

**T.C.  
BAHÇEŞEHİR ÜNİVERSİTESİ**

**TÜRK MAKAM MÜZİĞİ USULLERİ İÇİN  
İTERAKTİF EĞİTİM ARACI**

**Yüksek Lisans Tezi**

**BURAK UYAR**

**İSTANBUL, 2016**



**T.C.**  
**BAHÇEŞEHİR ÜNİVERSİTESİ**

**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**  
**SES TEKNOLOJİLERİ**

**TÜRK MAKAM MÜZİĞİ USULLERİ İÇİN**  
**İNTERAKTİF EĞİTİM ARACI**

**Yüksek Lisans Tezi**

**BURAK UYAR**

**Tez Danışmanı: Doç. Dr. Barış BOZKURT**

**İSTANBUL, 2016**

**T.C.**  
**BAHÇEŞEHİR ÜNİVERSİTESİ**

**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**  
**SES TEKNOLOJİLERİ**

Tezin Adı: Türk Makam Müziği Usulleri İçin İnteraktif Eğitim Aracı

Öğrencinin Adı Soyadı: Burak Uyar

Tez Savunma Tarihi: 25.05.2016

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

Doç. Dr. Nafiz Arıca  
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

Tez Danışmanı

Doç. Dr. Barış Bozkurt

Üye

Yrd. Doç. Dr. Yahya Burak Tamer

Üye

Doç. Dr. Ozan Baysal

İmzalar

.....

.....

.....

*Huzurlu bir evrene...*

## TEŐEKKÜR

Tez çalışmamın her aşamasında beni destekleyen, yönlendiren ve yardımcı olan değerli tez danışmanım Barış Bozkurt'a, akademik süreçlere dair tecrübe ve bilgi paylaşımlarından dolayı Nilgün Doğrusöz Dişiaçık, Turan Sağer ve Ozan Baysal'a, yüksek lisans süreci boyunca her türlü ihtiyaımızda en iyi Şekilde yardımcı olan hocam Burak Tamer'e, fikir ve veri toplama kısmında emeklerini paylaşan dostlarım Onur Glen, Arel Koray Nalbant, Onur Gündüz, Canberk Karademir, Merve zubukuoğlu, Can Oflaz, Tibet Akarca, zge İnan, Bilge Miraç Atıcı, Sercan Atlı ve Sertan Şentürk'e ve son olarak tüm süreç boyunca her konuda sağladıkları destek ve rahatlık için sevgili aileme teŐekkür ederim.

Bu alışma, Avrupa Birliği 7. ereve Programı (FP7/2007-2013) bünyesindeki Avrupa Araştırma Konseyi (ERC) CompMusic 1 projesi (267583) tarafından desteklenmiştir.

İstanbul, 2016

Burak Uyar

## ÖZET

### TÜRK MAKAM MÜZİĞİ USULLERİ İÇİN İNTERAKTİF EĞİTİM ARACI

Burak Uyar

Ses Teknolojileri

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Barış Bozkurt

Haziran 2016, 59 Sayfa

Günümüzde teknolojiden neredeyse her alanda süreç iyileştirmeleri, veri takibi, otomasyon vb. amaçlarla yararlanılmaktadır. Müzik ve eğitim de bu alanların başta gelenlerindedir. Teknoloji ve eğitim, birbirinin gelişimini destekleyen ve bu gelişimden yarar sağlayan iki alandır. Eğitimin temel gereksinimlerden biri olması sebebiyle, eğitimde teknolojik araçların kullanılması geçmişte de gündemde yer alan bir konu olmuştur ve her zaman üst sıralarda kalacak gibi görünmektedir. Teknolojiyle iç içe olan bir başka alan ise müziktir. Teknoloji ve müzik dendiğinde akla ilk gelen başlıklar daha çok enstrüman üretimi ve prodüksiyon alanlarıyla ilgili olmaktadır. Teknolojinin eğitim ve müzikle bu derece iç içe olması, bu üç başlığın kesişim kümesinde bazı araştırma fırsatları sunmaktadır.

Bu yüksek lisans tezinde ise, ses sinyali işleme teknolojilerinden yararlanarak müzik eğitimi süreciyle ilgili bir çalışma tasarlanmıştır. Çalışma dâhilinde, veri olarak temelde Türk makam müziği usullerinin kullanıldığı bir ritim eğitim aracı tasarımı planlanmıştır. Planlanan araç usta ve öğrencinin birlikte yürüttüğü eğitim sürecinde bir destek elemanı olarak kullanılabilmesi gibi, öğrencinin planlı şekilde ve geribildirim alarak egzersiz yapabilmesine de olanak sağlayacaktır. Çalışma dâhilinde, doğruluğu algısal olarak ölçümlenmekte olan ritim benzerliği için ölçütler belirlenmesi, bu ölçütlere uygun ölçümleme prosedürünün geliştirilmesi, bu sürecin yapılacak testlerle iyileştirilmesi, eğitim aracında kullanılacak verinin hazırlanması, bilgisayarda kullanılacak bir arayüz geliştirilmesi, basit bir eğitim sürecinin planlanması hedeflenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Müzik Eğitimi, Ses Sinyali İşleme, Makam Müziği, Usul, İnsan-Bilgisayar Etkileşimi

## ABSTRACT

### AN INTERACTIVE TRAINING TOOL FOR USUL OF TURKISH MAKAM MUSIC

Burak Uyar

Audio Technologies

Thesis Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Barış Bozkurt

June 2016, 59 Pages

Under the favor of technological improvements, there have been great progress almost in every field such as process enhancements, data tracking, automation etc. Music and education are in the top areas took advantage of these improvements. Technology and education are two fields that support and benefit from each other. Because education is a fundamental necessity, use of technology in education has always been a hot topic and probably it forever will be so. Another area well connected to technology is music. When the topic is music and technology, instrument design and production are the first work fields that come to mind. Technology's being very connected to the fields of education and music provides some research opportunities at the intersection of these areas.

In this master's thesis, a study has been designed related to music education process by taking advantage of audio signal processing techniques. To acquire this, designing an interactive rhythm education tool specially targeting the Turkish makam music has been decided. The tool has been planned to be used during the education sessions between the master of the music and the student as well as self-tutoring sessions including the student herself. An important feature of the tool was planned to be providing feedback to the student about her performance. Considering these, the research topics in this study are planned as: to define criteria for measuring rhythm similarity which is generally evaluated perceptually, to define a measurement process according to the criteria defined, to validate this process by conducting experiments, to gather data to be used in the tutoring tool and to define novel education process by using the method and data emerged in this study.

**Keywords:** Music Education, Audio Signal Processing, Makam Music, Usul, Human-Computer Interaction



## İÇİNDEKİLER

TABLolar	ix
ŞEKİLLER	x
KISALTMALAR	xii
SEMBOLLER	xiii
1. GİRİŞ	1
1.1 PROJENİN AMACI	1
1.2 MAKAM MÜZİĞİNDE RİTMİK YAPILAR: USULLER	2
1.3 RİTİM YAPILARININ ÖĞRENİLME SÜRECİ	3
1.4 BİREYSEL ÇALIŞMA METOTLARI VE GERİBİLDİRİM	5
1.5 MÜZİK TEKNOLOJİLERİ VE MÜZİK EĞİTİMİ SÜRECİNDEKİ YERİ	6
1.6 YÖNTEM	8
1.7 PROJENİN SINIRLARI	8
2. LİTERATÜR	10
2.1 RİTİM BENZERLİĞİ ÖLÇÜMÜ İÇİN ÖNERİLMİŞ YAKLAŞIMLAR	10
2.1.1 Hamming Uzaklığı	10
2.1.2 Vuruş Aralıklarının Öklid Uzaklığı	12
2.1.3 Vuruş Aralıklarının Vektörel Uzaklığı	13
2.1.4 Swap Uzaklığı	14
2.1.5 Kronotonik Uzaklık	15
2.2 G.K. PERCIVAL'IN METODU	16
2.3 LİTERATÜRDEKİ YÖNTEMLERİN DEĞERLENDİRİLMESİ	19
3. RİTİM EĞİTİM ARACI	20
3.1 ÇEVRESEL İHTİYAÇLAR VE KISITLAR	20

<b>3.2 TASARIM</b> .....	<b>20</b>
<b>3.3 GELİŞTİRME</b> .....	<b>23</b>
<b>3.3.1 Referans Ritimler</b> .....	<b>23</b>
<b>3.3.2 Arayüz</b> .....	<b>25</b>
<b>3.3.3 Vuruşların Tespiti</b> .....	<b>26</b>
<b>3.4 BENZERLİK ÖLÇÜM ALGORİTMASININ HAZIRLANMASI</b> .....	<b>29</b>
<b>3.4.1 Ritmik Benzerlik Algı Testi</b> .....	<b>29</b>
<b>3.4.2 İcra Kaydının Referansa Göre Hizalanması</b> .....	<b>30</b>
<b>3.4.3 Puan Hesaplama</b> .....	<b>32</b>
<b>4. DEĞERLENDİRME</b> .....	<b>36</b>
<b>4.1 DEĞERLENDİRME PROSEDÜRÜ</b> .....	<b>36</b>
<b>4.2 VERİ TOPLAMA</b> .....	<b>36</b>
<b>4.3 İNSAN VE PROGRAM KAYNAKLI SONUÇLARIN</b> <b>KARŞILAŞTIRILMASI</b> .....	<b>37</b>
<b>4.3.1 Veri Setinin Bütün Olarak İncelenmesi</b> .....	<b>38</b>
<b>4.3.2 Veri Setindeki İstisnai Durumlar</b> .....	<b>42</b>
<b>4.3.3 Filtrelenmiş Veri Seti ile Yapılan Testler</b> .....	<b>48</b>
<b>4.3.4 Literatürden Seçilen Yöntemlerin Test Edilmesi</b> .....	<b>52</b>
<b>5. SONUÇ</b> .....	<b>56</b>
<b>KAYNAKÇA</b> .....	<b>60</b>
<b>EKLER</b>	
<b>EK 1: Testlerde kullanılan referans ve icralara verilen puanlar</b> <b>(1. bölüm)</b> .....	<b>65</b>
<b>EK 2: Testlerde kullanılan referans ve icralara verilen puanlar</b> <b>(2. bölüm)</b> .....	<b>66</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ</b> .....	<b>67</b>

## TABLolar

Tablo 2.1: Dyek usulü için swap uzaklığı.....	15
Tablo 3.1: Türk makam müziği veri kütüphanesindeki veri tipleri ve nicelikleri .....	24
Tablo 3.2: Türk makam müziği veri kütüphanesinde en sık görülen 12 usul, zamanlama bilgileri ve veri kütüphanesinde görülme yüzdeleri .....	25
Tablo 3.3: Programda kullanılcıya doğrudan etkileşimde olan modüller .....	25
Tablo 3.4: Dinleme testinde verilen yanıtların dağılımı .....	30
Tablo 3.5: Zamanlama puanı hesaplamasında kullanılmak üzere belirlenmiş aralıklar ve ilgili katsayılar .....	33
Tablo 4.1: Veri setindeki 105 icra için jüri ve bilgisayar tarafından verilmiş puanların ortalamaları ve standart sapmaları .....	39
Tablo 4.2: En iyi hizalama yönteminde istisnalar hariç tutulduğunda verilen puanlar, uzaklık için ortalamalar ve standart sapmalar .....	50
Tablo 4.3: Sabit katsayılı hizalama için istisnalar hariç tutulduğunda verilen puanlar ve uzaklık içi ortalamalar ve standart sapmalar .....	51
Tablo 4.4: Hamming, klid ve Percival yönteminin jüri puanları ile korelasyonları.....	53

## ŞEKİLLER

Şekil 1.1: Yürüksemai usulü - basit usul.....	2
Şekil 1.2: Çenber usulü - büyük usul .....	2
Şekil 1.3: Usuller için önerilmiş döngüsel ve doğrusal gösterim örnekleri .....	3
Şekil 1.4: Meşk sürecinin akış diyagramı .....	5
Şekil 2.1: Düyek usulünün nota ile gösterimi .....	11
Şekil 2.2: Düyek usulünün ikilik sayı sisteminde gösterimi .....	11
Şekil 2.3: Düyek usulü için vuruş arası uzaklıklar.....	12
Şekil 2.4: Düyek usulü için ölçü döngüsü gösterimi .....	13
Şekil 2.6: Düyek usulünün kronotonik gösterimi .....	16
Şekil 2.7: Düyek usulü için referans ve icra arasındaki fark.....	16
Şekil 3.1: Program içerisinde bulunan modüller.....	22
Şekil 3.2: Çalışma dahilinde hazırlanmış örnek arayüz ve etkileşimli modüller .....	26
Şekil 3.3: Ritim içeren bir ses dosyasından vuruş zamanlarının elde edilmiş aşamaları .....	28
Şekil 3.4: Dinleme testinde kullanılan notalar .....	30
Şekil 3.5: Bir vuruş için belirlenen puan eşikleri.....	33
Şekil 3.6: Puan hesaplama sürecinin akış diyagramı .....	35
Şekil 4.1: Veri setindeki icralar için jüri ve program tarafından verilen puanlar .....	38
Şekil 4.2: Test veri seti puanlarından elde edilen normal dağılım.....	39
Şekil 4.3: Veri setindeki icralara verilen puanların bölgesel ortalamaları.....	40
Şekil 4.4: Veri setindeki icralara verilen puanların bölgesel ortalama farkları.....	42
Şekil 4.5: Hatalı pozitif örneği: Jüri düşük puan, En iyi hizalama yüksek puan .....	43
Şekil 4.6: Hatalı pozitif örneği: Jüri düşük puan, <i>HBütün</i> yüksek puan .....	45
Şekil 4.7: Hatalı negatif: Jüri yüksek puan, En iyi hizalama düşük puan.....	47
Şekil 4.8: Hatalı negatif: Jüri yüksek puan, Sabit katsayılı hizalama düşük puan.....	47
Şekil 4.9: En iyi hizalama için istisnalar hariç tutulduğunda bölgesel ortalamalar ve bölgesel ortalama uzaklıkları .....	49
Şekil 4.10: Filtrelenmiş veri seti için En iyi hizalama ve jüri puanlarının normal dağılımı.....	50

Şekil 4.11: Sabit katsayılı hizalama için istisnalar hariç tutulduğunda bölgesel ortalamalar ve bölgesel ortalama uzaklıkları .....	51
Şekil 4.12: Filtrelenmiş veri seti için Sabit katsayılı hizalama ve jüri puanlarının normal dağılımı.....	51
Şekil 4.13: Hamming, Öklid ve Percival yöntemlerinin jüri değerlendirmeleri ile karşılaştırılması.....	54

## KISALTMALAR

BPM	: Beats per minute – Dakikadaki vuruş sayısı, metronom
DAW	: Digital audio workstation
IDE	: Integrated development environment
MIR	: Music Information Retrieval – Müzik Bilgi Erişimi
MSE	: Mean square error
MTG	: Music Technology Group
ORPET	: Objective Rhythmic Performance Evaluation Tool
RMS	: Root mean square
UPF	: Universitat Pompeu Fabra

## SEMBOLLER

İcra edilen ritim	:	$\dot{I}$
İcra edilen ritim içerisinde belirli indeksteki vuruş	:	$\dot{I}_j$
Referans ritim	:	$R$
Referans ritim içerisinde belirli indeksteki vuruş	:	$R_j$

# 1. GİRİŞ

## 1.1 PROJENİN AMACI

Türk müziği eğitiminde geleneksel olarak *meşk* yöntemi kullanılmaktadır. Meşk, müziğin ustası ve öğrencinin birarada bulunduğu, ustadan öğrenciye bilgi aktarımı olan, öğrencinin de ustadan gelen geribildirimlere göre icrasını iyileştirdiği bir eğitim sürecidir. Bu süreç aynı zamanda Türk müziği kültürünün önemli bir parçasıdır. Meşk sayesinde öğrencilerin ustalara saygısı ve bağlılığı da pekişmektedir. Bu yöntemde usta ile öğrencinin birebir ilişkisi ve öğrencinin ustayı doğrudan gözlemleyebilmesi önemli avantajlardır. Öte yandan teknolojiden yararlanarak bu avantajlar daha da artırılabilir. Hızla gelişmeye devam eden teknoloji sayesinde müzik ve ses ile ilgili pek çok farklı konuda yarar sağlayan araçlar geliştirilebilmektedir. Bu araçlar donanım ya da yazılım şeklinde olabildiği gibi, farklı teknolojik araçların birleşiminden ortaya çıkan bir kaynak ya da kullanıcıyla gerçek zamanlı etkileşime girerek destek sağlayan bir araç da olabilir.

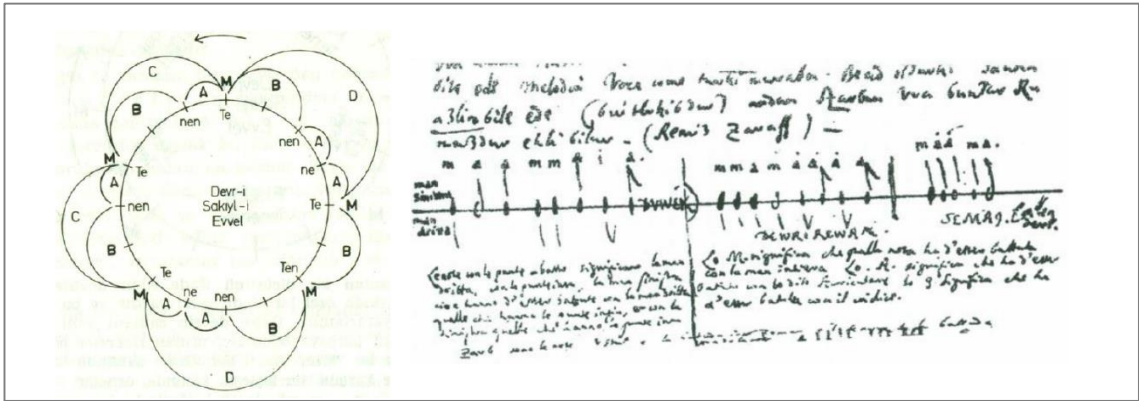
Bu çalışmada, ritmik yapıların meşk yönteminde ustadan öğrenciye aktarımı sürecine destek sağlayabilecek ve bireysel çalışma sürecinde öğrencinin yalnız başına yararlanabileceği bir araç geliştirilmesi hedeflenmiştir. Bu araç usta ve öğrenci biraradayken sürece dair yararlı olabilecek bilgiler sunarken, ustaya erişimin mümkün olmadığı durumlarda ise öğrencinin kendi başına pratik yapabileceği ve icrasına dair geribildirim alabileceği bir şekilde tasarlanmıştır. Geliştirilecek aracın, herhangi bir ritim icrası için, belirlenmiş bir referans ritim kaydına göre doğruluğunu ölçebilmesi planlanmıştır. Bu ölçümün sonucu ise rahatça anlaşılabilir şekilde, yüzde cinsinden bir başarı puanı sunularak kullanıcıya aktarılabilir. Kullanıcıya sunulan puana ek olarak, referans ritimdeki ve kullanıcının icrasındaki farklılıklar görsel olarak sunulacak ve bu şekilde kullanıcı, icrasının iyi ve kötü bölümlerini görsel bir şekilde inceleyebilecektir. Meşk yönteminde ritim eğitimi daha çok eserler üzerinde tekrarlar yapılarak gerçekleştirilse de, bu çalışmada dahilinde geliştirilecek olan yardımcı aracın usul eğitimi için geliştirilebilecek daha kapsamlı araçlar için yararlı bir adım olacağı öngörülmektedir.





görülmektedir. Bu gösterimler temel olarak usulde mevcut olan vuruşların eşit yaylara bölünmüş bir çember üzerinde belirtilmesi şeklindedir. Bir başka yaklaşım olarak usuldeki vuruşlardan bir tanesinin başlangıç olarak seçilip, takip eden vuruşların yalnızca zaman bilgisi içeren notalar ile belirtildiği doğrusal gösterimler ele alınabilir. (Helvacı vd. 2016) dahilinde usul gösterimi için tarih boyunca önerilmiş yöntemlerin işlevsel ve iyileştirilebilecek yönleri irdelenmiştir. Bunlara ilaveten bu yöntemlerin geliştirilebilecek yönleri gözönünde bulundurularak usullerin gösterimi için yeni bir yöntem sunulmuştur. Bu tez çalışmasında geliştirilecek araçta ise ses sinyalleri zaman ekseninde değerlendirilerek inceleneceği ve müzikolojik bir araştırma hedeflenmediği için devam eden bölümlerde doğrusal gösterim kullanılacaktır.

### Şekil 1.3: Usuller için önerilmiş döngüsel ve doğrusal gösterim örnekleri



Kaynak: (Helvacı vd. 2016)

### 1.3 RİTİM YAPILARININ ÖĞRENİLME SÜRECİ

Makam müziğinin geleneksel eğitim süreci olan meşk oturumları, usullerin öğretiminde de kullanılmaktadır. Bu oturumlarda genellikle müziğin ustası ve öğrenci aynı ortamda bulunmaktadır. Usta ve öğrenci bu süreç boyunca birebir etkileşim halindedir. Öğretici konumunda olan usta, genellikle kendi ustasıyla yaptığı meşklere öğrendiği şekilde öğretme sürecini yönlendirir. Öğrenme sürecinde müziğin ustası temelde bilgi kaynağı, öğrenci de bilginin alıcısı konumundadır. Geliştirilecek olan aracın tasarımında yararlanmak üzere ustanın ve öğrencinin rollerini maddeler şeklinde incelemek yararlı olacaktır.

### **Ustanın rolleri:**

**a. Eğitim sürecini planlamak:** Usta, öğrencinin hâlihazırda bulunduğu düzeyi saptar ve o öğrenciye uygun bir bilgi aktarım süreci planlar.

**b. Eğitim içeriğini düzenlemek:** Usta, bilgi aktarımının hangi düzeyden başlayıp, öğrencinin gelişimi süresince hangi aşamaları takip edeceğine karar verir.

**c. Eğitim içeriğini öğrenciye aktarmak:** Usta, eğitim süreci boyunca öğrenciye özgü planladığı içeriğin, öğrenci için en uygun gördüğü şekilde aktarımını sağlar.

**d. Öğrenciyi yönlendirmek:** Usta, öğrencinin bilgiyi alış ve anlama miktarını gözlemleyerek bilgi aktarımının verimli olmasını sağlamaya çalışır.

**e. Öğrencinin performansını değerlendirmek:** Usta, öğrencinin icrasını ve olması beklenen icrayı kıyaslayarak bir değerlendirme yapar. Bu, öznel bir değerlendirme olup, ustadan ustaya değişiklik gösterebilir.

**f. Öğrenciyi geribildirim sağlamak:** Usta, yaptığı değerlendirmeyi genel olarak sözlü bir şekilde öğrenciye aktarır. Bazı durumlarda nota üzerinden veya bir kağıt ya da pano üzerinden görsel anlatımlar da bu sürece dâhil olabilir.

### **Öğrencinin rolleri:**

**a. Ustadan bilgileri almak:** Öğrenci, usta tarafından aktarılan bilgileri ve gösterimleri kavramaya çalışır.

**b. Ustadan alınan bilgileri içselleştirmek:** Öğrenci, ustanın aktardığı bilgiler arasında bağlantı kurarak bilgileri icra esnasında hatırlayabilecek duruma gelmeyi hedefler.

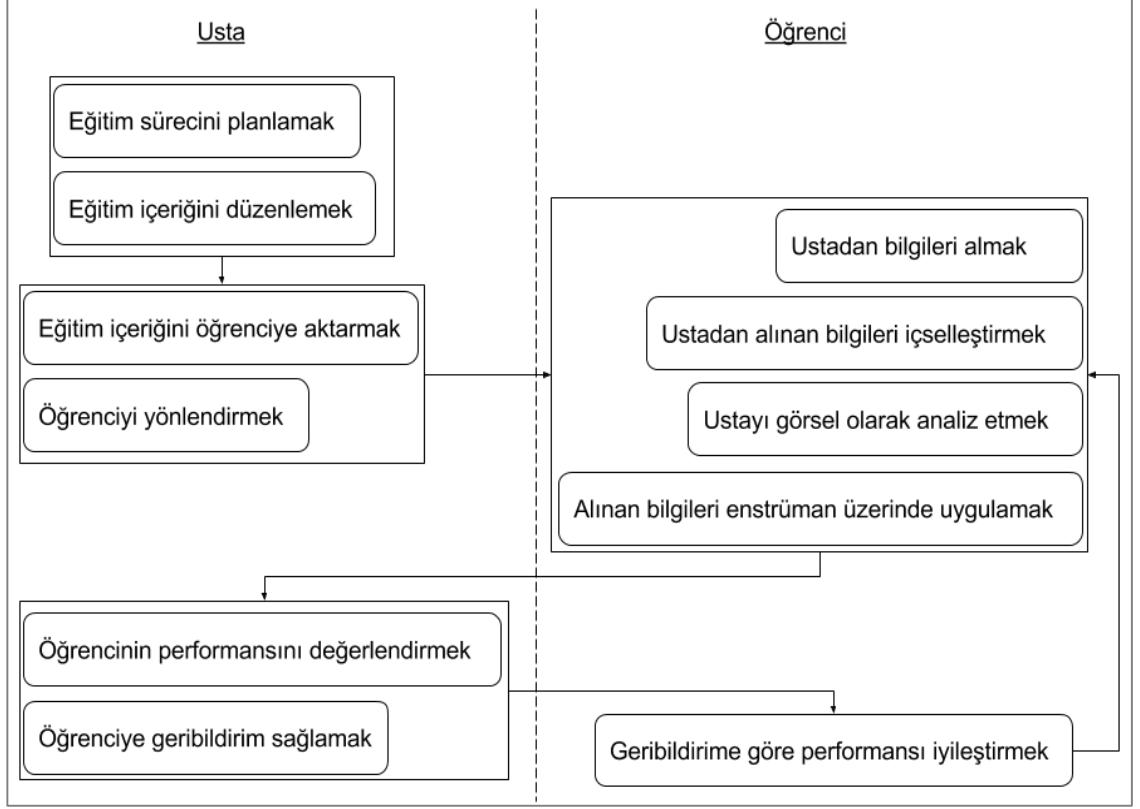
**c. Ustayı görsel olarak analiz etmek:** Öğrenci, ustanın enstrüman ya da dizler üzerinde yaptığı anlatımları irdeleyerek, enstrümanın ya da dizlerin kontrol edilmesini inceler.

**d. Ustadan alınan bilgileri uygulamak:** Öğrenci, ustadan aldığı teorik bilgileri ve ustanın icrasından edindiği gözlemleri kendi icrası esnasında kullanmaya çalışır.

**e. Ustanın geribildirimine göre performansını iyileştirmek:** Öğrenci, icrasına dair usta tarafından sağlanan değerlendirme ve geribildirim anlamaya çalışır. Öğrenci, sağlanan geribildirim ayrıntılarını, kendi icrasının ilgili bölümleriyle bağdaştırarak sonraki icralarda bu geribildirimden yararlanmaya çalışır.

Bu süreçte genel olarak usta ve öğrencinin karşılıklı gözlemleriyle bilgi aktarımı sağlanırken, gözlemlerle ilgili geribildirimler sözlü olarak aktarılmaktadır. Meşk sürecinin özetlendiği akış diyagramı Şekil 1.4’te sunulmuştur.

**Şekil 1.4: Meşk sürecinin akış diyagramı**



#### 1.4 BİREYSEL ÇALIŞMA METOTLARI VE GERİBİLDİRİM

Müzikle ilgili kişisel gelişim çalışmaları yapılırken referans olarak genellikle dijital ortamda veya basılı şekilde mevcut olan notalar, ses kayıtları ya da video kayıtlar kullanılmaktadır. Bu yapıdaki kaynaklar kullanıcılar için farklı yaklaşımlarla hazırlanmış ve özenle yapılandırılmış eğitim süreçleri sunmaktadırlar. Fakat öte yandan, kullanıcıyla etkileşim açısından çok yeterli değildir. Bu kaynak çeşitlerinde kullanıcıya kaliteli bir içerik sunulmakta, fakat kullanıcının bu kaynaktan ne kadar yararlandığı değerlendirilememektedir.

Müzik ve çalgı öğrenimi sürecinde öğrenen kişi aynı anda birkaç yetisini geliştirmeye çalışmaktadır. Bu da sunulan bilginin zaman zaman kullanıcı tarafından tam olarak kavranamamasına neden olabilmektedir. Sonrasında ise kullanıcı, çalışma esnasında üzerinde baskı hissederek motivasyonunu kaybedebilmekte ve hatta çalışmayı bırakma noktasına gelebilmektedir. Bu durumun nedenlerinden önemli bir tanesi, çalışma sürecinde kullanıcıya egzersizleri ne derece iyi ya da kötü icra ettiğine dair geribildirim sunulmuyor olmasıdır. Böyle bir çalışma esnasında kullanıcı bir çalışma setini yeteri kadar iyi öğrendiğini ve uygulayabildiğini düşünerek bir sonraki aşamaya geçebilir. Oysa öğrenci bir önceki egzersizi tam olarak içselleştirememiş olabilir ve henüz hazır olmadan bir sonraki çalışmaya geçtiğinde farkında olmadan kendisini zorlayabilir. Bu da çalışma esnasında, daha önce belirtilmiş olan verimsizliklere yol açabilir.

Tam olarak bu noktada, hem ustanın hem de öğrencinin eğitim sürecinden daha verimli yararlanmasını sağlayacak araçların geliştirilebilmesini olanaklı kılacak unsur olan teknoloji ön plana çıkmaktadır. Günümüzde teknoloji her alanda yoğun olarak kullanılmakta, üstelik bir problemin çözümü için geliştirilen teknolojiler farklı alanlardaki problemlerin çözümü için de başlangıç noktası olabilmektedir.

## **1.5 MÜZİK TEKNOLOJİLERİ VE MÜZİK EĞİTİMİ SÜRECİNDEKİ YERİ**

Bilgisayarlarda kullanılan işlemcilerin gücünün artması, bellek boyutları küçülürken kapasitelerin büyümesi ve artık günlük yaşamda da kolayca fark edilen bir durum olan internet bağlantı hızlarının yükselmesi, tasarlanan araçlar için çizilen sınırları da genişletmektedir. Bilgisayarla ses sinyali işleme de, teknolojinin gelişmesiyle birlikte ilerleyen ve kullanımı yaygınlaşan alanlardandır.

Günümüzde ses sinyali işleme yöntemleriyle geliştirilmiş, uzun zamandan bu yana kullanılmakta olan ürünler ve süreçler mevcuttur. Örnek verilecek olursa konuşma sinyalini işleyerek kullanıcıyla etkileşim sağlayan otonom bankacılık sistemleri, aynı teknikle çalışan simultane çeviri sistemleri, müzik endüstrisinde yapım aşamasında kullanılan DAW(*Digital Audio Workstation*)'lar uzun denebilecek bir süredir yaşamımızda yer almaktadır. Bilgisayar programlarının yanısıra, belirli ve kısıtlı bir

amaca yönelik olarak üretilen gömülü sistemler de mevcuttur. Bunlara örnek olarak enstrümanlar için tasarlanan efekt aletleri, akort aletleri ve konserlerde ses ayarlarını yapmakta kullanılan dijital masalar gösterilebilir.

Teknoloji ve müzik kesişimine örnek olarak gerek mekanik gerek akustik enstrümanların yapımı, elektrik devresi içeren enstrümanlar, örnekleyiciler ve sentezleyiciler, farklı gündelik elektronik araçların birarada kullanılmasıyla oluşturulan yeni enstrümanlar, yapım sürecinde kullanılan çeşitli donanım ve yazılımlar gösterilebilir. Teknoloji ve eğitim kesişimine gözetildiğinde da hâlihazırda kullanılmakta olan birçok örnek görülebilmektedir. Bu kesişim için yaygın olarak eğitim teknolojileri başlığı kullanılmakta ve bu alan incelendiğinde, eğitim için hazırlanan basılı kaynakların sanal ortamda sunulması, dersliklerde görsel ya da sesli medya içeriklerinin büyük gruplarla paylaşılması ve özellikle günümüzde çok çeşitli örneklerine rastlanılabilen uzaktan eğitim sistemleri gibi somut örnekler görülebilmektedir.

Teknoloji, müzik ve eğitim alanlarının ortak noktası incelendiğinde ise çok çeşitli çalışmalara erişilebilmektedir. Bu çalışmalarda teknoloji tarafında temel olarak ses sinyali işleme yöntemleri kullanılmaktadır. Üstelik bu yöntemlerden yalnızca müzik üretiminde değil, müzik eğitimi ve pratik yapma süreçlerinde de yararlanılmaktadır. Literatürdeki bu konuyla ilgili örneklerden birkaçı *Bölüm2.1*'de ayrıntılı şekilde incelenmiştir. Bu örneklerin teknolojinin yayılma sürecinde izlediğine benzer bir yol izlemesi sebebiyle, hâlihazırda yapılmış çalışmaların daha çok Batı müziğinde yer alan örnekler üzerinden yürütülmüş olduğu görülmektedir. Yapılan çalışmalarda belirli müzik kültürleriyle kısıtlı veri kullanılmasının bazı dezavantajları zaman içinde fark edilmektedir. Bu çalışmalar sonucu geliştirilen yöntem ve araçların, farklı karakteristik özellikler içeren, Batı kaynaklı olmayan başka müzik kültürleri sözkonusu olduğunda beklenenden farklı sonuçlar sunduğu gözlenmiştir. Bu konuyla ilgili genel durum (Serra 2012)'de ayrıntılı olarak irdelenmiştir.

Türk makam müziği özelinde müzik teknolojileri alanında hesaplamalı yöntemlere dayalı araştırmalar mevcuttur. Bu araştırmalarda melodik ve ritmik özelliklerle ilgili birçok problem ele alınıp yöntemler geliştirilmiştir ve halen araştırmaya açık olan mevcut

problemler de (Bozkurt vd. 2014) içerisinde sunulmuştur. Makam müziği kapsamındaki *ritmik yapıların eğitimi* altbaşlığında ise şimdiye kadar yapılmış bir çalışmaya rastlanmamıştır. Bu nedenle, ses sinyali işleme tekniklerinden yararlanarak Türk makam müziği usullerinin çalışılabilmesine yardımcı olacak bir eğitim aracı üzerine araştırma yapılabileceği değerlendirilmiştir.

## 1.6 YÖNTEM

Çalışmanın hedefi, meşk yöntemindeki ustanın rollerinin bir kısmının bilgisayar tarafından gerçekleştirilebilmesini sağlamaktır. Bu şekilde öğrencinin, ustanın erişilebilir olduğu durumlarda icrasına dair ayrıntılar hakkında görsel destek alabilmesi, ya da usta erişilebilir olmadığı ayrıntılı geribildirim alarak ritmik yapıları çalışabilmesi sağlanacaktır.

Bu hedefe yönelik olarak, öğrenciye ritimlerin sunulması, öğrencinin dinlediği ritmi icra etmesi, icra edilen ritmin değerlendirilmesi ve öğrenciye geribildirim sunulması aşamalarının geliştirilecek olan program tarafından gerçekleştirilmesi amaçlanmaktadır. Yöntem temel olarak, meşk sürecinin makine tarafından yönlendirilerek yürütülmesi şeklinde özetlenebilir. Geliştirilecek programın yeterliliğinin ölçümü ise, daha önceden belirlenmiş olan bazı referans ritimlerin ve bu referansların baz alındığı icralara dair müzik ustalarının değerlendirmeleri ve bilgisayar programının değerlendirmeleri karşılaştırılarak yapılacaktır.

## 1.7 PROJENİN SINIRLARI

Bu çalışma dâhilinde geliştirilen uygulama, masaüstü ve dizüstü bilgisayarlarda çalışacak şekilde planlanmıştır. Uygulamanın geliştirileceği ve çalışacağı işletim sistemi olarak bir Linux<sup>1</sup> sürümü olan Ubuntu<sup>2</sup> seçilmiştir. Bu işletim sisteminin seçilme sebebi, programda kullanılan araştırmaya yönelik geliştirilmiş bazı yazılım kütüphanelerinin yalnızca

---

<sup>1</sup> [www.linux.org](http://www.linux.org)

<sup>2</sup> [www.ubuntu.com](http://www.ubuntu.com)

Ubuntu üzerinde çalışıyor olmasıdır. Yazılım geliştirme dili olarak Python<sup>3</sup> belirlenmiştir. Bunun sebebi ise, Python dilinde diğer dillere göre daha hızlı yazılım geliştirilebilmesidir. Python, bellekle ilgili işlemleri arka planda otomatik olarak yapmakta ve programcının yalnızca hazırladığı sisteme odaklanabilmesine destek olmaktadır.

Arayüz geliştirme adımları için, Python ile kolay entegre edilebilen ve görsel olarak tasarım yapılabilen Qt<sup>4</sup> seçilmiştir. Qt temelde bir yazılım geliştirme platformu olarak Nokia tarafından tasarlanmıştır. Platform dâhilinde C++<sup>5</sup> dilinde yazılım geliştirmek için QtCreator adlı bir IDE bulunmaktadır. Buna ek olarak, yazılım geliştirme sürecinin bir parçası olan arayüz hazırlamak için, QtDesigner adlı ayrı bir uygulamaya da platform içerisinden erişilebilmektedir.

Ses sinyali işleme yöntemleri için Universitat Pompeu Fabra bünyesindeki Music Technology Group tarafından geliştirilmiş olan Essentia<sup>6</sup> adlı kütüphane kullanılmıştır (Bogdanov vd. 2013). Ses girdi ve çıktılarını kontrol etmek için PyAudio<sup>7</sup> adlı kütüphaneden yararlanılmıştır. Vektörler üzerinden yapılan hesaplamalarda NumPy<sup>8</sup> ve SciPy<sup>9</sup> adlı kütüphanelerdeki bazı fonksiyonlar kullanılmıştır. Ses analizi sonuçlarıyla ilgili görsel bilgilerin sunulmasında ise PyQtGraph<sup>10</sup> kütüphanesinden yararlanılmıştır.

---

<sup>3</sup> [www.python.org](http://www.python.org)

<sup>4</sup> [www.qt.io](http://www.qt.io)

<sup>5</sup> [www.cplusplus.com](http://www.cplusplus.com)

<sup>6</sup> [essentia.upf.edu](http://essentia.upf.edu)

<sup>7</sup> [people.csail.mit.edu/hubert/pyaudio/](http://people.csail.mit.edu/hubert/pyaudio/)

<sup>8</sup> [www.numpy.org](http://www.numpy.org)

<sup>9</sup> [www.scipy.org](http://www.scipy.org)

<sup>10</sup> [www.pyqtgraph.org](http://www.pyqtgraph.org)



## 2. LİTERATÜR

Literatürdeki hesaplamalı müzikoloji araştırmalarında daha çok melodik özelliklerle ilgili araştırmaların ön planda olduğu görülmektedir. Bu araştırmalar melodi için temel frekans tahmini, tek sesli ve çoksesli kayıtlar için melodi analizi, spektral analiz, melodi benzerliği, melodi ile arama yapmak gibi problemlere yönelik olarak yapılmıştır. Ritim ile ilgili olarak ise, vuruş tespiti, ritim döngüsü tespiti, tempo tahmini, bir müzik kaydının dans edilebilirliğinin tespiti gibi müzik bilgi erişimi yöntemleriyle yapılan çalışmalar ile farklı kültürlerdeki ritmik yapıların birbiri ile ilişkisini incelemek üzerine müzikolojik yöntemler kullanılarak yapılan çalışmalar mevcuttur. MIR yöntemleri ile yapılabilecek çalışmalarla ilgili ayrıntılar (Downie 2003) içerisinde açıklanmaktadır. Bu tez çalışmasının konusuyla ilgili çalışmalar araştırıldığında ise, bunların çok fazla sayıda olmadığı görülmüştür. Yapılan araştırmalarda iki ritmin benzerliği, daha genel bir problem olan iki karakter dizisinin benzerliği problemine benzetilerek çalışılmıştır.

### 2.1 RİTİM BENZERLİĞİ ÖLÇÜMÜ İÇİN ÖNERİLMİŞ YAKLAŞIMLAR

İki ritim dizisinin birbirine benzerliğini ölçmek için, hâlihazırda tanımlanmış olan bazı uzaklık hesaplama yöntemlerinden yararlanılan çalışmalar yapılmıştır (Toussaint 2004). Bu kısımda bu uzaklık modelleri kısaca açıklanacak ve bu modellerin artıları/eksileri tartışılacaktır. Her model için, bu çalışmada tanımlanmış olan problemin çözümüne uygunluğu değerlendirilecektir. İzleyen kısımda incelenecek hesaplamalı yöntemler *Hamming* uzaklığı, vuruş aralıklarının Öklid uzaklığı, vuruş aralıklarının vektörel uzaklığı, *swap* uzaklığı ve *kronotonik* uzaklık hesaplama yöntemleridir. Bir sonraki bölümde ise, bu tez çalışmasının hedefiyle en çok örtüşen yüksek lisans tezi (Percival 2008) ayrıntılı olarak incelenecektir.

#### 2.1.1 Hamming Uzaklığı

Hamming uzaklığı kullanılarak iki ritmin benzerliğinin hesaplanabilmesi için ritimler ikilik sayı sisteminde yazılmış diziler olarak temsil edilmektedir. Örnek verilecek olursa,

sık kullanılan usullerden biri olan *Düyek*'in nota gösterimi Şekil 2.1'deki gibidir. Bu usulün ikilik sistemdeki karşılığı ise Şekil 2.2'de gösterilmiştir. Bu temsile göre usulün tamamı belirli sayıda parçalara bölünmüştür ve usul içerisindeki vuruşlara denk gelen parçalar siyah ile, vuruşun devamında sessizlik içeren parçalar ise beyaz ile gösterilmiştir. Düyek usulü 8/8'lik bir ölçüde gösterilebildiği ve aynı zamanda uzatma işareti içermeyen 4'lük ve 8'lik vuruşlardan oluştuğu için bu gösterimde bir ölçünün 16 eşit parçaya bölündüğü bir gösterim yeterli ve uygundur.

**Şekil 2.1: Düyek usulünün nota ile gösterimi**



**Şekil 2.2: Düyek usulünün ikilik sayı sisteminde gösterimi**

1	0	1	0	0	0	1	0	1	0	0	0	1	0	0	0

Bu yöntemle göre, iki ritmin karşılaştırılabilmesi için öncelikle bir ölçünün bölüneceği eşit parçalara uygun sayı belirlenmelidir. Ardından ritim içerisindeki vuruşlar uygun şekilde bu parçalara yerleştirilmelidir. Bir sonraki aşamada ise iki ritimde aynı sıradaki kutuların içindeki değerlerle uzaklık hesabı yapılmaktadır (Hamming 1986).  $X$  ve  $Y$ , elemanları sırasıyla  $x_i$  ve  $y_i$  vuruşlarından oluşan iki diziyi,  $d_H$  ise bu iki dizi arasındaki *Hamming* uzaklığını belirtmek üzere,

$$X = (x_1, x_2, x_3, \dots, x_n), x_i \in \{0, 1\}, \quad (2.1)$$

$$Y = (y_1, y_2, y_3, \dots, y_n), y_i \in \{0, 1\},$$

$$d_H(X, Y) = \sum_{i=1}^n |x_i - y_i|$$

Bu çalışmada ritimlerin benzerliği hesaplanırken ses kayıtlarından otomatik analiz yapılarak, referans ritim temel alınarak icraya bir puan verileceği dikkate alındığında Hamming uzaklığı hesaplamasının uygun olmadığı gözlenmektedir. Bunun nedenleri şu

şekilde özetlenebilir: Bir referans ve icra karşılaştırılırken referans ve icra kayıtlarının aynı sayıda parçalara bölünmüş olması beklenmektedir. Bu durumda referans kayıt önceden belirli sayıda parçaya bölünmüş olacağı için icra kaydının da aynı sayıda parçaya bölünmesi gerekmektedir. İcra kaydındaki vuruşların eşlendiği parçalar ise doğrudan puanlamayı etkileyecektir. Bu noktada yukarıda verilen Düyek usulü örneğini ele alırsak, herhangi bir vuruş için icrada yapılacak 1/16'lık ve 1/32'lik hatalar aynı doğruluk ya da yanlışlık derecesiyle değerlendirilecektir. Bu durumda belirli bir referans ritim için farklı icralardaki hatalar farklı olabileceğinden, Hamming uzaklığı hesaplamadan önce her icra için uygun sayıdaki parça sayısı hesaplanması ve referans ritmin de her seferinde yeniden bu sayıda parçaya bölünmesi gerekmektedir. Bu durumda, farklı sayıda parçaya bölünmüş ritimler için hesaplanacak uzaklıkların birimi farklı olacaktır. Belirtilen etmenler gözönünde bulundurulduğunda, Hamming uzaklığı iki ritmin notada belirtilen halini karşılaştırmak için uygun olsa da, farklı ritim icralarını belirli bir referans ritimle kıyaslamak için mevcut haliyle yeterince kapsamlı bir hesaplama sunmamaktadır.

### 2.1.2 Vuruş Aralıklarının Öklid Uzaklığı

Bu uzaklık hesaplama yönteminde *vuruşlar arasındaki zaman farkı* cinsinden elemanlar içeren diziler kullanılmaktadır. Her iki ritim kaydı için öncelikle bu zaman farkları hesaplanarak birer dizi oluşturulur. Sonrasında ise bu dizilerde aynı indise sahip değerler aşağıda belirtilen formüle göre birbiriyle işleme sokularak toplam uzaklık hesaplanır.

Şekil 2.3: Düyek usulü için vuruş arası uzaklıklar



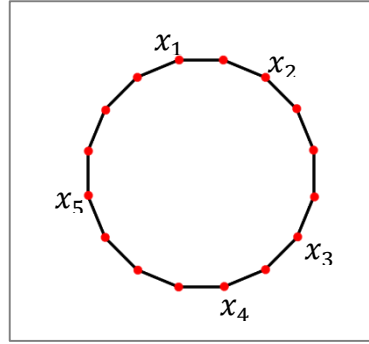
$$X_{düyek} = (2, 4, 2, 4, 4) \quad (2.2)$$

$$X = (x_1, x_2, x_3, \dots, x_n)$$

$$d_E(X, Y) = \sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - y_i)^2}$$

Öklid uzaklığı yönteminde kullanılan dizilerin *Bölüm:2.1.1*'deki dizilerden farkı, bu yöntemde son vuruştan sonra sessizlik içeren ( $0$  değerli) parçaların da hesaplama için anlamlı olmasıdır. Bunun sebebi ise ritimler arasındaki uzaklık hesaplamasının öncesindeki adım olan vuruşlar arası uzaklık hesaplama aşamasıdır. Son vuruşa dair bilgi hesaplanırken, ölçünün ne zaman sonlandığı bilgisi önemlidir. Bir ölçünün bitimi ise istisnalar haricinde sonraki ölçünün ilk vuruşuna denk gelmektedir. Bu durum gözönünde bulundurularak, vuruşlar arası uzaklık hesaplanırken bir ritim, sonu ve başlangıcı aynı noktada olan bir döngü olarak gösterilmektedir (Şekil 2.4).

**Şekil 2.4: Düyek usulü için ölçü döngüsü gösterimi**



İki ritmin benzerliğini hesaplariken bu yöntem kullanıldığında, vuruşlar arasındaki uzaklık, (zaman farkı), farklı birimler cinsinden belirtilebilir. Örneğin saniye, milisaniye, örnek sayısı, çerçeve sayısı vb. birimler belirlenebilir. Seçilen birime göre yöntemin vereceği sonuçlar farklı duyarlılıkta olacaktır. Bir başka önemli nokta da, aynı ritmin farklı tempodaki icraları için bu yöntemin farklı sonuçlar vermesidir (Coyle & Shmulevich 1998) (Mont-Reynaud & Goldstein 1985).

### 2.1.3 Vuruş Aralıklarının Vektörel Uzaklığı

İki ritim arasındaki benzerliğin ölçülmesinde vuruş aralıklarının vektörel uzaklığı yönteminin kullanılması için ritimler *Bölüm2.1.2*'de belirtilen yöntemde kullanılan dizilerden elde edilen yeni bir dizi ile gösterilmektedir. Elde edilen dizinin elemanları, vuruşlar arası uzaklıkların oranı cinsinden olmaktadır. Bu şekilde her farklı ritim için kendine özgü bir parmak izi oluşturulmakta ve her bir vuruş, kendi uzunluğuna

ek olarak bir sonraki vuruşun uzunluğu da kullanılarak belirtilmektedir. Tanımlanan bu yeni dizi için bir önceki aşamada kullanılan bilgilere ek başka bilgi gerekmemektedir.

$$T = (t_1, t_2, t_3, \dots, t_n) \quad (2.3)$$

$$X = \left( \frac{t_2}{t_1}, \frac{t_3}{t_2}, \dots, \frac{t_n}{t_{n-1}} \right) \quad (2.4)$$

Ritim dizileri belirtilen şekilde tanımlandıktan sonra benzerlik hesaplaması yapılabilmektedir. Vuruş aralıklarının vektörel uzaklığı hesaplanırken, aynı indise sahip vuruşlar arası uzaklık vektörlerinden büyük olanın küçük olana oranı elde edilir ve ritim dizisi içindeki tüm elemanlar için bu işlem tekrar edilerek elde edilen değerler toplanır. Sonrasında, iki dizinin aynı indise sahip vektörlerinden küçük olanı referans kabul edilerek, elde edilmiş olan toplamdan bu değer, (*I=vektörün kendine oranı*), çıkarılarak nihai uzaklık elde edilmiş olur.

$$d_{ID}(X, Y) = \left( \sum_{i=1}^n \frac{\max(x_i, y_i)}{\min(x_i, y_i)} \right) - n \quad (2.5)$$

Bu yöntemin uygun olmama nedenlerinden biri, her bir indis için vuruşlar arası uzaklık vektörlerinin oranı hesaplanırken referans ritim bilgisinin değişebilir olmasıdır. Bu durumda hesaplama öncesinde referans olarak kabul edilen  $X$  dizisi hesaplama esnasında referans özelliğini yitirmekte ve birbirine denk düzeyde iki vektör olan  $X$  ve  $Y$  dizileri için bir uzaklık hesaplanmaktadır. Hesaplama bu şekilde yapıldığında, referans bir ritim için kaydedilmiş farklı icraların değerlendirilmesinde her icra, kendisinin referansla kombine edilmesinden elde edilen yeni bir referansa göre değerlendirilmiş olacağından tüm icralar için genelleştirmiş ve objektif bir değerlendirme elde edilememektedir (Shmulevich vd. 2001).

#### 2.1.4 Swap Uzaklığı

Swap uzaklığını hesaplamak için, ses kaydı içerisinde saptanmış vuruşların Bölüm 2.1.1'de açıklandığı gibi ikilik sistemdeki değerlerden oluşan bir dizi ile gösterilmesi gerekmektedir. Ayrıca referans ve icra kayıtlarında saptanan vuruş

sayılarının eşit olması beklenmekte ve öyle olduğu varsayılmaktadır. Dizilerin eşit sayıda vuruş içerdiği doğrulandıktan sonra, referans dizi ve icra kaydından elde edilen dizi karşılaştırılır. Bu karşılaştırmada, icra dizisinin referans diziden farklı olduğu kısımlar saptanır. Sonra icra dizisinden yola çıkılarak, referans dizisiyle eşleşmeyen kısımlardaki ardışık 1 ve 0'ların yeri değiştirilmek suretiyle referans diziyeye ulaşılmaya çalışılır. Bu yöntem uygulanarak, icra kaydı dizisinden referans diziyeye ulaşılmasını sağlayan en az hamle sayısı *swap* uzaklığı olarak tanımlanmıştır (Typke vd. 2003).

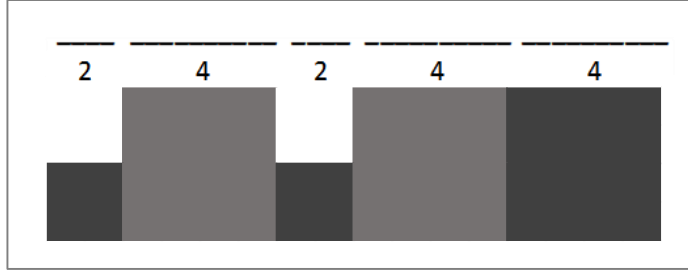
**Tablo 2.1: Döyek usulü için swap uzaklığı örneği**

Referans Dizi	1	0	1	0	0	0	1	0	1	0	0	0	1	0	0	0
İcra Dizisi	1	0	0	1	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	1	0
Hamle: 1	1	0	1	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	1	0
Hamle: 2	1	0	1	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	1	0
Hamle: 3	1	0	1	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	1	0
Hamle: 4	1	0	1	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	1	0	0
Hamle: 5	1	0	1	0	0	0	1	0	1	0	0	0	1	0	0	0
Uzaklık: 5	1	0	1	0	0	0	1	0	1	0	0	0	1	0	0	0

### 2.1.5 Kronotonik Uzaklık

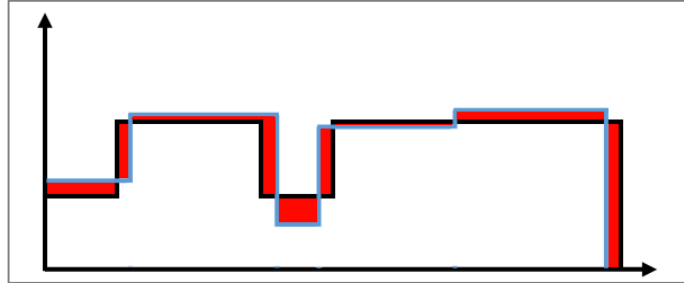
Bu uzaklık yöntemini kullanarak hesaplama yapılabilmesi için, ritim dizilerinin *kronotonik* gösteriminin elde edilmesi gerekmektedir. Kronotonik gösterim, daha önceki uzaklık yöntemlerinde bahsedilen gösterimlerden farklıdır. Diğer yöntemlerde diziler 1 boyutlu vektörler olarak gösterilmekteydi. Kronotonik gösterimde ise diziler 2 boyut kullanılarak gösterilmektedir. Döyek usulü için kronotonik gösterim Şekil 2.5'te görülebilmektedir. Bu gösterimde, bir dizi içerisindeki vuruşların sadece başlangıç zamanı değil, ilaveten vuruşların süresi de belirtilmektedir. Bu bilgidan yararlanılarak, bir dizide vuruş içeren elemanı takip eden elemanların da vuruş içeren elemanın değerini alması sağlanmaktadır. Bu şekilde, örneğın 1 boyutlu bir dizide vuruş olmayan kısımların tamamı birbiriyle aynı özellikte iken; kronotonik gösterimde bir vuruşa dâhil olan kısımlar ve *es* içeren kısımlar ayırt edilebilmektedir (Gustafson 1988).

**Şekil 2.5: Düyek usulünün kronotonik gösterimi**



Referans ritim ve icra ritmi için kronotonik gösterimler elde edildikten sonra, iki dizinin başlangıç noktaları eşitlenir. Örneğin Şekil 2.6'deki siyah çizgi Şekil 2.5'teki Düyek usulü gösteriminin alanını belirlemekte iken, mavi çizgi ise bu referansı baz alarak yapılmış bir icranın kronotonik gösteriminin alanını belirtmektedir. Bu gösterim elde edildikten sonra, iki kronotonik gösterim arasında kalan alanlar hesaplanarak bu iki dizinin kronotonik uzaklığı elde edilmiş olur.

**Şekil 2.6: Düyek usulü için referans ve icra arasındaki fark**



## 2.2 G.K. PERCIVAL'IN METODU

(Percival 2008) çalışmasında ritim benzerliği için hazırlanan kısım, bu tez çalışmasında hedeflenen ritim benzerliği hesaplama problemiyle oldukça benzeşmektedir. İki problem tanımı sınırlarının arasında temel bazı farklılıklar bulunsa da, literatürdeki çalışmalar arasında bu çalışmanın hedefiyle en çok örtüşen ve prototipi geliştirilmiş bir yöntem olduğu için ayrıntılı olarak anlatılacaktır.

Bu yöntemde vuruşların tespiti için öncelikle ses sinyali 11,6 milisaniyelik çerçevelere bölünmektedir. Sonra her çerçeve için RMS değeri hesaplanmakta ve bu değerler bir dizide tutulmaktadır. RMS değerlerini içeren bu diziden, önceden belirlenmiş sabit bir eşik düzeyin üzerinde olan tepe noktaları seçilerek *saptanan vuruşlar* olarak işaretlenmektedir. Tespit edilen vuruşlar bir dizide tutularak o ritmin vuruş dizisi elde edilir ve dizideki her vuruş, saptandığı çerçevenin indeksi ile anılır. Sabit bir eşik düzey olması, bu yöntemin yalnızca sözkonusu değer altında gürültü içeren ortamlarda kullanılabilir olmasına yol açmaktadır. Örneğin evimizde sessiz bir oda bu yöntem için uygun bir ortam iken; sabit düzeyde fakat programda belirlenmiş olan eşğin üzerinde gürültü içeren bir açık hava ortamı bu yöntem için uygun olmayan bir ortam olmaktadır. Percival'ın yönteminde, icrada saptanan vuruş sayısının referanstaki ile aynı olması beklenmektedir. Bunun sebebi ise, icra esnasında bir vuruş atlandığında müzik ustaları tarafından o icranın genel olarak hatalı olarak değerlendirilmesidir. Değerlendirme sürecinde yöntem olarak, atlanmış olan bu vuruşya çok büyük bir hata puanı verilmesi seçeneği irdelenmiştir. Bu şekilde büyük hata puanı içeren bir toplam puanın, geçer puanın altında kalması sağlanabilir. Fakat bu işlem, icrada saptanan vuruş sayısı referansta saptanana eşit olmadığında icranın yanlış kabul edilmesi ile aynı durumdur. Bu nedenle, bir puan hesaplaması yapılabilmesi için öncelikle iki kayıta saptanan vuruş sayılarının eşit olması beklenmektedir. Bu şekilde toplam süreçteki işlem sayısı azaltılarak işlemden tasarruf edilmektedir.

Referans ve icra kayıtlarında eşit sayıda vuruş saptandıktan sonra, iki ritim dizisi en uygun şekilde birbirine hizalanmaktadır. Bu hizalama aşamasında referansın ve icranın aynı tempoda kaydedildiği varsayılmakta ve icrada ya da referansta herhangi bir tempo değişikliği yapılmamaktadır. İki ritim dizisinin en uygun hizasının bulunabilmesi için ise, bir dizi diğer dizi üzerinde kaydırılarak referans dizideki her vuruş için icrada karşı gelen vuruş arasındaki uzaklık hesaplanmakta ve bu uzaklıklar toplanarak dizilerin birbirine olan uzaklığı çerçeve cinsinden elde edilmektedir. Elde edilen bu uzaklığın en küçük olduğu nokta ise dizilerin birbiriyle en iyi hizalandığı pozisyon olarak belirlenmektedir.

İlerleyen kısımlardaki denklemlerde referans ve icra ritimlerine dair vuruş dizileri sırasıyla  $R$  ve  $\hat{I}$  ile gösterilecektir. Bu dizilerdeki tekil vuruşlar ise,  $j$  vuruşun indis



bilgisini içerecek şekilde  $R_j$  ve  $\dot{I}_j$  ile belirtilecektir. İcra ve referans dizileri arasındaki uzaklık  $\sum_{j=1}^n (\dot{I}_j + x - R_j)^2$  ifadesi ile belirtilecek olursa, iki dizinin birbirine en yakın olduğu durum, bu ifadenin en küçük değerini aldığı durumdur. Bunu sağlayan  $x$  değeri ise, bu ifadenin türevinin 0'a eşit olduğu anda elde edilir. Bu bilgiye göre iki dizinin birbirine en iyi hizalandığı durum Denklem 2.6'da gösterilen şekilde bulunabilmektedir. Burada  $n$ , referans ve icra vuruş dizilerindeki vuruş sayılarını belirtmektedir.

$$\begin{aligned}
0 &= \frac{d}{dx} \sum_{j=1}^n (\dot{I}_j + x - R_j)^2 & (2.6) \\
&= \sum_{j=1}^n \frac{d}{dx} (\dot{I}_j + x - R_j)^2 \\
&= \sum_{j=1}^n 2 \cdot (\dot{I}_j + x - R_j) \\
&= \sum_{j=1}^n \dot{I}_j + \sum_{j=1}^n x - \sum_{j=1}^n R_j \\
n \cdot x &= \sum_{j=1}^n R_j - \sum_{j=1}^n \dot{I}_j \\
x &= \bar{R} - \bar{\dot{I}}
\end{aligned}$$

Diziler Denklem 2.6'da elde edilen değere göre hizalandıktan sonra icra dizisinin referans dizisine olan benzerlik puanı hesaplanmaktadır. Puan hesaplama aşaması için Percival'ın çalışmasında MSE (Mean Squared Error) kullanılmaktadır. Buna göre, iki dizi arasındaki uzaklığı belirten ifade Denklem 2.7'de belirtildiği gibidir.

$$Error = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n (\dot{I}_j - R_j)^2 \quad (2.7)$$

Bu ifadeye göre, hizalanmış dizilerde aynı indise sahip vuruşların çerçeve cinsinden zamanlarının farkından elde edilen MSE değeri hesaplanmaktadır. Elde edilen bu değer iki dizinin birbirine olan uzaklığını belirten ve birimi *çerçeve*<sup>2</sup> olan bir uzaklıktır. Daha sonra bu uzaklık, deneyler sonucu karar verilmiş bir sabitle çarpılarak normalize edilmiş hata skoru hesaplanmaktadır. Elde edilen bu normalize edilmiş hata puanı 1'den

çıkarılarak iki ritmin benzerlik puanı belirlenmektedir. Bu yöntemde, her referans için bu katsayıların el ile yeniden ayarlanması gerekmektedir. Çünkü her referans ritim için, kabul edilebilir eşik puan değeri farklı olabilecektir. Percival'ın puanlama yöntemi, girdilerin tamamen tanımlı olduğu ve parametrelerin de girdilere özel şekilde optimize edildiği durumlarda makul sonuçlar vermektedir. Öte yandan, bu yöntemin sunmadığı bir özellik olan *referans ritmin içeriğinden bağımsız şekilde*, otomatik ayarlanan parametrelerle puanlama yapılabilmesini sağlayacak yöntemler için araştırma fırsatı olduğu görülmektedir.

### **2.3 LİTERATÜRDEKİ YÖNTEMLERİN DEĞERLENDİRİLMESİ**

Bu bölümde açıklanmış olan uzaklık hesaplama yöntemlerinin her biri farklı türdeki problemler için etkinliği kanıtlanmış yöntemlerdir. Açıklanmış olan her bir uzaklık hesaplama yönteminin bu tezin konusu olan problem gözönünde bulundurularak olumlu ve olumsuz yönleri belirtilmiştir. Genel olarak değerlendirildiğinde, anlatılan uzaklık hesaplama yöntemleri daha önceden farklı problemlerin çözümünde kullanılmış algoritmaların ritim benzerliği problemine belirli sınırlar içerisinde uyarlanmış biçimleridir. Sözü geçen bu uzaklık hesaplama yöntemlerinin herhangi biri bu tezde tanımlanan hedefi tam olarak karşılamadığından, bu çalışma kapsamında müzikal olarak anlamlı ve anlaşılması kolay olan bir benzerlik hesaplama yöntemi üzerinde çalışılmasına karar verilmiştir. Hazırlanacak benzerlik hesaplama yöntemi, test veri setinde bulunan referans değerlerle kıyaslanacaktır. Buna ek olarak, gerçekleştirilmesi kolay ve hesaplama süresi hızlı olduğundan *Hamming* ve *Öklid* uzaklık hesaplama algoritmaları da hazırlanarak test veri seti üzerinde çalıştırılacaktır. Bu tez çalışmasının tanımındaki hedeflerle yüksek oranda örtüşen (Percival 2008) kapsamında hazırlanmış olan ritim benzerliği hesaplama yöntemi de kodlanarak test veri seti üzerinde çalıştırılacaktır.

### 3. RİTİM EĞİTİM ARACI

Türk makam müziği için usul eğitim aracının tasarımında, meşk sistemini belirli bir ölçüde gerçekleyebilecek bir bilgisayar programı geliştirilmesi hedeflenmiştir. Buna ek olarak, ustanın mevcut olduğu durumlarda da yarar sağlayabilecek bir araç oluşturulması gözönünde bulundurulmuştur. Bu hedefi gerçekleyebilmek için bazı kısıtlar ve gereksinimler belirlenmiştir. Bu gereksinimlerin karşılandığı varsayılan bir ortamda programın çalışma süreci tasarlanmıştır. Bu çalışma sürecinin ayrıntıları ve programın işlevsel alt bölümleri bu kısımda ayrıntılı olarak anlatılacaktır.

#### 3.1 ÇEVRESEL İHTİYAÇLAR VE KISITLAR

**Ses çıkışı ve mikrofonu olan bir bilgisayar:** Bu araçlar sırasıyla kullanıcının bilgisayardan gelen referans ritmi dinleyebilmesi ve kendi performansını kaydedebilmesi için gerekmektedir. Bu şekilde kullanıcı günlük yaşamda kullanılan sıradan ekipmanlarla, ek bir arayüz ya da donanım ihtiyacı olmadan programı kullanabilecektir.

**Makul düzeyde gürültüye sahip ve stabil bir ortam:** Ortam, kullanıcının kulaklıkla ya da hoparlörle dinlediği ritmi rahatça anlayabileceği düzeyde sessiz olmalıdır. Buna ilaveten ortamda, kaydedilen icranın algılanamamasına yol açabilecek ani sesler olmaması beklenmektedir.

#### 3.2 TASARIM

Geliştirilecek olan bilgisayar programının kullanımının kolay öğrenilebilmesi, kullanımının basit olması ve programın sunduğu sonuçların kullanıcı tarafından kolayca anlaşılabilmesi hedeflenmiştir. Bu ölçütlere uyum sağlanması gözetilerek, kullanıcının program aracılığıyla yapabileceği işlemler maddeleştirilerek bir liste hazırlanmıştır. Bu liste incelenecek olursa:

- a. Referans kayıt dinlenir:** Kullanıcı çalışmak istediği ritmi, programa önceden yüklenmiş olan ritimlerin bulunduğu listeden seçer. Sonra bu ritmi dinleyerek algılamaya çalışır.
- b. Kullanıcı kendi performansını kaydeder:** Kullanıcı, dinlemiş olduğu ritmi kendisi icra ederek icrasını programa kaydeder.
- c. Sistem kullanıcının performansını değerlendirir:** Sistem, bu çalışma kapsamında hazırlanmış olan ritim benzerliği hesaplama yönteminden yararlanarak kullanıcının icrasını referans ritim ile kıyaslar.
- d. Sistem kullanıcıya puan ve analiz sonucu sunar:** Kullanıcının ritim icrası için hesaplanmış olan puan kullanıcıya sunulur. Buna ilaveten, icra ve referans ritimlerdeki vuruşların birbirine olan uzaklıklarını gösteren bir görsel de kullanıcıya sunulur. Bu şekilde kullanıcı, icrasında geliştirebileceği bölümleri görsel olarak inceleyebilir.
- e. Performans, belirlenmiş eşik puandan yüksekse bir sonraki ritme geçilir:** Kullanıcı, icrasına verilmiş puan önceden belirlenmiş olan eşik değer üzerindeyse başka bir ritim seçerek ilk adıma döner. Eğer kullanıcının icrası için hesaplanan puan eşik değerden düşükse, kullanıcı aynı ritmi çalışmaya devam edebilir.

Bu şekilde tanımlanmış bir sistemin kullanıcılara sunulabilmesi için, yukarıda belirtilen maddelerdeki gereksinimlerin sağlanması gerekmektedir. Bu maddelerin karşılanabilmesi için ise, geliştirilecek olan program, farklı işlevselliğe sahip olan alt modüllerin birleşimi olarak hazırlanacaktır. Bu şekilde, hem programın hazırlanma ve test süreci boyunca değişiklikler yapılabilecek, hem de program hazır hale geldikten sonra fark edilen gereksinimlerin eklenmesinde kolaylık sağlanacaktır. Her madde için teknik gereksinimler listesi şöyledir:

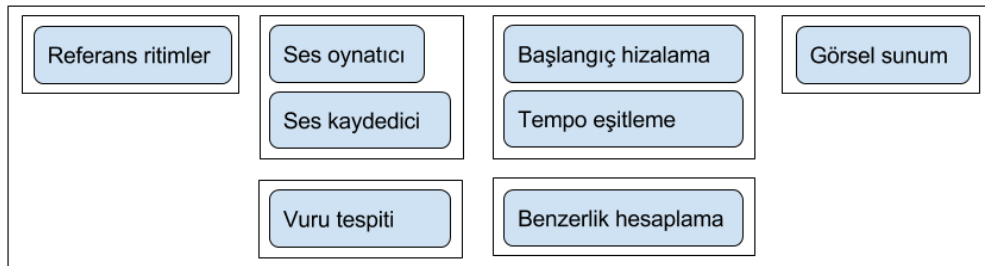
- a. Referans kaydın dinlenmesi:** Kullanıcıya referans kayıtların seçilebildiği bir liste sunulacaktır. Bunun için arayüze yerleştirilecek bir liste aracında listelenecek referans ritimlerin hazırlanması gerekmektedir. Sonrasında ise listeden seçilen ritmin belleğe alınması yeterlidir. Belleğe alınan kaydın çalınabilmesi için ise, basit bir ses çalma aracı gerekmektedir. Bunun için, seçilen bir ses dosyasını çalabilecek bir araç kodlanmıştır. Bu aşamada Python'da kullanılabilen bir kütüphane olan PyAudio'nun fonksiyonlarından yararlanılmıştır.

**b. Kullanıcının kendi icrasını kaydetmesi:** Bu ihtiyacı karşılamak için program kapsamında bir ses kayıt aracı yazılması gerekmektedir. Bu araç da yine PyAudio kütüphanesinden yararlanılarak hazırlanmıştır. Kullanıcı kaydı başlatıp icrasını yapacak, tamamladığında ise kaydı durdurabilecektir.

**c. Sistemin kullanıcının performansını değerlendirmesi:** Bu ihtiyacın karşılanması için geliştirilecek araçların, bu tez çalışmasının çekirdek kısmını oluşturduğu söylenebilir. İki ritim kaydının hesaplamalı olarak kıyaslanabilmesi için bazı ön aşamalar gerekmektedir. Bunlar ritim içeren bir ses kaydı içerisindeki *vuruşların saptanması* ve vuruş dizisi oluşturulması, iki ayrı ses kaydından elde edilen vuruş dizilerinin *başlangıçlarının birbirine hizalanması*, başlangıçları hizalanan vuruş dizilerinin isteğe göre *tempolarının eşitlenmesi*, hizalama işlemi tamamlanmış olan vuruş dizileri için *benzerlik puanı hesaplanması* şeklinde listelenebilmektedir. Bu işlemleri yapacak fonksiyonlar Python'da kodlanmıştır.

**d. Sistemin kullanıcıya puan ve analiz sonucu sunması:** Bir önceki maddede hesaplanmış olan benzerlik puanının, arayüz üzerinde kullanıcıya gösterilmesi hedeflenmiştir. Referans ve icra dizilerinin analizinin görsel olarak sunulması için ise referans ritmin dalga şekli gösteriminin sunulması ve bu gösterimin üzerine, icra kaydından elde edilmiş vuruş zamanlarının yerleştirilmesi uygun görülmüştür. Bu işlemleri yaparken PyQtGraph kütüphanesinde mevcut olan fonksiyonlardan yararlanılmıştır.

**Şekil 3.1: Program içerisinde bulunan modüller**



### 3.3 GELİŞTİRME

#### 3.3.1 Referans Ritimler

Bu çalışma kapsamında tasarlanan programın ilk sürümünde kullanılabilecek referans ritimlerin belirlenmesi gerekmektedir. Bu tez çalışmasında Türk makam müziği usulleri için bir eğitim aracı tasarlandığından, geliştirilecek programa dâhil edilecek ritimlerin de bu usuller içerisinden olması uygun görülmüştür. Aşağıda, kullanılan referans ritimlerin kaynağı ve seçiliş yöntemi ayrıntılı olarak açıklanmıştır.

##### 3.3.1.1 Türk makam müziği veri kütüphanesi

MTG tarafından yürütülmekte olan CompMusic projesi kapsamında, Batı merkezli olmayan müzik kültürleri için hesaplamalı müzik bilgi erişimi yöntemleri araştırmaları yapılmaktadır (Serra 2011). Bu müzik kültürleri başlıca Hindustani, Karnatik, Çin Beijing Operası, Endülüs makam müziği ve Türk makam müziğini içermektedir. Türk makam müziği için yapılan araştırmalar kapsamında melodik ve ritmik yapıların incelenmesi için hesaplamalı yöntemler üzerinde çalışılmaktadır. Proje içinde, bu araştırmalar boyunca hem test hem de değerlendirme aşamalarında kullanılmak üzere çeşitli türlerde veriye gereksinim duyulmuştur. Bu amaçla Türk makam müziği kültürünü olabildiğince fazla temsil edebilecek bir veri kütüphanesi oluşturulması hedeflenmiştir. Oluşturulacak veri kütüphanesinin, ilgili kültürü temsil etme derecesini ölçebilmek için ise bazı ölçütler belirlenmiştir (Serra 2014). Bu ölçütler *amaç, kapsama, bütünlük, nitelik ve yeniden kullanılabilirlik*dir. Belirtilen ölçütler gözönünde bulundurularak Türk makam müziği için ses kayıtları, notalar (Karaosmanoğlu 2012), meta-veri<sup>11</sup> ve bu bilgilerin birbirleriyle olan bağlantılarını içeren bir veri kütüphanesi hazırlanmıştır (Uyar vd. 2014). Hazırlanan bu veri kütüphanesindeki veri tipleri, nicelikleri ve her bir veri tipinin veri kütüphanesindeki kayıtlarda bulunma oranı Tablo 3.1’de gösterilmektedir.

---

<sup>11</sup> Kayıtlara dair bilgiler. Örn: *Albüm kapak bilgileri, besteci, makam, usul, form vb.*

**Tablo 3.1: Türk makam müziği veri kütüphanesindeki veri tipleri ve nicelikleri**

	#kayıtlar	%
Kayıt	5953	100
Eser	4626	78
Artist	5953	100
Makam	5544	93
Usul	5349	90
Form	5770	97

### 3.3.1.2 Çalışmaya dâhil edilen usuller

Bu tez çalışmasında odak noktası Türk makam müziği usulleri olduğundan, referans olarak kullanılacak usuller belirlenirken Türk makam müziği veri kütüphanesinden yararlanılması uygun görülmüştür. Bu amaçla, veri kütüphanesinde bulunan tüm eserler içerisinde meta-verisi mevcut olanların usul bilgilerine erişilmiştir. Sonrasında bu usullerin veri kütüphanesi içerisindeki dağılımı belirlenerek, kütüphanede gözlenme sayılarına göre azalan şekilde sıralanmıştır. Bu listede içerisinde, 5 zamanlıdan 10 zamanlıya kadar olan usuller seçilerek bu usullerden en çok gözlenenler programa eklenecek usuller olarak belirlenmiştir. Seçilen usuller, her bir usulün kaç zamanlı olduğu ve veri kütüphanesinde gözlenme oranları Tablo 3.2’de gösterilmektedir. Bu kurala göre seçilmiş usuller tabloda koyu renkle işaretlenerek belirtilmiştir. Seçilmiş olan bu usullerin gözlendiği kayıtlar veri kütüphanesindeki tüm kayıtların yüzde 46’sını oluşturmaktadır. Bu şekilde, programı kullanacak bir öğrencinin Türk makam müziğinde en sık kullanıldığı gözlenen usulleri çalışabilmesini sağlamak amaçlanmıştır.

**Tablo 3.2: Türk makam müziği veri kütüphanesinde en sık görülen 12 usul, zamanlama bilgileri ve veri kütüphanesinde görülme yüzdeleri**

Usul	Zaman	%
Aksak	9	0,15
Sofyan	4	0,14
Düyek	8	0,13
Curcuna	10	0,08
Aksak semai	10	0,06
Ağır aksak	9	0,06
Yürük semai	6	0,06
Semai	3	0,05
Nim sofyan	2	0,05
Sengin semai	6	0,03
Türk aksağı	5	0,03
Devr-i hindi	7	0,03

### 3.3.2 Arayüz



Programda yer alacak modüller ile kullanıcının etkileşim kurabilmesi için kolay anlaşılabilir ve kullanılabilir bir arayüz tasarlanması planlanmıştır. Bu arayüzde kullanıcıyla etkileşim içinde olacak modüller *ritim seçme listesi*, *ses oynatıcı*, *ses kaydedici*, *benzerlik hesaplamayı tetikleme butonu* ve *görsel sunum* olarak belirlenmiştir. Bu modüllerin kullanıcı ile etkileşim tipleri Tablo 3.3'te gösterildiği şekildedir.

**Tablo 3.3: Programda kullanıcıyla doğrudan etkileşimde olan modüller**

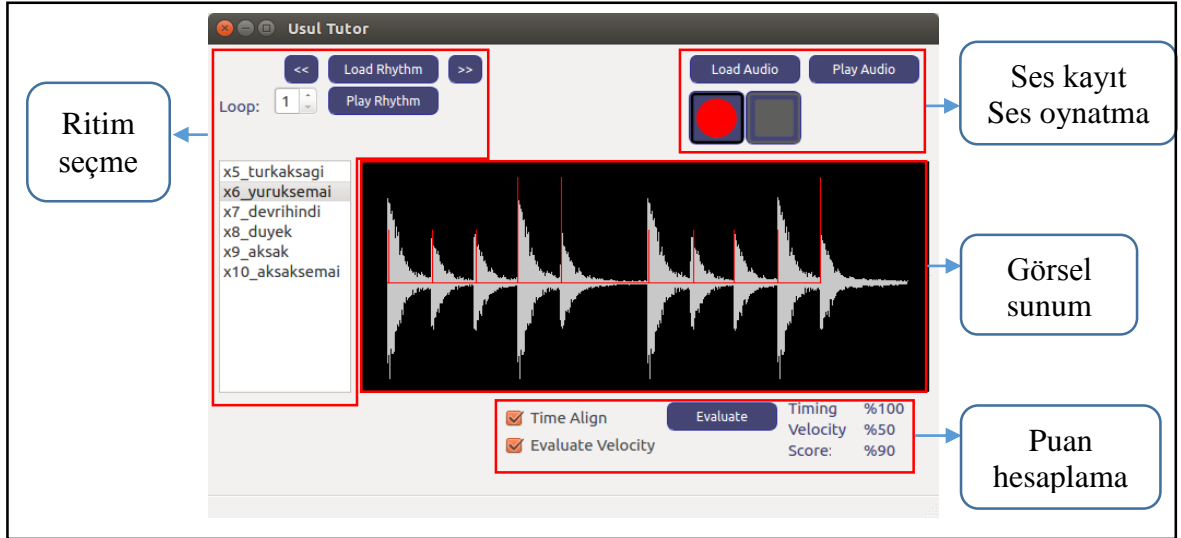
Modül	Etkileşim yönü
Ritim listesi	Kullanıcı tetikler
Ses oynatıcı	Kullanıcı tetikler
Ses kaydedici	Kullanıcı tetikler
Benzerlik hesaplama	Kullanıcı tetikler
Görsel sunum	Program tetikler

Kullanıcıyla etkileşimde olacak modüller belirlendikten sonra, deneylerin gerçekleştirilebileceği, kolayca tasarlanabilen ve işlevsel bir arayüz hazırlanmıştır. Bu arayüzün tez çalışması sürecinde kullanılan sürümü Şekil 3.2'de gösterilmektedir. Kullanıcı, şekilde görülen *ritim seçme* kısmındaki listeden bir ritim seçerek *Load Rhythm*



butonuna tıklayarak referans ritmi hazırlar. Sonrasında *Play Rhythm* butonu ile bu referans ritmi dinler. Referans ritmi dinledikten sonra kullanıcı *Kayıt*  butonuna tıklayarak icrasını kaydetmeye başlar. Kullanıcı icrasını tamamladıktan sonra *Durdur*  butonuna tıklayarak kaydı durdurur. Kullanıcı kaydını durdurmadığı takdirde, kayıt başladıktan 10 sn sonra kayıt otomatik olarak durdurulacaktır. Bu aşama tamamlandıktan sonra kullanıcı *Evaluate* butonuna tıklayarak puan hesaplamasını başlatır. *Time Align* seçeneği işaretlenmediğinde, icranın temposu referans ritmin temposunun farklı olması toplam puanı negatif yönde etkilemektedir. *Evaluate Velocity* seçeneği ise referans ve icradan saptanmış olan vuruşların şiddetinin de puanlamaya dâhil edilmesini sağlamaktadır. Puan hesaplaması tamamlandıktan sonra hesaplanan değerler pencerenin sağ alt bölümünde sunulmaktadır. Sunulan puanlara ilaveten, orta bölümdeki *Görsel Sunum* bölümünde referans ritmin dalga şekli ve icradan saptanan vuruşlar birlikte gösterilmektedir. Bu şekilde kullanıcının, icrasını görsel olarak inceleyebilmesini sağlamak hedeflenmiştir. Bu süreçte arka planda çalışan hesaplamalar devam eden bölümlerde açıklanacaktır.

**Şekil 3.2: Çalışma dahilinde hazırlanmış örnek arayüz ve etkileşimli modüller**



### 3.3.3 Vuruşların Tespiti

Geliştirilen programın tasarım aşamasında kullanılan ya da sonradan eklenebilecek belirli bir veri kitlesine bağlı olmaması hedeflenmektedir. Bu şekilde, farklı kullanıcılar farklı referans veri kullanarak kendi eğitim programlarına uygun olan ritimleri

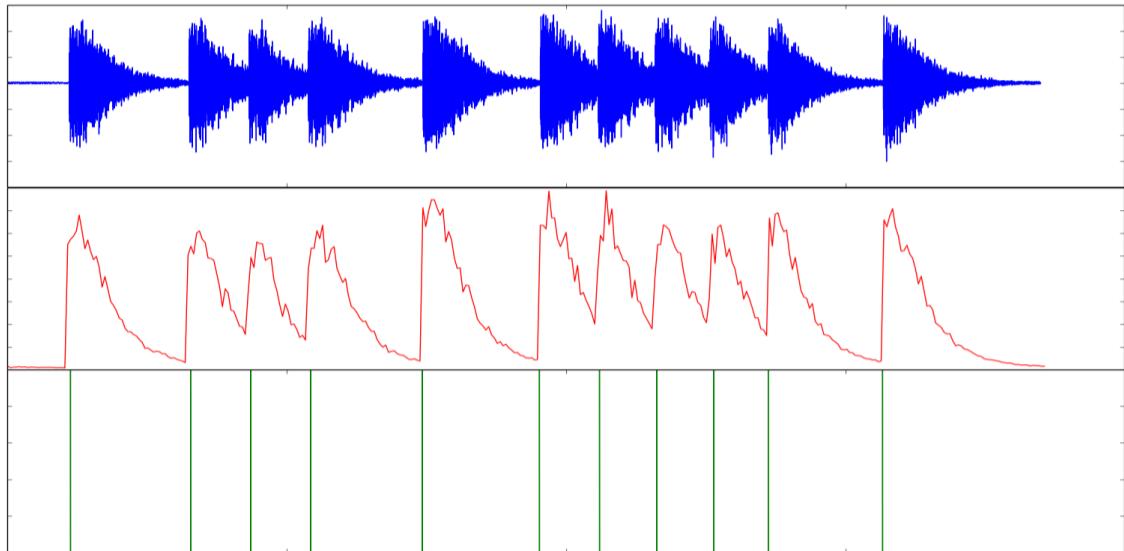
çalışabileceklerdir. Kullanıcılara bu esnekliği sağlayabilmek için programın, yalnızca ritim içerdiği bilinen bir ses dosyasındaki vuruşları saptayarak vuruş zamanlarını elde edebilmesi gerekmektedir. Vuruşların saptanabilmesi için, etkinliği gösterilmiş yöntemler arasından kolay kodlanabilecek birinin seçilmesi ve kullanılması uygun görülmüştür.

(Holzapfel vd. 2010) çalışmasında vuruş tespiti için uygun olan farklı yöntemler incelenmiş ve bu yöntemlerin avantajları/dezavantajları irdelenmiştir. Vuruş tespiti problemi, yalnızca ritim öğeleriyle sınırlı değildir. Ritimlerin yanısıra yalnızca melodik öğeler içeren ya da melodik ve ritmik yapıları birarada bulunduran ses kaynaklarından vuruş tespiti de bu problemin kapsamındadır. Buna göre *vuruş*, bir perde bilgisi olan ya da olmayan müzikal bir notanın başlangıç anı olarak tanımlanmaktadır. Buna örnek olarak, bu çalışma kapsamındaki yalnızca ritim içeren kaynaklardaki notaların tespiti verilebileceği gibi, bir bağlama kaydındaki notaların başlangıç anlarının tespiti de verilebilir. Bu iki örnekteki vuruşların yapısının farklı olması gibi iki problem için kullanılması uygun olan vuruş tespit yönteminin de farklı olması olağandır. Yalnızca vurmali çalgı içeren ve temiz kaydedilmiş kaynaklardan vuruş tespiti yapılırken, daha eski yöntemler olan zaman tanım kümesinde işlenmekte olan sinyalin büyüklüğü ve enerjisinden yararlanılarak vuruşlar saptanabilir (Goto & Muraoka 1996) (Schloss 1985). Yalnız bu yöntemler, daha kirli kayıtlarda ya da örneğin yaylı çalgılar içeren kayıtlarda aynı derecede verimli olmamaktadır. Örneğin yaylı çalgı icrası içeren bir kayıttaki bağlı notalar ele alındığında, bu notaların başlangıç anlarının enerji değişiminden yararlanılarak saptanamama ihtimali yüksektir. Bir başka örnek olarak da gürültülü ortamda kaydedilmiş bir icra verilebilir. Böyle bir kayıt ele alındığında, ortamda sabit bir gürültü olduğundan, notaların ya da vuruşların başlangıç anlarında ani enerji değişimi gözlenemeyerek vuruş tespiti yapılamayabilir. Bu gibi durumlarda daha verimli olabilecek bir yöntem, *spektral akı değişiminden* yararlanarak vuruşların saptanmasıdır. Bu yöntemde, ses sinyalindeki her çerçeve için spektrum hesaplanmakta ve art arda gelen çerçevelerdeki spektral değişiklikten yola çıkarak vuruş içerdiği tahmin edilen çerçeveler seçilmektedir (Tzanetakis & Cook 1999) (Dixon 2006).

Bu tez çalışmasındaki vuruş tespiti problemi ve belirlenmiş olan sınırlamalar gözönünde bulundurulduğunda, yukarıda sunulmuş olan seçeneklerden ikincisi olan ses sinyalindeki spektral akış değişimi ile vuruşların tespiti yönteminin daha uygun olduğu görülmektedir. Bu tez çalışması kapsamında geliştirilecek olan uygulamanın farklı düzeyde ve tipte gürültü içeren ortamlarda herhangi bir kısıtlama ya da ön tanımlama ihtiyacı olmadan kullanılabilmesi kistasını karşılayabilmesinin daha uygun olduğu belirlenmiştir.

Spektral akı değişimi yöntemi kullanılarak bir ses kaydından vuruşların saptanma süreci, izleyen kısımda anlatılmaktadır. Öncelikle ses kaydı içeren dosya, üzerinde matematiksel işlem yapılabilecek bir *dizi* şeklinde okunur. Bu dizideki değerler bir grafik üzerinde gösterildiğinde, ses kaydının *dalga şekli* elde edilmektedir. Sonrasında spektral akı yönteminden yararlanılarak dalga şeklindeki her çerçeve için vuruş içermeye ihtimalini belirten bir değer hesaplanır. Hesaplanan değerlerin büyüklüğü, ilgili çerçevenin vuruş başlangıcı içeren bir çerçeve olma olasılığı ile doğru orantılıdır. Bir sonraki aşamada, spektral akı değişimi yöntemiyle elde edilen bu dizi önce yumuşatma işleminden geçirilerek belirli eşik değerinin üzerindeki tepe noktaları seçilir ve ses kaynağındaki vuruş zamanları saptanır. Ses sinyalinden vuruşların tespiti sürecinde elde edilen *dalga şekli*, *ilgili çerçevenin vuruş başlangıcı olma olasılığını içeren fonksiyon* ve *bu fonksiyon işlenerek elde edilen vuruş anları* için örnek çıktılar Şekil 3.3'te sırasıyla sunulmaktadır.

**Şekil 3.3: Ritim içeren bir ses dosyasından vuruş zamanlarının elde edilme aşamaları**



### 3.4 BENZERLİK ÖLÇÜM ALGORİTMASININ HAZIRLANMASI

Bölüm 2.1’de anlatılan yöntemler bu çalışmada hedeflenen karşılaştırma işlemi için tam olarak yeterli ya da kapsamlı olmadığı için, çalışmamızda çerçevesi çizilen ihtiyacı karşılayacak şekilde özgün bir karşılaştırma yöntemi geliştirilmesine karar verilmiştir. Geliştirilecek yöntem,

- a. Kullanıcı tarafından kolayca anlaşılabilir bir toplam puan sunmalı,
- b. Farklı referans kayıtlar için farklı ayarlama yapma ihtiyacı olmamalı,
- c. Farklı ortamlarda kaydedilmiş icralar için farklı ayarlama yapma ihtiyacı olmamalıdır.

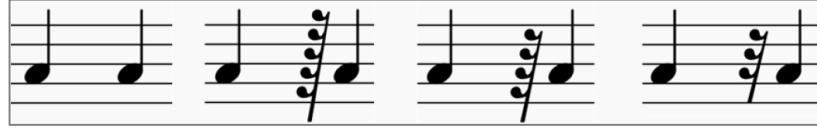
#### 3.4.1 Ritmik Benzerlik Algı Testi

Bu çalışma kapsamında hazırlanacak benzerlik ölçüm algoritmasının hem matematiksel olarak tanımlı, hem de müzikal olarak anlamlı bir bağlam içinde olması planlanmıştır. Bu şekilde ritim çalışan kişi, icrasının iyi ya da kötü kısımlarının ne kadar iyi ya da kötü olduğunu muhtemelen daha önceden aşına olunan müzikal tanımlardan yararlanarak gözlemleyebilecektir.

Puanlama algoritmasında kullanılacak müzikal sınırların belirlenebilmesi için basit bir deney yapılması uygun görülmüştür. Deneyin amacı, iki ritmin birbirinden ayırt edilebildiği, müzikal olarak tanımlı en küçük farkı gözlemleyebilmek olarak tanımlanmıştır. Bu amaç gözönünde bulundurularak, deney en basit ritmik dizi olan, iki vuruşluk bir ritim üzerinden kurgulanmıştır. Tempo aralığı olarak, eserlerde ve eğitim alanında en yaygın kullanılan aralık olarak belirtilen 80-120 BPM aralığı seçilmiştir. Deney senaryosuna göre, dinleyiciler öncelikle iki vuruştan oluşan bir ritmi dinleyeceklerdir. Devamında ise aynı ritmin, vuruşları arasına farklı uzunluklarda *es* eklenmiş halini dinleyeceklerdir. Dinleyicilerden, ilk ritim haricinde dinledikleri ritimlerin, ilk ritimle aynı olup olmadığını belirtmeleri istenecektir. İki ritmin aynı olmadığı belirtilen durumlarda ise, bu farklılığın ne kadar az ya da çok olduğunu belirtmeleri istenecektir. Deneyin amacı, dinleyicilerin iki ritmin birbirinden farklı

duyulduğu aralıkları gözlemek olduğundan bu aşamada herhangi bir sayısal değer sunulması istenmeyecektir.

**Şekil 3.4: Dinleme testinde kullanılan notalar**



Deney esnasında iki ritmin benzerliğiyle ilgili dinleyiciler tarafından sunulan farklı bildirimler “aynı”, “sanırım aynı”, “farklı olabilir” ve “farklı” şeklindedir. Dinleyicilere orijinal ritme ilaveten dinletilen ritimler ve bu ritimler dikkate alınarak verilen bildirimlerin dağılımı Tablo 3.4’te sunulmaktadır. Bu tablo incelendiğinde, her iki ritim de aynı olduğunda dinleyicilerin tamamının bunu fark ettiği görülmektedir. Orijinal ritme ilaveten dinletilen ritim 128’lik es içerdiğinde dinleyicilerin yüzde 95’inin iki vuruş dizisini ayırt etmekte zorlandığı görülmektedir. İki ritmin ayırt edilme oranı orijinal ritim ve 64’lük es içeren ritmin dinletildiği durumlarda fark edilir şekilde artmaktadır. Dinleyicilerin tamamına yakını değişik kesinlik dereceleriyle bu iki ritmin farklı olduğunu söylemektedir. Orijinal ritme ilaveten 32’lik es içeren ritim dinletildiğinde ise kullanıcıların tamamı bu iki ritmin farklı olduğunu söylemektedir.

**Tablo 3.4: Dinleme testinde verilen yanıtların dağılımı**

	Aynı	Sanırım Aynı	Farklı olabilir	Farklı
Orijinal	% 100	-	-	-
1/128 es	% 85	% 10	% 5	-
1/64 es	-	% 5	% 45	% 50
1/32 es	-	-	-	% 100

Bu verilerden yararlanılarak ritim benzerliği puanının hesaplanmasında kullanılacak katsayılar Bölüm 3.4.3.1’de belirtilecektir.

### 3.4.2 İcra Kaydının Referansa Göre Hizalanması

Program dâhilinde bir referans ritim dinlenildikten sonra, arayüzde bulunan *Kaydet* butonuna tıklayarak kullanıcı kendi icrasını kaydedebilir. Bu icra daha sonra referans kayıtlarla karşılaştırılarak benzerlik puanı hesaplanacaktır. Kullanıcının, kayıt butonuna

tıkladığı anda icrasına başlaması oldukça zor olduğundan bu noktada kullanıcının kendini rahat hissettiği anda kayda girebilmesi hedeflenmiştir. Bunu sağlayabilmek için kullanıcının, kayıt butonuna tıkladıktan sonra istediği anda başladığı icrasının, referans kayıtle hizalanması gerekmektedir. Hizalama işlemi için bu çalışma kapsamında iki ayrı durum gözeticilerle iki farklı yöntem denenmiştir.

- a. İcra esnasında kullanıcının temposunda değişiklikler olabilir
- b. Kullanıcı kendi içinde tamamen tutarlı bir metronomda icrasını yapabilir

Bu iki durum gözönünde bulundurularak hazırlanan hizalama yöntemleri ise şu şekildedir:

- a. Kullanıcının temposu kendi içinde değişken olabileceği için, icradaki ve referanstaki ilk vuruşlar örtüşecek şekilde diğer vuruşlar arasındaki uzaklığın minimum olmasını sağlayan katsayı hesaplanır. Sonrasında icradan saptanan vuruşlar, en küçük uzaklığı sağlayan katsayıyla çarpılarak hizalama işlemi yapılır. Bu hizalama yöntemi ilerleyen kısımlarda  $H_{Eniyi}$  ile belirtilecektir.

$$\begin{aligned}
 C &= \{c_1, c_2, \dots, c_{101} \mid c_1 = 0,5 \wedge c_k = c_{k-1} + 0,01\}, & (3.1) \\
 H &= \{h_1, h_2, \dots, h_{101} \mid h_k = \sum_{j=1}^n |R_j - c_k \cdot I_j|\}, \\
 c_{Eniyi} &= c_k \mid h_k = \min(H)
 \end{aligned}$$

Kullanıcı, icrasını kendi içinde tamamen tutarlı bir tempoda gerçekleştirdiği için, icradaki ilk ve son vuruşların referanstaki ilk ve son vuruşlarla örtüşmesini sağlayan katsayı belirlendikten sonra icradan saptanan vuruş zamanları bu katsayıyla çarpılarak hizalama yapılır. Bu hizalama yöntemi ilerleyen kısımlarda  $H_{Bütün}$  ile belirtilecektir.

$$c_{Bütün} = \frac{R_n - R_1}{I_n - I_1} \quad (3.2)$$

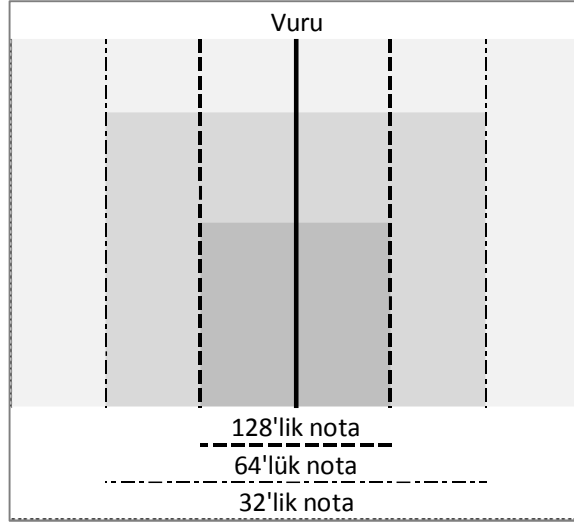
### 3.4.3 Puan Hesaplama

Referans ritimdeki vuruşlar ve icra kaydından saptanan vuruşlar hizalandıktan sonra iki ritmin benzerlik puanı hesaplanmaktadır. Bu benzerlik hesaplamasında, ritmik benzerlik iki alt parçaya ayrılarak incelenmiştir. Bunlar *zamanlama* puanı ve *aksan (vuruş şiddeti)* puanlarıdır. Bu puanlar hesaplandıktan sonra kombine edilerek toplam puan elde edilir. Bir ritmik yapıyı oluşturan en önemli faktör o ritimdeki vuruşların zaman eksenindeki dağılımı olduğundan, zamanlama puanının ağırlığı aksan puanından fazla olmalıdır. Bu ağırlığın ise deneylerde elde edilen sonuçları değiştirmeyecek şekilde, fakat aksan farklılıklarına göre *daha doğru* ve *daha yanlış* birbirinden ayırabilecek şekilde ayarlanması hedeflenmiştir.

#### 3.4.3.1 Zamanlama puanı hesaplanması

Referans ritim ve referans ritme göre hizalanmış olan icra ritmi arasındaki benzerlik puanı hesaplanırken öncelikle ritimdeki her vuruş için bir benzerlik puanı hesaplanır. Bu puan hesaplanırken de, Bölüm 3.4.1’de yapılan deney sonuçlarından yararlanılacaktır. Bu deneyin sonuçlarına göre referans ritimdeki her vuruş için icra ritminde aynı indise sahip olan vuruşun uzaklığı belirlenir. Buna ilaveten, referans ritim için otomatik olarak tempo kestirimi yapılır. Bu şekilde zaman cinsinden elde edilmiş olan vuruşlar arası uzaklıklar ile algı testinde de kullanılan müzikal nota uzunluk birimleri arasındaki bağlantı sağlanmış olur. Sonrasında her vuruş için belirlenen uzaklığın Şekil 3.5’te dâhil olduğu bölgeye göre, o indisteki vuruşun zamanlaması için doğruluk puanı verilir. Her bir vuruş için referans vuruşa uzaklık puanı belirlendikten sonra, ilk indisteki vuruş hariç tutularak tüm vuruşların puanının ortalaması alınır. İlk vuruşun hariç tutulma sebebi ise icra kaydındaki vuruşların referansa göre hizalanma sürecinin ilk aşamasında her iki ritmin ilk vuruşlarının hizalanıyor olmasıdır.

**Şekil 3.5: Bir vuruş için belirlenen puan eşikleri**



Tablo 3.4'te sunulan verilerden yararlanılarak Şekil 3.5'te belirtilen eşik değerlerin her biri için bir doğruluk katsayısı belirlenmiştir. Bu verilere göre belirlenen doğruluk katsayıları Tablo 3.5'te sunulmaktadır. Bu katsayılar, yapılan dinleme testlerinden yararlanılarak makul sonuçlar verecek şekilde belirlenmiş olup, ileride yapılacak daha ayrıntılı testler ve geribildirimlere göre yeniden düzenlenebilecektir.

**Tablo 3.5: Zamanlama puanı hesaplamasında kullanılmak üzere belirlenmiş aralıklar ve ilgili katsayılar**

Aralık	$\leq 1/128$	1/64	1/32	1/16	1/8	$\geq 1/4$
Puan	1	0,9	0,8	0,3	0,2	0,1

### 3.4.3.2 Vuruş şiddetine göre puan hesaplanması

Türk makam müziğinde usuller farklı şiddette vuruşlar içeren ritmik döngülerdir. Bu durumda bir usul için vuruşların zamandaki yerleşimine ilaveten, vuruşlar üzerindeki vurgu farkları da oldukça önemlidir. Farklı vurgulara sahip vuruşlar, usulün içerisindeki konumuna göre *düm*, *tek*, *teke vb.* adlar almaktadır. Vuruşların öneminden dolayı, tez çalışmasında karşılaştırılan referans ve icra kayıtlarındaki vuruşları *güçlü* ve *zayıf* olarak ayıracak bir yöntem kullanılması uygun görülmüştür. Güçlü ve zayıf olarak ayrılan bu vuruşlar daha sonra referans ve icra karşılaştırmasında puan hesabına dâhil edilmiştir.

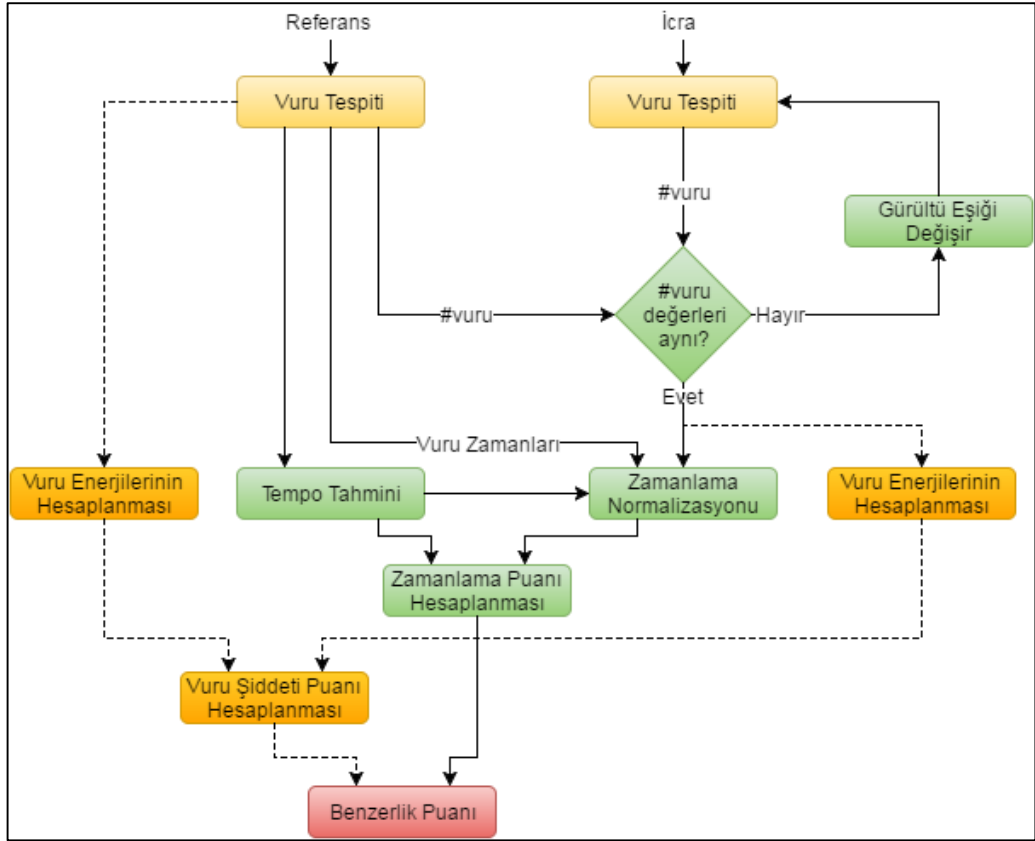


Bir ritim için vuruş şiddetine göre güçlü ve zayıf vuruşlar ayırt edilirken, kayıttan elde edilen vuruş dizisindeki her vuruş için enerji hesaplanmaktadır. Enerjiler hesaplandıktan sonra, en büyük enerjiye sahip olan vuruşun şiddeti 1 kabul edilerek, diğer tüm vuruşların enerjileri bu değere göre normalize edilir. Sonrasında ise, normalize edilmiş değerlere göre enerjisi 0.5'ten büyük olan vuruşlar güçlü, enerjisi 0.5'ten küçük olan vuruşlar ise zayıf vuruşlar olarak işaretlenmektedir.

Referans ve icra ritim dizilerindeki güçlü ve zayıf vuruşlar işaretlendikten sonra her iki dizide aynı indise sahip vuruşlar karşılaştırılır. Aynı indise sahip vuruşların her ikisi de güçlü ya da zayıfsa icradaki vuruş *doğru*, aksi takdirde *yanlış* olarak işaretlenmektedir. Daha sonra, şiddet benzerliği için *doğru* şeklinde işaretlenmiş vuruşlar 1, diğerleri 0 alınmak suretiyle icra vuruş dizisinin tamamı için ortalama puan hesaplanmaktadır. Hesaplanan bu puan sistemi kullanacak kişinin tercihine göre belirli bir yüzdeyle toplam puana dâhil edilir. Test aşamasında kullanılacak veri setinde vuruş şiddetini değerlendirmek üzere hazırlanmış bilgi mevcut olmadığından, bu puanlama türünü toplam puanlamaya katmak ya da katmamak programın arayüzü üzerinden seçilebilmektedir. Vuruş şiddeti puanının toplam puana katılması durumunda, programın bu çalışma sonunda sunulacak sürümündeki oranının yüzde 20 olmasına karar verilmiştir. Bu şekilde kullanıcı, zamanlama puanının baskın olduğu bir toplam puan görmekte iken, aynı zamanda vuruş şiddetinin etkisini de toplam puanda ayırt edebilecektir.

Bölüm 3.4.3.1 ve Bölüm 3.4.3.2'de açıklanmış olan puan hesaplama yöntemlerinin belirli ağırlıklarla birlikte kullanıldığı puan hesaplama yönteminin akış diyagramı Şekil 3.6'da gösterilmektedir.

Şekil 3.6: Puan hesaplama sürecinin akış diyagramı



## 4. DEĞERLENDİRME

Bu kısımda, tez çalışmasında geliştirilmiş olan yöntemlerin etkinliğinin ölçülmesi amacıyla planlanan test süreci ve yapılan testlerin çıktıları anlatılacaktır. Devam eden bölümlerde bu amaçla hazırlanan test yöntemi, test sürecinde kullanılacak veri, tez çalışması kapsamında geliştirilmiş yöntemler değerlendirilirken temel alınacak referanslar ile test çıktılarının ayrıntılı incelemesi yer almaktadır.

### 4.1 DEĞERLENDİRME PROSEDÜRÜ

Çalışma kapsamında geliştirilen puanlama yönteminin amacı, bu müzik kültürünün ustalarının herhangi bir icra için ‘iyi’ ya da ‘kötü’ şeklinde verdiği kararı bilgisayar aracılığıyla hesaplamalı yöntemler kullanarak gerçekleştirmektir. Bu durum gözönünde bulundurularak, geliştirilen yöntemin verdiği sonuçlar ve müziğin ustalarının verdiği sonuçların uyumluluk derecesi ölçümlenmelidir. Bu aşamada, problem tanımındaki hedeflerin karşılanma derecesini ölçmeye uygun olacak bir veri seti üzerinde *bu çalışma kapsamında geliştirilmiş olan yöntemler* çalıştırılacaktır. İlaveten, literatür taramasında karşılaşılan yöntemlerden (Percival 2008)’in yöntemi, *Hamming* uzaklığı ve vuruş aralıklarının *Öklid* uzaklığı hesaplama yöntemleri de kodlanarak müziğin ustalarının yaptığı değerlendirmelerle uyumluluk dereceleri incelenecektir.

### 4.2 VERİ TOPLAMA

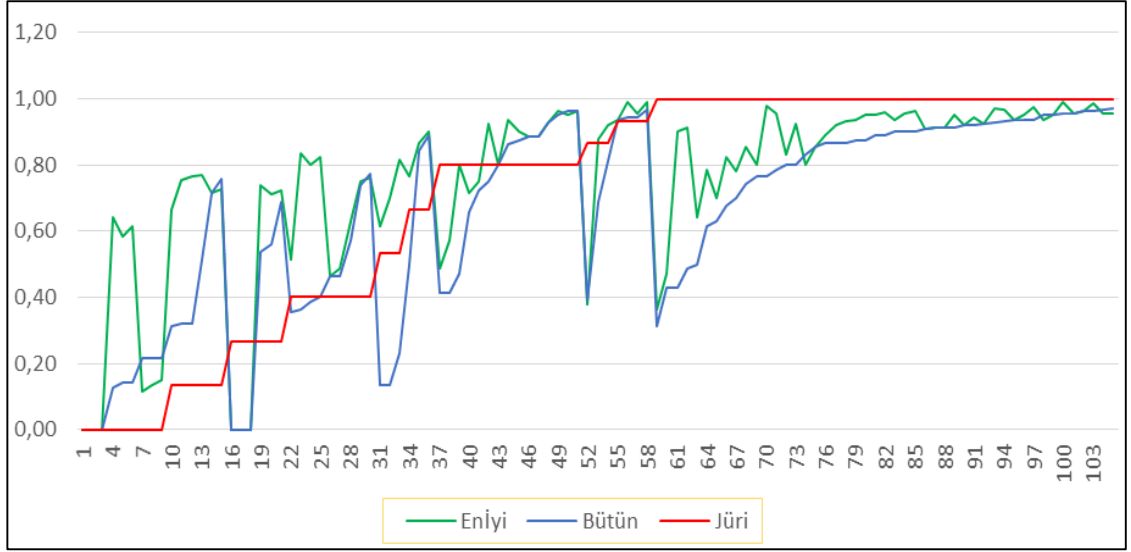
Çalışma kapsamında geliştirilmiş olan yöntemi test edebilmek için, bilgisayar ve ustalar tarafından değerlendirilebilecek referans ve icra kayıtları derlenmesine karar verilmiştir. Hazırlanacak veri setindeki elemanların, bir usul icrasında olduğu gibi yalnızca ritim içermesi planlanmıştır. Bu şekilde, önce usta tarafından gösterilen, sonrasında da öğrenci tarafından icra edilen bir ritmin, usta tarafından ve bilgisayar tarafından değerlendirilmesi sağlanabilecektir.

Testlerde kullanılmasına karar verilen veri grubu özel olarak makam müziği usulleri içermeyip, usuller gibi yalnızca ritmik bilgi içeren ses kayıtları içerecek şekilde belirlenmiştir. Bu veriler, bir müzik kurumunun giriş sınavında uygulanan ritim sorularını kapsamaktadır. Sorular yalnızca ritim içermektedir ve ayrıca sorular içerisinde aksak zamanlı ölçüler de bulunmaktadır. Sınav sürecinde jüri üyeleri referans ritmi icra etmekte, öğrenci de bu ritmi tekrarlamayı hedeflemektedir. Bu veri setinin tercih edilmesinin temel sebebi, veri setindeki bir ritim değerlendirme sürecinin bu çalışmanın hedefinde tanımlanan problemdeki süreçle örtüşüyor olmasıdır. Meşk sürecinde olduğu gibi, müziğin ustası referans bir ritim sunmakta, öğrenci ise dinlediği bu ritmi tekrarlamaya çalışmaktadır. Öğrencinin icrasından sonra müziğin ustaları, yani jüri üyeleri, öğrencinin icrası için 10 üzerinden puan vermektedir. Verilen puanlara göre öğrencinin icrası *başarılı* ya da *başarısız* şeklinde değerlendirilmektedir. Bu veri setinde 23 ayrı sınav seansında değerlendirilmiş 105 ritim icrasının puanlaması mevcuttur.

#### **4.3 İNSAN VE PROGRAM KAYNAKLI SONUÇLARIN KARŞILAŞTIRILMASI**

Test veri setindeki veriler için jüri ve bilgisayar programı tarafından verilmiş olan puanlar Şekil 4.1’de gösterilmektedir. Bu gösterimde  $x$  eksenini referans – icra ikilisinin veri setindeki indeksini,  $y$  eksenini ise bu ikililer için jüri ya da bilgisayar tarafından verilmiş puanı belirtmektedir. Bu gösterim hazırlanırken, her bir referans – icra ikilisi için verilmiş puanlar, jüri tarafından verilmiş puanlara göre küçükten büyüğe doğru sıralanmış ve gruplanmıştır. Bu şekilde icralar için insan tarafından yapılan *iyi* ya da *kötü* değerlendirmelerinin ayrıştırılarak görsel biçimde incelenebilmesi hedeflenmiştir. Şekil incelendiğinde, bilgisayar tarafından yapılan iki farklı hizalamaya göre üretilen puanların genel eğiliminin jüri tarafından verilmiş puanlarla benzeştiği görülebilmektedir. Fakat bunun yanında, jüri tarafından düşük puan verilmiş bazı icraların bilgisayar tarafından yüksek puanla değerlendirildiği görülmektedir. Bu ve benzeri özel durumlar, izleyen kısımlarda *bilgisayar ve jüri tarafından verilen puanlar arasında büyük farklar gözlenen veriler* olarak incelenecektir.

**Şekil 4.1: Veri setindeki icralar için jüri ve program tarafından verilen puanlar**



#### 4.3.1 Veri Setinin Bütün Olarak İncelenmesi

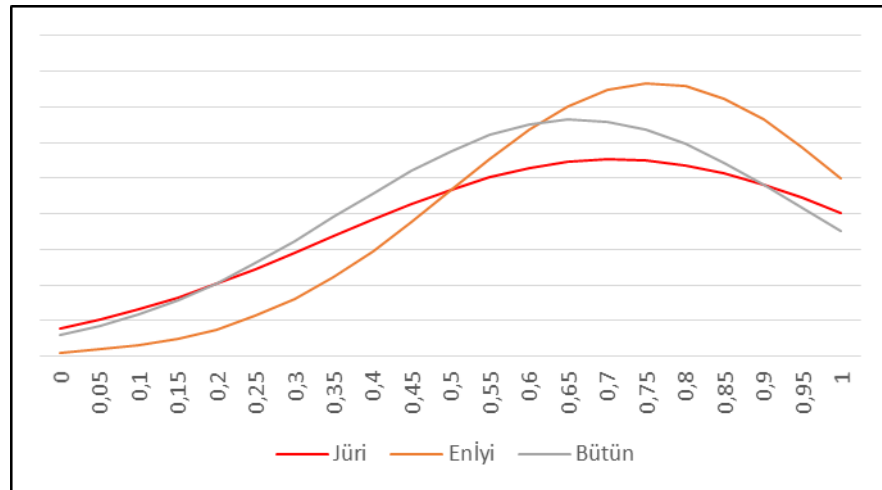
Veri setindeki 105 referans – icra eşleşmesinin tamamı için jüri ve bilgisayar tarafından verilmiş puanların ortalamaları ve standart sapmaları Tablo 4.1’de gösterildiği gibidir. Bu değerler kullanılarak elde edilen normal dağılımlar ise Şekil 4.2’de gösterilmektedir. Şekildeki dağılımlar incelendiğinde, jüri ve bilgisayar tarafından yapılan değerlendirmelerin dağılımlarının benzerlik derecesine dair genel bir fikir elde edilebilmektedir. Jüri ve bilgisayar tarafından yapılan değerlendirmelerin tamamı gözönünde tutularak korelasyon katsayısı hesaplandığında ise  $H_{Eniyi}$  ve  $H_{Bütün}$  için elde edilen değerler sırasıyla 0,69 ve 0,76’dır. Korelasyon katsayısı, iki değişken arasındaki doğrusal ilişkiyi test etmek ve varsa bu ilişkinin derecesini ölçmek için kullanılan istatistiksel bir yöntemdir. Bu katsayı -1 ile 1 arasında bir değer alabilmektedir. Korelasyon katsayısı 1 ise, iki değişken arasında pozitif tam doğrusal, -1 ise negatif tam doğrusal ilişki mevcuttur. Hesaplanan korelasyon katsayısının mutlak değeri 0-0,25 aralığında ise değişkenler arasındaki ilişki çok zayıf, 0,26-0,49 aralığında ise zayıf, 0,50-0,69 aralığında ise orta, 0,70-0,89 aralığında ise yüksek, 0,90-1,00 aralığında ise çok yüksektir. Bu değerler gözönünde bulundurulduğunda, bilgisayar tarafından hesaplanan puanların jüri tarafından verilen puanlarla olan ilişkilerinin orta ve yüksek derecede olduğu görülebilmektedir.

**Tablo 4.1: Veri setindeki 105 icra için jüri ve bilgisayar tarafından verilmiş puanların ortalamaları ve standart sapmaları**

	$\mu$	$\sigma$
Jüri	0,71	0,36
En iyi eşleşme	0,76	0,26
Sabit katsayı ile hizalama	0,66	0,30

Şekil 4.2’de, Tablo 4.1’de verilmiş olan değerlerin grafiğe dökülmüş hali yer almaktadır. Bu şekil incelendiğinde, bilgisayar programı tarafından yapılan değerlendirmelerin genel olarak jüri değerlendirmelerinden daha yüksek puanlar içerdiği gözlenmektedir. Bunun sebebi, jüri tarafından olumlu değerlendirilmeyen icralar genellikle doğrudan 0 puan alırken, bilgisayar tarafından değerlendirildiğinde aynı icraların düşük fakat 0’dan farklı bir puan alıyor olmasıdır.

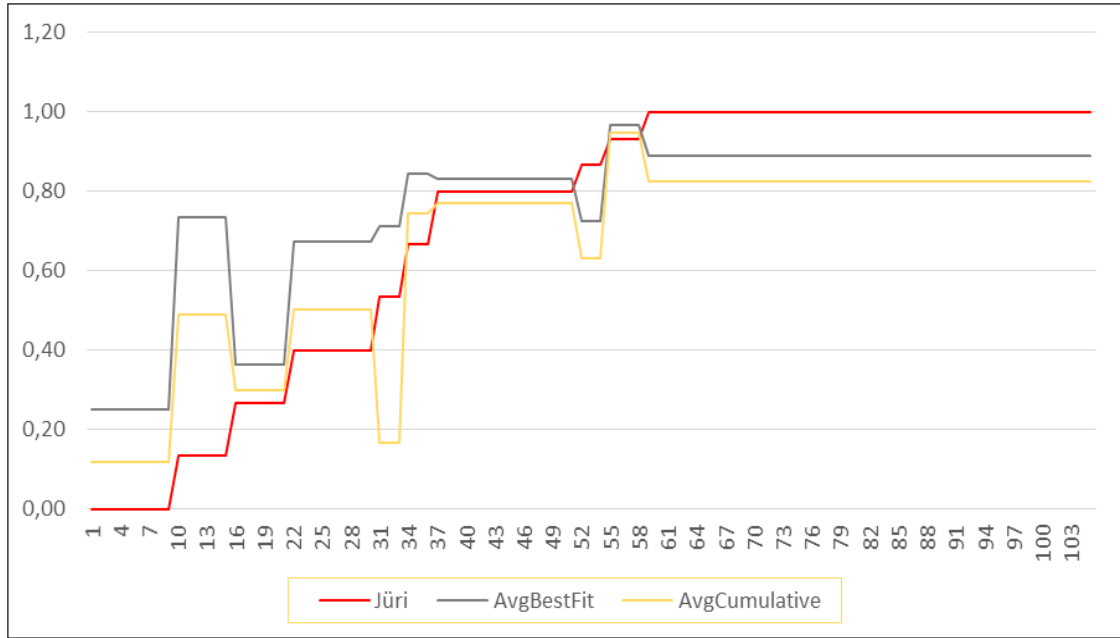
**Şekil 4.2: Test veri seti puanlarından elde edilen normal dağılım**



Veri setindeki 105 referans – icra ikilisinin tümü için yapılmış değerlendirmelerin bir bütün olarak incelenmesi, bilgisayar tarafından verilen puanların jüri tarafından verilen puanlara olan benzerliği hakkında genel bir fikir vermektedir. Öte yandan Şekil 4.1’de açıkça görülebildiği gibi, jüri ve bilgisayar tarafından verilen puanlar belirli bölgelerde büyük farklılık göstermektedir. Buna ilaveten, iki hizalama yöntemi sonrasında bilgisayar tarafından verilen puanlar da kendi aralarında farklılaşmaktadır. Jüri ve bilgisayar tarafından yapılan bu farklı değerlendirmeleri daha iyi gözlemleyebilmek için veri seti altgruplara ayrılarak incelenecektir. Bu yapılırken, jüri tarafından verilmiş puanlar temel

alınarak veri seti gruplanacaktır. Jüri tarafından verilmiş puanlar kesikli değerlerden oluşan bir basamak yapısında olduğundan, Şekil 4.1’de jüri puanlarını belirten çizgi üzerinde gözlenen her basamak bir altgrup olarak belirlenmiştir. Daha sonra, her basamak için iki ayrı hizalama yöntemiyle elde edilen puanların ortalamaları hesaplanarak hizalama yöntemlerinin hangi bölümlerde jüri ile uyduğu ya da jüriden ayrıştığı incelenebilecektir. Veri seti için verilen puanların basamaklara göre gruplandırıldığı ve her basamaktaki referans – icra ikilileri için verilmiş olan puanların ortalama değerlerini içeren grafik Şekil 4.3’te sunulmuştur.

**Şekil 4.3: Veri setindeki icralara verilen puanların bölgesel ortalamaları**



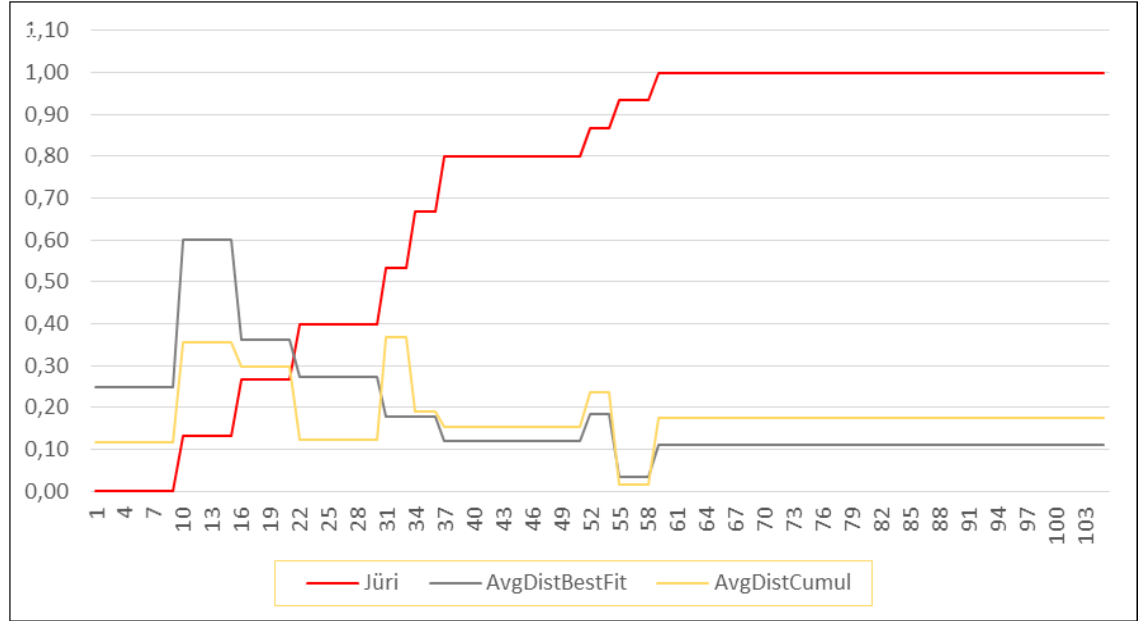
Şekil incelendiğinde bilgisayar tarafından verilen puanların her basamaktaki ortalama değerlerinin jüri puanları ile uyuma derecesi genel olarak gözlenebilmektedir. Jüri tarafından verilmiş puan basamaklarının düşükten yükseğe doğru sıralandığı bu gösterimde, bilgisayar tarafından verilmiş ortalama puanların da genel olarak artan bir eğilim gösterdiği görülmektedir. Bilgisayar tarafından verilen puanların jüriden ayrıştığı bölümler de oldukça belirgindir. Şeklin geneli incelendiğinde, jüri tarafından yüksek puan verilen icralar için bilgisayar tarafından verilen puanların ortalama değerinin de yüksek olduğu gözlenmektedir. Örneğin, jüri tarafından tamamen doğru olarak değerlendirilerek yüzde 100 olarak puanlanmış icraları içeren bölge incelendiğinde bilgisayar tarafından

verilmiş puanların ortalamasının da yüzde 82 ve yüzde 85 şeklinde yüksek olduğu gözlemlenmektedir. Fakat bu bölge Şekil 4.1’de incelendiğinde, jüri tarafından yüksek puanlanmış olmasına rağmen bilgisayar tarafından yapılan değerlendirmelere bakıldığında her iki hizalama için de çok düşük puan verilen icraların mevcut olduğu görülmektedir. Bu durumda olan referans – icra ikilileri ilerleyen kısımda ayrıntılı olarak incelenecektir. Sonra da, bu durumdaki referans – icra ikilileri hariç tutularak her iki hizalama yöntemi için her basamakta üretilen ortalama değerler hesaplanacaktır. Bu şekilde, istisnalar dışında kalan durumlar için bilgisayar tarafından hesaplanan puanların jüri değerlendirmeleri ile tutarlılığı gözlenebilecektir.

Jüri ve bilgisayar tarafından verilen puanların en çok farklılaştığı bölümleri gözlemleyebilmek için, Şekil 4.3’te sunulmuş olan ortalama basamak puanlarının jüri tarafından verilen puanlara olan uzaklığından yararlanılacaktır. Her iki hizalama yöntemi için de bu uzaklıklar Şekil 4.4’te gösterilmektedir. Bu şekil incelendiğinde ortalama değerler arasındaki farkın büyük olduğu bölgelerin, jüri tarafından yüzde 20 ila yüzde 50 arasında puan alan icraları içerdiği gözlenmektedir. Jüri tarafından yüzde 50 ve daha yüksek puan alan icralarda ise bilgisayar tarafından verilen puanlar ile jüri tarafından verilen puanlar arasındaki farkın genel olarak düşük ve her iki hizalama yöntemi için de 20 puanın altında olduğu görülmektedir. Bu durum gözetilerek, öncelikle bilgisayar tarafından verilen puan ortalamaları ile jüri tarafından verilen puanların uzaklıklarının yüksek olduğu bölümler incelenecektir. Sonrasında ise, ortalama uzaklık farkı düşük olan bölgede olmasına rağmen puan farkı yüksek olan icralardan örnekler incelenecektir.



**Şekil 4.4: Veri setindeki icralara verilen puanların bölgesel ortalama farkları**

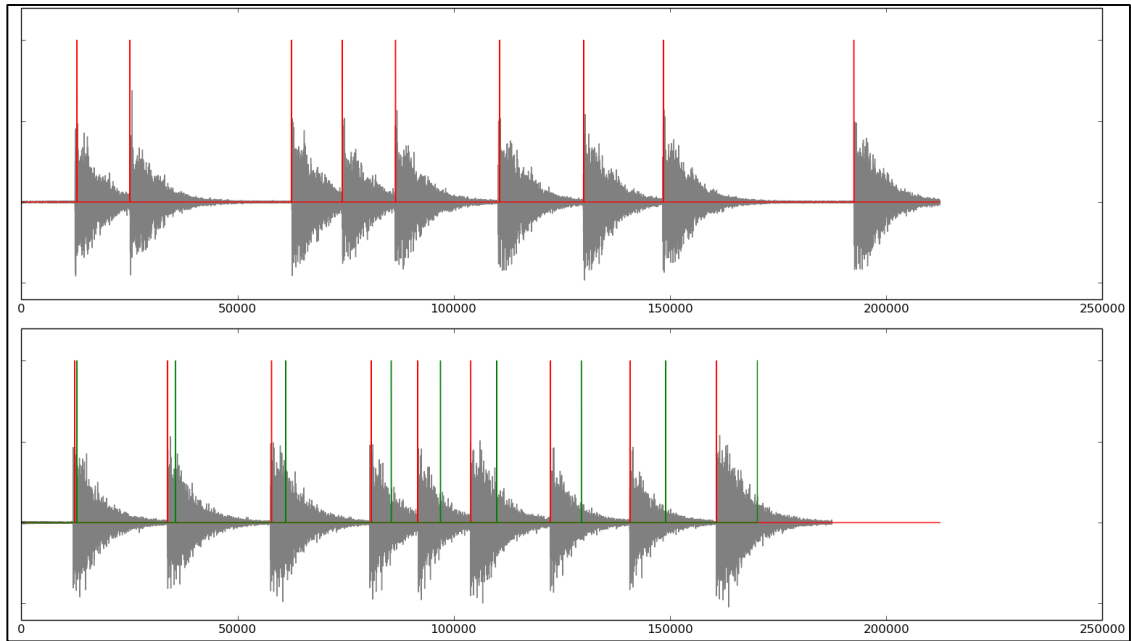


#### 4.3.2 Veri Setindeki İstisnai Durumlar

Jüri tarafından yüzde 50 ve daha az puan verilmiş olan icralar ile aynı bölge için bilgisayar tarafından verilmiş puanların ortalama farkı incelendiğinde, her iki hizalama yöntemi için de en büyük uzaklığın jüriden yüzde 10 ila yüzde 30 arasında puan almış icralar için olduğu görülmektedir. Bu bölümde  $H_{Enliyi}$  yönteminin jüriden farkı ortalama 60 puan,  $H_{Bütün}$  yönteminin jüriden farkı ise ortalama 35 puandır.  $H_{Enliyi}$  yöntemi ele alındığında, jüri puanı yüzde 10 olan bir icra için bilgisayar tarafından üretilen puan yaklaşık yüzde 70 civarındadır. Bu da beklenen sonuçlarla kıyaslandığında hatalı bir sonuç olarak değerlendirilebilir. Ritmik bir yapı için yüzde 10 doğruluk puanı neredeyse tamamen yanlış bir icra olarak değerlendirilebilirken, yüzde 70 puan alan bir icranın büyük oranda doğru olması beklenmektedir. Bu bölgede beklenen ve karşılaşılan değer arasındaki fark çok büyük olduğu için, bu bölgeye dahil olan icralar incelenmiş ve farklılığın sebebi araştırılmıştır. Jüri tarafından düşük puan almasına rağmen bilgisayar tarafından yüksek puanla değerlendirilen icralar dinlenerek kontrol edildiğinde, bu kayıtlar içerisinde referans ritimdeki vuruş sayısından daha fazla sayıda vuruş olduğu saptanmıştır. Bilgisayar programı bu vuruşlar içerisinde, otomatik gürültü eşiği ayarlaması ile referans ritimdeki vuruş sayısı kadar vuruş saptadıktan sonra, doğrudan hizalama ve puan

hesaplama aşamalarına geçmektedir. Burada saptanan vuruşlar öğrenci tarafından hatalı şekilde icra edilmiş fazla vuruşlar olabildiği gibi, kaydın yapıldığı ortamdan kaynaklanan icra dışı vuruşlar da olabilmektedir. Hizalama yöntemlerinin jüriye göre en farklı sonuç verdiği bölge bu kısım olsa da, iki hizalama yönteminin bu bölgede verdiği sonuçların jüri tarafından verilmiş puanlara olan uzaklıklarının da farklılaştığı görülmektedir. Bu farklılık ise, hatalı şekilde elde edilmiş olan vuruşların referansa göre hizalanmaya çalışılması aşamasında ortaya çıkmaktadır.

**Şekil 4.5: Hatalı pozitif örneği: Jüri düşük puan, En iyi hizalama yüksek puan**



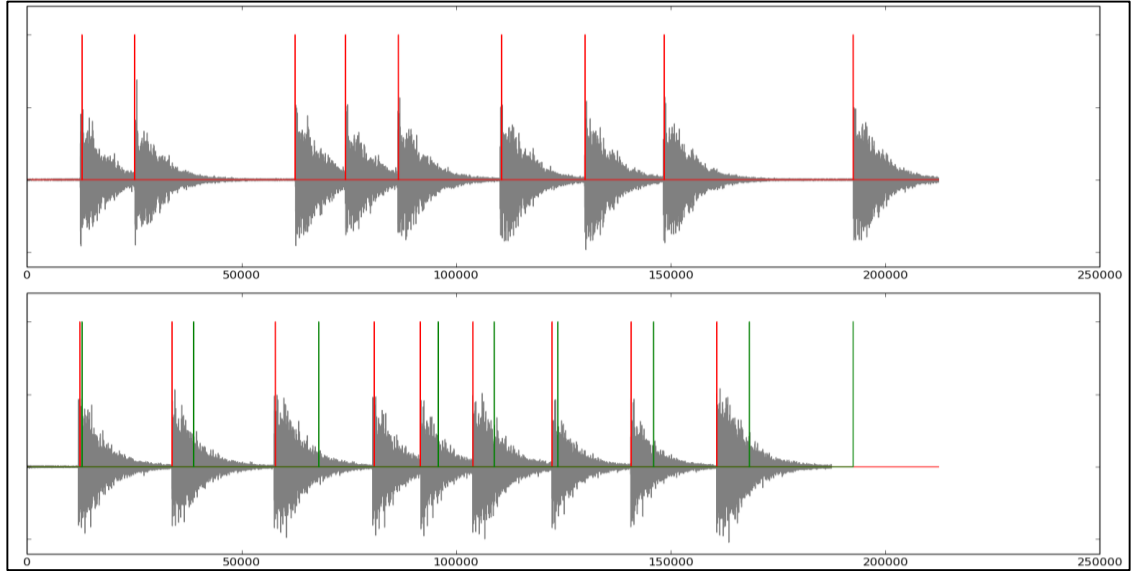
$H_{Eniyi}$  yöntemi eldeki vuruşları referansa olabildiğince uyacak şekilde esnetmektedir. Bu durumda hatalı şekilde elde edilmiş olan vuruş sinyali, orijinal halinden daha da fazla farklılaşmaktadır. Burada elde edilen yeni vuruş zamanlarının orijinal sinyalde hangi vuruşya denk geldiği bilinemediğinden, sunulan puanlar da anlamlı bir sonuç ifade edemeyen yanlış pozitifler olmaktadır. Şekil 4.5'te bu durumdaki referans – icra ikililerinden bir tanesi incelenmektedir. Şeklin üst kısmı referans ritme, alttaki kısım ise bu referans baz alınarak yapılmış bir icradan otomatik olarak saptanmış vuruş dizisine aittir. Şekilde gri hatlar ses kaydının *dalga şeklini*, kırmızı çizgiler ses kaydından elde edilmiş vuruşların *orijinal yerlerini*, yeşil çizgiler ise icrada saptanmış vuruşların referanstaki vuruşlara uzaklığının en az olacak şekilde *esnetilmiş halini* göstermektedir.

Bu referans – icra ikilisi için yapılan değerlendirmede jüri yüzde 0 puan verirken, vuruşlar otomatik olarak saptandıktan sonra  $H_{Eniyi}$  yöntemine göre hizalanmış icra bilgisayar tarafından yüzde 64 doğruluk puanı ile değerlendirilmiştir. Grafiklerdeki dalga şekilleri, her iki ses kaydı için de orijinal uzunluklarındadır ve herhangi bir düzenleme işlemine sokulmamıştır. Buna göre dalga şekilleri incelendiğinde, referans ritimde de icrada da 9’ar vuruş görülmektedir. Bilgisayar tarafından da bu vuruşların doğru sayıda ve ses dalgası üzerinde doğru yerlerde saptandığı görülebilmektedir. Şeklin alt kısmı incelendiğinde icranın referansa göre daha kısa sürdüğü, yani daha hızlı gerçekleştirildiği görülmektedir. Ayrıca, referans ritimdeki vuruşlar görsel olarak gruplandırıldığında 2-3-3-1 şeklinde bir dizi elde edilirken, icra ritminde elde edilen dizideki vuruşların gruplaması 3-3-2-1 şeklindedir. Bir ritmi başka ritimlerden ayıran temel özellik, vuruşlar arasındaki zamanların oranıdır. Bu oranların insan tarafından algılanışı ise bir vuruşun, kendisinden önceki ya da sonraki vuruşla olan yakınlığı ya da vuruşların algısal olarak *grupmuş gibi* hissedilmesi şeklindedir (Rosenthal 1992). Grafiklerdeki referans ve icra dalga şekilleri incelendiğinde iki ritmin farklı vuruş altgruplarından oluştuğu görülebilmektedir. Jüri tarafından icraya düşük puan verilmesinin yüzeysel bir açıklaması, iki ritimdeki vuruş altgruplarının farklı olmasıdır.  $H_{Eniyi}$  yöntemiyle hizalanmış vuruş zamanları ile referans ritimdeki vuruş zamanları görsel olarak karşılaştırıldığında ise, indeksi 1, 3, 6, 7, 8 olan vuruşlar için referans ve icradan elde edilip hizalanmış zamanlamaların neredeyse örtüştüğü görülebilmektedir. İndeksi 2, 4, 5, 9 olan diğer vuruşlar için ise icradan elde edilip hizalanmış vuruş zamanlarının referanstakilerden oldukça farklı olduğu görülebilmektedir. Yapılan hizalama sonucunda örtüşmekte olan vuruşların sayısının daha fazla olması ve örtüşme miktarlarına verilen yüksek puan, örtüşme oranı az olan vuruşlara verilmiş düşük puandan daha etkilidir. Bu hizalama yöntemi icradaki vuruşlar ile referansta karşı gelen vuruşları mümkün olan en yüksek puanla değerlendirmeye yönelik olduğu için, bu örnekte icranın algısal değerlendirilmesine göre farklı sonuç vermiştir.

$H_{Bütün}$  ise saptanan ilk ve son vuruş zamanlarından yararlanılarak elde edilen bir katsayı ile vuruş zamanlarını esnettiğinden dolayı, esnetilmiş vuruş zamanlarının orijinal sinyaldeki vuruş zamanlarına olan uzaklığı görece daha az olmaktadır. Bu nedenle de, üretilen puanlar jüri puanlarından daha az uzak olan yanlış pozitifler olmaktadır. Bir

önceki referans – icra ikilisi için  $H_{Bütün}$  yöntemi kullanılarak elde edilen çıktı Şekil 4.6’da verilmiştir. Jüri değerlendirmesinde yüzde 0 puan alan bu icra,  $H_{Bütün}$  yöntemiyle hizalandıktan sonra bilgisayar tarafından yüzde 13 puan ile değerlendirilmiştir. İcradaki vuruşların bu yöntemle hizalanmış hali incelendiğinde, icradaki vuruş altgruplarının referanstaki vuruş altgruplarına olan farklılığı kolayca görülebilmektedir. Bu hizalama yöntemi sonucunda, tanım gereği ilk ve son indeksler için icradaki ve referanstaki vuruşlar tam olarak örtüşmektedir. Kalan diğer vuruşlar incelendiğinde ise, icradaki vuruşların tamamının referanstaki vuruşlardan oldukça uzak olduğu görülmektedir. Bu durumda çok sayıda az örtüşen ve düşük puanlandırılan vuruş, az sayıda ve örtüşme derecesi yüksek olan vuruşa göre puanlamada daha etkilidir. Bu durum da, vuruşların algısal olarak gruplandırılmasıyla yapılan değerlendirmeden farklı, fakat  $H_{Enlyi}$  yönteminden daha fazla örtüşen bir sonuç ortaya koymaktadır.

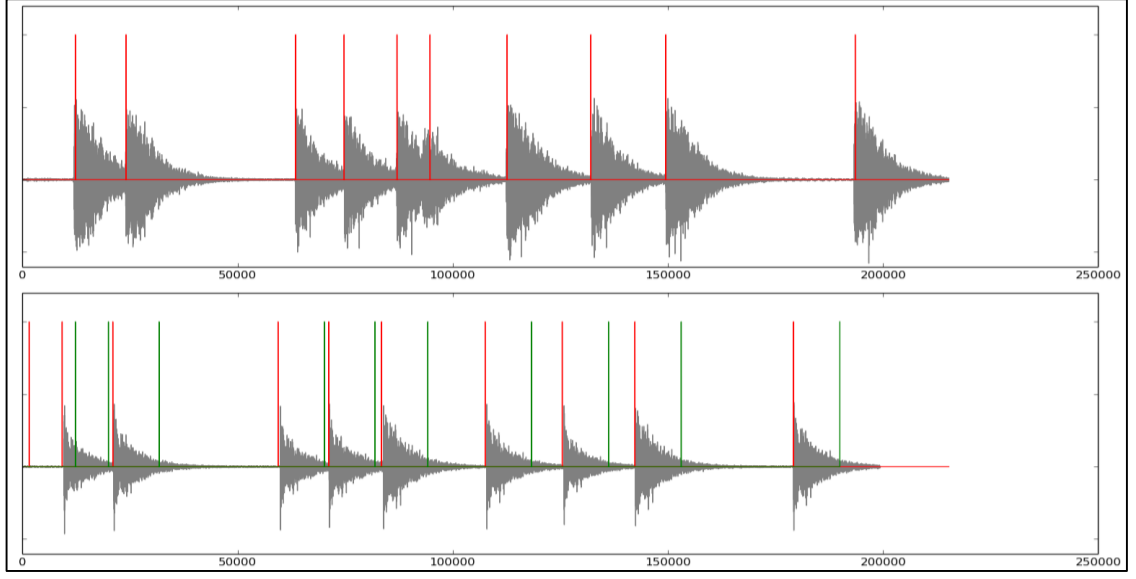
**Şekil 4.6: Hatalı pozitif örneği: Jüri düşük puan,  $H_{Bütün}$  yüksek puan**



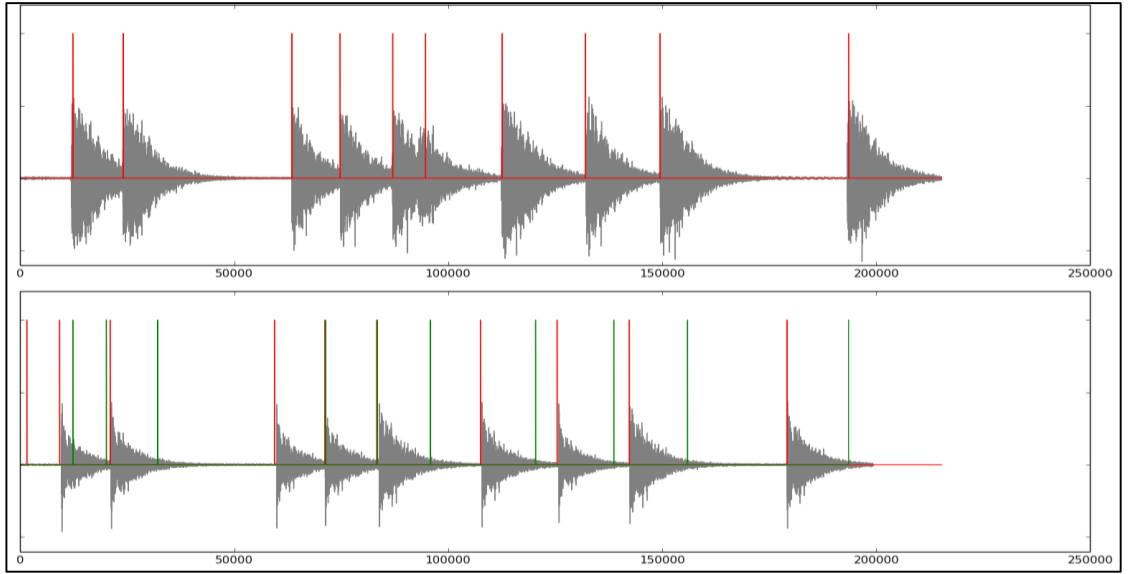
Jüri tarafından verilmiş olan puanlara göre bilgisayar tarafından verilen puanların farklılaştığı bir başka kısım ise, jüri tarafından yüksek puanla değerlendirilmiş icraların olduğu bölgedir. Bu bölgedeki icralar için bilgisayar tarafından verilmiş olan puanların ortalamasının jüri tarafından verilmiş puanlara uzaklığı ortalama yüzde 15 civarındadır. Bu farkı örneklendirecek olursak, jüri tarafından yüzde 100 puanla değerlendirilmiş bir icranın bilgisayar tarafından en düşük yüzde 85 civarında bir puan alması beklenmektedir.

Geliştirilen aracın temel olarak *iyi* ve *kötü* icraları ayırt etmesinin hedeflendiği düşünüldüğünde bu farklılık makul görünmektedir. Bilgisayar ve jüri tarafından verilen puanların ortalama uzaklıkları çok yüksek olmasa da, bu bölgede yer alan birkaç referans – icra ikilisi için bilgisayar tarafından verilen puanlar jüri tarafından verilen puanlardan oldukça farklıdır. Şekil 4.1’de görülebildiği üzere, jüri tarafından yüzde 100 puan almasına rağmen, bilgisayar tarafından yüzde 60’tan düşük puanla değerlendirilen birkaç icra mevcuttur. Bu durumdaki referans – icra ikilileri incelendiğinde bazı ortak problemler saptanmıştır. Bunlardan ilki ve en somutu, bu durumda olan referans – icra ikililerindeki referans ritimlerin ses kaydına, ortam seslerinin dahil olmuş olmasıdır. Örneğin, referans ritim icra edilirken ortamdaki bir kitabın düşme sesi veya bir kişinin ayak vurma sesi kayda dahil olabilmektedir. Bu durumdaki bir ses kaydı için, ortamda fiziksel olarak bulunan bir kişi referans ritim ve ortamdan kaynaklanan sesi ayırt edebilmekte iken, bilgisayar tarafından yapılan değerlendirmede yalnızca ses kaydı dikkate alındığı için ses sinyalindeki vuruş adaylarının kaynağı sorgulanmayarak her vuruş adayı eşit muamele görmektedir. Jüri tarafından yüzde 100 tam puanla değerlendirilmesine rağmen, bilgisayar tarafından  $H_{Enlyi}$  yöntemi ve  $H_{Bütün}$  yöntemi kullanıldığında sırasıyla yüzde 36 ve yüzde 31 puan alan bir referans – icra ikilisine dair sonuçlar sırasıyla Şekil 4.7 ve Şekil 4.8’dedir. Şekil 4.7’de referans ritme ait kısım incelendiğinde, dalga şekli üzerinde 10 vuruş saptandığı görülmektedir. İlgili ses kaydı dinlendiğinde ses kaydında gerçekten 10 vuruş bulunduğu, fakat bu vuruşlardan birinin ritme ait değil, ortamda yere düşen bir cisme ait olduğu anlaşılmıştır. Bu durumda referans ritmi dinleyen öğrenci ritmin 9 vuruştan oluştuğunu ayırt etmekte iken, bilgisayar bu ayrımı yapmayarak icra kaydında da 10 vuruş arayacak şekilde çalışmaktadır. Bilgisayar, referans ritimdeki vuruş sayısı kadar vuruşu icra kaydından saptayabilmek için tepe noktası seçimindeki eşik değeri çok aşağılara çekerek, aslında vuruş içermeyen bir çerçeveyi vuruş içeriyormuş gibi işaretlemektedir. Bu ara sonuçtan sonra ise değerlendirme anında referans ve icrada eşleşmesi beklenen vuruşların indeksleri ötelendiği için yanlış vuruşların zamanları karşılaştırılmaktadır.

**Şekil 4.7: Hatalı negatif: Jüri yüksek puan, En iyi hizalama düşük puan**



**Şekil 4.8: Hatalı negatif: Jüri yüksek puan, Sabit katsayılı hizalama düşük puan**



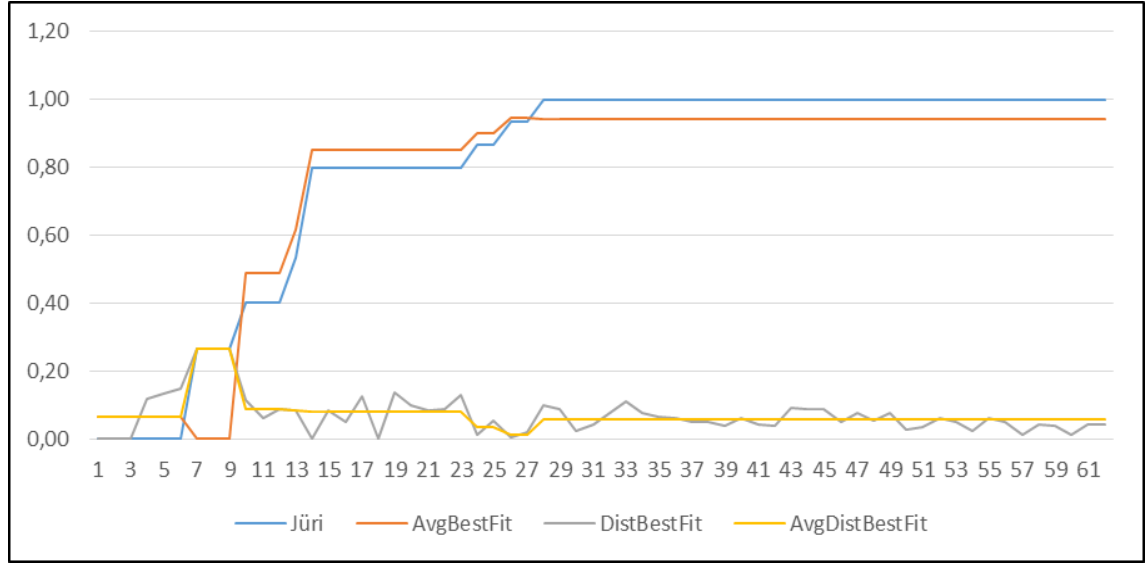
Bu tez çalışmasının tanımında yapılan sınırlamalar içerisinde, referans ritimlerin doğru bilgi içermesi beklenmektedir. Bu örnekte olduğu gibi referans ritim kaydında ritme ait olmayan sesler içeren ve jüri tarafından tam puan almasına rağmen bilgisayar tarafından çok düşük puanlar almış referans – icra ikililerinin, çalışma kapsamındaki problem tanımına uymaması sebebiyle veri setinden çıkarılması uygun görülmüştür. Bu şekilde, veri setindeki ses kayıtları yalnızca problem tanımında belirlenmiş sınırlar çerçevesinde olanları içerecek şekilde filtrelenmiştir. Nihai veri seti, problem tanımında belirtilen

kurallara uyan referans ve icra ikililerini içerecek özellikleri kazanmıştır. Bu noktadan itibaren jüri ve bilgisayar tarafından yapılan değerlendirmeler sonucu sunulan puanların karşılaştırılması, veri setinin filtrelenmiş sürümü üzerinde yapılacaktır. Bu karşılaştırma sonucunda ise, bilgisayar tarafından verilen puanların, insan tarafından yapılan değerlendirmelerle örtüşme derecesi daha açık şekilde gözlenebilecektir.

### 4.3.3 Filtrelenmiş Veri Seti ile Yapılan Testler

Her iki hizalama yöntemi için istisnai durumda olan referans – icra ikilileri farklı olduğundan, bu kısımda  $H_{Enliyi}$  ve  $H_{Bütün}$  yöntemleri için veri seti ayrı ayrı incelenecektir. İki hizalama yöntemi için de istisnai durumlar veri setinden ayrılarak, jüri tarafından verilen puanlar ve bilgisayar tarafından verilen puanlar kıyaslanacaktır. Veri setinden çıkarılacak referans – icra ikilileri seçilirken uygulanan yöntem şöyledir: Jüri tarafından verilmiş olan puanların oluşturduğu her basamaktaki referans – icra ikilileri için jüri tarafından verilmiş olan puanın, bilgisayar tarafından o basamak için verilmiş olan puanların ortalamasının, yine aynı basamaktaki standart sapma kadar yakınında olup olmadığının kontrol edilmesi... Bu aralık sınırları içinde olan referans – icra ikilileri test sürecinin kalan kısmında kullanılmaya devam edilirken, dışında kalanlar ise elenmiştir.  $H_{Enliyi}$  yöntemi için asıl veri setinden çıkarılmış olan referans – icra ikililerinin sayısı 43, kıyaslamaya dahil olan ikililerin sayısı ise 62'dir.  $H_{Bütün}$  için ise 38 referans – icra ikilisi veri setinden çıkarılırken, testlerde 67 ikili kullanılmıştır.

**Şekil 4.9: En iyi hizalama için istisnalar hariç tutulduğunda bölgesel ortalamalar ve bölgesel ortalama uzaklıkları**



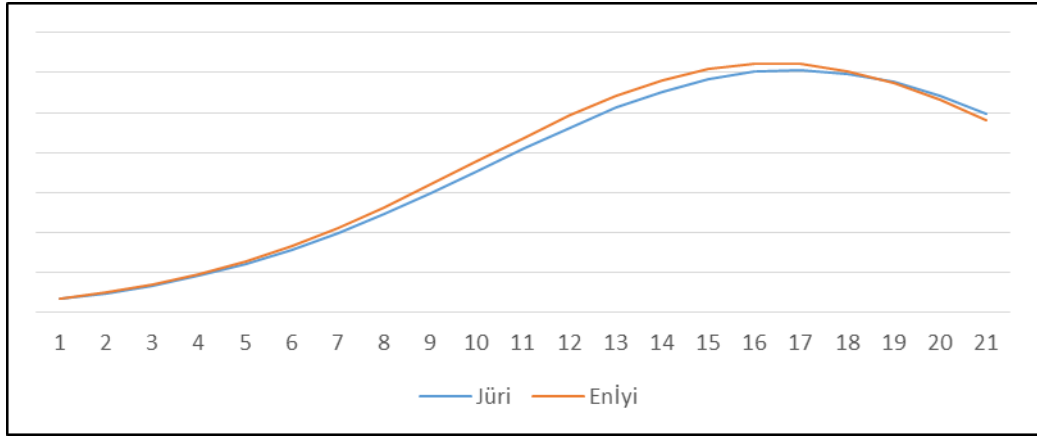
$H_{Eniyi}$  yönteminde istisnai referans – icra ikililerinin hariç tutulduğu veri seti için üretilen puanlar ve bunların jüri tarafından verilen puanlarla kıyaslanması Şekil 4.9’da gösterilmektedir. İlaveeten, bu yöntem için filtrelenmiş veri seti üzerinde bilgisayar ve jüri tarafından üretilmiş puanlar karşılaştırıldığında elde edilen veriler Tablo 4.2’de sunulmaktadır. Bu çıktılarına göre, eldeki veri seti dikkate alınarak puanlar incelendiğinde jüri ve bilgisayar tarafından üretilmiş olan puanların ortalaması arasında 2 puan, standart sapmaları arasında ise yine 2 puan fark olduğu görülmektedir. Jüri ve bilgisayar tarafından verilmiş puanların farklarının ortalaması  $0,07$  iken, bu farklara ait standart sapma değeri de  $0,06$  olarak hesaplanmıştır. Bu değerlere göre ortaya çıkan normal dağılım grafiği Şekil 4.10’da sunulmuştur. Aynı zamanda, bilgisayar ve jüri tarafından verilmiş puanların korelasyonu hesaplandığında ortaya çıkan değer  $0,94$ ’tür. Bu da bilgisayar tarafından  $H_{Eniyi}$  yöntemi uygulandıktan sonra verilmiş olan puanların jüri puanlarıyla çok yüksek derecede örtüşüğünü göstermektedir.



**Tablo 4.2: En iyi hizalama yönteminde istisnalar hariç tutulduğunda verilen puanlar, uzaklık için ortalamalar ve standart sapmalar**

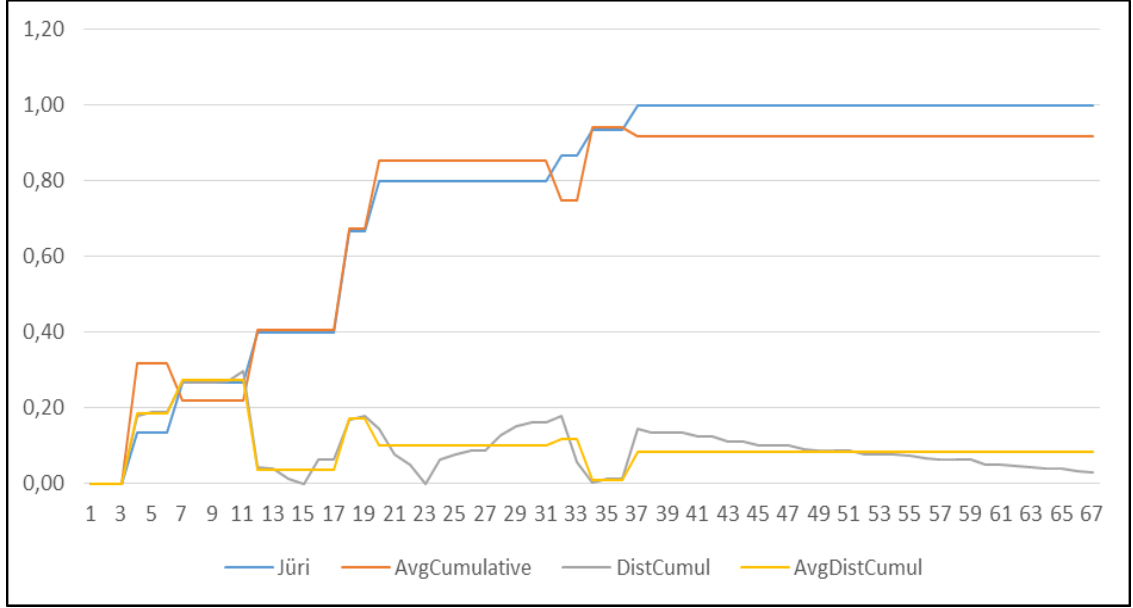
	Enİyi	Jüri	UzaklıkEnİyi
$\mu$	0,77	0,79	0,07
$\sigma$	0,32	0,33	0,06

**Şekil 4.10: Filtrelenmiş veri seti için En iyi hizalama ve jüri puanlarının normal dağılımı**



Çalışmada kullanılan diğer hizalama yöntemi olan  $H_{Bütün}$  için filtrelenmiş referans – icra ikililerine jüri ve bilgisayar tarafından verilen puanların grafiği Şekil 4.11’de gösterilmektedir. Bu veri setindeki puanlar kullanılarak elde edilen ortalama değerler ve standart sapmalar ise Tablo 4.3’te sunulmaktadır. Elde edilen değerler incelendiğinde, filtrelenmiş veri setinin tamamı için üretilen jüri ve bilgisayar kaynaklı puanların ortalama değerleri arasında 3 puan, standart sapma değerleri arasında ise 2 puanlık bir fark vardır. Bu ortalama ve standart sapmalardan elde edilen normal dağılım grafiği Şekil 4.12’de görülebilmektedir. Bu şekil incelendiğinde, bilgisayar ve jüri tarafından verilen puanların normal dağılımlarının oldukça benzer olduğu gözlemlenmektedir. Referans – icra ikilileri için jüri ve bilgisayar tarafından verilmiş olan puanların korelasyon katsayısı hesaplandığında ise elde edilen değer 0,93’tür. Bu değer de 1’e oldukça yakın olduğu için, bilgisayar tarafından üretilmiş olan puanların, jüri tarafından verilmiş puanlara benzerlik düzeyinin çok yüksek olduğu söylenebilir.

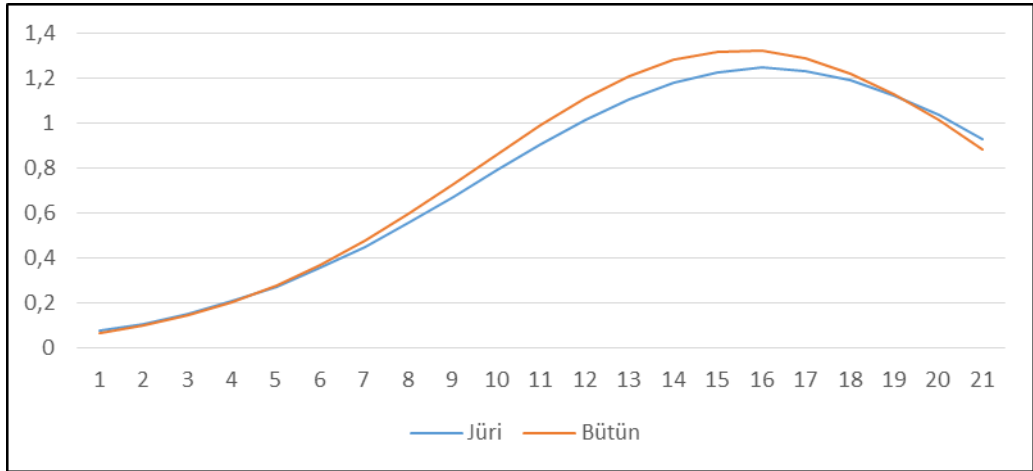
**Şekil 4.11: Sabit katsayılı hizalama için istisnalar hariç tutulduğunda bölgesel ortalamalar ve bölgesel ortalama uzaklıkları**



**Tablo 4.3: Sabit katsayılı hizalama için istisnalar hariç tutulduğunda verilen puanlar ve uzaklık için ortalamalar ve standart sapmalar**

	Bütün	Jüri	UzaklıkBütün
$\mu$	0,73	0,76	0,10
$\sigma$	0,30	0,32	0,07

**Şekil 4.12: Filtrelenmiş veri seti için Sabit katsayılı hizalama ve jüri puanlarının normal dağılımı**



#### 4.3.4 Literatürden Seçilen Yöntemlerin Test Edilmesi

Bölüm 2’de ayrıntılı olarak anlatılmış yöntemlerden *Hamming*, vuruş aralıklarının *Öklid* uzaklığı ve (Percival 2008) çalışmasında geliştirilmiş olan ritmik benzerlik hesaplama yöntemi kodlanarak veri setinin orijinal ve filtrelenmiş versiyonları üzerinde çalıştırılmıştır. Bu kısımda öncelikle veri setinin tümü temel alındığında karşılaşılan sonuçlar, daha sonra da Bölüm 4.3.3’te yapıldığı gibi filtrelenmiş veri seti temel alındığında karşılaşılan sonuçlar anlatılacaktır. Literatürden seçilen yöntemlerin test edilmesinde kullanılacak filtrelenmiş veri setinin, Bölüm 4.3.3’te uygulanan her iki filtreleme sonucunda elde edilmiş veri setinin kesişiminden oluşmasına karar verilmiştir. Böyle davranılmasının nedeni, bu bölümdeki test sürecinde kullanılacak referans – icra ikililerinin, bu tez çalışmasının kısıtlarına en çok uyacak şekilde seçilmesinin hedeflenmesidir. Bu kurala göre filtrelenmiş veri seti, toplamda 52 referans – icra ikilisi içermektedir.

Hamming ve Öklid uzaklıkları hesaplanırken, hâlihazırda kodlanmış bir Python kütüphanesi olan NumPy içerisinden hazır olarak erişilebilen fonksiyonlar kullanılmıştır<sup>12</sup>. Test edilmek için seçilmiş yöntemlerden bu çalışmanın hedeflerine en uygun şekilde tasarlanmış olan (Percival 2008) yöntemi kodlanırken, sözü geçen çalışma kapsamında açıklanmış algoritma birebir olarak kodlanmıştır. Yapılan kodlamanın doğruluğunu test etmek için, (Percival 2008)’de örnek olarak sunulmuş girdiler programa verilerek kaynakta sunulmuş olan çıktının alınması öngörülmüştür. Yapılan test sonucunda örnek girdiler kullanıldığında, gerçekten de örnekte sunulan çıktı alınmış, böylelikle adı geçen çalışmada sunulan yöntemin doğru kodlandığı gerçekleşmiştir. Bölüm 2.2’de ayrıntılı biçimde açıklanmış olduğu üzere, Percival’ın yöntemi, programa verilen girdiye göre otomatik olarak uyarlanabilecek şekilde tasarlanmamıştır. Bu nedenle, programa verilecek her bir girdiye özel ayarlamalar yapmak gerekmektedir. Bu yöntemin, çalışmamız kapsamında derlenmiş olan veri seti üzerindeki testlerinde ise (Percival 2008)’de sunulmuş olan örnek ayarlar sabitlenerek kullanılmıştır. Bu ayarlamalar sonucunda programın verdiği çıktıların sayısal değerlerinin [-962, 100]

---

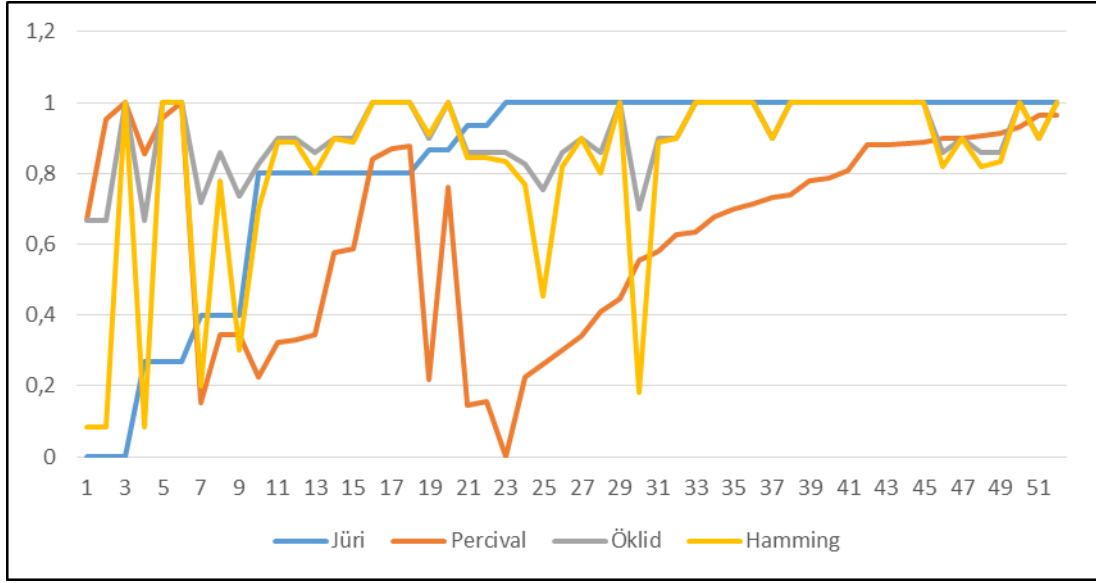
<sup>12</sup> <http://docs.scipy.org/doc/scipy/reference/generated/scipy.spatial.distance.hamming.html>  
<http://docs.scipy.org/doc/scipy/reference/generated/scipy.spatial.distance.euclidean.html>

aralığında olduğu görülmüştür. Önceki bölümlerdeki testlerde jüri ve bilgisayar tarafından yapılan değerlendirmelerdeki puanlar  $[0, 1]$  aralığında olduğundan, Hamming, Öklid ve Percival yöntemleri sonucu üretilen puanların da bu aralıkta olacak şekilde normalize edilerek yorumlanmasına karar verilmiştir. Bu yöntemlerin ürettiği sonuçların normalize edilmiş halleri ve jüri tarafından verilmiş olan puanlar Şekil 4.13'te sunulmuştur. Bu şekil görsel olarak incelendiğinde üç yöntemin ürettiği sonuçların da jüri tarafından yapılan değerlendirmelerden uzak olduğu görülmektedir. Her bir yöntem ile üretilmiş puanların jüri tarafından yapılmış değerlendirme ile korelasyonunu belirten katsayılar Tablo 4.4'te sunulmaktadır. Tablodaki değerler ve Şekil 4.13 birlikte incelendiğinde jüri tarafından yüzde 80 üzerinde puanla değerlendirilen referans – icra ikilileri için Hamming ve Öklid yöntemlerinin yüksek puan verdiği, Percival tarafından verilen puanların ise  $[0, 1]$  aralığında neredeyse düzgün olarak dağılmış olduğu görülmektedir. Jüri tarafından düşük puanla değerlendirilen referans – icra ikililerinin bulunduğu bölge incelendiğinde ise Hamming uzaklığı tarafından üretilen puanların  $[0, 1]$  aralığında dalgalandığı, Öklid tarafından üretilmiş olan puanların ortalamasının yüzde 80'in üzerinde olduğu, Percival'ın yönteminin verdiği sonuçların da  $0,2$  ila  $1$  aralığında dalgalandığı görülmektedir.

**Tablo 4.4: Hamming, Öklid ve Percival yönteminin jüri puanları ile korelasyonları**

	Hamming	Öklid	Percival
$\rho$	0,53	0,40	-0,12

**Şekil 4.13: Hamming, Öklid ve Percival yöntemlerinin jüri değerlendirmeleri ile karşılaştırılması**



Bu sonuçlar özetlenecek olursa, jüri tarafından yüksek puanla değerlendirilmiş olan örnekler için Hamming ve Öklid yöntemleri jüriden çok uzak olmayan sonuçlar üretirken, Percival'ın yönteminin ürettiği sonuçların anlamlı bir dağılıma sahip olmadığı gözlenmektedir. Jüri tarafından düşük puanla değerlendirilmiş örneklerin bulunduğu bölgede ise, her üç yöntemin de jüriden çok farklı sonuçlar üretmiş olduğu görülmektedir. Bu tez çalışmasının hedeflerine en yakın şekilde tasarlanmış yöntem olan Percival'ın yönteminin kayda değer derecede farklı sonuç vermesinin nedenleri irdelenmelidir.

Öncelikle, Percival'ın yönteminde referans ve icra ritimlerinin aynı tempoda olması beklenmektedir. Bu tez çalışmasında odaklanılan nokta ise bir ritim yapısının içselleştirilmesi olduğu için icranın referanstan farklı bir tempoda olabileceği durumların üretilecek puanı etkilememesine karar verilmiştir. Bu ölçüt gözönünde bulundurulduğunda, Percival'ın yönteminin, vuruş aralıklarının doğru olduğu fakat farklı tempolarda icra edilen iki örnek için farklı puan üreteceği açıktır. Bir diğer farklılık da, Percival'ın yönteminde nihai puanın hesaplanmasında kullanılan iki katsayının her referans ritim için el ile ayarlanmasının gerekmesidir. Bu durum, Percival'ın yöntemiyle üretilen puanların birbirinden bağımsız referans ritimler içeren ve büyük denebilecek bir veri seti gözönünde bulundurulduğunda beklenen puanlardan oldukça farklı olmasına yol

açmaktadır. Tablo 4.4'teki korelasyon katsayıları da dikkate alındığında Hamming ve Öklid yöntemlerinin verdiği sonuçların jüri tarafından yapılan değerlendirmelerle olan ilişkisi sırasıyla *orta* ve *zayıf* iken, Percival'ın sunduğu yöntemin mevcut hali ve jüri tarafından yapılan değerlendirmeler arasındaki ilişki *çok zayıf* olarak görülmektedir.

## 5. SONUÇ

Bu yüksek lisans tezi çalışması kapsamında veri olarak Türk makam müziği usullerini içeren bir ritim eğitim aracı hazırlanması hedeflenmiştir. Hazırlanacak eğitim aracının içeriğinde, kullanıcının ritimleri dinleyebileceği, dinlediği ritme karşılık kendi icrasını kaydedebileceği ve bu icra hakkında genel bir puanla birlikte görsel geribildirim alabileceği alt bölümler olması planlanmıştır. Bu çalışmanın, karşılayacağı gereksinimler gözetildiğinde teknoloji, müzik ve eğitim alanlarının kesişiminde bulunan çok-disiplinli bir araştırma konumunda olduğu söylenebilir. İlgili alanlarda yapılan literatür araştırması sonucunda, özel olarak insan – bilgisayar etkileşimli ritim eğitimine yönelik bir çalışmaya rastlanılmamıştır.

Geliştirilecek aracın tasarım aşamasında makam müziğinin geleneksel eğitim süreci olan *meşk* yöntemi temel alınarak, bu sürecin kullanıcı tarafından bilgisayarda kolayca anlaşılabilen ve kullanılabilen bir versiyonunun oluşturulması hedeflenmiştir. Hazırlanan bilgisayar programına varsayılan olarak, Türk makam müziği veri kütüphanesinde en sık rastlanılan usullerden bir seçki yerleştirilmesine karar verilmiştir. Kullanıcı, programda yer alan bu ritimlerden birini seçerek öğrenme sürecini uygulayabilecektir.

Çalışma içeriğinde en önemli olarak değerlendirilebilecek kısım, iki ritmin benzerliğinin hesaplanmasında kullanılacak bir algoritma belirlenmesidir. Bu konuyla ilgili yapılan literatür taramasında, çalışmada tanımlanan probleme belirli oranda yararlı olabilecek yöntemlere rastlanmış, fakat gereksinimi tamamıyla karşılayabilecek bir seçenek görülmemiştir. Bu noktadan sonra, bu tez çalışmasının sınırları içindeki gereksinimleri karşılayacak bir algoritma hazırlamak amacıyla iki ritmin benzerliğinin hesaplanması üzerine yoğunlaşmıştır. Bu aşamada öncelikle, insanların ritmik uzaklıkları nasıl ve hangi duyarlılıkla ayırt ettiği incelenmiştir. Bu amaçla, en basit ritim dizisi olan iki vuruş içeren bir ritimle dinleme testleri yapılmıştır. Dinleme testleri 80 ila 120 BPM arasında, iki vuruş arasına 32'lik, 64'lük ve 128'lik esler konularak hazırlanmıştır. Kullanıcılardan, bu vuruş dizilerini dinleyerek, hangisinin orijinal vuruş dizisinden farklı olduğunu belirtmeleri istenmiştir. Bu deneylerden elde edilen bilgiler, benzerlik puanlaması aşamasında kullanılmak üzere tutulmuştur.

Çalışma esnasında, benzerlik puanı hesaplanacak iki ritmin hizalanması gereksinimi ortaya çıkmıştır. Bunun ortaya çıkma nedenleri, genelde kayıt başladığı anda kullanıcının icraya başlayamaması ve icrasını, dinlediği referans ritimle birebir aynı tempoda gerçekleştirmeme olgusudur. Çalışmanın hedeflerinde bir ritmik yapının öğretilmesi yer aldığı için, kullanıcının referansla aynı tempoda icrasını gerçekleştirmesi beklenmemektedir. Bu noktada önemli olan, kullanıcının icrasını, kendini rahat hissettiği herhangi bir tempoda gerçekleştirebilmesidir. Bu amaçla, referans ritim ve icradan elde edilen bilgilerin kullanıldığı iki ayrı hizalama yönteminden yararlanılmış ve bu yöntemlerin bilgisayar tarafından üretilen puana olan etkileri incelenmiştir.

Hazırlanan hizalama ve puanlama yöntemlerinin değerlendirme aşaması için, makam müziğindeki usullerle benzer yapıda olan, yalnızca ritim bilgisi içeren ses kayıtları kullanılmasına karar verilmiştir. Bu kayıtlar, bir müzik kurumunun giriş sınavında kullanılan referans ritimler ve bu ritimlere dair öğrencilerin icralarını içermektedir. Bu veri setinden yararlanılarak, bilgisayar tarafından üretilen puanlar ve jüri üyeleri tarafından yapılan değerlendirmeler kıyaslanmıştır. Veri seti toplamda 105 referans – icra ikilisi içermektedir. Bu veri setinin tamamı için yapılan testlerde, çalışma kapsamında hazırlanan iki hizalama yöntemi için farklı sonuçlar elde edilmiştir. Hizalama yöntemlerinden ilki için veri setinin tamamıyla yapılan testler incelenerek, bilgisayar tarafından verilen puanlar ve jüri tarafından verilen puanlar arasındaki korelasyon katsayısı hesaplanmış ve  $\rho = 0,68$  ve  $p < 10^{-15}$  değerleri elde edilmiştir. İkinci hizalama yöntemi için elde edilen değerler ise  $\rho = 0,76$  ve  $p < 10^{-19}$  şeklindedir. Bu değerler incelendiğinde ilk hizalama yöntemiyle elde edilen puanlar ve jüri değerlendirmeleri arasında orta dereceli bir doğrusal ilişki olduğu görülmekte iken, ikinci hizalama yöntemi için ise yüksek dereceli bir doğrusal ilişki olduğu görülmektedir. Veri setinin tamamı kullanılarak yapılan bu ilk testlerde jüri ve bilgisayar tarafından yapılan değerlendirmeler arasında belirgin bir ilişki görülse de, bazı referans – icra ikilileri için verilmiş olan puanlar arasında büyük farklılıklar saptanmıştır. Bu farklılıkların sebebi araştırılmış ve bir kısmında referans kayıt ya da icra kaydı içerisinde problemler saptanırken, bir kısmında da jürinin tecrübesinden kaynaklanan olumlu kanaat kullanıldığı görülmüştür. Veri setindeki bu istisnai referans – icra ikilileri, çalışmanın



sınırları içerisindeki referans ve icra ritimleri ölçütlerine uygun olmadığı için testlerin bir sonraki aşamasında veri setinden çıkarılmıştır. Her iki hizalama yöntemi için de, istisnai veriler hariç tutularak yeni veri setleri hazırlanmış ve testler bu veri setleri üzerinden yürütülmüştür. Tamamen çalışma sınırları dahilindeki verilerden oluşan bu testler sonrasında ilk hizalama yöntemi uygulanarak bilgisayar tarafından verilen puanlar ve jüri tarafından verilen puanlar arasındaki korelasyon hesaplandığında  $\rho = 0,96$  ve  $p < 10^{-35}$  değerleri elde edilmiştir. İkinci hizalama yöntemi kullanıldığında elde edilen korelasyon değeri ise  $\rho = 0,93$  ve  $p < 10^{-29}$  şeklindedir. Bu korelasyon değerleri 1'e çok yakın olduğu için, bilgisayar tarafından yapılan değerlendirmelerin jüri tarafından verilen puanlarla oldukça örtüştüğü anlaşılmaktadır. Korelasyon katsayılarına ek olarak hesaplanan  $p$  değerlerinin çok küçük olması da, elde edilen korelasyon katsayılarının anlamlı olduğunu göstermektedir.

Bu çalışma kapsamında hazırlanan yöntem ile literatürde mevcut olup veri seti üzerinde test edilebilecek yöntemlerin verdiği sonuçlar, veri setinin problem tanımındaki kısıtlamalara en uygun hali üzerinden elde edilerek karşılaştırılmıştır. Literatürde karşılaşılan ve test edilmesine karar verilen yöntemler Hamming uzaklığı, vuruş aralıklarının Öklid uzaklığı ve (Percival 2008) yüksek lisans tez çalışmasında sunulmuş olan ritmik benzerlik hesaplama yöntemidir. Test edilen bu yöntemlerden alınan sonuçlar ve jüri üyeleri tarafından yapılan değerlendirmelerin karşılaştırması yapılmıştır. Bu karşılaştırmalardan alınan sonuçlar ve jüri değerlendirmeleri arasındaki korelasyon katsayıları hesaplandığında sırasıyla  $\rho = 0,53$ ,  $\rho = 0,40$  ve  $\rho = -0,12$  değerleri elde edilmiştir. Bu değerler yorumlandığında Hamming ve Öklid uzaklıkları jüri değerlendirmeleriyle orta derecede uyumlu iken, Percival'ın yönteminin jüri değerlendirmeleriyle uyumunun problem tanımındaki farklılıklar nedeniyle oldukça düşük olduğu gözlemlenmiştir.

Bu çalışma kapsamında geliştirilmiş ve test edilmiş ritim benzerliği hesaplama yöntemlerinin, kullanıcıların kolayca kullanabileceği sade bir arayüz ile sunulması planlanmıştır. Bu arayüz, hesaplamalarda kullanılan bazı araçların kısıtlaması sebebiyle bir Linux sürümü olan Ubuntu işletim sisteminde çalışabilecektir. Kullanıcılar, bu arayüze dahil edilmiş ritimleri çalışabilecek ve görsel olarak geribildirim alabileceklerdir.

Yüksek lisans tez çalışması olarak planlanmış olan bu araştırmanın, ritim eğitimi konusunda geliştirilebilecek araçlar için bir örnek olabilmesi ve daha ileri araçların geliştirilebilmesi için yeni çalışmaları teşvik edebilmesi hedeflenmektedir. Ayrıca bu çalışmadaki testlerde temel doğru olarak kabul edilen jüri değerlendirmelerinin matematiksel olarak dayandırılabilceği kıstasların anlaşılabilmesi için de çalışmaların yapılabileceği anlaşılmaktadır.

## KAYNAKÇA

### *Kitaplar*

Hamming, R.W., 1986. *Coding and information theory*, Prentice-Hall, Inc.

Mont-Reynaud, B. & Goldstein, M., 1985. *On finding rhythmic patterns in musical lines*, CCRMA, Department of Music, Stanford University.

Helvacı, Z., Olley, J., Jäger, R.M. (Eds.), 2016. *Rhythmic Cycles and Structures in the Art Music of the Middle East, Istanbul Texts and Studies 36*. Würzburg: Ergon Verlag.

### ***Sürelî Yayınlar***

- 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), ss.3–23.
- Downie, J.S., 2003. Music Information Retrieval. *Annual Review of Information Science and Technology*, 37(Chapter 7), ss.295–340.
- Holzapfel, A. vd., 2010. Three dimensions of pitched instrument onset detection. *IEEE Transactions on Audio, Speech and Language Processing*, 18(6), ss.1517–1527.
- Rosenthal, D., 1992. Emulation of Human Rhythm Perception. *Computer Music Journal*, 16(1), ss.64–76.
- Shmulevich, I. vd., 2001. Perceptual issues in music pattern recognition: Complexity of rhythm and key finding. *Computers and the Humanities*, 35(1), ss.23–35.

## ***Diğer Yayınlar***

- Bogdanov, D. vd., 2013. ESSENTIA: An audio analysis library for music information retrieval. İçinde *Proceedings of the International Conference on Music Information Retrieval (ISMIR)*. ss. 493–498.
- Coyle, E.J. & Shmulevich, I., 1998. A system for machine recognition of music patterns. İçinde *Acoustics, Speech and Signal Processing, 1998. Proceedings of the 1998 IEEE International Conference on*. ss. 3597–3600.
- Dixon, S., 2006. Onset Detection Revisited. İçinde *Proc. of the 9th Int. Conference on Digital Audio Effects (DAFx-06)*. ss. 1–6.
- Goto, M. & Muraoka, Y., 1996. Beat tracking based on multiple-agent architecture-a real-time beat tracking system for audio signals. ... *International Conference on Multiagent Systems*, ss.103–110.
- Gustafson, K., 1988. The graphical representation of rhythm. *PROPH) Progress Reports from Oxford Phonetics*, 3, ss.6–26.
- Holzapfel, A. & Stylianou, Y., 2009. Rhythmic Similarity in Traditional Turkish Music. *Proceedings of the International Symposium on Music Information Retrieval*. ss. 99–104.
- Karaosmanoğlu, M.K., 2012. A Turkish makam music symbolic database for music information retrieval: Symbtr. *Proceedings of the 13th ISMIR Conference, Porto, Portugal, (ISMIR)*, ss.223–228.
- Percival, G.K., 2008. *Computer-Assisted Musical Instrument Tutoring with Targeted Exercises*. University of Victoria.
- Schloss, W. a, 1985. On the Automatic Transcription of Percussive Music - From Acoustic Signal to High-Level Analysis. *Proceedings of the 18th International Congress on Acoustics*, (27).
- 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., 2014. Creating Research Corpora for the Computational Study of Music: the case of the CompMusic Project. *Proceedings AES 53rd International Conference on Semantic Audio*. London, UK: AES.
- Serra, X., 2012. Data gathering for a culture specific approach in MIR. *Proceedings of Workshop on Advances in Music Information Research, World Wide Web Conference*. ss. 867–868.
- Toussaint, G.T., 2004. A Comparison of Rhythmic Similarity Measures. *Proceedings of 5th International Society for Music Information Retrieval Conference*. Barcelona, Spain.
- Typke, R. vd., 2003. Using Transportation Distances for Measuring Melodic Similarity. *Proceedings of ISMIR 2003: Proceedings of the Fourth International Conference on Music Information Retrieval*. ss. 107–114.
- Tzanetakis, G. & Cook, P., 1999. Multifeature audio segmentation for browsing and annotation. İçinde *Proceedings of the 1999 IEEE Workshop on Applications of Signal Processing to Audio and Acoustics. WASPAA '99 (Cat. No.99TH8452)*. ss. 1–4.
- Uyar, B. vd., 2014. A corpus for computational research of Turkish makam music. *Proceedings of 1st International Digital Libraries for Musicology Workshop*. ss. 1–7.

## **EKLER**

## EK 1: Testlerde kullanılan referans ve icralara verilen puanlar (1. bölüm)

İnd	Perf#	Session	Ref#	Set#	Rhy#	BestFit	Cumulative	Jury	AvgBestFit	AvgCumulative	StdBestFit	StdCumul	BestFitOK?	CumulOK?	DistBestFit	DistCumul	AvgDistBestFit	AvgDistCumul
1	2	116	ref1	set9	rhy2	0,00	0,00	0,00	0,25	0,12	0,28	0,10	1	1	0,00	0,00	0,25	0,12
2	2	116	ref2	set9	rhy2	0,00	0,00	0,00	0,25	0,12	0,28	0,10	1	1	0,00	0,00	0,25	0,12
3	2	116	ref3	set9	rhy2	0,00	0,00	0,00	0,25	0,12	0,28	0,10	1	1	0,00	0,00	0,25	0,12
4	2	109	ref2	set5	rhy1	0,64	0,13	0,00	0,25	0,12	0,28	0,10	0	0	0,64	0,13	0,25	0,12
5	2	109	ref3	set5	rhy1	0,59	0,14	0,00	0,25	0,12	0,28	0,10	0	0	0,59	0,14	0,25	0,12
6	2	109	ref1	set5	rhy1	0,61	0,14	0,00	0,25	0,12	0,28	0,10	0	0	0,61	0,14	0,25	0,12
7	2	111	ref2	set6	rhy1	0,12	0,22	0,00	0,25	0,12	0,28	0,10	1	0	0,12	0,22	0,25	0,12
8	2	111	ref1	set6	rhy1	0,13	0,22	0,00	0,25	0,12	0,28	0,10	1	0	0,13	0,22	0,25	0,12
9	2	111	ref3	set6	rhy1	0,15	0,22	0,00	0,25	0,12	0,28	0,10	1	0	0,15	0,22	0,25	0,12
10	2	115	ref3	set2	rhy1	0,67	0,31	0,13	0,73	0,49	0,04	0,21	0	1	0,53	0,18	0,60	0,36
11	2	115	ref1	set2	rhy1	0,76	0,32	0,13	0,73	0,49	0,04	0,21	0	1	0,62	0,19	0,60	0,36
12	2	115	ref2	set2	rhy1	0,77	0,32	0,13	0,73	0,49	0,04	0,21	0	1	0,63	0,19	0,60	0,36
13	3	112	ref1	set10	rhy1	0,77	0,51	0,13	0,73	0,49	0,04	0,21	0	0	0,63	0,38	0,60	0,36
14	3	112	ref3	set10	rhy1	0,71	0,71	0,13	0,73	0,49	0,04	0,21	0	0	0,58	0,58	0,60	0,36
15	3	112	ref2	set10	rhy1	0,73	0,76	0,13	0,73	0,49	0,04	0,21	0	0	0,60	0,62	0,60	0,36
16	2	114	ref1	set9	rhy2	0,00	0,00	0,27	0,36	0,30	0,40	0,33	1	1	0,27	0,27	0,36	0,30
17	2	114	ref2	set9	rhy2	0,00	0,00	0,27	0,36	0,30	0,40	0,33	1	1	0,27	0,27	0,36	0,30
18	2	114	ref3	set9	rhy2	0,00	0,00	0,27	0,36	0,30	0,40	0,33	1	1	0,27	0,27	0,36	0,30
19	2	114	ref1	set9	rhy1	0,74	0,54	0,27	0,36	0,30	0,40	0,33	0	1	0,47	0,27	0,36	0,30
20	2	116	ref3	set9	rhy1	0,71	0,56	0,27	0,36	0,30	0,40	0,33	0	1	0,45	0,30	0,36	0,30
21	2	116	ref2	set9	rhy1	0,73	0,69	0,27	0,36	0,30	0,40	0,33	0	0	0,46	0,42	0,36	0,30
22	2	1236	ref1	set5	rhy1	0,51	0,36	0,40	0,67	0,50	0,15	0,16	1	1	0,11	0,04	0,27	0,12
23	2	1245	ref1	set4	rhy2	0,84	0,36	0,40	0,67	0,50	0,15	0,16	0	1	0,44	0,04	0,27	0,12
24	2	1245	ref3	set4	rhy2	0,80	0,39	0,40	0,67	0,50	0,15	0,16	0	1	0,40	0,01	0,27	0,12
25	2	1245	ref2	set4	rhy2	0,83	0,40	0,40	0,67	0,50	0,15	0,16	0	1	0,43	0,00	0,27	0,12
26	1	114	ref1	set9	rhy1	0,46	0,46	0,40	0,67	0,50	0,15	0,16	1	1	0,06	0,06	0,27	0,12
27	1	114	ref2	set9	rhy1	0,49	0,46	0,40	0,67	0,50	0,15	0,16	1	1	0,09	0,06	0,27	0,12
28	2	1236	ref2	set5	rhy1	0,63	0,57	0,40	0,67	0,50	0,15	0,16	0	0	0,23	0,17	0,27	0,12
29	2	1231	ref2	set5	rhy2	0,75	0,74	0,40	0,67	0,50	0,15	0,16	0	0	0,35	0,34	0,27	0,12
30	2	1231	ref1	set5	rhy2	0,76	0,78	0,40	0,67	0,50	0,15	0,16	0	0	0,36	0,38	0,27	0,12
31	2	113	ref3	set6	rhy1	0,62	0,13	0,53	0,71	0,17	0,10	0,06	1	0	0,08	0,40	0,18	0,37
32	2	113	ref2	set6	rhy1	0,70	0,13	0,53	0,71	0,17	0,10	0,06	0	0	0,17	0,40	0,18	0,37
33	2	113	ref1	set6	rhy1	0,82	0,23	0,53	0,71	0,17	0,10	0,06	0	0	0,28	0,30	0,18	0,37
34	2	1232	ref2	set2	rhy1	0,77	0,50	0,67	0,84	0,74	0,07	0,21	0	1	0,10	0,17	0,18	0,19
35	2	1232	ref3	set2	rhy1	0,87	0,84	0,67	0,84	0,74	0,07	0,21	0	1	0,20	0,18	0,18	0,19
36	2	1232	ref1	set2	rhy1	0,90	0,89	0,67	0,84	0,74	0,07	0,21	0	0	0,23	0,22	0,18	0,19
37	2	1237	ref2	set5	rhy1	0,49	0,41	0,80	0,83	0,77	0,15	0,20	0	0	0,31	0,39	0,12	0,15
38	2	1237	ref1	set5	rhy1	0,57	0,41	0,80	0,83	0,77	0,15	0,20	0	0	0,23	0,39	0,12	0,15
39	2	1235	ref1	set10	rhy1	0,80	0,47	0,80	0,83	0,77	0,15	0,20	1	0	0,00	0,33	0,12	0,15
40	2	1231	ref1	set5	rhy1	0,71	0,66	0,80	0,83	0,77	0,15	0,20	1	1	0,09	0,14	0,12	0,15
41	2	1236	ref1	set5	rhy2	0,75	0,73	0,80	0,83	0,77	0,15	0,20	1	1	0,05	0,08	0,12	0,15
42	2	109	ref3	set5	rhy2	0,93	0,75	0,80	0,83	0,77	0,15	0,20	1	1	0,13	0,05	0,12	0,15
43	2	1231	ref2	set5	rhy1	0,80	0,80	0,80	0,83	0,77	0,15	0,20	1	1	0,00	0,00	0,12	0,15
44	2	109	ref2	set5	rhy2	0,94	0,86	0,80	0,83	0,77	0,15	0,20	1	1	0,14	0,06	0,12	0,15
45	2	112	ref2	set10	rhy2	0,90	0,88	0,80	0,83	0,77	0,15	0,20	1	1	0,10	0,08	0,12	0,15
46	2	1235	ref3	set10	rhy1	0,89	0,89	0,80	0,83	0,77	0,15	0,20	1	1	0,09	0,09	0,12	0,15
47	2	1236	ref2	set5	rhy2	0,89	0,89	0,80	0,83	0,77	0,15	0,20	1	1	0,09	0,09	0,12	0,15
48	2	1235	ref2	set10	rhy1	0,93	0,93	0,80	0,83	0,77	0,15	0,20	1	1	0,13	0,13	0,12	0,15
49	2	112	ref3	set10	rhy2	0,96	0,95	0,80	0,83	0,77	0,15	0,20	0	1	0,16	0,15	0,12	0,15
50	2	112	ref1	set10	rhy2	0,95	0,96	0,80	0,83	0,77	0,15	0,20	0	1	0,15	0,16	0,12	0,15
51	2	109	ref1	set5	rhy2	0,96	0,96	0,80	0,83	0,77	0,15	0,20	0	1	0,16	0,16	0,12	0,15
52	2	1240	ref1	set7	rhy2	0,38	0,39	0,87	0,73	0,63	0,30	0,22	0	0	0,49	0,48	0,18	0,24
53	2	1240	ref3	set7	rhy2	0,88	0,69	0,87	0,73	0,63	0,30	0,22	1	1	0,01	0,18	0,18	0,24
54	2	1240	ref2	set7	rhy2	0,92	0,81	0,87	0,73	0,63	0,30	0,22	1	1	0,06	0,06	0,18	0,24
55	1	1232	ref2	set2	rhy2	0,94	0,94	0,93	0,97	0,95	0,03	0,01	1	1	0,00	0,00	0,03	0,01
56	1	1240	ref2	set7	rhy1	0,99	0,94	0,93	0,97	0,95	0,03	0,01	0	1	0,06	0,01	0,03	0,01
57	1	1232	ref1	set2	rhy2	0,95	0,95	0,93	0,97	0,95	0,03	0,01	1	1	0,02	0,01	0,03	0,01
58	1	1240	ref1	set7	rhy1	0,99	0,97	0,93	0,97	0,95	0,03	0,01	0	0	0,06	0,03	0,03	0,01
59	1	107	ref2	set10	rhy1	0,36	0,31	1,00	0,89	0,82	0,13	0,16	0	0	0,64	0,69	0,11	0,18
60	1	1234	ref2	set5	rhy1	0,47	0,43	1,00	0,89	0,82	0,13	0,16	0	0	0,53	0,57	0,11	0,18



## EK 2: Testlerde kullanılan referans ve icralara verilen puanlar (2. bölüm)

İnd	Perf#	Session	Ref#	Set#	Rhy#	BestFit	Cumulative	Jury	AvgBestFit	AvgCumulative	StdBestFit	StdCumul	BestFitOK?	CumulOK?	DistBestFit	DistCumul	AvgDistBestFit	AvgDistCumul
61	1	106	ref2	set5	rhy1	0,90	0,43	1,00	0,89	0,82	0,13	0,16	1	0	0,10	0,57	0,11	0,18
62	1	106	ref1	set5	rhy1	0,91	0,49	1,00	0,89	0,82	0,13	0,16	1	0	0,09	0,51	0,11	0,18
63	1	1234	ref1	set5	rhy1	0,64	0,50	1,00	0,89	0,82	0,13	0,16	0	0	0,36	0,50	0,11	0,18
64	1	1230	ref1	set5	rhy1	0,79	0,61	1,00	0,89	0,82	0,13	0,16	0	0	0,21	0,39	0,11	0,18
65	1	1230	ref2	set5	rhy1	0,70	0,63	1,00	0,89	0,82	0,13	0,16	0	0	0,30	0,37	0,11	0,18
66	1	1129	ref1	set3	rhy1	0,82	0,68	1,00	0,89	0,82	0,13	0,16	0	0	0,18	0,32	0,11	0,18
67	1	1243	ref1	set7	rhy1	0,78	0,70	1,00	0,89	0,82	0,13	0,16	0	0	0,22	0,30	0,11	0,18
68	1	1129	ref2	set3	rhy1	0,86	0,74	1,00	0,89	0,82	0,13	0,16	0	0	0,14	0,26	0,11	0,18
69	1	117	ref1	set6	rhy1	0,80	0,77	1,00	0,89	0,82	0,13	0,16	0	0	0,20	0,23	0,11	0,18
70	1	111	ref2	set6	rhy2	0,98	0,77	1,00	0,89	0,82	0,13	0,16	1	0	0,02	0,23	0,11	0,18
71	1	107	ref1	set10	rhy1	0,96	0,79	1,00	0,89	0,82	0,13	0,16	1	0	0,04	0,21	0,11	0,18
72	1	1245	ref2	set4	rhy1	0,83	0,80	1,00	0,89	0,82	0,13	0,16	0	0	0,17	0,20	0,11	0,18
73	1	1241	ref2	set4	rhy2	0,93	0,80	1,00	0,89	0,82	0,13	0,16	1	0	0,08	0,20	0,11	0,18
74	1	117	ref2	set6	rhy1	0,80	0,83	1,00	0,89	0,82	0,13	0,16	0	0	0,20	0,17	0,11	0,18
75	1	1129	ref1	set3	rhy2	0,86	0,86	1,00	0,89	0,82	0,13	0,16	0	1	0,14	0,14	0,11	0,18
76	1	1129	ref2	set3	rhy2	0,89	0,87	1,00	0,89	0,82	0,13	0,16	1	1	0,11	0,13	0,11	0,18
77	1	1243	ref2	set7	rhy2	0,92	0,87	1,00	0,89	0,82	0,13	0,16	1	1	0,08	0,13	0,11	0,18
78	1	117	ref1	set6	rhy2	0,93	0,87	1,00	0,89	0,82	0,13	0,16	1	1	0,07	0,13	0,11	0,18
79	1	110	ref1	set10	rhy2	0,94	0,88	1,00	0,89	0,82	0,13	0,16	1	1	0,06	0,13	0,11	0,18
80	1	107	ref2	set10	rhy2	0,95	0,88	1,00	0,89	0,82	0,13	0,16	1	1	0,05	0,13	0,11	0,18
81	1	1245	ref1	set4	rhy1	0,95	0,89	1,00	0,89	0,82	0,13	0,16	1	1	0,05	0,11	0,11	0,18
82	1	1241	ref1	set4	rhy1	0,96	0,89	1,00	0,89	0,82	0,13	0,16	1	1	0,04	0,11	0,11	0,18
83	1	1230	ref2	set5	rhy2	0,94	0,90	1,00	0,89	0,82	0,13	0,16	1	1	0,06	0,10	0,11	0,18
84	1	111	ref1	set6	rhy2	0,96	0,90	1,00	0,89	0,82	0,13	0,16	1	1	0,04	0,10	0,11	0,18
85	1	1237	ref1	set5	rhy2	0,96	0,90	1,00	0,89	0,82	0,13	0,16	1	1	0,04	0,10	0,11	0,18
86	1	1241	ref2	set4	rhy1	0,91	0,91	1,00	0,89	0,82	0,13	0,16	1	1	0,09	0,09	0,11	0,18
87	1	1235	ref2	set10	rhy2	0,91	0,91	1,00	0,89	0,82	0,13	0,16	1	1	0,09	0,09	0,11	0,18
88	1	1234	ref1	set5	rhy2	0,91	0,91	1,00	0,89	0,82	0,13	0,16	1	1	0,09	0,09	0,11	0,18
89	1	1234	ref2	set5	rhy2	0,95	0,91	1,00	0,89	0,82	0,13	0,16	1	1	0,05	0,09	0,11	0,18
90	1	1243	ref1	set7	rhy2	0,92	0,92	1,00	0,89	0,82	0,13	0,16	1	1	0,08	0,08	0,11	0,18
91	1	1243	ref2	set7	rhy1	0,94	0,92	1,00	0,89	0,82	0,13	0,16	1	1	0,06	0,08	0,11	0,18
92	1	106	ref2	set5	rhy2	0,93	0,93	1,00	0,89	0,82	0,13	0,16	1	1	0,08	0,08	0,11	0,18
93	1	115	ref1	set2	rhy2	0,97	0,93	1,00	0,89	0,82	0,13	0,16	1	1	0,03	0,07	0,11	0,18
94	1	113	ref2	set6	rhy2	0,97	0,93	1,00	0,89	0,82	0,13	0,16	1	1	0,03	0,07	0,11	0,18
95	1	1237	ref2	set5	rhy2	0,94	0,94	1,00	0,89	0,82	0,13	0,16	1	1	0,06	0,06	0,11	0,18
96	1	110	ref2	set10	rhy2	0,95	0,94	1,00	0,89	0,82	0,13	0,16	1	1	0,05	0,06	0,11	0,18
97	1	107	ref1	set10	rhy2	0,98	0,94	1,00	0,89	0,82	0,13	0,16	1	1	0,03	0,06	0,11	0,18
98	1	1241	ref1	set4	rhy2	0,94	0,95	1,00	0,89	0,82	0,13	0,16	1	1	0,06	0,05	0,11	0,18
99	1	1235	ref1	set10	rhy2	0,95	0,95	1,00	0,89	0,82	0,13	0,16	1	1	0,05	0,05	0,11	0,18
100	1	113	ref1	set6	rhy2	0,99	0,96	1,00	0,89	0,82	0,13	0,16	1	1	0,01	0,04	0,11	0,18
101	2	110	ref2	set10	rhy1	0,96	0,96	1,00	0,89	0,82	0,13	0,16	1	1	0,04	0,04	0,11	0,18
102	1	106	ref1	set5	rhy2	0,96	0,96	1,00	0,89	0,82	0,13	0,16	1	1	0,04	0,04	0,11	0,18
103	1	1230	ref1	set5	rhy2	0,99	0,96	1,00	0,89	0,82	0,13	0,16	1	1	0,01	0,04	0,11	0,18
104	1	117	ref2	set6	rhy2	0,96	0,97	1,00	0,89	0,82	0,13	0,16	1	1	0,04	0,03	0,11	0,18
105	2	110	ref1	set10	rhy1	0,96	0,97	1,00	0,89	0,82	0,13	0,16	1	1	0,04	0,03	0,11	0,18

## ÖZGEÇMİŞ

**Adı Soyadı :** Burak UYAR

**Doğum Yeri ve Yılı :** Mersin - 1988

**Yabancı Dili :** İngilizce

**İlköğretim :** İstiklal İlköğretim Okulu - 2002

**Ortaöğretim :** Samsun Fen Lisesi - 2006

**Lisans :** Boğaziçi Üniversitesi Bilgisayar Mühendisliği - 2013

**Yüksek Lisans :** Bahçeşehir Üniversitesi - 2016

**Enstitü Adı :** Fen Bilimleri Enstitüsü

**Program Adı :** Ses Teknolojileri

### Yayımları :

- [1] Uyar B., Bozkurt B., (2015). **An Interactive Rhythm Training Tool for Usuls of Turkish Makam Music.** 5th Int. Workshop on Folk Music Analysis, Paris, France.
- [2] Atlı H. S., Uyar B., Şentürk S., Bozkurt B., Serra X., (2014). **Audio Feature Extraction for Exploring Turkish Makam Music.** 3rd International Conference on Audio Technologies for Music and Media, Ankara, Turkey.
- [3] Uyar B., Atlı H. S., Şentürk S., Bozkurt B., Serra X., (2014). **A Corpus for Computational Research of Turkish Makam Music.** 1st International Digital Libraries for Musicology Workshop, London, UK.