historia, conceptos y teoría musical*. Córdoba, Spain: Almuzara.
- Temperley, D. (2001). *The Cognition of Basic Musical Structures* (ss. 167–201). Cambridge, MA: MIT Press.
- Yavuzoğlu, N. (2008). *21. yüzyılda Türk müziği teorisi* (C. 128). Pan Yayıncılık.
- Zeren, M. A. (2003). *Müzik sorunlarımız üzerine araştırmalar* (C. 107). Istanbul, Turkey: Pan Yayıncılık.

Sürekli Yayınlar

- Akkoç, C. (2002). Non-deterministic scales used in traditional Turkish music. *Journal of New Music Research*, 31(4), 285–293.
- Bozkurt, B. (2008). An automatic pitch analysis method for Turkish maqam music. *Journal of New Music Research*, 37(1), 1–13.
- Bozkurt, B. (2012). A system for tuning instruments using recorded music instead of theory-based frequency presets. *Computer Music Journal*, 36(3), 43–56.
- Bozkurt, B., Ayangil, R., & Holzapfel, A. (2014). Computational Analysis of Turkish Makam Music: Review of State-of-the-Art and Challenges. *Journal of New Music Research*, 43(1), 3–23.
- Bozkurt, B., Yarman, O., Karaosmanoğlu, M. K., & Akkoç, C. (2009). Weighing Diverse Theoretical Models on Turkish Maqam Music Against Pitch Measurements: A Comparison of Peaks Automatically Derived from Frequency Histograms with Proposed Scale Tones. *Journal of New Music Research*, 38(1), 45–70.
- De Cheveigné, A., & Kawahara, H. (2002). YIN, A fundamental frequency estimator for speech and music. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 111(4), 1917–1930.
- Gedik, A. C., & Bozkurt, B. (2010). Pitch-frequency histogram-based music information retrieval for Turkish music. *Signal Processing*, 90(4), 1049–1063.
- Koduri, G. K., Ishwar, V., Serrà, J., & Serra, X. (2014). Intonation analysis of rāgas in Carnatic music. *Journal of New Music Research*, 43(1), 72–93.
- Moelants, D., Cornelis, O., Leman, M., Gansemans, J., De Caluwe, R., De Tré, G., Hallez, A. (2007). The problems and opportunities of content-based analysis and description of ethnic music. *International Journal of Intangible Heritage*, 2, 57–68.
- Şentürk, S., Holzapfel, A., & Serra, X. (2014). Linking scores and audio recordings in makam music of Turkey. *Journal of New Music Research*, 43(1), 34–52.
- Tzanetakis, G., Ermolinskyi, A., & Cook, P. (2003). Pitch histograms in audio and symbolic music information retrieval. *Journal of New Music Research*, 32(2), 143–152.

- Tzanetakis, G., Kapur, A., Schloss, W. A., & Wright, M. (2007). Computational ethnomusicology. *Journal of Interdisciplinary Music Studies*, 1(2), 1–24.
- Ünal, E., Bozkurt, B., & Karaosmanoğlu. (2014). A Hierarchical Approach to Makam Classification of Turkish Makam Music, Using Symbolic Data. *Journal of New Music Research*, 43(1), 132–146.



Diğer Yayınlar

- Bozkurt, B. (2012). A recording-driven musical instrument tuner system without use of theoretical presets for tone frequencies. *Proceedings of International Symposium on Frontiers of Research on Speech and Music* (ss. 3–23). Gurgaon, India.
- Bozkurt, B. (2014). Pitch Histogram based analysis of makam music in Turkey. *Proceedings of Les Corpus de l'oralité*. Sampzon, France: Delatour France.
- Bozkurt, B., Gedik, A. C., & Karaosmanoglu, M. K. (2009). Music information retrieval for Turkish music: problems, solutions and tools. *Proceedings of IEEE 17th Signal Processing and Communications Applications Conference* (ss. 804–807). Malatya, Turkey.
- Brunelli, R., & Poggio, T. (1993). Face recognition: features versus templates (C. 10, ss. 1042–1052). *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence* 15.
- Ekşi, O. (2011). *Tarihi Kırkpınar güreş musikisi icracısının yetiştirme sürecinin değerlendirilmesi*. Trakya University, Edirne, Turkey.
- Gedik, A. C. (2011). Automatic transcription of traditional Turkish art music: A computational ethnomusicology approach. *Proceedings of IEEE 19th Signal Processing and Communications Applications Conference, SIU 2011* (ss. 17–20). Malatya, Turkey.
- Gulati, S., Serrà, J., & Serra, X. (2015). An evaluation of methodologies for melodic similarity in audio recordings of Indian art music. *Proceedings of 40th IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP)* (ss. 678–682). Brisbane, Australia.
- Kalaycı, İ., & Korukoğlu, S. (2012). Classification of Turkish Maqam music using k-means algorithm and artificial neural networks (ss. 1–4). *20th Signal Processing and Communications Applications Conference (SIU)*.
- Karaosmanoğlu, M., & Akkoç, C. (2003). Türk Musikisinde İcra-Teori Birliğini Sağlama Yolunda Bir Girişim. İçinde 10. *Müz-Dak (Türk Müziği Dernek ve Vakıfları Dayanışma Konseyi) Sempozyumu*. Istanbul, Turkey: Istanbul Technical University.

- Karaosmanoğlu, M. K. (2012). A Turkish Makam Music Symbolic Database For Music Information Retrieval: SymbTr (ss. 223–228). 13th International Society for Music Information Retrieval Conference (ISMIR), Porto, Portugal: ISMIR.
- Kızrak, M. A., & Bolat, B. (2015). Classification of Classic Turkish Music Makams by using Deep Belief Networks (ss. 527–530). 23rd Signal Processing and Communications Applications Conference (SIU).
- Moelants, D., Cornelis, O., Leman, M., Gansemans, J., De Cauwe, R. M., De Tré, G., Hallez, A. (2006). Problems and opportunities of applying data-& audio-mining techniques to ethnic music. *Proceedings of 7th International Society for Music Information Retrieval Conference* (ss. 334–336). Victoria, Canada.
- Özaslan, T. H., Serra, X., & Arcos, J. L. (2012). Characterization of embellishments in ney performances of makam music in Turkey. *Proceedings of 13th International Society for Music Information Retrieval Conference* (ss. 13–18). Porto, Portugal.
- Özek, E. (2011). *Türk müziğinde çeşni kavramı ve icra teori farklılıklarının bilgisayar ortamında incelenmesi*. Proficiency in Arts Thesis, Haliç University, Istanbul, Turkey.
- Santini, S., & Jain, R. (1999). Similarity measures (C. 9, ss. 871–883). *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence* 21.
- Serra, X. (2011). A Multicultural Approach in Music Information Research. *Proceedings of 12th International Society for Music Information Retrieval Conference* (ss. 151–156). Miami, Florida (USA).
- Serra, X. (2012). Opportunities for a Cultural Specific Approach in the Computational Description of Music. *Proceedings of 2nd CompMusic Workshop*. Istanbul, Turkey.
- Six, J., & Cornelis, O. (2011). Tarsos-a Platform to Explore Pitch Scales in Non-Western and Western Music. *Proceedings of the 12th International Society for Music Information Retrieval Conference* (ss. 169–174). Miami, Florida (USA).
- Şentürk, S., Gulati, S., & Serra, X. (2013). Score informed tonic identification for makam music of Turkey. *Proceedings of 14th International Society for Music Information Retrieval Conference* (ss. 175–180). Curitiba, Brazil.
- Tan, O. (2011). *Ney açkısının tarihi ve teknik gelişimi*. Istanbul Technical University, Istanbul, Turkey.

- Uyar, B., Atlı, H. S., Şentürk, S., Bozkurt, B., & Serra, X. (2014). A corpus for computational research of Turkish makam music. *Proceedings of 1st International Digital Libraries for Musicology Workshop* (ss. 57–63). London, United Kingdom. <http://doi.org/10.1145/2660168.2660174>
- Yarman, O. (2008). *79-Tone tuning and theory for Turkish maqam music: as a solution to the non-conformance between current model and practice*. Istanbul Technical University.



ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Bilge Miraç ATICI

Adres : Şerefli Sokak No:32/3 Mebusevleri Beşevler Ankara

Doğum Yeri ve Yılı : İzmir/ Konak – 1990

Yabancı Dili : İngilizce

İlköğretim : Anıttepe İlköğretim Okulu - 2004

Ortaöğretim : Ankara Atatürk Anadolu Lisesi - 2008

Lisans : Ankara Üniversitesi Elektrik ve Elektronik Mühendisliği - 2013

Yüksek Lisans : Bahçeşehir Üniversitesi - 2016

Enstitü Adı : Fen Bilimleri Enstitüsü

Program Adı : Ses Teknolojileri

Yayımları :

- [1] Atıcı, B. M., Bozkurt, B., Şentürk, S. (2015). **A Culture-Specific Analysis Software for Makam Music Traditions.** In Proceedings of 5th International Workshop on Folk Music Analysis, Paris, France.
- [2] Atıcı, B. M., (2013). **Design Of An Opto-Coupled Vacuum Tubed Audio Signal Dynamic Range Compressor.** Ankara University Undergraduate Thesis, Ankara, Turkey.

Çalışma Hayatı :

- 2015 - 2016 Öğretim Görevlisi – Yıldız Teknik Üniversitesi (*Ses Fiziği ve Akustik, Ses Kayıt Teknikleri*)
- 2014 - 2016 Araştırma Görevlisi - CompMusic Project (*Avrupa Araştırma Kurulu (ERC) tarafından finans desteği*)
- 2014 – 2016 Öğretmen - SAE Institute İstanbul (*Ses Mühendisleri için Elektronik*)