

T.C.
ABANT İZZET BAYSAL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



SİNYAL İŞLEME YÖNTEMLERİ TABANLI
KEMAN SES ANALİZİ İÇİN
BİR KULLANICI ARAYÜZ GERÇEKLEŞTİRİLMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

TAMER ŞEVKİ ACUNER

BOLU, ARALIK - 2017

T.C.
ABANT İZZET BAYSAL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ELEKTRİK ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM
DALI



SİNYAL İŞLEME YÖNTEMLERİ TABANLI
KEMAN SES ANALİZİ İÇİN
BİR KULLANICI ARAYÜZ GERÇEKLEŞTİRİLMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

TAMER ŞEVKİ ACUNER

BOLU, ARALIK - 2017

KABUL VE ONAY SAYFASI

Tamer Şevki ACUNER tarafından hazırlanan “**SİNYAL İŞLEME YÖNTEMLERİ TABANLI KEMAN SES ANALİZİ İÇİN BİR KULLANICI ARAYÜZ GERÇEKLEŞTİRİLMESİ**” adlı tez çalışması Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **29/12/2017** tarihinde **ABANT İZZET BAYSAL ÜNİVERSİTESİ Fen Bilimleri Enstitüsü** Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

Danışman
Yrd. Doç. Dr. Kemal AVCI
Abant İzzet Baysal Üniversitesi

Üye
Doç. Dr. Seda POSTALCIOĞLU
Abant İzzet Baysal Üniversitesi

Üye
Yrd. Doç. Haydar ANKIŞHAN
Başkent Üniversitesi

İmza



Mezuniyet tarihi:

...../...../20....

Doc. Dr. Ömer ÖZYURT



Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

Eşime ve kızıma,

ETİK BEYAN

Abant İzzet Baysal Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

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

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

Tamer Şevki ACUNER


29.01.2018

ÖZET

**SİNYAL İŞLEME YÖNTEMLERİ TABANLI KEMAN SES ANALİZİ İÇİN
BİR KULLANICI ARAYÜZ GERÇEKLEŞTİRİLMESİ
YÜKSEK LİSANS TEZİ
TAMER ŞEVKİ ACUNER
ABANT İZZET BAYSAL ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ELEKTRİK ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
(TEZ DANIŞMANI: YRD. DOÇ. DR. KEMAL AVCI)**

BOLU, ARALIK – 2017

Bu tez çalışmasında, başlangıç seviyesi keman eğitiminde kullanmak amacıyla kayıtlı keman seslerini kullanarak kemandaki dört boş tel, sol majör arpej ve sol majör dizi notalarını otomatik tespit eden bir kullanıcı arayüzün gerçekleştirilmesi ile ilgili bir çalışma sunulmuştur. Öncelikle, keman ses kayıtlarının analizinin yapılabilmesi için müzik parçasının kendisini oluşturan notalara bölütlenmesi gerekmektedir. Bölütlenmenin doğru şekilde yapılabilmesi için notaların başlangıç zamanının doğru bir şekilde tespit edilmesi gerekmektedir. Sahip olduğu zarf karakteristiği nedeniyle piyano ve gitar gibi diğer müzik çalgı seslerine göre keman sesinin nota başlangıç zamanı tespiti daha zordur. Önerilen çalışmada nota başlangıç zamanı tespiti için karmaşık spektral fark yöntemi kullanılmaktadır. Daha sonra, çıkarılan bölüte hızlı Fourier dönüşümü uygulanarak keman sesinin notası ve oktavı belirlenecek şekilde bölütün temel frekansı bulunmaktadır. Ayrıca, geliştirilen arayüz üzerinde süre ve gürlük analizleri de yapılabilinmektedir. Önerilen arayüz sistemi, iPad tabanlı profesyonel kayıt sistemi kullanarak sekiz katılımcıdan elde edilmiş boş tel, sol majör arpej ve sol majör dizi ses parçalarına uygulanmıştır. Elde edilen sonuçlar önerilen arayüz sistemin başarıyla çalıştığını göstermiştir.

ANAHTAR KELİMELELER: Müzik sinyal işleme, Kullanıcı arayüzü, Otomatik müzik transkripsiyon, Nota tespiti, Başlangıç zamanı tespiti, Keman

ABSTRACT

**A USER INTERFACE IMPLEMENTATION OF SIGNAL PROCESSING
METHODS BASED VIOLIN SOUND ANALYSIS
MSC THESIS
TAMER ŞEVKİ ACUNER
ABANT İZZET BAYSAL UNIVERSITY GRADUATE SCHOOL OF
NATURAL AND APPLIED SCIENCES
DEPARTMENT OF ELECTRICAL AND ELECTRONICS ENGINEERING
(SUPERVISOR: ASSIST. PROF. DR. KEMAL AVCI)**

BOLU, DECEMBER 2017

In this thesis study, a study related with the implementation of a user interface which automatically detects four open-string, G major arpeggio, and G major scale notes of the violin from the recorded violin sounds is presented for the purpose of using in the beginner level violin education. First, in order to be able to analyze the violin sound recordings, it is necessary for the music piece to be segmented into the notes forming the music piece itself. In order for the segmentation to be done correctly, it is necessary to correctly determine the starting times (onsets) of the notes. Because of its envelope characteristic, the note onset detection of violin sound is more difficult than other musical instrument sounds such as piano and guitar. In the proposed study, the complex spectral difference method is used to determine the note onset. Then, by applying the fast Fourier transform to the dedected segment, the fundamental frequency of the segment is found so that the note and octave of the violin sound are determined. Moreover, duration and volume analyzes can also be performed on the developed interface. The proposed interface system was applied to the open-string, G major arpeggio, and G major scale tracks which were obtained from eight people by using the iPad-based professional recording system. The results show that the proposed interface system works successfully.

KEYWORDS: Music signal processing, User interface, Automatic music transcription, Note detection, Onset detection, Pitch detection, Violin

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET.....	v
ABSTRACT	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ŞEKİL LİSTESİ.....	ix
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xii
KISALTMA VE SEMBOLLER LİSTESİ	xiii
TEŞEKKÜR	xv
1. GİRİŞ.....	1
1.1 Keman Hakkında Temel Bilgiler	1
1.1.1 Yaylı Çalgılarda Kemanın Yeri	1
1.1.2 Kemanın Yapısı	2
1.1.3 Kemanda Notalar ve Frekans Değerleri.....	3
1.2 Problem Tanımı.....	4
1.3 Tez Çalışmasının Amacı	4
1.4 Tezin Yapısı	4
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI.....	6
2.1 Otomatik Müzik Transkripsiyonu ve Önemi.....	6
2.2 Otomatik Müzik Transkripsiyonu için Yapılan Çalışmalar	7
2.3 Keman ile İlgili Yapılan Çalışmalar.....	7
3. MATERYAL VE YÖNTEM	12
3.1 Keman Ses Analizi için Veri Seti.....	12
3.2 Ses Analiz Yazılımları: MIRtoolbox ve Essentia.....	14
3.2.1 MIRtoolbox.....	14
3.2.2 Essentia	16
3.3 Önerilen Otomatik Transkripsiyon Sistemi Tabanlı Kullanıcı Arayüz Gerçekleştirilmesi	16
3.3.1 Önerilen Otomatik Transkripsiyon Sistemi	17
3.3.1.1 Başlangıç Zamanı Tespiti.....	17
3.3.1.2 Temel Frekans Tespiti.....	18
3.3.1.3 Nota Tespiti.....	19
3.3.1.4 Süre ve Gürlük Analizleri	20
3.3.2 Gerçekleştirilen Kullanıcı Arayüz	21
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	23
4.1 Veri Seti Dalga Grafikleri	23
4.2 MIRtoolbox Tabanlı Analizler	25

4.2.1	Boş Tel Çalma Kaydı için Analiz Sonuçları.....	25
4.2.2	Arpej Çalma Kaydı için Analiz Sonuçları	28
4.2.3	Dizi Çalma Kaydı için Analiz Sonuçları	31
4.3	Essentia Tabanlı Analizler.....	33
4.3.1	Boş Tel Çalma Kaydı için Analiz Sonuçları.....	33
4.3.2	Arpej Çalma Kaydı için Analiz Sonuçları	38
4.3.3	Dizi Çalma Kaydı için Analiz Sonuçları	42
4.4	Önerilen Kullanıcı Arayüz Sistemi Tabanlı Analizler	46
4.4.1	Boş Tel Çalma Kaydı için Analiz Sonuçları.....	46
4.4.2	Arpej Çalma Kaydı için Analiz Sonuçları	54
4.4.3	Dizi Çalma Kaydı için Analiz Sonuçları	58
5.	SONUÇ VE ÖNERİLER	64
6.	KAYNAKLAR.....	66
7.	ÖZGEÇMİŞ.....	72

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1. Kemanın tutuş ve çalınışı.....	2
Şekil 1.2. Kemanın yapısı.....	2
Şekil 3.1. Kayıt çalışmalarında kullanılan keman.....	12
Şekil 3.2. Boş tel çalışması.....	13
Şekil 3.3. Sol majör arpej çalışması.....	13
Şekil 3.4. Sol majör dizi çalışması.....	13
Şekil 3.5. iTrack Dock studio kayıt sistemi.....	14
Şekil 3.6. MIRtoolbox anasayfası.....	15
Şekil 3.7. MIRtoolbox ile çıkarılan müzik özelliklerine genel bakış.....	15
Şekil 3.8. Essentia anasayfası.....	16
Şekil 3.9. Sistem çalışmasının blok diyagramı.....	17
Şekil 3.10. Önerilen otomatik transkripsiyon için hazırlanmış grafiksel arayüz.....	21
Şekil 3.11. Boş tel çalışması için hazırlanmış grafiksel arayüz.....	21
Şekil 3.12. Arpej çalışması için hazırlanmış grafiksel arayüz.....	22
Şekil 3.13. Dizi çalışması için hazırlanmış grafiksel arayüz.....	22
Şekil 4.1. Sekiz katılımcıya ait boş tel çalma kayıtlarının dalga grafikleri.....	23
Şekil 4.2. Sekiz katılımcıya ait arpej çalma kayıtlarının dalga grafikleri.....	24
Şekil 4.3. Sekiz katılımcıya ait dizi çalma kayıtlarının dalga grafikleri.....	25
Şekil 4.4. Birinci katılımcı boş tel çalmasına ait MIRtoolbox tabanlı başlangıç değerleri eğrisi.....	26
Şekil 4.5. Birinci katılımcı boş tel çalmasına ait MIRtoolbox tabanlı nota bölütlenmesi.....	26
Şekil 4.6. Birinci katılımcı boş tel çalmasına ait MIRtoolbox tabanlı başlangıç değerleri ve atak faz eğrisi.....	27
Şekil 4.7. Birinci katılımcı boş tel çalmasına ait MIRtoolbox tabanlı atak faz kullanımlı nota bölütlenmesi.....	28
Şekil 4.8. Birinci katılımcı arpej çalmasına ait MIRtoolbox tabanlı başlangıç değerleri eğrisi.....	29
Şekil 4.9. Birinci katılımcı arpej çalmasına ait MIRtoolbox tabanlı nota bölütlenmesi.....	29
Şekil 4.10. Birinci katılımcı arpej çalmasına ait MIRtoolbox tabanlı başlangıç değerleri ve atak faz eğrisi.....	30
Şekil 4.11. Birinci katılımcı arpej çalmasına ait MIRtoolbox tabanlı atak faz kullanımlı nota bölütlenmesi.....	30
Şekil 4.12. Birinci katılımcı dizi çalmasına ait MIRtoolbox tabanlı başlangıç değerleri eğrisi.....	31
Şekil 4.13. Birinci katılımcı dizi çalmasına ait MIRtoolbox tabanlı nota bölütlenmesi.....	32
Şekil 4.14. Birinci katılımcı dizi çalmasına ait MIRtoolbox tabanlı başlangıç değerleri ve atak faz eğrisi.....	32
Şekil 4.15. Birinci katılımcı dizi çalmasına ait MIRtoolbox tabanlı atak faz kullanımlı nota bölütlenmesi.....	33
Şekil 4.16. Birinci katılımcı boş tel çalmasına ait kaydın Yin FFT yöntemi kullanarak Essentia tabanlı nota bölütlenmesi.....	34

Şekil 4.17. Birinci katılımcı boş tel çalmasına ait kaydın Melodia monofonik perde tahmini yöntemi kullanarak Essentia tabanlı nota bölütlenmesi.	35
Şekil 4.18. Birinci katılımcı boş tel çalmasına ait kaydın monofonik nota transkripsiyon yöntemi kullanarak Essentia tabanlı nota segmentasyonlanması.	35
Şekil 4.19. Birinci katılımcı boş tel çalmasına ait kaydın Klapuri çoklu perde tahmini yöntemi kullanarak Essentia tabanlı nota bölütlenmesi.	36
Şekil 4.20. Birinci katılımcı boş tel çalmasına ait kaydın Melodia çoklu perde tahmini yöntemi kullanarak Essentia tabanlı nota bölütlenmesi.	37
Şekil 4.21. Birinci katılımcı boş tel çalmasına ait kaydın Melodia predominant perde tahmini yöntemi kullanarak Essentia tabanlı nota bölütlenmesi.	37
Şekil 4.22. Birinci katılımcı arpej çalmasına ait kaydın Yin FFT yöntemi kullanarak Essentia tabanlı nota bölütlenmesi.	38
Şekil 4.23. Birinci katılımcı arpej çalmasına ait kaydın Melodia monofonik perde tahmini yöntemi kullanarak Essentia tabanlı nota bölütlenmesi.	39
Şekil 4.24. Birinci katılımcı arpej çalmasına ait kaydın monofonik nota transkripsiyon yöntemi kullanarak Essentia tabanlı nota bölütlenmesi.	40
Şekil 4.25. Birinci katılımcı arpej çalmasına ait kaydın Klapuri çoklu perde tahmini yöntemi kullanarak Essentia tabanlı nota bölütlenmesi.	40
Şekil 4.26. Birinci katılımcı arpej çalmasına ait kaydın Melodia çoklu perde tahmini yöntemi kullanarak Essentia tabanlı nota bölütlenmesi.	41
Şekil 4.27. Birinci katılımcı arpej çalmasına ait kaydın Melodia predominant perde tahmini yöntemi kullanarak Essentia tabanlı nota bölütlenmesi.	41
Şekil 4.28. Birinci katılımcı dizi çalmasına ait kaydın Yin FFT yöntemi kullanarak Essentia tabanlı nota bölütlenmesi.	42
Şekil 4.29. Birinci katılımcı dizi çalmasına ait kaydın Melodia monofonik perde tahmini yöntemi kullanarak Essentia tabanlı nota bölütlenmesi.	43
Şekil 4.30. Birinci katılımcı dizi çalmasına ait kaydın monofonik nota transkripsiyon yöntemi kullanarak Essentia tabanlı nota bölütlenmesi.	44
Şekil 4.31. Birinci katılımcı dizi çalmasına ait kaydın Klapuri çoklu perde tahmini yöntemi kullanarak Essentia tabanlı nota bölütlenmesi.	44
Şekil 4.32. Birinci katılımcı dizi çalmasına ait kaydın Melodia çoklu perde tahmini yöntemi kullanarak Essentia tabanlı nota bölütlenmesi.	45
Şekil 4.33. Birinci katılımcı dizi çalmasına ait kaydın Melodia predominant perde tahmini yöntemi kullanarak Essentia tabanlı nota bölütlenmesi.	46

Şekil 4.34. Birinci katılımcıya ait boş tel kayıtın dalga grafiği ve nota başlangıç zamanları.	47
Şekil 4.35. Birinci katılımcıya ait boş tel kayıt için karmaşık spektral fark yöntemiyle bulunan nota başlangıç zamanı tespit fonksiyonu grafiği.	48
Şekil 4.36. Birinci katılımcıya ait boş tel kayıttaki çekerek çalınan G3 notasının spektrumu.	49
Şekil 4.37. Birinci katılımcıya ait boş tel kayıttaki çekerek çalınan G3 notasının temel frekans civarında büyütülmüş spektrumu.	50
Şekil 4.38. Boş tel çalışması birinci kayıt için elde edilen dalga formu analiz sonucu.	50
Şekil 4.39. Boş tel çalışması birinci kayıt için elde edilen spektrum analiz sonucu.	51
Şekil 4.40. Boş tel çalışması birinci kayıt için elde edilen nota tespit sonucu.	51
Şekil 4.41. Boş tel çalışması birinci kayıt için elde edilen nota süreleri.	53
Şekil 4.42. Boş tel çalışması birinci kayıt için elde edilen nota gürlük değerleri.	53
Şekil 4.43. Birinci katılımcıya ait arpej kayıtın dalga grafiği ve nota başlangıç zamanları.	54
Şekil 4.44. Birinci katılımcıya ait arpej kayıt için karmaşık spektral fark yöntemiyle bulunan nota başlangıç zamanı tespit fonksiyonu grafiği.	55
Şekil 4.45. Arpej çalışması birinci kayıt için elde edilen dalga formu analizi.	55
Şekil 4.46. Arpej çalışması birinci kayıt için elde edilen spectrum analiz sonucu.	56
Şekil 4.47. Arpej çalışması birinci kayıt için elde edilen nota tespit sonucu.	56
Şekil 4.48. Arpej çalışması birinci kayıt için elde edilen nota süreleri.	58
Şekil 4.49. Arpej çalışması birinci kayıt için elde edilen nota gürlük değerleri.	58
Şekil 4.50. Birinci katılımcıya ait dizi kayıtın dalga grafiği ve nota başlangıç zamanları.	59
Şekil 4.51. Birinci katılımcıya ait dizi kayıt için karmaşık spektral fark yöntemiyle bulunan nota başlangıç zamanı tespit fonksiyonu grafiği.	60
Şekil 4.52. Dizi çalışması birinci kayıt için elde edilen dalga formu analiz sonucu.	60
Şekil 4.53. Dizi çalışması birinci kayıt için elde edilen spektrum analiz sonucu.	61
Şekil 4.54. Dizi çalışması birinci kayıt için elde edilen nota tespit sonucu.	61
Şekil 4.55. Dizi çalışması birinci kayıt için elde edilen nota süreleri.	63
Şekil 4.56. Dizi çalışması birinci kayıt için elde edilen nota gürlük değerleri.	63

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 1.1. Dört telli yaylı çalgıların boş tel notaları ve uzunlukları.	1
Çizelge 1.2. Kemanda bulunan notalar ve Hz cinsinden frekansları	3
Çizelge 3.1. Keman boş tel nota ve frekans değerleri.....	19
Çizelge 3.2. Keman sol majör arpej nota ve frekans değerleri.	20
Çizelge 3.3. Keman sol majör dizi nota ve frekans değerleri.	20
Çizelge 4.1. Boş tel otomatik transkripsiyon ile bulunan frekans analiz sonuçları.	52
Çizelge 4.2. Arpej otomatik transkripsiyon ile bulunan frekans analiz sonuçları.	57
Çizelge 4.3. Dizi otomatik transkripsiyon ile bulunan frekans analiz sonuçları.	62

KISALTMA VE SEMBOLLER LİSTESİ

#	: Diyez
$\frac{4}{4}$	: Dört dörtlük ölçü işareti
A	: La
B	: Si
C	: Do
D	: Re
dB	: Desibel
E	: Mi
F	: Fa
FFT	: Fast Fourier transform (Hızlı Fourier dönüşümü)
G	: Sol
GPL	: General public license (Genel kamu lisansı)
KHz	: Kilohertz
m4a	: MPEG-4 formatında sıkıştırılmış ses dosyasını temsil eden bir dosya adı uzantısıdır.
MFCC	: Mel-frequency cepstral coefficients (Mel frekans kepsral katsayıları)
MIR	: Music information retrieval (Müzik bilgi çıkarımı)
ms	: Milisaniye
MTG	: Music technology group (Müzik teknoloji grubu)
RMS	: Root mean square (Ortalama karekök)
S(n)	: Ayrık zamanlı sinyal
S _k (m)	: S(n) sinyalinin STFT'si
STFT	: Short-time Fourier transform (Kısa zamanlı Fourier dönüşümü)
w(n)	: Pencere fonksiyonu
δS	: Tespit fonksiyonu



: Yayı çekerek



: Yayı iterek



: Sol anahtarı



: Tam sus (Dörtlük sus)



TEŞEKKÜR

Bu çalışmada, sinyal işleme yöntemleri tabanlı keman ses analizi için bir kullanıcı arayüz gerçekleştirilmesi ele alınmıştır. Çalışma konusunun belirlenmesi ve hazırlanması sürecinde kıymetli bilgi ve tecrübeleri ile beni yönlendiren değerli hocam Yrd. Doç. Dr. Kemal AVCİ'ya en içten dileklerimle teşekkür ederim. Eğitim-öğretim hayatım boyunca değerli bilgilerini benle paylaşan değerli hocalarıma ve her zaman benden desteklerini esirgemeyen aileme teşekkür ederim.



1. GİRİŞ

Bu bölümde keman ile ilgili temel bilgiler, tez çalışmasına ait problem tanımı, amaç ve tezin yapısı verilmektedir.

1.1 Keman Hakkında Temel Bilgiler

Bu bölümde kemanın da içinde yer aldığı yaylı çalgılar ailesinde kemanın yeri, kemanın yapısı ile kemanda nota ve frekans değerleri hakkında temel bilgiler verilmektedir.

1.1.1 Yaylı Çalgılarda Kemanın Yeri

Keman, en tanınmış orkestra çalgısı olup dört telli yaylı bir çalgıdır. Diğer yaylı çalgılar viyola, viyolonsel (çello) ve kontrbasır. Bu dört telli yaylı çalgıların fiziksel ebatları ve tellerin notaları farklıdır. Çizelge 1.1'de bu dört telli yaylı çalgıların boş tellerine karşılık gelen notalar ile çalgıların uzunlukları verilmiştir (Parker, 2015). Notalar, kalın sestten ince sese doğru sıralanmıştır. Bu çizelgede notaların sağ alt tarafındaki rakamlar, oktav numarasını göstermektedir.

Çizelge 1.1. Dört telli yaylı çalgıların boş tel notaları ve uzunlukları.

Çalgı	Boş Tel Notaları				Uzunluk(cm)
Keman	Sol ₃	Re ₄	La ₄	Mi ₅	60
Viyola	Do ₃	Sol ₃	Re ₄	La ₄	66
Viyolonsel	Do ₂	Sol ₂	Re ₃	La ₃	115
Kontrbas	Mi ₁	La ₁	Re ₂	Sol ₂	200

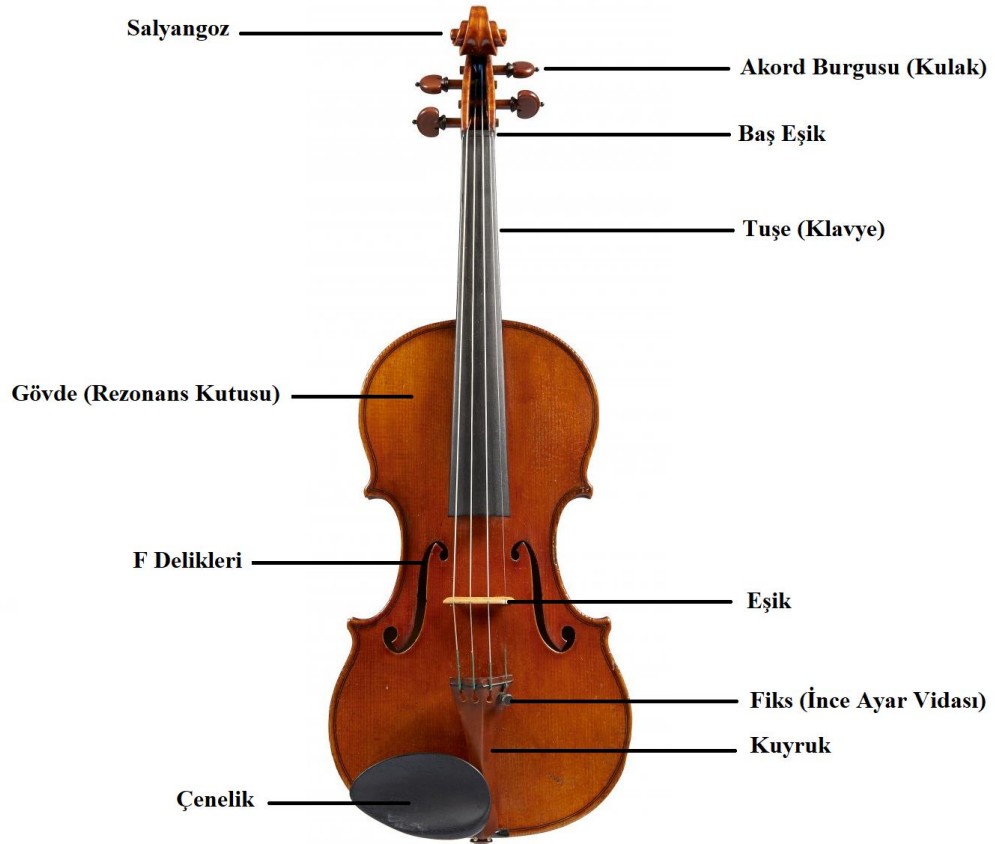
Sahip olduğu ses rengi, ses sınırı ve müzikal düşünceleri anlatmadaki ses çeşitliliği nedeniyle pek çok bestecinin en gözde çalgısı olan keman, üzerinde en çok eser yazılan ve çalma tekniği geliştirilen çalgılardan birisidir (Çuhadar, 2009). Bir kemanın tutuş ve çalınışı Şekil 1.1'de verilmiştir.



Şekil 1.1. Kemanın tutuş ve çalınışı.

1.1.2 Kemanın Yapısı

Şekil 1.2'de bir kemanın kısımları görülmektedir. Bu kısımlar hakkında temel bilgiler sonraki sayfada verilmiştir.



Şekil 1.2. Kemanın yapısı.

Kemanın gövde kısmı; akçaağaç, çam, köknar, ladin, vb. ağaçlardan yapılmakta olup, üst kapak, alt kapak ve onları birleştiren kasnaktan oluşur. Üst kapak üzerinde bulunan *f* şeklindeki iki adet delik, ses titreşimlerinin dışarı çıkmasını sağlar. Kemanın ses karakteristliğini belirleyen etmenler, keman yapımında kullanılan ağaç ve yapılan ciladır.

Akçaağaçtan yapılan keman sapının ucu, görünümünden dolayı salyangoz olarak adlandırılır. Salyangozdan sonra dört tane akord burgusu ve baş eşik yer alır. Burgulara bağlanan teller, sap üzerine yerleştirilmiş siyah renk abanozdan yapılma bir tuşenin üzerinden gelir ve köprüden geçerek kuyruğa bağlanır. Köprü, telleri yükselterek sap ile kuyruk arasında geçişi sağlarken tellerin titreşimini üst kapağa iletir.

Tellerin kuyruğa bağlı olduğu yerlerde fiks (ince ayar vidası) kullanılarak hassas ayar yapılabilir. Keman çalarken konfor sağlayan çenelik, kemana haricen monte edilir. Keman tellerine sürterek ses çıkartan arşe (yay) ise genellikle at kılından imal edilir.

1.1.3 Kemanda Notalar ve Frekans Değerleri

Keman dört telden ve yukarıdan aşağıya sırasıyla sol, re, la ve mi notalarından oluşmaktadır. Çizelge 1.2’de tel bazında kemanda bulunan notalar ve bu notalara ait frekanslar gösterilmektedir. Şekilde görüldüğü üzere kemandaki en pes ses 196 Hz frekansa sahip 3. oktav G (Sol) notası, en tiz ses ise 987,7 Hz frekansa sahip 5. oktav B (Si) notasıdır.

Çizelge 1.2. Kemanda bulunan notalar ve Hz cinsinden frekansları

	Nota	G ₃	G _{#3}	A ₃	A _{#3}	B ₃	C ₄	C _{#4}	D ₄
1. Tel	Frekans	196,0	207,6	220	233,1	246,9	261,6	277,2	293,6
	Nota	D ₄	D _{#4}	E ₄	F ₄	F _{#4}	G ₄	G _{#4}	A ₄
2. Tel	Frekans	293,6	311,1	329,6	349,2	369,9	392	415,3	440
	Nota	A ₄	A _{#4}	B ₄	C ₅	C _{#5}	D ₅	D _{#5}	E ₅
3. Tel	Frekans	440,0	466,2	493,8	523,3	554,3	587,3	622,3	659,2
	Nota	E ₅	F ₅	F _{#5}	G ₅	G _{#5}	A ₅	A _{#5}	B ₅
4. Tel	Frekans	659,2	698,5	739,9	784	830,6	880	932,3	987,7

1.2 Problem Tanımı

Viyola, viyolonsel ve kontrbasında bulunduğu yaylı çalgılar ailesinin en küçük ama en etkin bireyi olan keman; dünyanın birçok ülkesinde en sevilen ve en yaygın kullanılan çalgılardan biri olma özelliğini taşımaktadır. Kemanın perdesiz bir çalgı oluşu, yay kullanımı ve keman çalımında yapılması gereken hareketlerin günlük yaşamda başka hiçbir alanda kullanılmaması, dolayısıyla vücudun bu hareketlere kolay adapte olamaması gibi çeşitli etkenler; kemanı başlangıç aşamasından itibaren öğrenilmesi zor bir çalgıya dönüştürmektedir. Kemanın öğrenilmesindeki zorluklar nedeniyle, bu çalgının öğrenmesini kolaylaştıracak bir takım yardımcı unsurlara ihtiyaç duyulmaktadır (Avci ve Acuner, 2017). Bu tür ihtiyaçlara yardımcı olabilecek teknolojik sistemler, otomatik transkripsiyon işlemine dayalıdır. Kemanın ses karakteristiğinin farklı yapısı ve çok farklı keman çalış tekniklerinin bulunması nedeniyle otomatik transkripsiyonun yapılması, diğer enstrümanlara göre daha zordur (Muller vd., 2011; Bello vd., 2005).

1.3 Tez Çalışmasının Amacı

Bu tez çalışmasında, başlangıç seviyesi keman öğrencilerinin çalma performansları hakkında geri besleme alabilecekleri bir sistemin geliştirilmesi amaçlanmaktadır. Geliştirilecek sistem öğrencilerin boş tel, arpej ve dizi çalışmalarındaki performansları için geri besleme alabilecekleri bir arayüz tasarımının gerçekleştirilmesi ile sağlanacaktır. Oluşturulacak arayüz Matlab programı tabanlı olacaktır.

1.4 Tezin Yapısı

Bu tez aşağıda açıklandığı gibi dört bölümden oluşmaktadır:

Bölüm-1. Giriş – Bu bölümde keman ile ilgili temel bilgiler, problem tanımı, tez çalışmasının amacı ve tezin yapısı verilmektedir.

Bölüm-2. Kaynak Araştırması – Bu bölümde otomatik transkripsiyon ve kullanıcı arayüzleri ile ilgili literatürde yer alan çalışmalar hakkında bilgiler verilmektedir.

Bölüm-3. Materyal ve Yöntem – Bu bölümde, önerilen sistemin analizinde kullanılacak olan keman ses kayıtları, sonra literatürde yaygın olarak kullanılan MIRtoolbox ve Essentia müzik analiz yazılımları, bunu takiben ise önerilen otomatik transkripsiyon sistemi ile bu sistem tabanlı gerçekleştirilen kullanıcı arayüz hakkında bilgiler verilmektedir.

Bölüm-4. Bulgular ve Tartışma – Bu bölümde boş tel, arpej ve dizi çalışma kayıtları için elde edilen analiz sonuçları verilmektedir. Birinci kısımda analizler için kullanılan veri setinin dalga grafikleri verilmektedir. İkinci kısımda Matlab'ta MIRtoolbox kullanarak elde edilen analiz sonuçları verilmektedir. Üçüncü kısımda ise Essentia kütüphanesi kullanılarak aynı veri seti analiz edilmiştir. Son kısımda ise gerçekleştirilen arayüz kullanarak aynı veri seti analiz edilmiştir.

Bölüm-5. Sonuç ve Öneriler – Bu bölümde tez çalışmasından elde edilen sonuçlar özetlenmekte ve ileride konuyla ilgili yapılabilecek çalışmalar verilmektedir.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Bu bölümde tez çalışmasının odaklandığı konular olan otomatik müzik transkripsiyon ve kullanıcı arayüz gerçekleştirilmesi ile ilgili literatürde yapılan çalışmalar sunulmaktadır.

2.1 Otomatik Müzik Transkripsiyonu ve Önemi

Duygu ve düşünceleri belli bir amaç ve yöntemle, belirli bir güzellik anlayışına göre birleştirilmiş seslerle işleyip estetik bir bütün olarak anlatan müzik (Uçan, 1997); tüm sanat dalları içinde, insan ruhu üzerinde en derin etkiyi bırakan sanat olarak kabul edilmektedir (Öz, 2001; Çuhadar, 2008). Müziğin insanların entelektüel, sosyal ve kişisel gelişimleri üzerinde olumlu etkileri olması nedeniyle (Hallam, 2010), müzik eğitimi her daim insanların amatör veya profesyonel olarak almak istedikleri bir konu olmuştur.

Çalgı eğitimi, ses eğitimi, müziksel işitme eğitimi, müzik beğenisi eğitimi ve yaratıcılık eğitimi müzik eğitiminin boyutlarını oluşturmaktadır (Bilen, 1995). Çalgı eğitimi Türkiye’de güzel sanatlar liseleri, konservatuvarlar, üniversitelerin güzel sanatlar eğitimi bölümleri, müzik öğretmenliği anabilim dalları, müzik dershaneleri, özel dersler vb. kurumlar aracılığı ile gerçekleşmekte olup (Topalak, 2013), geleneksel hoca-öğrenci çalışmalarındaki kısıtlamalar ve olanaksızlıklardan dolayı çeşitli zorluklar yaşanmaktadır. Bu nedenle müzik eğitiminde yardımcı unsur olarak Lassauniere vd. (1999), Qionggang (2009), Sastre vd. (2013) ve Liang vd. (2016) çalışmalarında görüleceği üzere çeşitli teknoloji tabanlı sistemler önerilmiştir.

Bu gibi teknolojik sistemler müzik sinyal işleme alanında oluşturulan yöntemlerin uygun yazılımlar yardımıyla değişik platformlarda kullanıcının hizmetine sunulmasıyla oluşturulmuşlardır. Bu sistemlerin temelini ise bir müzik sinyalinin otomatik olarak notaya dökümünü konu alan ve müzik sinyal işleme disiplini içerisinde önemli bir yer tutan otomatik müzik transkripsiyon konusu oluşturmaktadır (Klapuri, 2004; Muller vd., 2011; Muller, 2015). Otomatik müzik transkripsiyonu, bir müzik sinyalinin bir sembolik gösterime dönüştürülme işlemidir (Argenti, 2011).

Uygulama alanı olarak müzik bilgisinin otomatik çıkarımı, müzikolojik analiz ve interaktif müzik sistemleri verilebilir (Benetos, 2012).

2.2 Otomatik Müzik Transkripsiyonu için Yapılan  alışmalar

Ses kayıtlarından otomatik müzik transkripsiyon çalışmaları 1977 yılından itibaren Moorer (1977), Piszczalski ve Galler (1977)  alışmaları ile başlamış olup, konuyla ilgili geniş incelemeler Klapuri (2004), Benetos vd. (2013), Tavares vd. (2013) ve Gowrishankar vd. (2016) tarafından yapılmıştır. Literatürde farklı müzik enstrümanları için yapılmış çeşitli otomatik müzik transkripsiyon çalışmaları bulunmaktadır. Örneğin gitar için Barbancho vd. (2012) ve Yazawa vd. (2014), bas gitar için Abesser ve Schuller (2017), elektro gitar için Kehling vd. (2014), piyano için Bello vd. (2006), Kirkpatrick vd. (2014), Akbari ve Cheng (2015) ve Wan vd. (2015), davul için Gillet ve Richard (2008), davul zili için Batista ve Souza-filho (2015), zil çanları için Marolt (2012), Flamenko müziği için Gomez ve Bonada (2013), Kroher ve Gomez (2016) ve Hint klasik müziği için Dhara vd. (2016)  alışmaları verilebilir.

2.3 Keman ile İlgili Yapılan  alışmalar

Kemanla ilgili literatürde yapılmış çeşitli otomatik transkripsiyon ve sistem gerçekleştirme çalışmaları bulunmaktadır. Bu  alışmalar kronolojik olarak kısaca aşağıda belirtilmiştir.

Muto ve Tanaka (2002) bir transkripsiyon sistemi  onermiş ve bu sistemin performansını piyano, flüt, trampet ve kemanı kapsayan enstrümanlar üzerindeki etkilerini tek enstrüman sesi ve iki enstrüman sesi üzerinde denemişlerdir. Elde edilen sonuçlar, önerilen sistemin tek enstrüman sesleri arasında kemanın, iki enstrüman sesleri arasında ise piyano ve kemanın en düşün doğruluk oranında performans sağladığını göstermiştir.

Krishnaswamy ve Smith (2003) ses sinyalinin kısa zamanlı Fourier dönüşümü  er eveslerinin örüntü tanıma yaklaşımını kullanarak hangi tel üzerinde hangi notanın  alındığını, yayla mı yoksa parmakla mı  alındığını belirlemeye çalışmışlardır.

Charles vd. (2004) ViTool adını verdikleri keman pedagojisi, ses analizi ve başlangıç ile iyi çalıcı kayıtlarının kıyaslanması tabanlı bir keman öğretim yardımcısı geliştirmek için olası bir yaklaşım sunmuşlardır.

Yin vd. (2004) keman müziği tabanlı olarak bir kemancının animasyonunu otomatik çıkaran bir sistemin ilk adımını atmışlardır. Bunun için ilk adım olarak giriş ses sinyalinin analizini yapıp müzik notalarına dönüştürmeye, daha sonra da bu notaları kullanarak bir kemancının animasyonunu sentezlemeye çalışmışlardır.

Yin vd. (2005) başlangıç keman öğrencileri için Digital Violin Tutor (Sayısal Keman Öğreticisi) isminde bir entegre sistem önermişlerdir. Önerilen sistemin kullanıcı arayüzünün sol üst bölümünde öğretmen çalışının videosu, sağ üst bölümde 3 boyutlu avatar animasyonu, sol alt kısımda öğrenci çalışındaki hataların gösterilmesi ve sağ alt bölümde ise 2 boyutlu olarak keman klavyesi animasyonu yer almaktadır.

Vogel vd. (2005) piyano ve keman sesleri odaklı çoklu enstrüman müzik transkripsiyonu için dinamik grafiksel bir model sunmuşlardır. Her bir enstrüman zamanda en çok bir nota çalacak şekilde sistem modellenmiştir.

Boo vd. (2006) kişisel keman öğrenmeyi desteklemek amacıyla bir ev ortamında kaydedilmiş gerçek zamanlı keman ses sinyallerinin transkripsiyonu için bir yöntem önermiş olup, burada aynı zamanda iki telin yayla çalındığı durumun tespit edilmesi hedeflenmiştir. Önerilen sistem daha önce önerilen sistemin (Jie vd., 2005) geliştirilmiş hali olup, doğrudan müzikle alakalı bir sinyal spektral gösterimi olan yarım-ton bant spektrogramı kullanmıştır. Önerilen sistem nota bölütlenme tespiti ve perde tahmini adında iki ana bloktan oluşmaktadır.

Loscos vd. (2006), önceki önerdikleri otomatik keman transkripsiyonu sistemini (Boo, 2006) bir adım öte götürmeyi amaçladıkları bu çalışmada, transkripsiyon tekniklerine yardımcı olma ve hesaplama maliyetini azaltma için düşük seviyeli tanımlayıcı seti sunmuşlardır. Önerilen sistem için nota seviyesinde bölütlenme, perde tahmini ve vibrato analizi konuları çalışılmıştır.

Charles vd. (2006) bu çalışmalarında tını uzayında en iyi keman sesini tanımlayan öznitelikleri bulmak için sinyal işleme yöntemlerinin kullanımı

incelemişlerdir. Tını kalitesini tanımlamak için 6 özniteliğin verimliliği ve kullanışlılığı gözönünde bulundurulmuştur.

Wang vd. (2007) ses ve video tabanlı bir keman transkripsiyon sistemi önermişlerdir. Sistemde sağ el yay çekme ve sol el klavye üzerinde parmak hareketlerinin izlenmesi için iki kamera kullanılmıştır.

Thornburg vd. (2007), monofonik müzikal ses sinyalleri için segmentasyon ve melodi çıkarma işlemleri için olasılıklı bir yöntem önermiş ve piyano ile keman sesleri için uygulama yapmıştır. Yöntem kısa zamanlı Fourier dönüşüm tepeleri üzerine çalışmaktadır.

Zhang vd. (2007) sadece ses tabanlı keman transkripsiyonunda ortaya çıkan zorlukları dengelemek için keman parmak kullanımının görsel analizini incelemişlerdir.

Huanhuan vd. (2007) bu çalışmada bir bilgisayar, bir mikrofon ve iki web kamera tabanlı bir işitsel-görsel sistemi C++ ortamında gerçekleştirmiştir. Bu sisteme iDVT (interactive Digital Violin Tutor) adını vermişlerdir.

Charles vd. (2008), bu çalışmada bir bilgisayar sisteminin keman çalma kalitesini değerlendirebilmesine yardımcı olabilecek uygun öznitelikler aranmış ve çalınan keman ses örneklerinin kalitesi başlangıç ve profesyonel olarak sınıflandırılmıştır. Bunu yapmakla nesnel ve kararlı bir sınıflama yöntemi sağlama amaçlanmıştır.

Zhang ve Wang (2009), bir ev ortamında keman pratiği yapılabilecek bir keman transkripsiyon sistemi tanımlamışlardır. Başlangıç zamanı tespiti için danışımlı öğrenme tabanlı bir makine öğrenme yöntemi kullanılmış, bu başlangıç zamanlarının tespitini daha da iyileştirmek için yay ve parmak kullanımının görsel analizi yapılmıştır.

Maezawa vd. (2009) bir kemanda yayla çalınan tellerin sırasının tahmini için ses tabanlı bir sınıflama yöntemi ve üç hata düzeltme algoritması sunmuşlardır.

Barbancho vd. (2009) keman perde ve süre bilgileri dışında vibrato, pizzicato ve tremolo gibi çalım tekniklerinin de tanımlandığı bir müzik transkripsiyon sistemi önermişlerdir.

Maezawa vd. (2012), keman ses kayıtlarının analiz edilmesi ile otomatik parmak transkripsiyonu için bir yöntem sunmuşlardır. Bunun için tel numarası ve tel boyunca basılan yerin belirlenmesi çalışması yapılmıştır.

Huang (2008) otomatik keman çalan bir çalıcının gerçekleştirilmesi için incelemeler yapmış ve Huang vd. (2012) bu sistemi gerçekleştirmişlerdir.

Carillo vd. (2012) bir kemancı tarafından gerçekleştirilen eylemler ile bu eylemlerin ürettiği ses arasındaki ilişkiyi modellemeyi amaçlamışlardır. Bunun için sinir ağları tabanlı bir keman tını modeli önermişlerdir.

Wang vd. (2012), bu çalışmada özel olarak perde doğruluğu üzerine çalışan keman öğrenenleri hedeflemişlerdir. Bunun için çalınan perdeyi tespit edecek bir perde takip algoritması uygulamışlardır. Sonuçta doğru perdenin çalınıp çalınmadığı bilgisi kullanıcılara gerçek zamanlı olarak sağlanmıştır. Ayrıca öğretim materyali olarak majör dizi ve arpej skorları da sistem tarafından kullanıcılara sunulmakta, bunun yanı sıra seviyelerine bağlı olarak farklı tempolarda pratik yapma olanağı sunulmaktadır.

Lin vd. (2014), solo keman kayıtlarında sunulan her bir notanın zaman-bağımlı analizi için çerçeve tabanlı özyinelemeli düzenlilik yöntemi önermişlerdir. Bu yöntem negatif olmayan matris ayrıştırma yöntemine benzer olarak Fourier büyüklük katsayılarından oluşmuş matrisi taslak-matris ve şiddet-matrisine ayrıştırarak yapmaktadır.

Pardue vd. (2015), kemanda performans takibi için düşük maliyetli ve gerçek zamanlı bir yöntem önermişlerdir. Hem tel üzerinde yay takibi hem de klavye üzerinde parmak takibi için ayrı ayrı sensörler kullanılmıştır.

Wonse vd. (2015), insanın keman çalma tekniklerini taklit eden keman çalan bir robot önermişlerdir.

Liang vd. (2015), nota başlangıç zamanı kadar literatürde fazla üzerinde durulmayan nota bitiş zamanının tespiti konusunu ele almışlardır.

Maruyama ve Uemura (2017), yay mekanizması ve yay kaydırma mekanizmasını barındıran ve ses kontrol ile çalışan bir keman çalan robot geliştirmişlerdir.

Yura vd. (2017), Matlab Simulink tabanlı keman çalan bir robot kol modellemesi üzerinde durmuşlardır.

Li vd. (2017), polifonik müzikte vibrato tespiti ve analizi için video tabanlı bir yaklaşım önermişlerdir. Sonuç olarak yüksek polifoni durumları için önerilen video tabanlı yöntemin ses tabanlı yöntemlerden daha doğru bir şekilde vibrato tespiti yaptığı gözlemlenmiştir.

Jo vd. (2017) bir robot tarafından çalınan kemandan üretilen sesleri değerlendiren işitsel geri besleme sistemi geliştirilmesi konusu ele alınmıştır. Bu çalışmada yay hızı ve yay basıncı tahmin edilmeye çalışılmıştır.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu bölümde önerilen arayüz sistemin analizinde kullanılacak keman ses kayıtları, önemli müzik analiz yazılımları olan MIRtoolbox ve Essentia ile önerilen kullanıcı arayüz sisteminin gerçekleştirilmesi hakkında bilgiler verilmektedir.

3.1 Keman Ses Analizi için Veri Seti

Abant İzzet Baysal Üniversitesi Eğitim Fakültesi Müzik Eğitimi Anabilim Dalı yaylı çalgılar eğitimcisi dört öğretim elemanı ve yaylı çalgılar eğitimi dört öğrencisi Şekil 3.1’de verilen aynı kemani kullanarak boş tel, sol major arpej ve sol major dizi çalışmalarını çalmışlardır (Avcı vd., 2016).



Şekil 3.1. Kayıt çalışmalarında kullanılan keman.

İlk çalma olarak Şekil 3.2’de verilen boş tel çalışması çalınmıştır. Bu çalmada çalıcılar kemandaki dört boş teli (sol / re / la / mi) yukarıdan aşağıya doğru sessiz bir ortamda her bir teli çekerek ve iterek sırasıyla çalmışlardır.



Şekil 3.2. Boş tel çalışması.

İkinci çalma olarak Sol majör tonuna ait iki oktavlık çıkıcı ve inici arpejine ait notaların verildiği Şekil 3.3’teki etüt çalınmıştır.



Şekil 3.3. Sol majör arpej çalışması.

Son çalma olarak Sol majör tonuna ait iki oktavlık çıkıcı ve inici dizisine ait notaların verildiği Şekil 3.4’teki etüt çalınmıştır. Keman çalgı tekniğinin gelişmesi açısından majör dizi çalışmalarının yapılmasının önem taşıdığı literatürde belirtmiştir (Özmenteş, 2005).



Şekil 3.4. Sol majör dizi çalışması.

Yukarıda belirtilen üç etüdün keman çalıcıları tarafından, bütün yaylarda (tüm kıl), forte (kuvvetli) gürlükte ve 45 metronom hızında çalmaları istenilmiştir. Bununla birlikte ayrıca Sol majör tonuna ait iki oktavlık çıkıcı ve inici dizinin ve arpejlerinin hiçbir müziksel dinamik (piyano, forte, diminiendo, ritardando, crescendo, de crescendo vb.) ve vibrato yapmaksızın çalınması ve kayıt altına alınması sağlanmıştır. Her çalma işleminden sonra kemanın akordu tekrar kontrol edilmiştir (Avcı vd., 2016).

Oluşturulan keman sesleri, iPad tablet bilgisayar tabanlı iTrack Dock Studio sistemi (Şekil 3.5) ile profesyonel anlamda stüdyo kalitesinde (48 KHz ve 24 bit örnekleme oranları, stereo kayıt, 105 dB dinamik aralık) kayıt yapılarak bilgisayar ortamına aktarılmıştır. Bu şekilde, sistem performansında kullanılacak keman sesleri “.m4a” uzantılı dosyalar olarak elde edilmiştir.



Şekil 3.5. iTrack Dock studio kayıt sistemi.

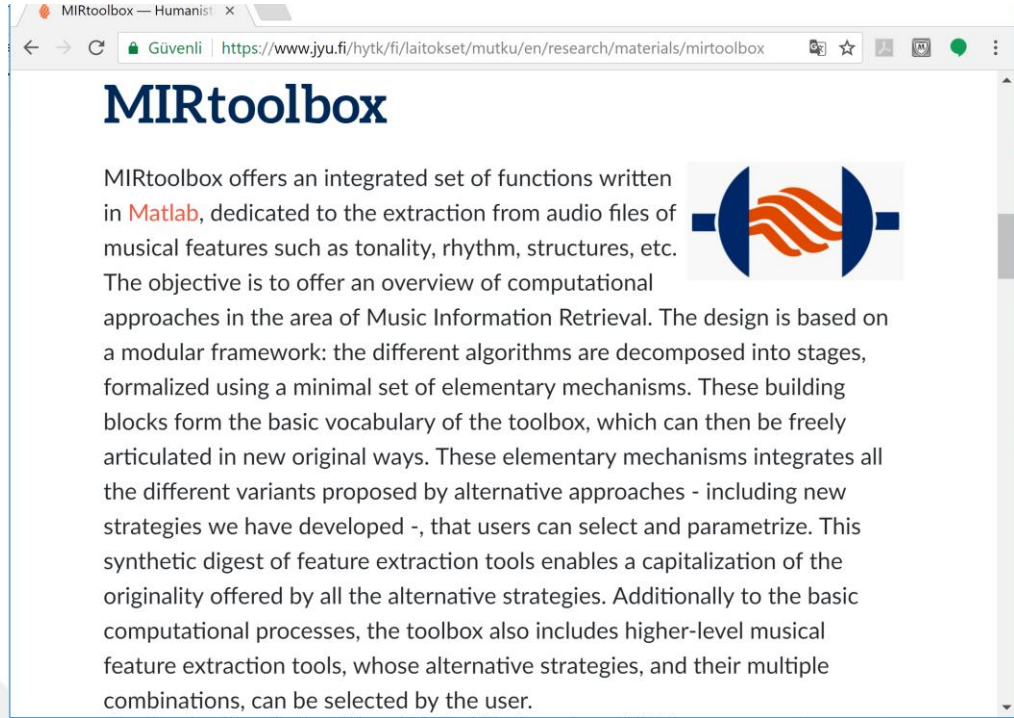
Bu çalışmada öğretim elemanı ve öğrencilerden elde edilen tüm kayıtların analizi lisanslı 64 bit Matlab 2016a programı kullanarak yapılmıştır.

3.2 Ses Analiz Yazılımları: MIRtoolbox ve Essentia

Bu kısımda müzik ses analizinde yaygın olarak kullanılan MIRtoolbox ve Essentia yazılımları hakkında temel bilgiler verilmiştir. Bu çalışmada önerdiğimiz sistemin keman ses kayıtlarının otomatik transkripsiyonundaki performansı, literatürdeki bu iki yazılım ile kıyaslanarak yapılacaktır.

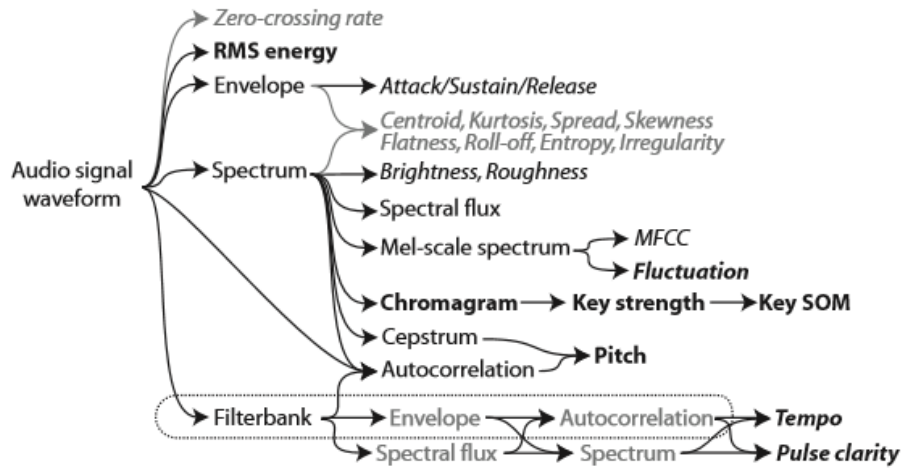
3.2.1 MIRtoolbox

Ses kayıtlarından müzik bilgisi almak için kullanılan MIRtoolbox (Şekil 3.6), Olivier Lartillot ve Petri Toiviainen tarafından 2007 yılında yayınlanmış bir Matlab araç kutusudur (Lartillot and Toiviainen, 2007).



Şekil 3.6. MIRtoolbox anasayfası.

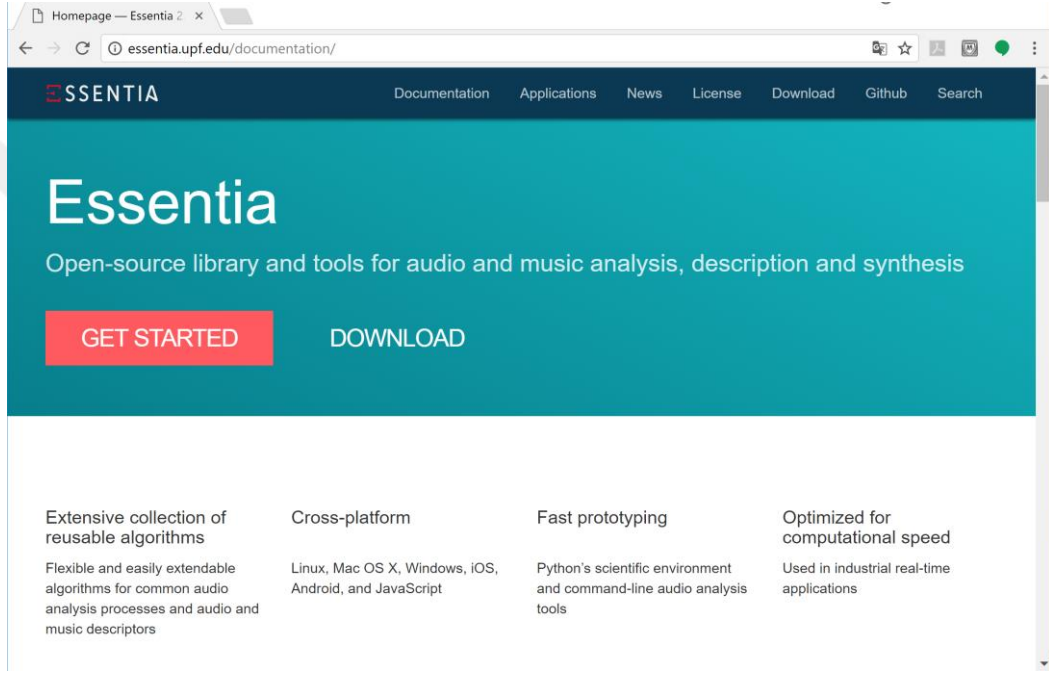
Modüler kullanımı (Şekil 3.7) ve parametrik yapısıyla esnek kullanıma izin veren MIRtoolbox, bu özelliğiyle ses dosyalarından çıkartılan bir özelliğin başka bir özellik çıkarımı için kullanılmasına imkan verirken, farklı yaklaşımların kullanılmasına da olanak sağlıyor.



Şekil 3.7. MIRtoolbox ile çıkarılan müzik özelliklerine genel bakış.

3.2.2 Essentia

Essentia (Şekil 3.8), İspanya'nın Barselona şehrindeki Pompeu Fabra Üniversitesi bünyesinde bulunan Music Technology Group (MTG) tarafından Affero GPL lisansı altında 2013 yılında yayınlanan ses tabanlı müzik bilgisi alma ve ses analizi için kullanılan açık kaynaklı bir C++ kütüphanesidir. Essentia çeşitli spektral, zamansal ve tonal analizler ile üst düzey müzik tanımlayıcılarını kullanan, yeniden kullanılabilir algoritmaların geniş bir koleksiyonunu içerir (Bogdanov vd., 2013).



Şekil 3.8. Essentia anasayfası.

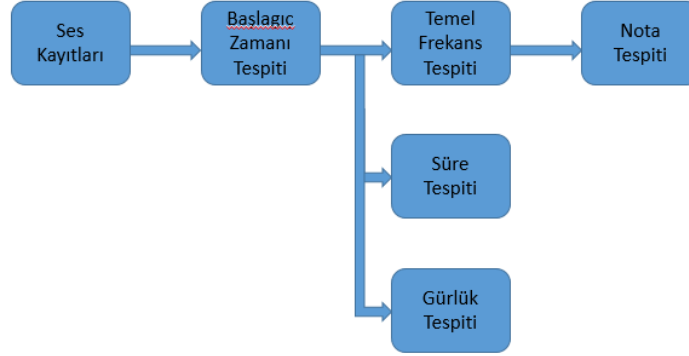
Farklı işletim sistemlerinde kullanılabilen Essentia'nın son sürümü 30.09.2016 tarihinde yayınlanan 2.1 beta3 sürümü olup linux, mac os/x ve windows işletim sistemlerini desteklemektedir.

3.3 Önerilen Otomatik Transkripsiyon Sistemi Tabanlı Kullanıcı Arayüz Gerçekleştirilmesi

Bu kısımda öncelikle tez çalışmasında keman seslerinin otomatik analizlerini yapacak olan önerilen transkripsiyon sistemi ve sonrasında bu sisteme dayalı olarak gerçekleştirilen kullanıcı arayüzü verilmiştir.

3.3.1 Önerilen Otomatik Transkripsiyon Sistemi

Boş tel, arpej ve dizi çalışmalarına ait kayıtların otomatik analiziyle ilgili oluşturulan sistemin blok diyagramı Şekil-3.9’da verilmiştir.



Şekil 3.9. Sistem çalışmasının blok diyagramı.

3.3.1.1 Başlangıç Zamanı Tespiti

“.m4a” (veya diğer) uzantılı ses kayıtlarından nota yerlerinin tespiti için öncelikle nota başlangıç zamanlarının tespiti yapılması gerekmektedir. Literatürde nota başlangıç zamanı tespiti için çeşitli yöntemler bulunmaktadır (Muller vd., 2011), (Duxbury vd., 2003). Bu çalışmada yapılan analizler sonucu daha iyi sonuçlar vermesi nedeniyle nota başlangıç zamanlarının tespiti için *karmaşık spektral fark* yöntemi (Duxbury vd., 2003) kullanılmıştır.

Başlangıç zamanı tespiti için şu aşamalar kullanılmıştır:

Başlangıç zamanı tespit aşamaları:

a. *Karmaşık spektral fark yönteminden tespit fonksiyonunun elde edilmesi:*

$s(n)$ ayrık zamanlı sinyalin kısa zamanlı Fourier dönüşümü (STFT), (3.1)’deki gibi tanımlandığında, başlangıç zamanı tespitinde kullanılacak fonksiyon (3.2)’de belirtilen şekilde spektral farktan bulunur (Duxbury vd., 2003). Burada $w(n)$ ayrık zamanlı pencere olup, bu çalışmada %50 örtüşme oranı ve 20 ms uzunluğunda Hamming penceresi kullanılmıştır. Tespit fonksiyonu için 190 Hz-995 Hz frekans aralığı kullanılmıştır.

$$\delta S = \sum_{k=1}^N |S_k(m)| - |S_k(m-1)| \quad (3.1)$$

$$S_k(m) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} s(n)w(mh-n)e^{-j2\pi nk/N} \quad (3.2)$$

b. Tespit fonksiyonundan başlangıç zamanlarının elde edilmesi:

- δS tespit fonksiyonu; boş tel, arpej ve dizi çalışmalarında bulunan nota sayısına göre bantlara bölünür. Boş tel çalışmasında 8, arpej çalışmasında 14 ve dizi çalışmasında 30 nota seslendirilmiştir.
- Bantlar içerisinde yer alan en büyük genlik değerlerine karşılık gelen parça numarası bulunur.
- Bulunan parça numaraları aşağıdaki işlem sonucu saniye cinsinden başlangıç zamanlarını verir.

Başlangıç zamanları = (parça numarası).(örtüşme oranı).(pencere uzunluğu).(örnekleme frekansı)

3.3.1.2 Temel Frekans Tespiti

Nota başlangıç zamanlarının tespit edilmesiyle notaların parça içerisindeki yerleri belirlenmiş olur. Sonraki aşamada Hızlı Fourier Dönüşümü (FFT) analiziyle her bir notanın spektrumu bulunur. Bulunan spektrumda adaptif eşik ve segmentasyon yöntemiyle temel frekans harmoniklerden ayırt edilerek bulunur.

Temel frekans tespiti için şu aşamalar kullanılmıştır:

Temel frekans tespiti aşamaları:

- a. *Parçanın notalara bölünmesi:* Başlangıç zamanlarının tespit edilmesiyle kayıt içerisindeki notalar ayrıştırılır. Boş tel çalışmasında 8, arpej çalışmasında 14 ve dizi çalışmasında 30 nota elde edilir.
- b. *Notaların spektrumlarının bulunması:* Elde edilen her bir notanın Hızlı Fourier Dönüşümü alınarak spektrumu bulunur.

- c. *Her nota için eşik değerlerinin belirlenmesi:* Başlangıç eşik değeri 1 Hz ve ideal nota frekans değerleri ile arasındaki fark maksimum 10 Hz olacak şekilde, eşik değeri tespit edilir.
- d. *Temel frekansın bulunması:* Belirtilen eşik değeri geçen genlik değerleri 1, geçmeyenler sıfır olarak atanır. Eşik değeri ilk geçmiş (yani ilk sıfır olmayan) genlikten itibaren eşik değeri geçmiş ve geçmemiş genlik değerleri arasında maksimum genliğe sahip değerin ve bu maksimum değerinin o toplam veri içerisinde kaçınıcı sırada yer aldığı bulunur. Eşik değeri geçmiş notanın ilk temel frekansının bulunması

3.3.1.3 Nota Tespiti

Çizelge 3.1, Çizelge 3.2 ve Çizelge 3.3’de sırasıyla boş tel, sol majör arpej ve sol majör dizi notalarının hangi telde bulundukları ile bunların isimleri ve ideal frekans değerleri bulunmaktadır. Çizelge 3.1’de teller üstten aşağıya doğru sıralanmıştır. 1. tel en üst, 4. tel en alt tele karşılık gelmektedir.

Dördüncü bölümde bulunan temel frekansların, bu ideal frekanslardan hangisine daha yakın olduğu tespit edilerek ses kaydının hangi notaları içerdiği tespit edilmektedir.

Çizelge 3.1. Keman boş tel nota ve frekans değerleri.

Tel No	Nota ismi	Frekans (Hz)
1. Tel	G3 (3. Oktav Sol)	196,0
2. Tel	D4 (4. Oktav Re)	293,7
3. Tel	A4 (4. Oktav La)	440,0
4. Tel	E5 (5. Oktav Mi)	659,3

Çizelge 3.2. Keman sol majör arpej nota ve frekans değerleri.

Tel No	Nota ismi	Frekans (Hz)
1. Tel	G3 (3. Oktav Sol)	196,0
1. Tel	B3 (3. Oktav Si)	246,9
2. Tel	D4 (4. Oktav Re)	293,7
2. Tel	G4 (4. Oktav Sol)	392,0
3. Tel	B4 (4. Oktav Si)	493,9
3. Tel	D5 (5. Oktav Re)	587,3
4. Tel	G5 (5. Oktav Sol)	784,0

Çizelge 3.3. Keman sol majör dizi nota ve frekans değerleri.

Tel No	Nota ismi	Frekans (Hz)	Tel No	Nota ismi	Frekans (Hz)
1. Tel	G3 (3. Oktav Sol)	196,0	3. Tel	A4 (4. Oktav La)	440,0
1. Tel	A3 (3. Oktav La)	220,0	3. Tel	B4 (4. Oktav Si)	493,9
1. Tel	B3 (3. Oktav Si)	246,9	3. Tel	C5 (5. Oktav Do)	523,3
1. Tel	C4 (4. Oktav Do)	261,6	3. Tel	D5 (5. Oktav Re)	587,3
2. Tel	D4 (4. Oktav Re)	293,7	4. Tel	E5 (5. Oktav Mi)	659,3
2. Tel	E4 (4. Oktav Mi)	329,6	4. Tel	F#5 (5. Oktav Fa#)	740,0
2. Tel	F#4 (4. Oktav Fa#)	370,0	4. Tel	G5 (5. Oktav Sol)	784,0
2. Tel	G4 (4. Oktav Sol)	392,0			

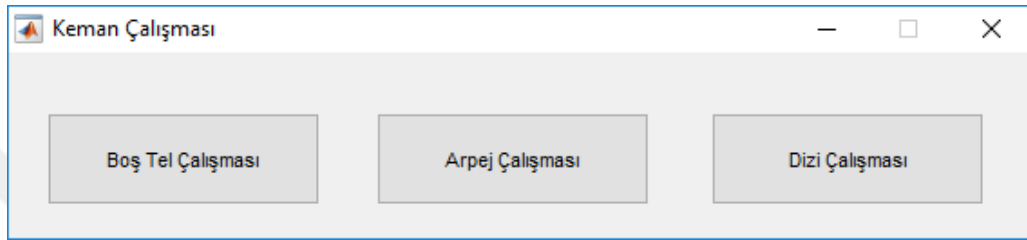
3.3.1.4 Süre ve Gürlük Analizleri

Nota Başlangıç zamanları tespit edildikten sonra notaların başlangıç ve bitiş zamanları arasındaki fark nota süresi olarak alınmıştır.

Gürlük analizi için ise her bir notanın ortalama genlik değerin mutlak değeri alınmış, sonra da ortalama değeri alınmıştır.

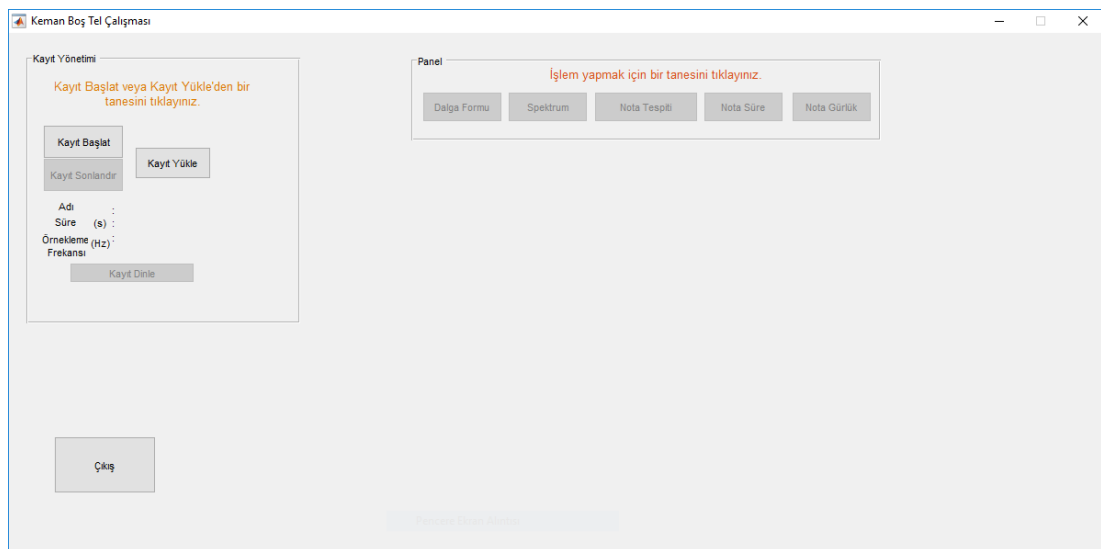
3.3.2 Gerçekleştirilen Kullanıcı Arayüz

Önceki kısımda belirtilen üç temel çalışma ve ilgili işlemleri otomatik olarak yapmak için Şekil 3.10’da görüldüğü gibi Matlab’ta bir arayüz oluşturulmuştur.



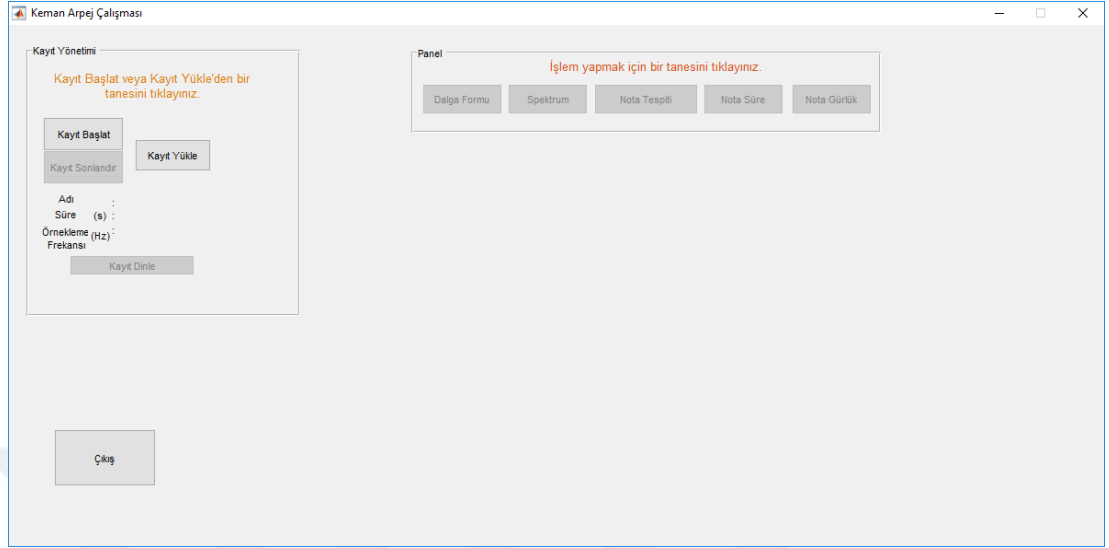
Şekil 3.10. Önerilen otomatik transkripsiyon için hazırlanmış grafiksel arayüz.

Şekil 3.10’da “Boş Tel Çalışması” seçildiğinde, Şekil 3.11’deki arayüz çıkmaktadır. Kayıt yönetimi kısmı ile ister arayüzden yeni bir kayıt oluşturulabilir yada var olan bir kayıt arayüze yüklenebilir. Panel kısmında ilgili analiz butonu tıklanarak dalga formu, spektrum, nota tespit, nota süre ve nota gürlük analizleri yapılabilir.



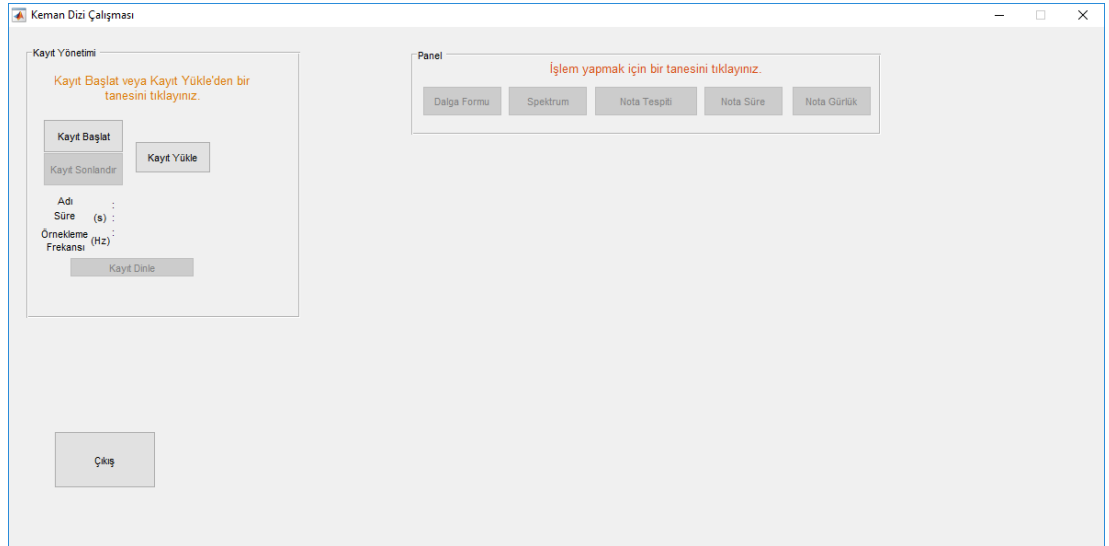
Şekil 3.11. Boş tel çalışması için hazırlanmış grafiksel arayüz.

Şekil 3.10’da “Arpej Çalışması” seçildiğinde Şekil 3.12’deki arayüz çıkmaktadır. Bu arayüz boş tel çalışmasında ifade edilen beş çeşit analizi yapmaktadır.



Şekil 3.12. Arpej çalışması için hazırlanmış grafiksel arayüz.

Şekil 3.10’da “Dizi Çalışması” seçildiğinde Şekil 3.13’deki arayüz çıkmakta, yine boş tel ve arpej çalışmalarında yapılabilen analizler burada da elde edilmektedir.



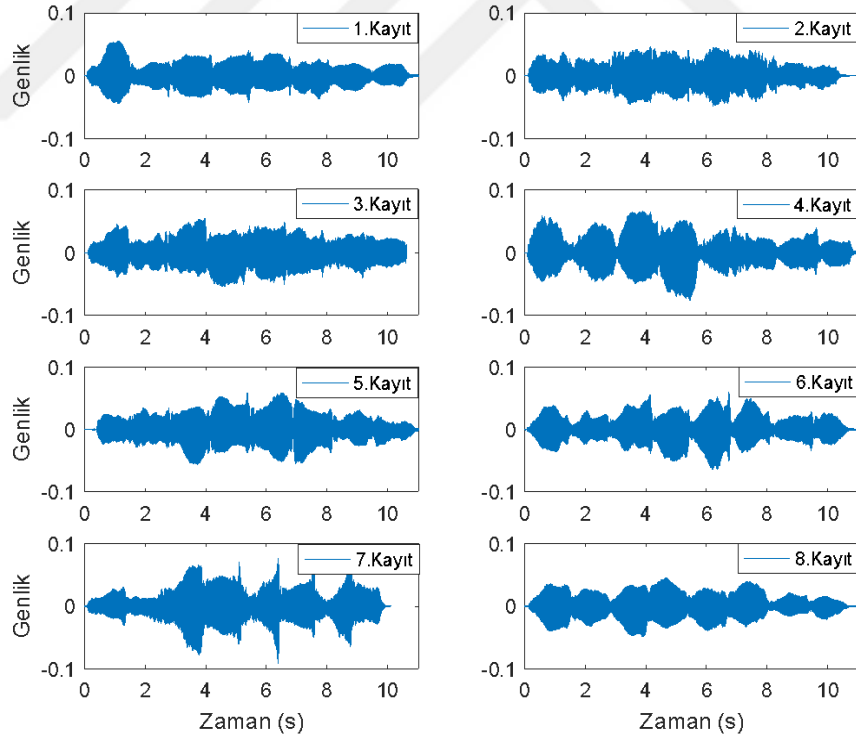
Şekil 3.13. Dizi çalışması için hazırlanmış grafiksel arayüz.

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu bölümde dört öğretim elemanı ve dört öğrenciden oluşan sekiz katılımcıya ait boş tel, sol majör arpej ve sol majör dizi çalma kayıtları için dalga grafikleri verildikten sonra hem literatürdeki önemli müzik analiz araçları olan MIRtoolbox ve Essentia'ya hem de önerdiğimiz yöntemle ait analiz sonuçları verilmektedir.

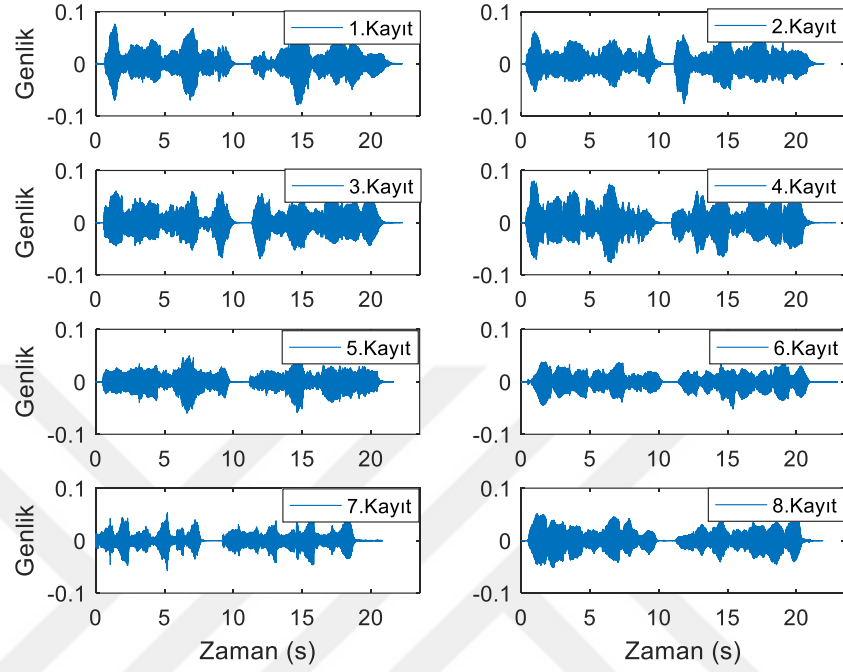
4.1 Veri Seti Dalga Grafikleri

Sekiz katılımcıdan alınmış boş tel çalma kayıtlarına ait ses sinyallerinin dalga grafikleri Şekil 4.1'de verilmiştir. Kemandaki dört boş telin her biri çekilerek ve itilerek çalındığı için toplamda sekiz nota çalınmıştır. Şekil 4.1'de bu sekiz notanın varlığı açıkça görülmekte olup, ayrıca katılımcıların farklı performansta boş telleri seslendirdikleri de görülmektedir.



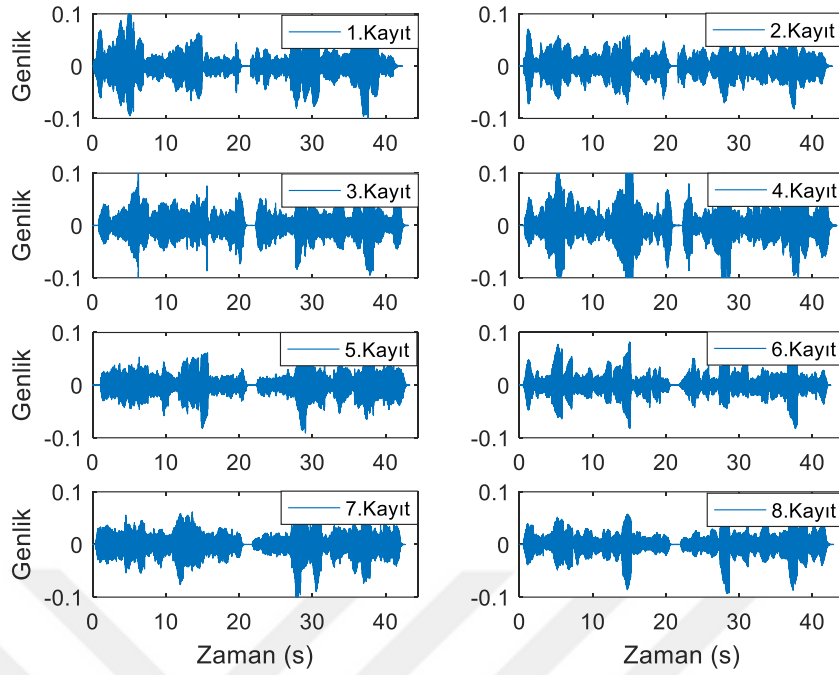
Şekil 4.1. Sekiz katılımcıya ait boş tel çalma kayıtlarının dalga grafikleri.

Sekiz katılımcıdan alınmış Sol Majör arpej çalma kayıtlarına ait ses sinyallerinin dalga grafikleri ise Şekil 4.2’de verilmiştir. Şekilden görüleceği üzere toplamda 14 nota olup arada bir sus bulunmaktadır.



Şekil 4.2. Sekiz katılımcıya ait arpej çalma kayıtlarının dalga grafikleri.

Son olarak yine sekiz katılımcıdan alınmış Sol Majör dizi çalma kayıtlarına ait ses sinyallerinin dalga grafikleri Şekil 4.3’de verilmiştir. Bu grafikte görüleceği üzere her bir kayıt için toplamda 30 nota olup arada bir sus bulunmaktadır.



Şekil 4.3. Sekiz katılımcıya ait dizi çalma kayıtlarının dalga grafikleri.

4.2 MIRtoolbox Tabanlı Analizler

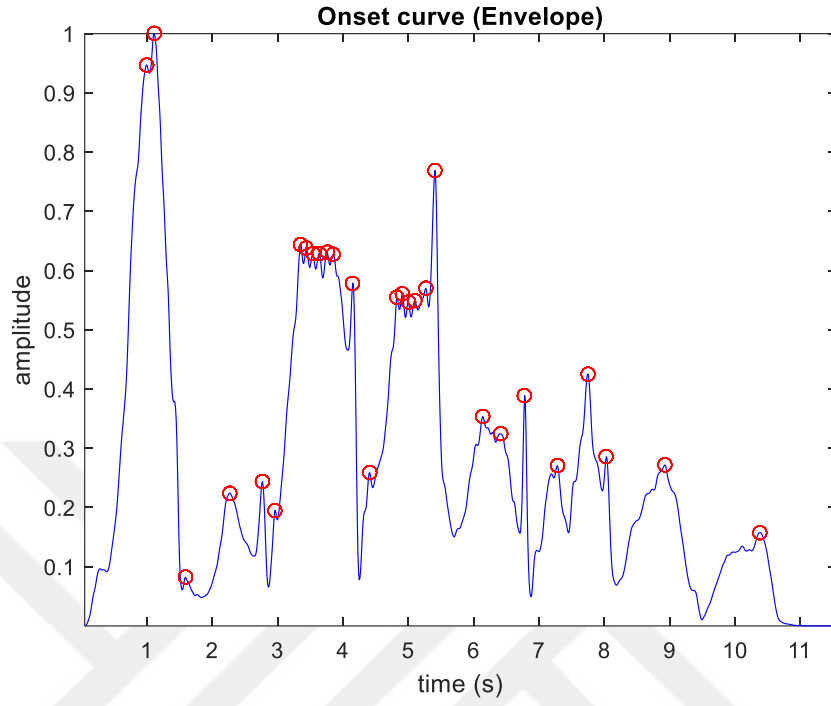
Bu kısımda MIRtoolbox kullanarak sadece birinci katılımcıya ait keman boş tel, sol majör arpej ve sol majör dizi kayıtlarının notalara bölütlenmesi sonuçları verilmektedir. Diğer katılımcılar için de benzer sonuçlar alınmıştır. Bu tez raporunda çok yer tutacağından birinci kayıt dışındaki sonuçlara yer verilmemiştir.

4.2.1 Boş Tel Çalma Kaydı için Analiz Sonuçları

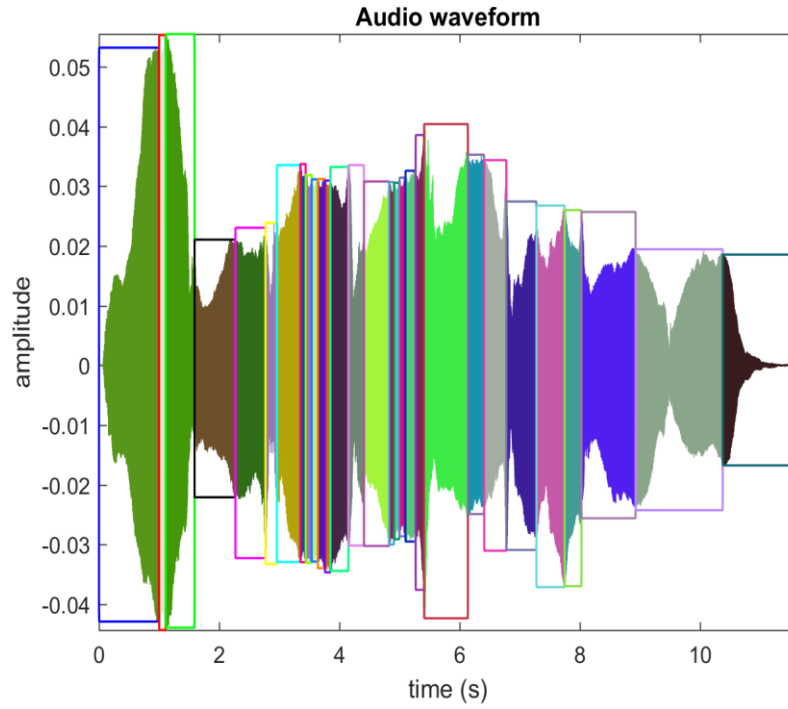
Bu kısımda birinci katılımcıya ait boş tel çalma kaydının Matlab'ta MIRtoolbox kullanarak notalara bölütlenmesi sonuçları sunulmaktadır.

Şekil 4.4 ve 4.5 sırasıyla nota başlangıç zamanlarının tespiti sonuçları ile buna karşılık elde edilen bölütlenmesi göstermektedir. Buradaki grafikleri elde etmek için Matlab'ta `>> o = mironsets('dosya_adi'); mirsegment(o)` komutları kullanılmıştır. Sonuçlardan görüleceği üzere, keman kaydının nota bölütlenmesi başarısız bir şekilde sonuçlanmıştır, çünkü boş tel kaydında sadece 8 başlangıç zamanı ve 8 nota olmasına

rağmen, burada 28 başlangıç zamanı ve 28 nota bulunmuştur. Nota bölütlenmesi hatalı olduğu için kaydın frekans analizi yapılmamıştır.

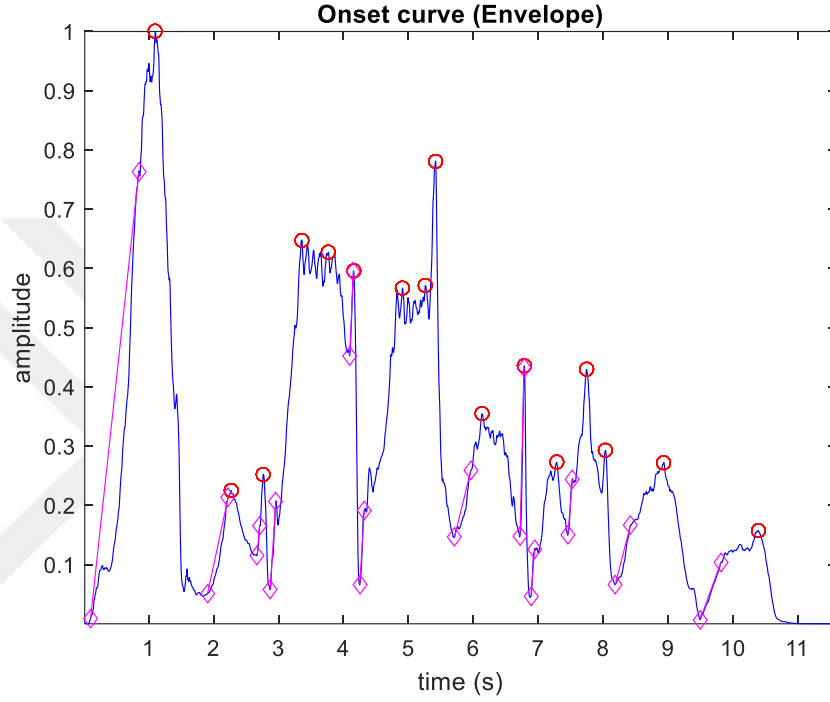


Şekil 4.4. Birinci katılımcı boş tel çalmasına ait MIRtoolbox tabanlı başlangıç değerleri eğrisi.

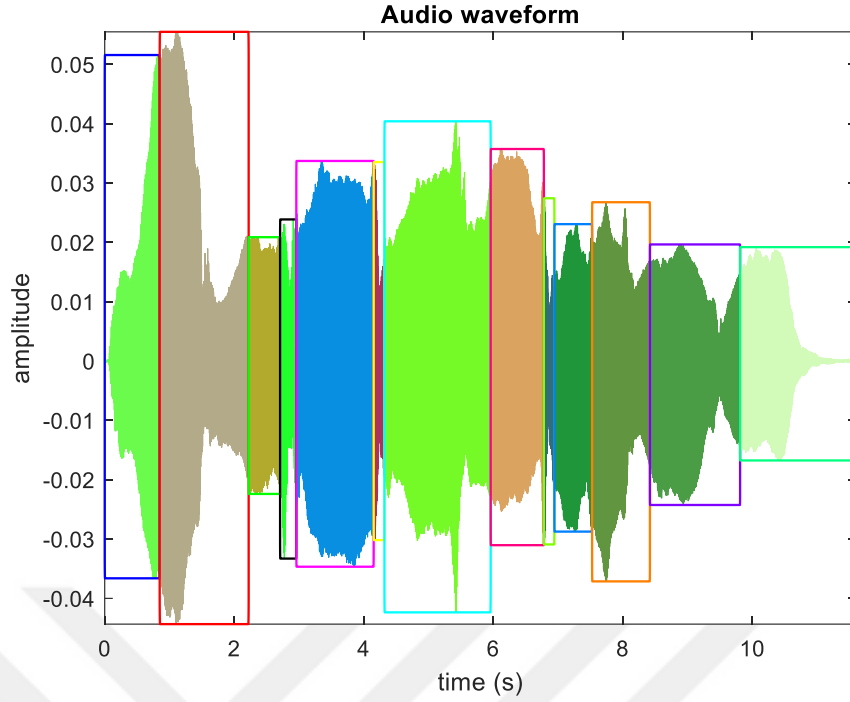


Şekil 4.5. Birinci katılımcı boş tel çalmasına ait MIRtoolbox tabanlı nota bölütlenmesi.

Şekil 4.6 ve 4.7 ise sırasıyla atak faz kullanımlı nota başlangıç zamanlarının tespiti sonuçları ile buna karşılık elde edilen bölütlenmesi göstermektedir. Buradaki grafikleri elde etmek için Matlab'ta `>> o = mironsets('dosya adı', 'Attacks');` `mirsegment(o)` komutları kullanılmıştır. Sonuçlardan görüleceği üzere, keman kaydının nota bölütlenmesi yine başarısız bir şekilde sonuçlanmıştır, çünkü burada 16 başlangıç zamanı ve 16 nota bulunmuştur.



Şekil 4.6. Birinci katılımcı boş tel çalmasına ait MIRtoolbox tabanlı başlangıç değerleri ve atak faz eğrisi.

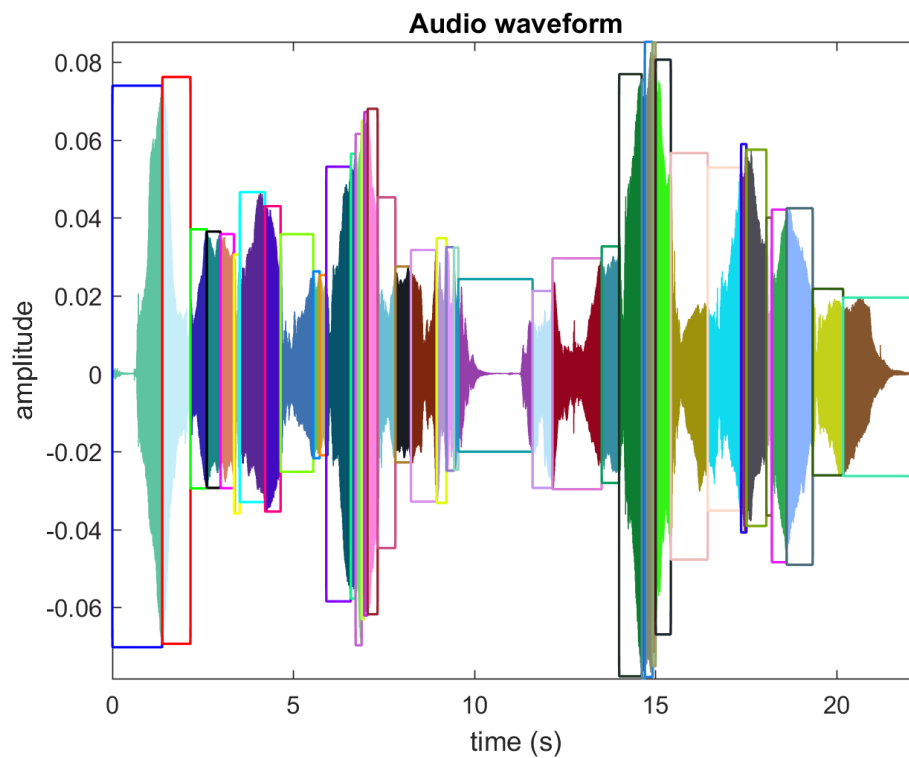
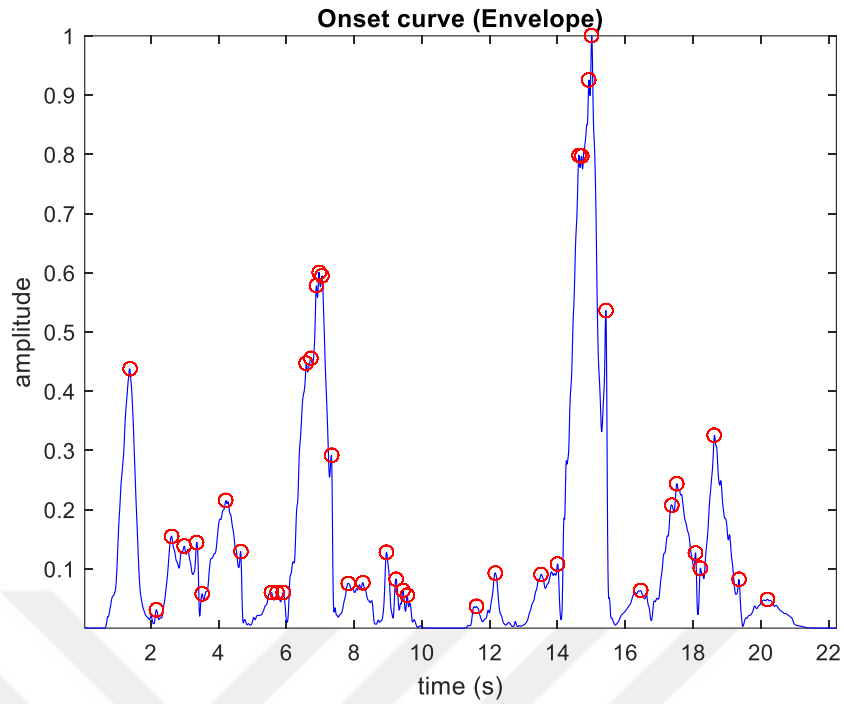


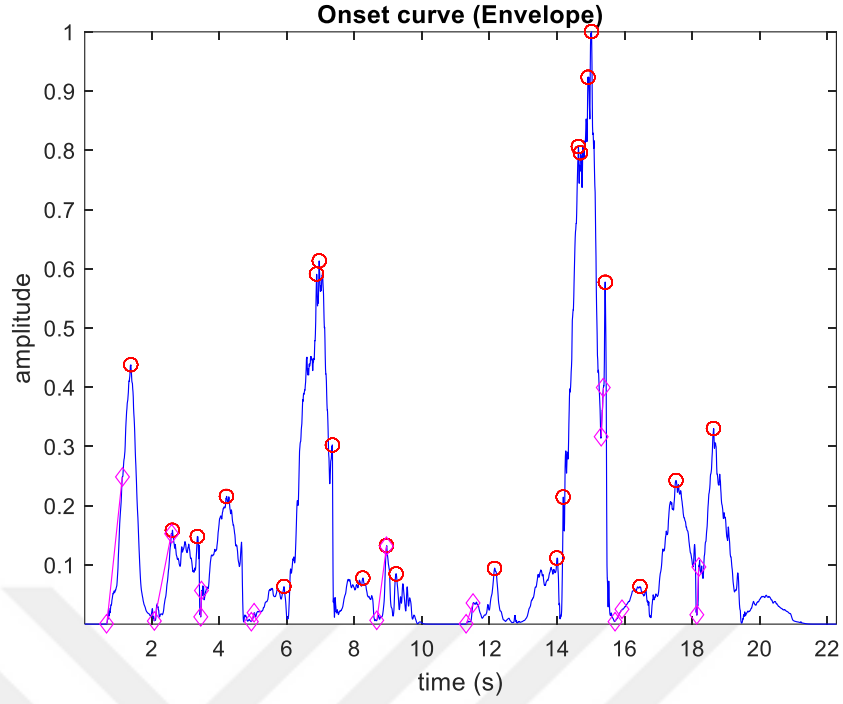
Şekil 4.7. Birinci katılımcı boş tel çalmasına ait MIRtoolbox tabanlı atak faz kullanımlı nota bölütlenmesi.

4.2.2 Arpej Çalma Kaydı için Analiz Sonuçları

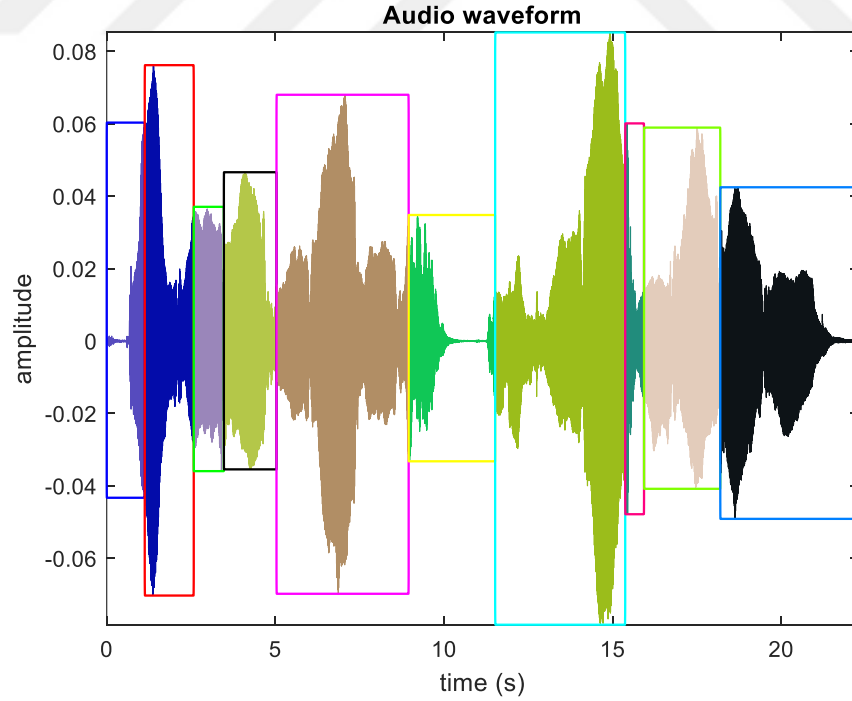
Bu kısımda ise birinci katılımcıya ait sol majör arpej çalma kaydının Matlab'ta MIRtoolbox kullanarak notalara bölütlenmesi sonuçları sunulmaktadır.

Atak faz kullanımsız (Şekil 4.8 ve Şekil 4.9) ve atak faz kullanımlı (Şekil 4.10 ve Şekil 4.11) sonuçlardan görüleceği üzere, arpej kayıtların nota bölütlenmesi başarısız bir şekilde sonuçlanmıştır, çünkü arpej kaydında sadece ondört nota olmasına rağmen Şekil 4.9'da 40 nota, Şekil 4.11'de ise 22 nota bulunmuştur. Yine nota bölütlenmesi hatalı olduğu için bu kısımda da frekans analizi yapılmamıştır.





Şekil 4.10. Birinci katılımcı arpej çalmasına ait MIRtoolbox tabanlı başlangıç değerleri ve atak faz eğrisi.

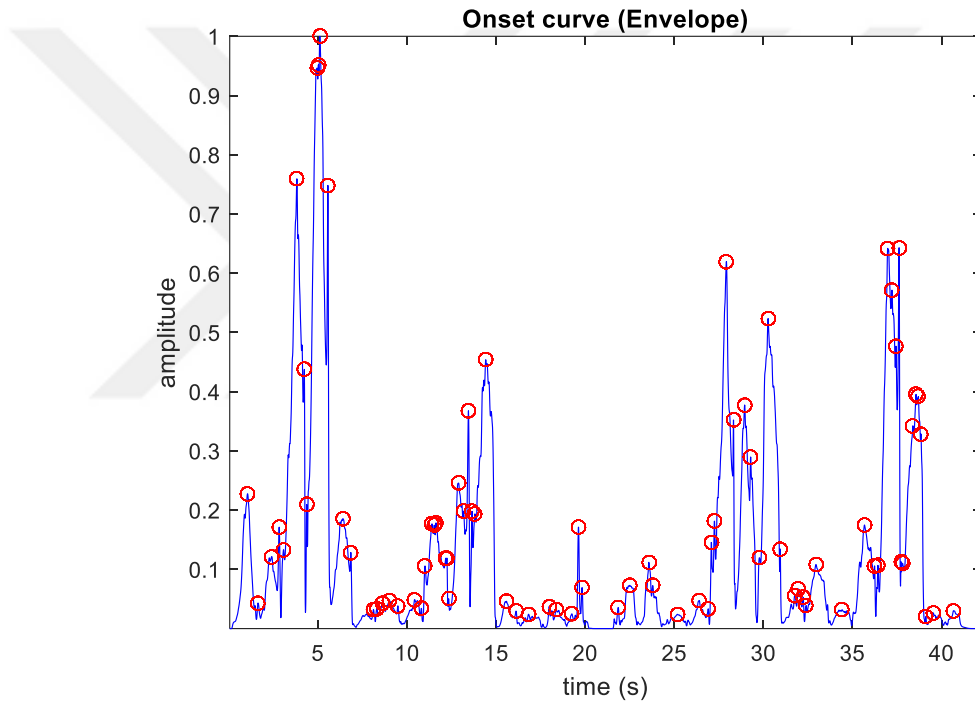


Şekil 4.11. Birinci katılımcı arpej çalmasına ait MIRtoolbox tabanlı atak faz kullanımlı nota bölütlenmesi.

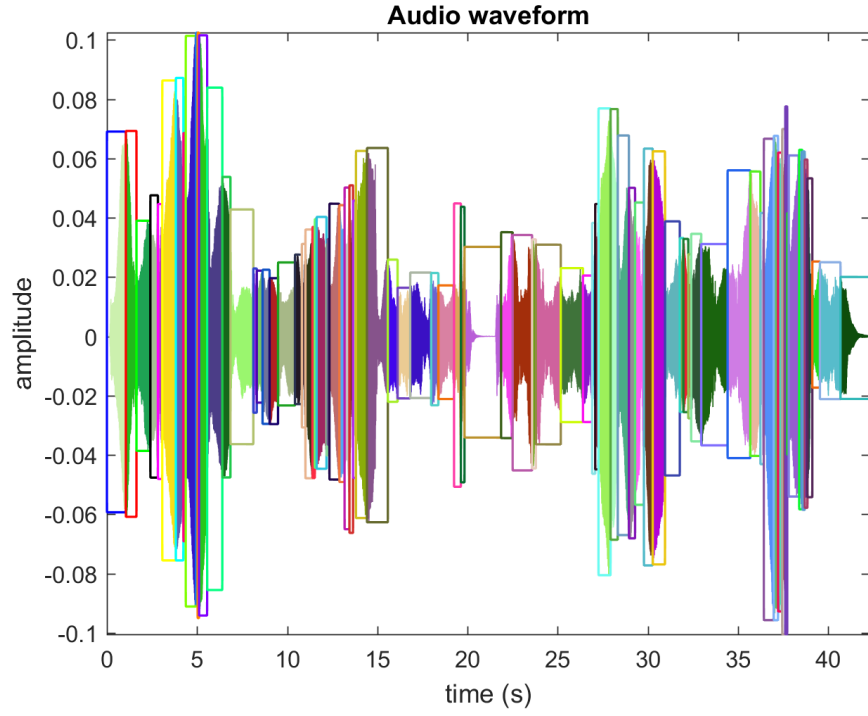
4.2.3 Dizi Çalma Kaydı için Analiz Sonuçları

Bu kısımda birinci katılımcıya ait sol majör dizi çalma kaydının Matlab'ta MIRtoolbox kullanarak notalara bölütlenmesi sonuçları sunulmaktadır.

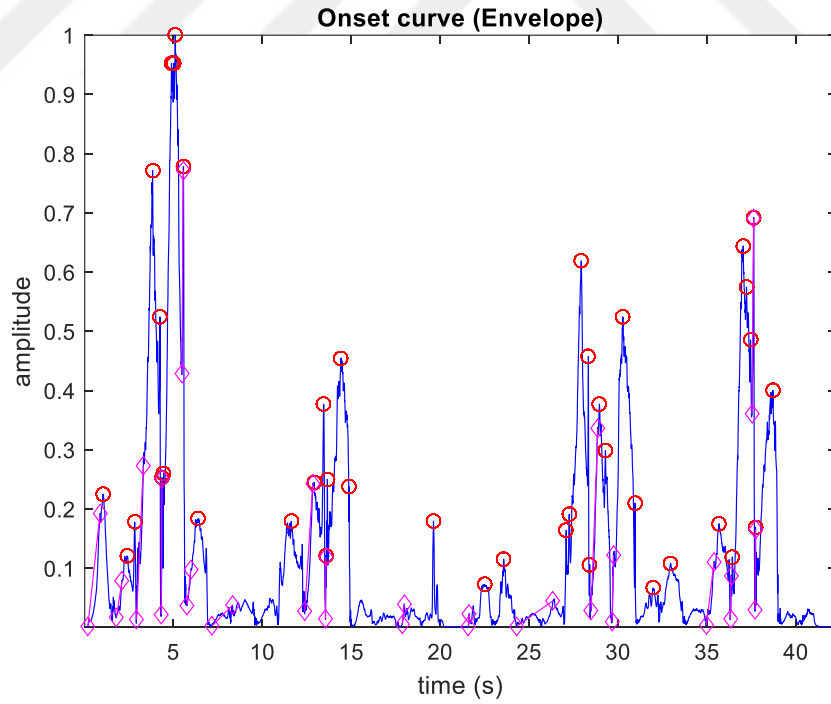
Atak faz kullanımsız (Şekil 4.12 ve Şekil 4.13) ve atak faz kullanımlı (Şekil 4.14 ve Şekil 4.15) sonuçlardan görüleceği üzere, dizi kayıtların nota bölütlenmesi başarısız bir şekilde sonuçlanmıştır, çünkü dizi kaydında sadece otuz nota olmasına rağmen Şekil 4.13'de 70 nota, Şekil 4.15'de ise 40 nota bulunmuştur. Yine nota bölütlenmesi hatalı olduğu için bu kısımda da frekans analizi yapılmamıştır.



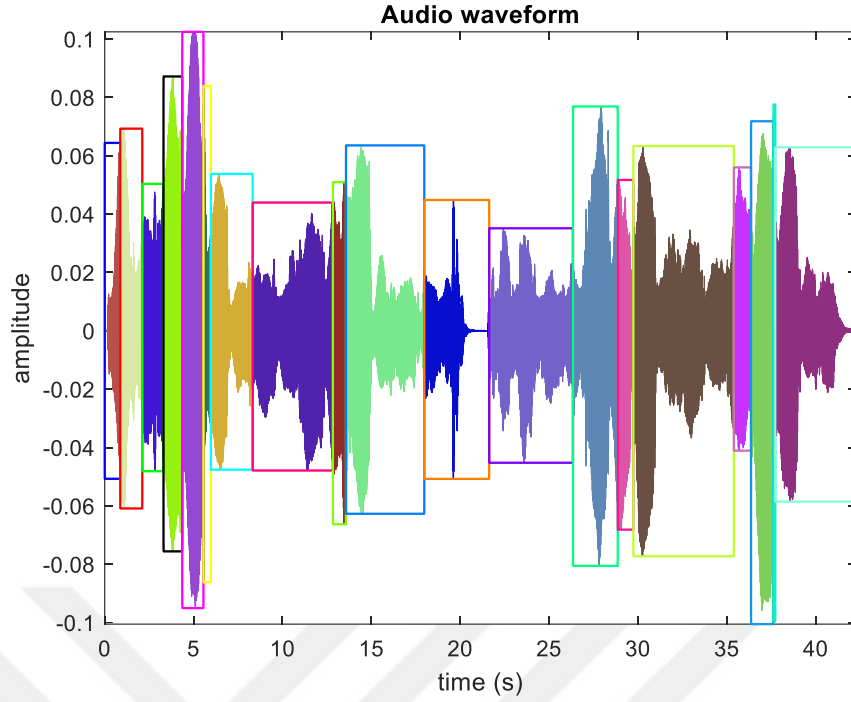
Şekil 4.12. Birinci katılımcı dizi çalmasına ait MIRtoolbox tabanlı başlangıç değerleri eğrisi.



Şekil 4.13. Birinci katılımcı dizi çalmasına ait MIRtoolbox tabanlı nota bölütlenmesi.



Şekil 4.14. Birinci katılımcı dizi çalmasına ait MIRtoolbox tabanlı başlangıç değerleri ve atak faz eğrisi.



Şekil 4.15. Birinci katılımcı dizi çalmasına ait MIRtoolbox tabanlı atak faz kullanımlı nota bölütlenmesi.

4.3 Essentia Tabanlı Analizler

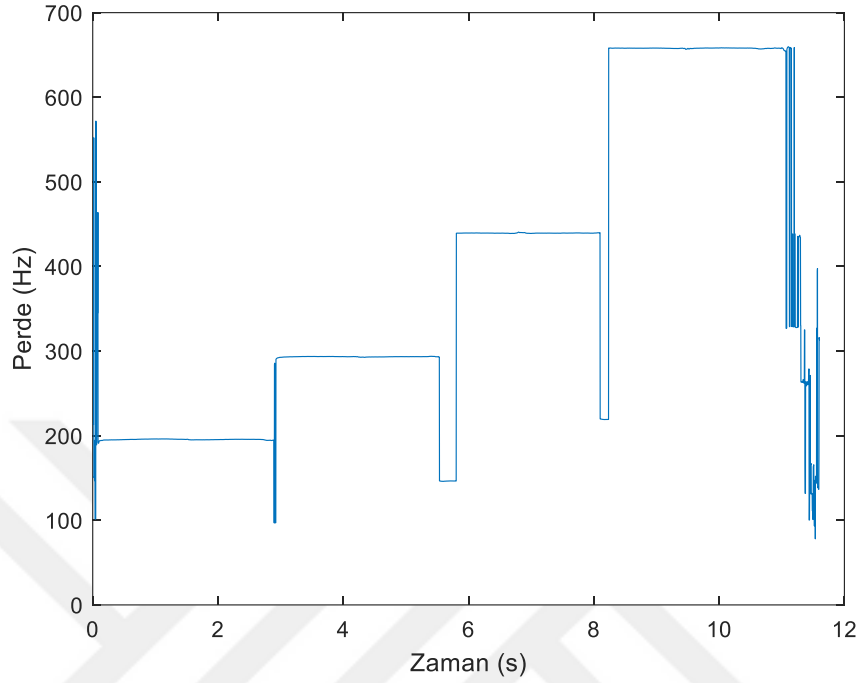
Bu kısımda Essentia kütüphanesinde tanımlı 6 yöntem () kullanarak sadece birinci katılımcıya ait keman boş tel, sol majör arpej ve sol majör dizi kayıtlarının notalara bölütlenmesi sonuçları verilmektedir. Diğer katılımcılar için de benzer sonuçlar alındığından ve bu tez raporunda çok yer tutacağından birinci kayıt dışındaki sonuçlara yer verilmemiştir.

4.3.1 Boş Tel Çalma Kaydı için Analiz Sonuçları

Bu kısımda birinci katılımcıya ait boş tel çalma kaydının Essentia kütüphanesinde tanımlı 6 yöntem (Github, 2018) kullanarak notalara bölütlenmesi sonuçları sunulmaktadır.

Şekil 4.16'da Yin FFT monofonik perde tahmini (Brossier, 2007) yöntemi tabanlı nota bölütlenmesi sonucu görülmektedir. Bu yöntem gerçekte 8 adet olan

parçadaki nota sayısını 4 olarak bulmuş ve ayrıca parçanın başında ve sonunda oldukça fazla salınım ortaya çıkarmıştır.

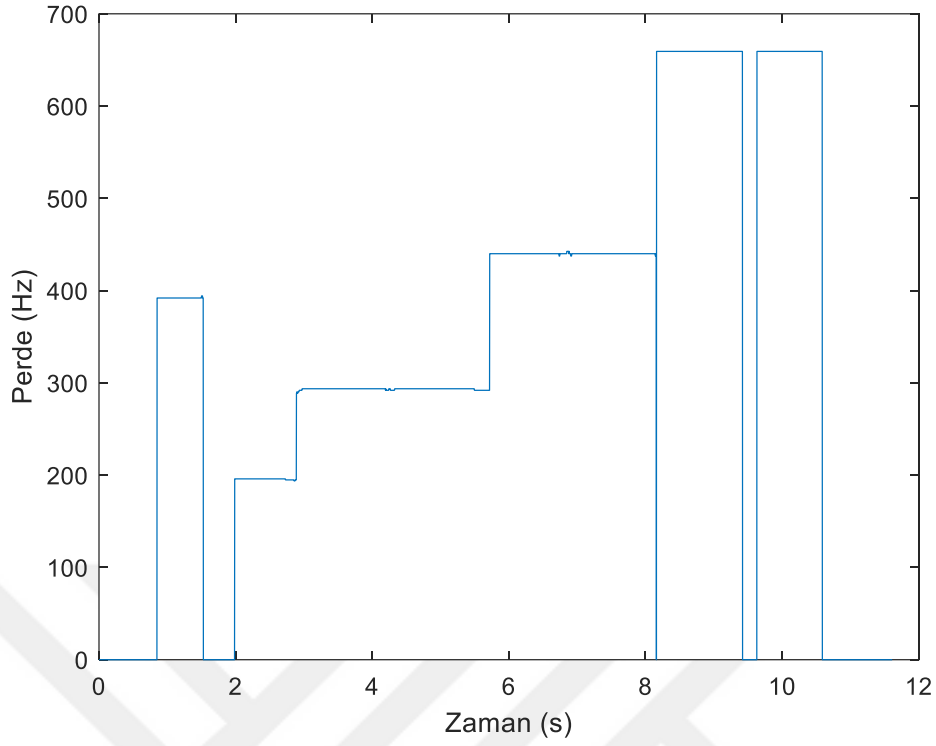


Şekil 4.16. Birinci katılımcı boş tel çalmasına ait kaydın Yin FFT yöntemi kullanarak Essentia tabanlı nota bölütlenmesi.

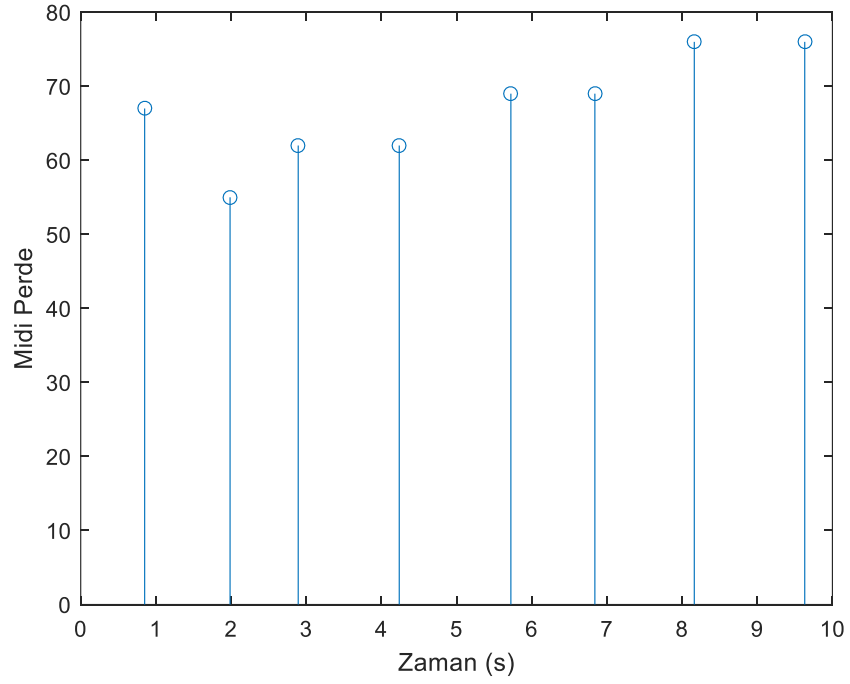
Şekil 4.17’de Melodia monofonik perde tahmini (Salamon, 2012) yöntemi tabanlı nota bölütlenmesi sonucu görülmektedir. Bu yöntem gerçekte 8 adet olan parçadaki nota sayısını 6 olarak bulmuş ve ayrıca nota sürelerini de çok farklı bir şekilde tespit etmiştir.

Şekil 4.18’de Monofonik perde tahmini (Github, 2018) yöntemi tabanlı nota bölütlenmesi sonucu görülmektedir. Bu yöntem parçadaki nota sayısını 8 olarak doğru bulmuş, ama ilk notanın midi perde sayısını yanlış bulmuştur. Bunun yanısıra nota süreleri eşit çalınmasına rağmen burada notalar arası süreler eşit bulunmamıştır.

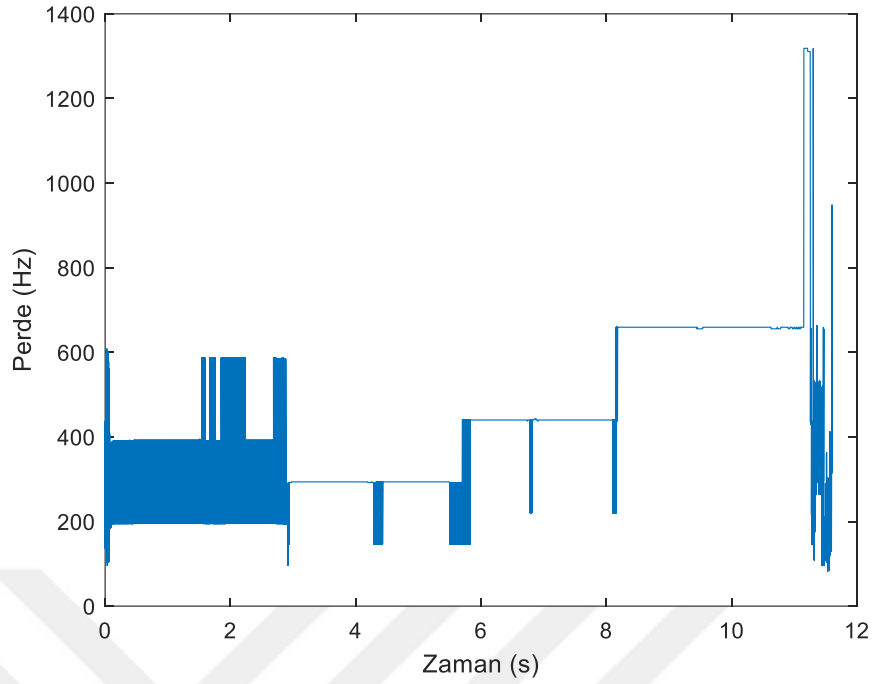
Şekil 4.19’de Klapuri çoklu perde tahmini (Klapuri, 2006) yöntemi tabanlı nota bölütlenmesi sonucu görülmektedir. Bu yöntem parçadaki nota sayısını çok farklı sayıda bulmuş, bunun yanısıra özellikle ilk nota ve parçanın sonunda çok fazla salınım ortaya çıkmıştır.



Şekil 4.17. Birinci katılımcı boş tel çalmasına ait kaydın Melodia monofonik perde tahmini yöntemi kullanarak Essentia tabanlı nota bölütlenmesi.



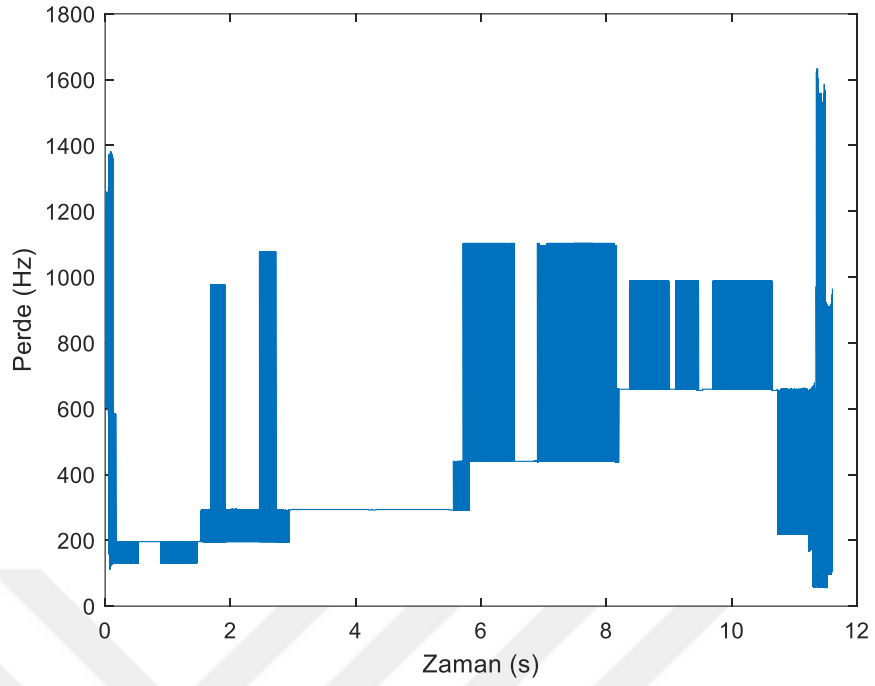
Şekil 4.18. Birinci katılımcı boş tel çalmasına ait kaydın monofonik nota transkripsiyon yöntemi kullanarak Essentia tabanlı nota segmentasyonlanması.



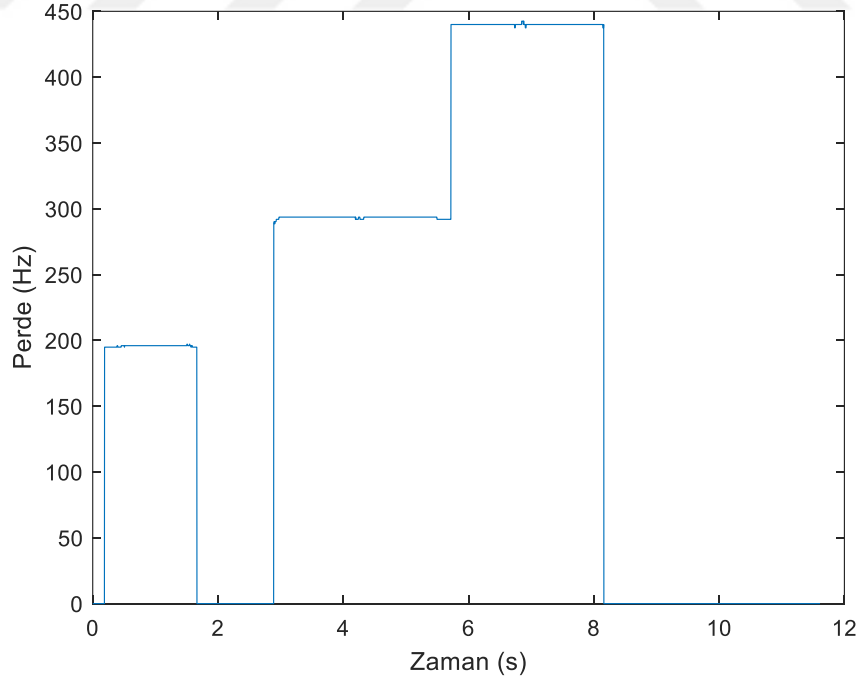
Şekil 4.19. Birinci katılımcı boş tel çalmasına ait kaydın Klapuri çoklu perde tahmini yöntemi kullanarak Essentia tabanlı nota bölütlenmesi.

Şekil 4.20’de Melodia çoklu perde tahmini (Salamon, 2012) yöntemi tabanlı nota bölütlenmesi sonucu görülmektedir. Bu yöntem parçadaki nota sayısını çok farklı sayıda bulmuş, bunun yanısıra parçanın birçok bölümünde çok fazla salınım ortaya çıkmıştır.

Şekil 4.21’de Melodia predominant perde tahmini (Salamon, 2012) yöntemi tabanlı nota bölütlenmesi sonucu görülmektedir. Bu yöntem gerçekte 8 adet olan parçadaki nota sayısını 3 olarak bulmuş, bunun yanısıra son iki nota hiçbir şekilde tespit edilememiştir.



Şekil 4.20. Birinci katılımcı boş tel çalmasına ait kaydın Melodia çoklu perde tahmini yöntemi kullanarak Essentia tabanlı nota bölütlenmesi.

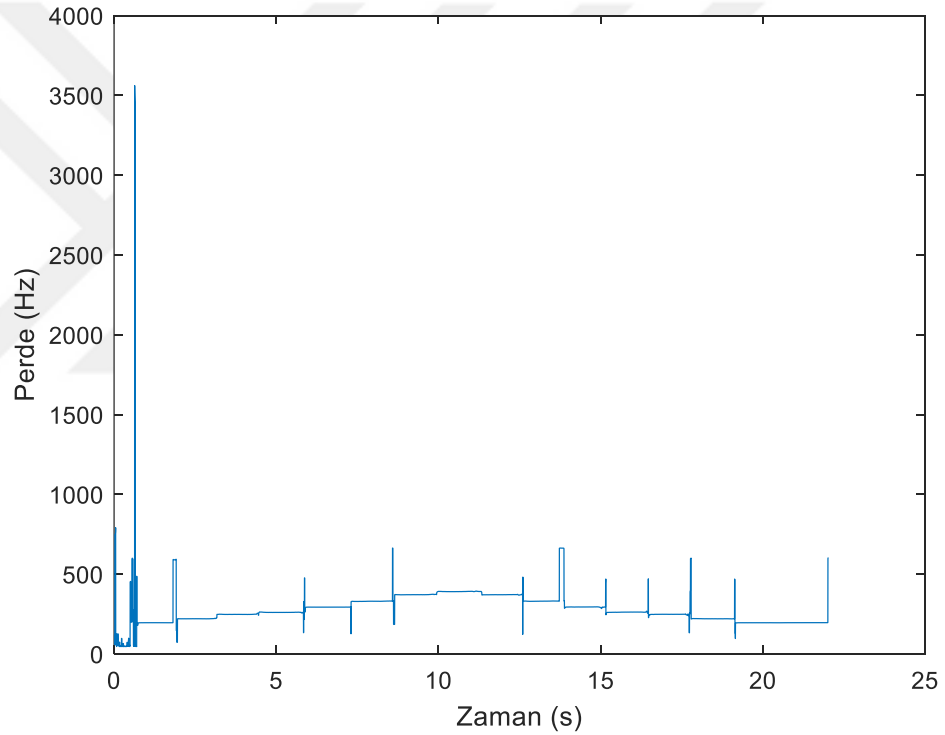


Şekil 4.21. Birinci katılımcı boş tel çalmasına ait kaydın Melodia predominant perde tahmini yöntemi kullanarak Essentia tabanlı nota bölütlenmesi.

4.3.2 Arpej Çalma Kaydı için Analiz Sonuçları

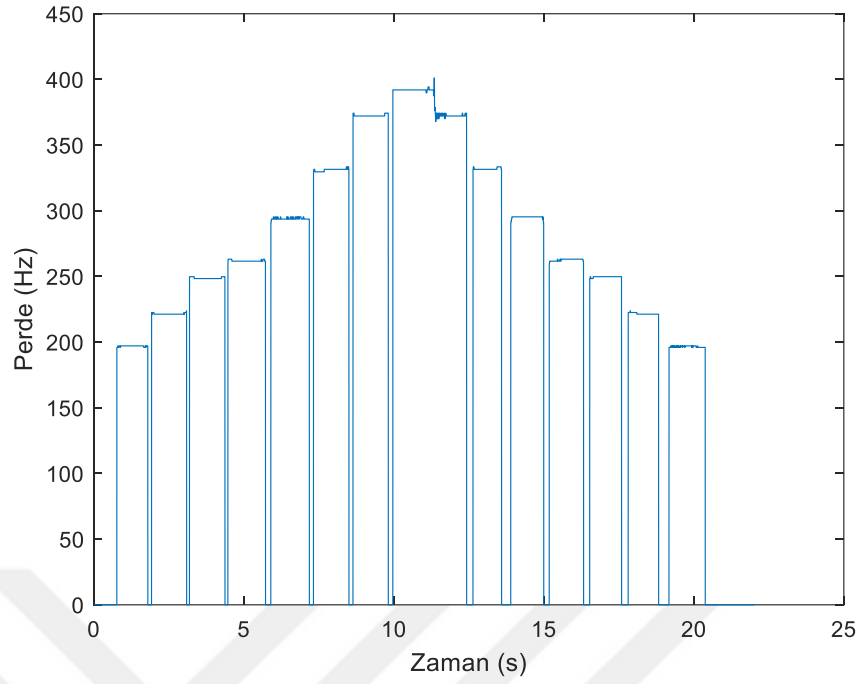
Bu kısımda birinci katılımcıya ait sol majör arpej çalma kaydının Essentia kütüphanesinde tanımlı 6 yöntem kullanarak notalara bölütlenmesi sonuçları sunulmaktadır.

Şekil 4.22’de Yin FFT monofonik perde tahmini yöntemi tabanlı nota bölütlenmesi sonucu görülmektedir. Bu yöntem gerçekte 14 adet olan parçadaki nota sayısından daha fazlasını bulmuş ve ayrıca özellikle parçanın başında oldukça fazla salınım ortaya çıkarmıştır.



Şekil 4.22. Birinci katılımcı arpej çalmasına ait kaydın Yin FFT yöntemi kullanarak Essentia tabanlı nota bölütlenmesi.

Şekil 4.23’de Melodia monofonik perde tahmini yöntemi tabanlı nota bölütlenmesi sonucu görülmektedir. Bu yöntem gerçekte 14 adet olan parçadaki nota sayısını 15 olarak bulmuş, ayrıca sekizinci sırdaki sus işaretini atlamış ve ayrıca orta sıralardaki notaları yanlış tespit etmiştir. Örneğin yöntem burada 400 Hz’in üzerinde nota bulamazken, gerçekte 6 adet 400 Hz’in üzerinde frekansa sahip nota bulunmaktadır.



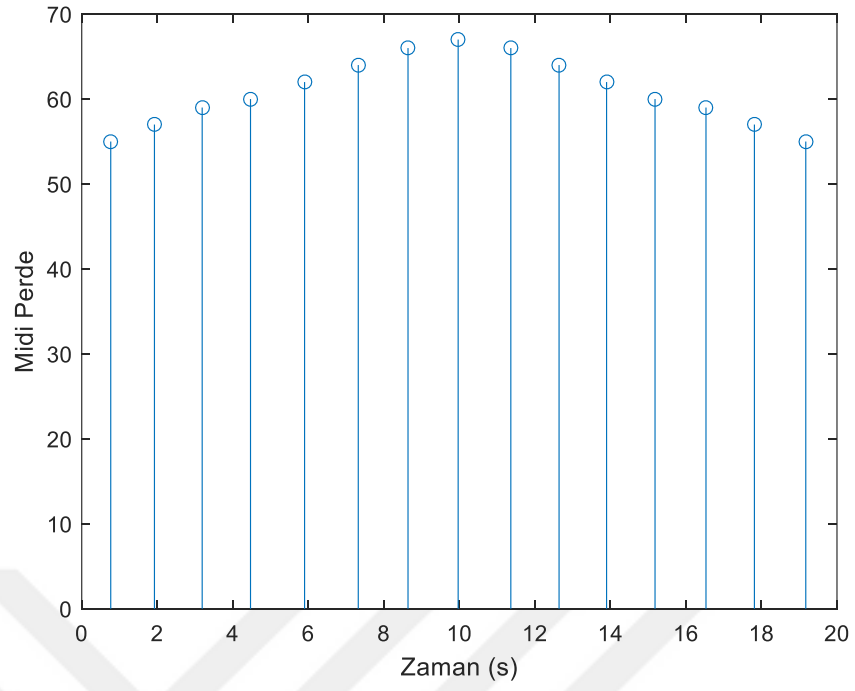
Şekil 4.23. Birinci katılımcı arpej çalmasına ait kaydın Melodia monofonik perde tahmini yöntemi kullanarak Essentia tabanlı nota bölütlenmesi.

Şekil 4.24'te Monofonik perde tahmini yöntemi tabanlı nota bölütlenmesi sonucu görülmektedir. Bu yöntem parçadaki nota sayısını doğru bulmuş, ama sekizinci sıradaki sus işaretini tespit edememiş, yanlışlıkla başka bir nota tespit etmiştir.

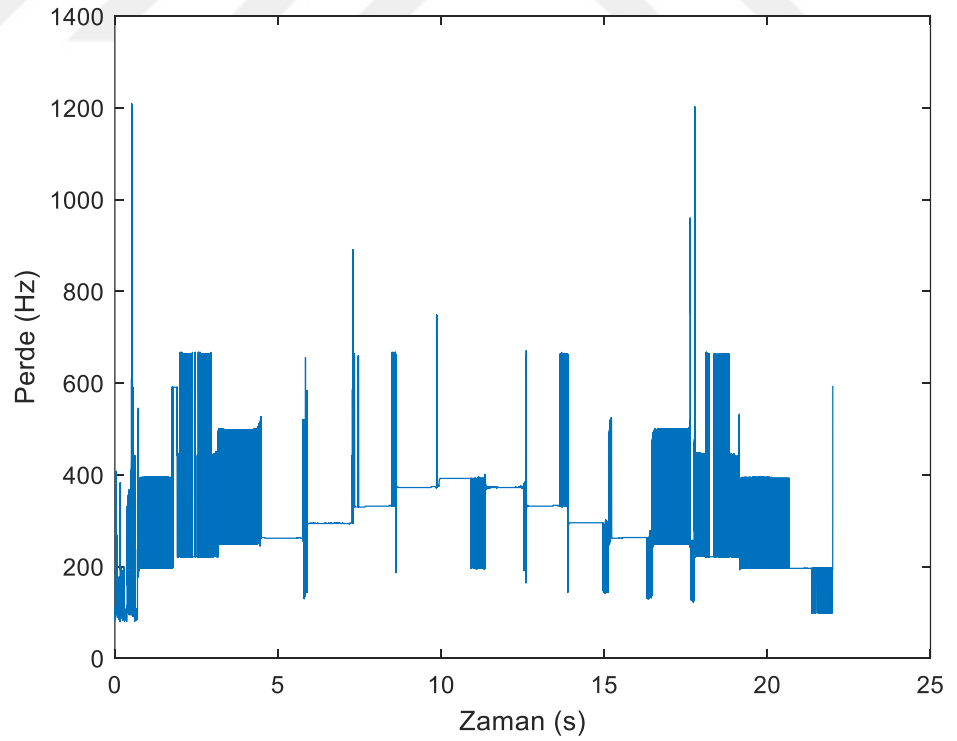
Şekil 4.25'de Klapuri çoklu perde tahmini yöntemi tabanlı nota bölütlenmesi sonucu görülmektedir. Bu yöntem parçadaki nota sayısını boş tel kaydında olduğu gibi çok farklı sayıda bulmuş, bunun yanısıra parça içerisinde çok fazla salınım ortaya çıkmıştır.

Şekil 4.26'da Melodia çoklu perde tahmini yöntemi tabanlı nota bölütlenmesi sonucu görülmektedir. Bu yöntem de parçadaki nota sayısını çok farklı sayıda bulmuş, bunun yanısıra parçanın birçok bölümünde çok fazla salınım ortaya çıkmıştır.

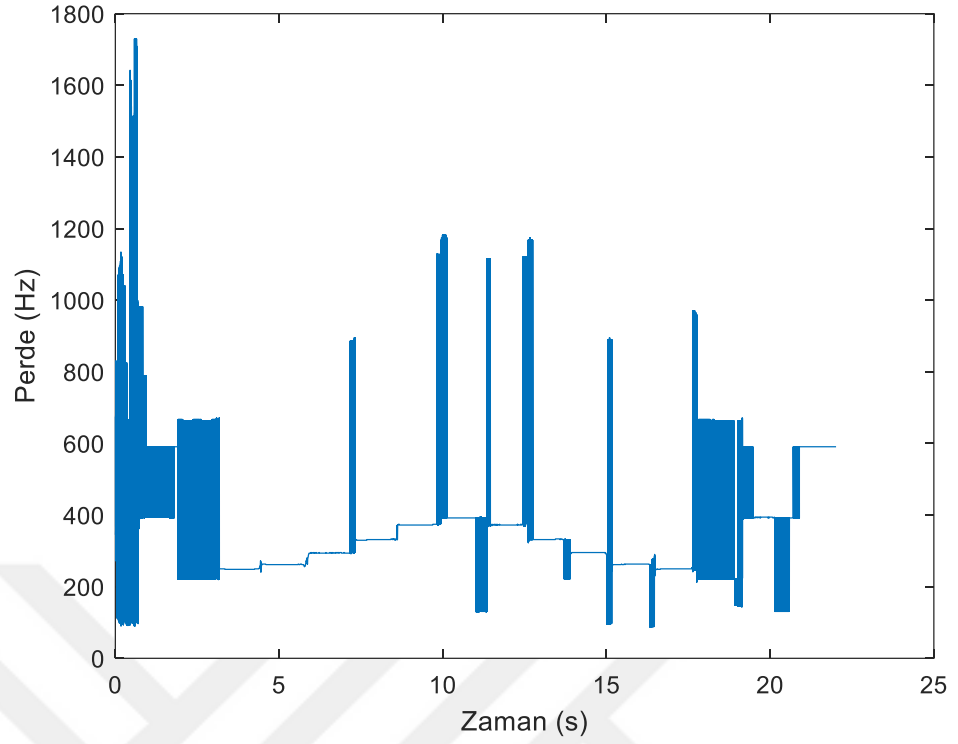
Şekil 4.27'de Melodia predominant perde tahmini yöntemi tabanlı nota bölütlenmesi sonucu görülmektedir. Bu yöntem gerçekte 14 adet olan parçadaki nota sayısını 11, arada 1 adet olan sus sayısını 2 adet olarak bulmuştur.



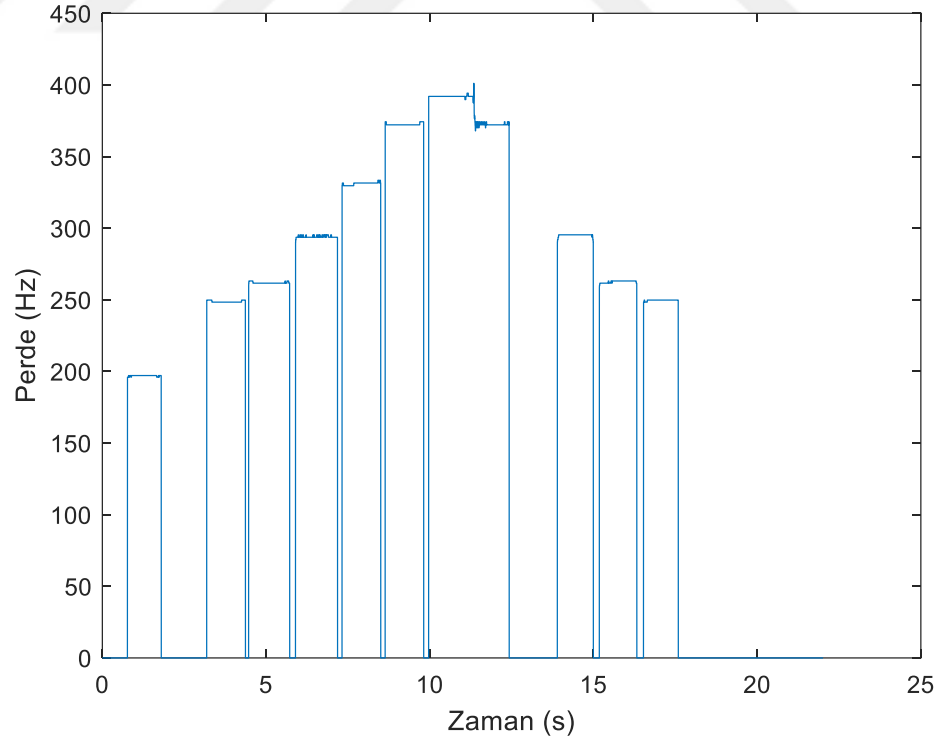
Şekil 4.24. Birinci katılımcı arpej çalmasına ait kaydın monofonik nota transkripsiyon yöntemi kullanarak Essentia tabanlı nota bölütlenmesi.



Şekil 4.25. Birinci katılımcı arpej çalmasına ait kaydın Klapuri çoklu perde tahmini yöntemi kullanarak Essentia tabanlı nota bölütlenmesi.



Şekil 4.26. Birinci katılımcı arpej çalmasına ait kaydın Melodia çoklu perde tahmini yöntemi kullanarak Essentia tabanlı nota bölütlenmesi.

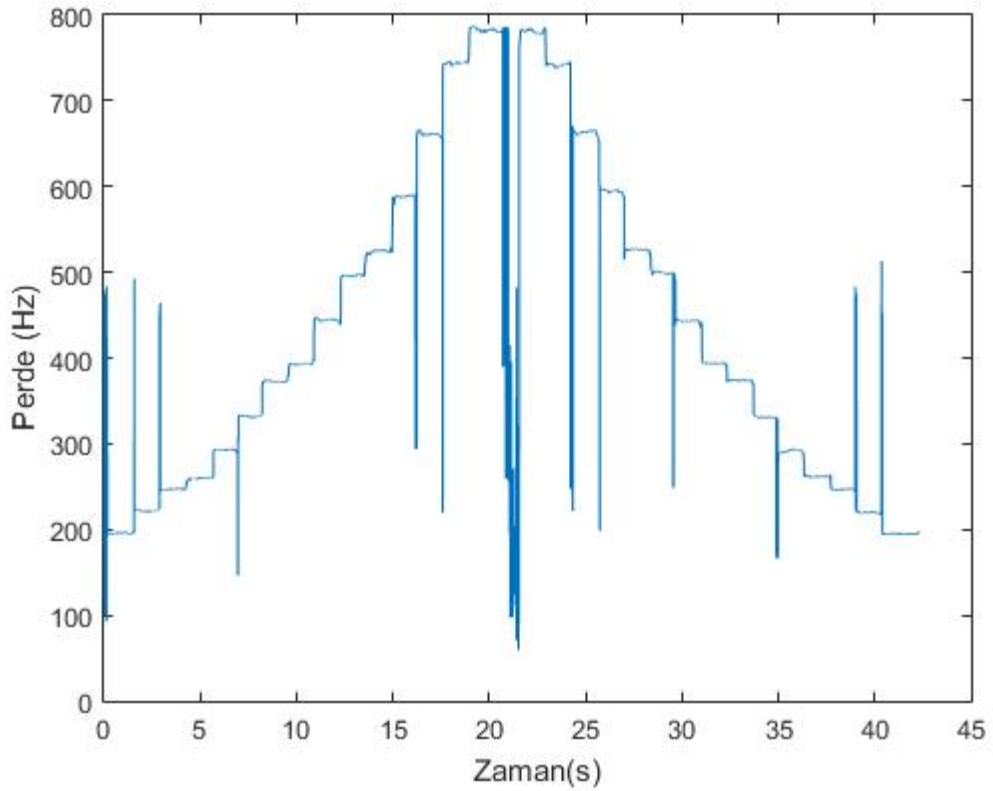


Şekil 4.27. Birinci katılımcı arpej çalmasına ait kaydın Melodia predominant perde tahmini yöntemi kullanarak Essentia tabanlı nota bölütlenmesi.

4.3.3 Dizi Çalma Kaydı için Analiz Sonuçları

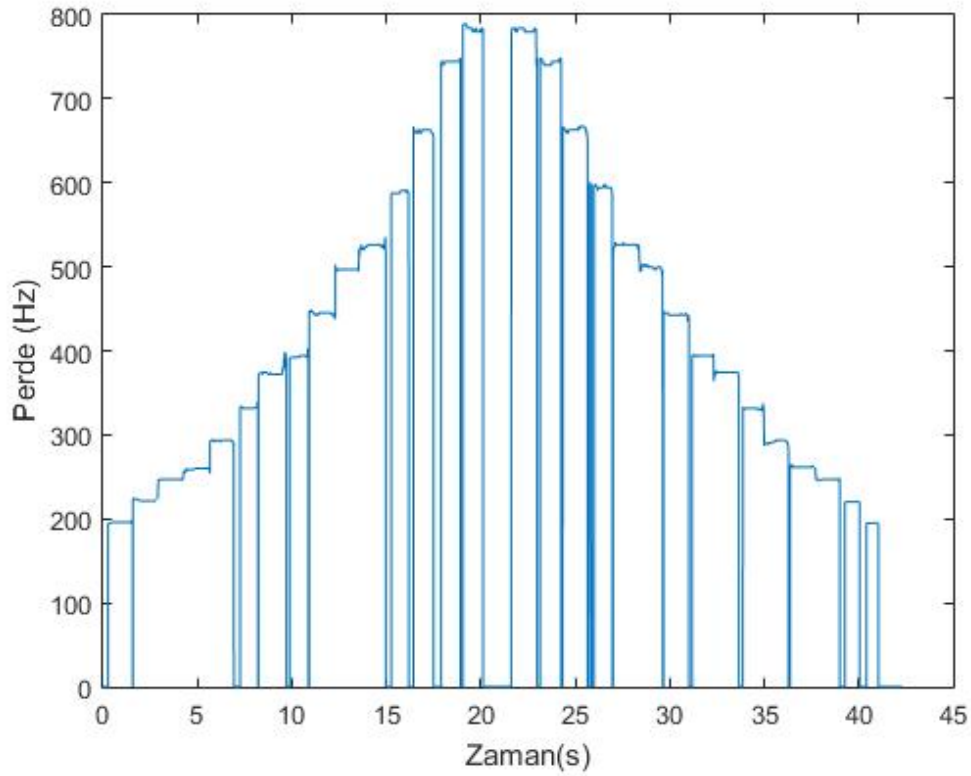
Bu kısımda birinci katılımcıya ait sol majör dizi çalma kaydının Essentia kütüphanesinde tanımlı 6 yöntem kullanarak notalara bölütlenmesi sonuçları sunulmaktadır.

Şekil 4.28’de Yin FFT monofonik perde tahmini yöntemi tabanlı nota bölütlenmesi sonucu görülmektedir. Bu yöntem gerçekte 30 adet olan parçadaki nota sayısını ve 1 adet olan nota aralarındaki sus işaretini doğru tespit etmiş, olumsuzluk olarak sadece parçanın başında ve sonunda bir takım salınımlar ortaya çıkarmış ve ayrıca ortadaki sus işaretinin süresini olduğundan daha az bulmuştur.



Şekil 4.28. Birinci katılımcı dizi çalmasına ait kaydın Yin FFT yöntemi kullanarak Essentia tabanlı nota bölütlenmesi.

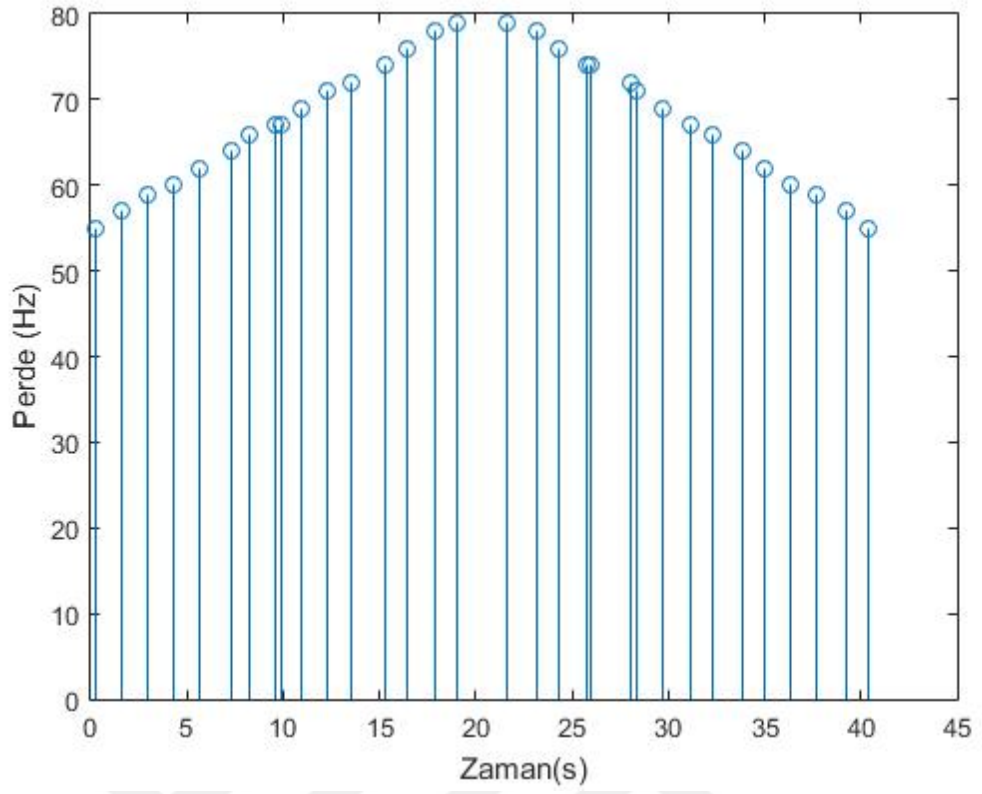
Şekil 4.29’da Melodia monofonik perde tahmini yöntemi tabanlı nota bölütlenmesi sonucu görülmektedir. Bu yöntem gerçekte 30 adet olan parçadaki nota sayısını ve arada olan nota sus işaretini doğru tespit etmiş, ayrıca nota ve sus işaretinin sürelerini de hemen hemen doğru tespit etmiş, olumsuzluk olarak sadece parçanın sonundaki iki notanın süresini olduğundan daha az bulmuş, ayrıca bazı nota aralarında kısa süreli sus işaretleri bulmuştur.



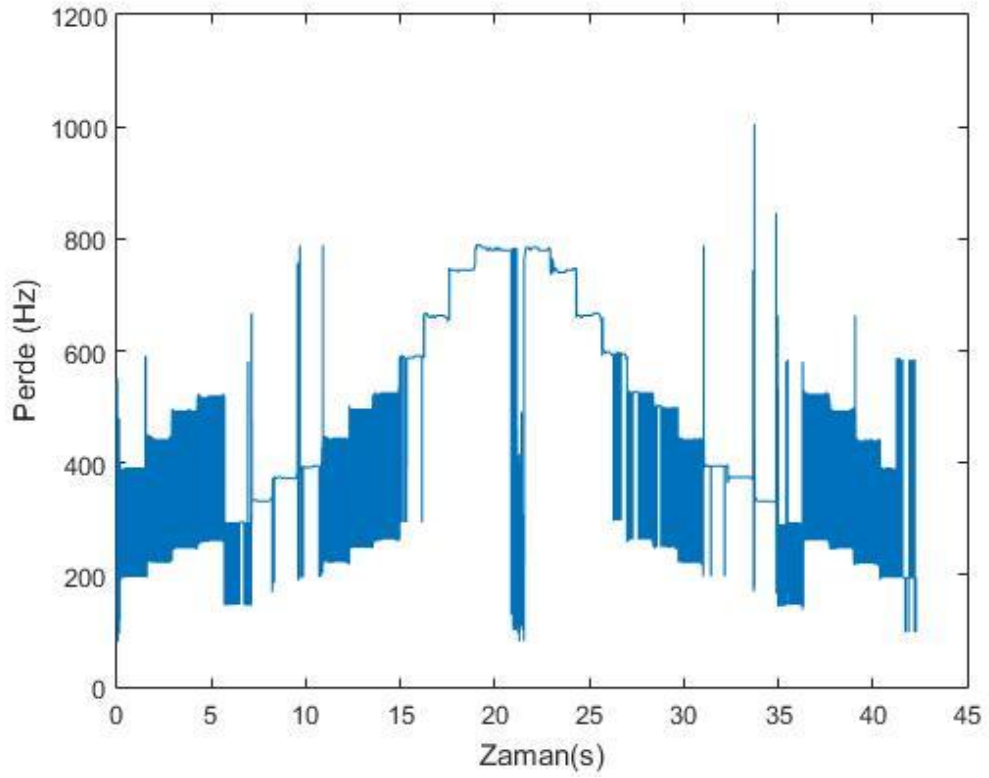
Şekil 4.29. Birinci katılımcı dizi çalmasına ait kaydın Melodia monofonik perde tahmini yöntemi kullanarak Essentia tabanlı nota bölütlenmesi.

Şekil 4.30’da Monofonik perde tahmini yöntemi tabanlı nota bölütlenmesi sonucu görülmektedir. Bu yöntem parçadaki nota sayısını 30 yerine 32 adet bulmuş, nota aralarındaki sus işaretini doğru tespit etmiş, bunun yanısıra nota süreleri eşit çalınmasına rağmen burada notalar arası süreler bazı yerlerde eşit bulunmamıştır.

Şekil 4.31’de Klapuri çoklu perde tahmini yöntemi tabanlı nota bölütlenmesi sonucu görülmektedir. Bu yöntem parçadaki nota sayısını çok farklı sayıda bulmuş, bunun yanısıra özellikle parçanın ortaları hariç diğer tüm bölgesinde çok fazla salınım ortaya çıkmıştır.

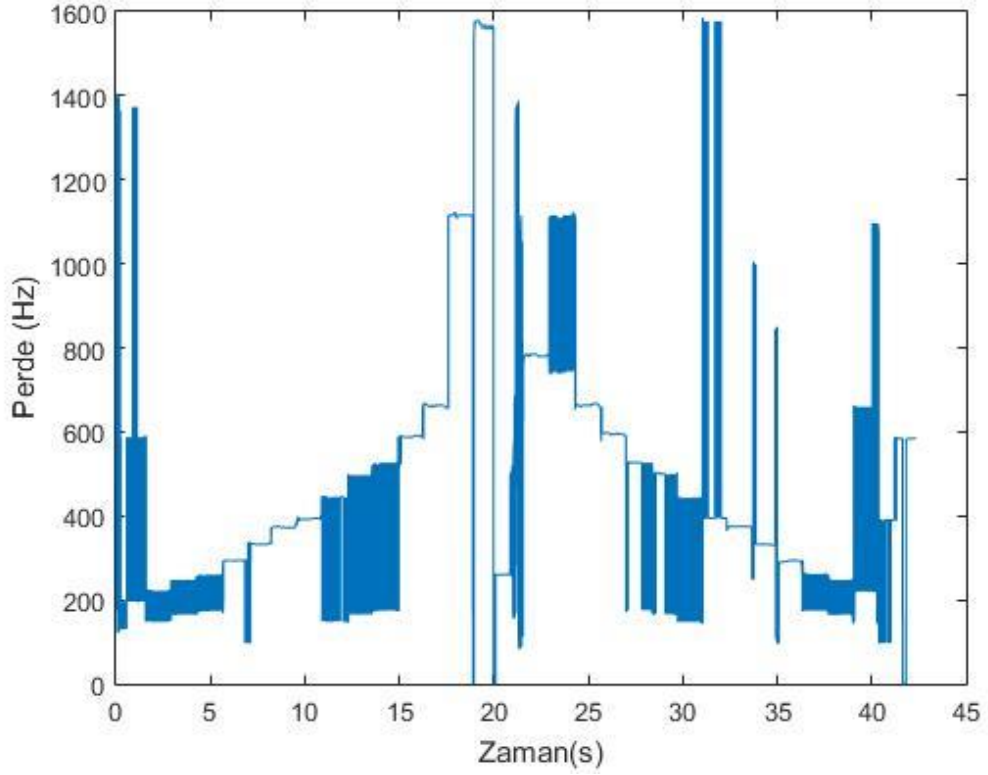


Şekil 4.30. Birinci katılımcı dizi çalmasına ait kaydın monofonik nota transkripsiyon yöntemi kullanarak Essentia tabanlı nota bölütlenmesi.



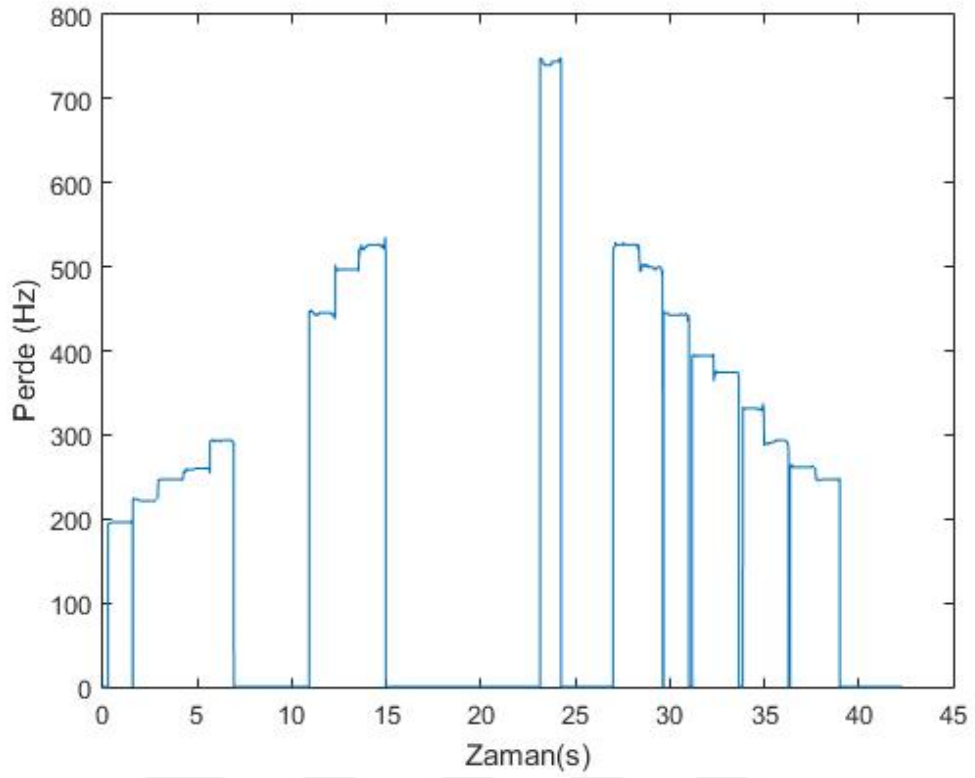
Şekil 4.31. Birinci katılımcı dizi çalmasına ait kaydın Klapuri çoklu perde tahmini yöntemi kullanarak Essentia tabanlı nota bölütlenmesi.

Şekil 4.32’de Melodia çoklu perde tahmini yöntemi tabanlı nota bölütlenmesi sonucu görülmektedir. Bu yöntem parçadaki nota sayısını çok farklı sayıda bulmuş, bunun yanısıra yine birçok notanın frekansı da yanlış bulunmuş, ayrıca parçanın birçok bölümünde çok fazla salınım ortaya çıkmıştır.



Şekil 4.32. Birinci katılımcı dizi çalmasına ait kaydın Melodia çoklu perde tahmini yöntemi kullanarak Essentia tabanlı nota bölütlenmesi.

Şekil 4.33’de Melodia predominant perde tahmini yöntemi tabanlı nota bölütlenmesi sonucu görülmektedir. Bu yöntem gerçekte 30 adet olan parçadaki nota sayısını 18 olarak bulmuş, bunun yanısıra sadece 1 adet varken arada olduğundan çok fazla sus işareti tespit etmiştir.



Şekil 4.33. Birinci katılımcı dizi çalmasına ait kaydın Melodia predominant perde tahmini yöntemi kullanarak Essentia tabanlı nota bölütlenmesi.

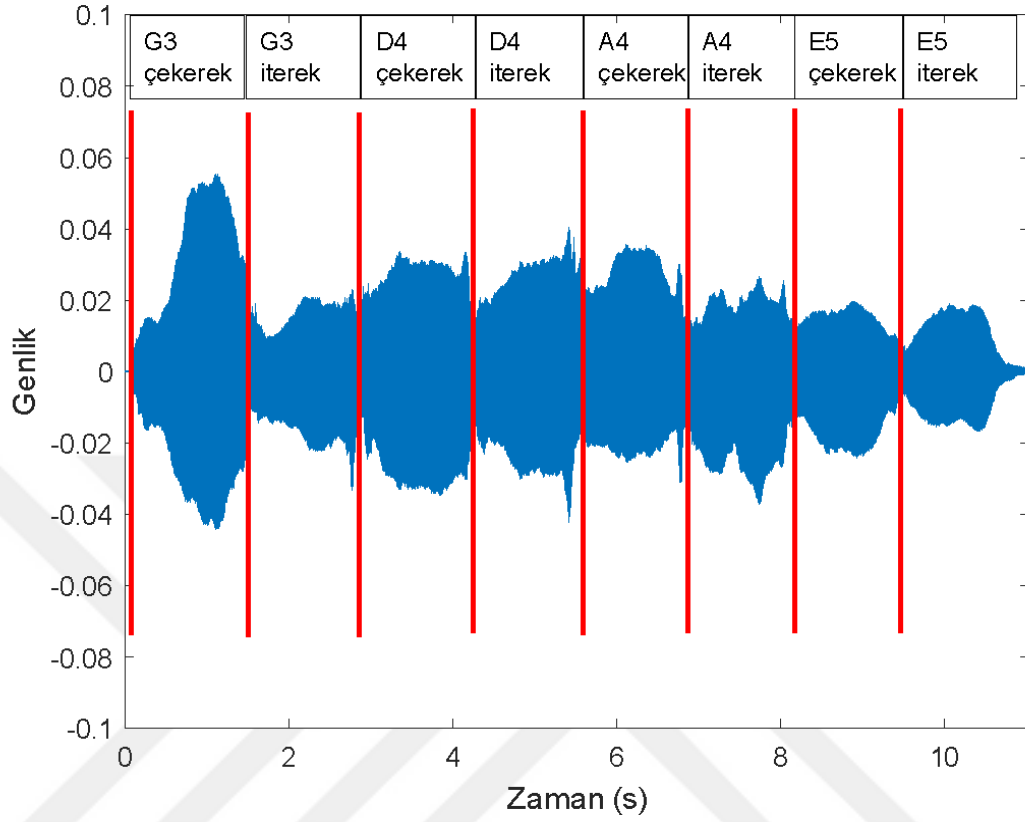
4.4 Önerilen Kullanıcı Arayüz Sistemi Tabanlı Analizler

Bu kısımda önerilen kullanıcı arayüz kullanarak keman boş tel, sol majör arpej ve sol majör dizi kayıtlarının notalara nasıl bölütlendiği sadece birinci katılımcıya ait kayıt üzerinden anlatılmakta, daha sonra da tüm kayıtlarla ilgili sonuçlar tablo halinde verilmektedir.

4.4.1 Boş Tel Çalma Kaydı için Analiz Sonuçları

Bu kısımda, öncelikle oluşturulan sistemin boş tel kayıt için nasıl çalıştığı, birinci katılımcıya ait kayıt üzerinden benzetim sonuçlarıyla gösterilecek; daha sonra da sistemin tüm sekiz katılımcıya uygulandığında elde edilen nota tespit sonuçları verilecektir.

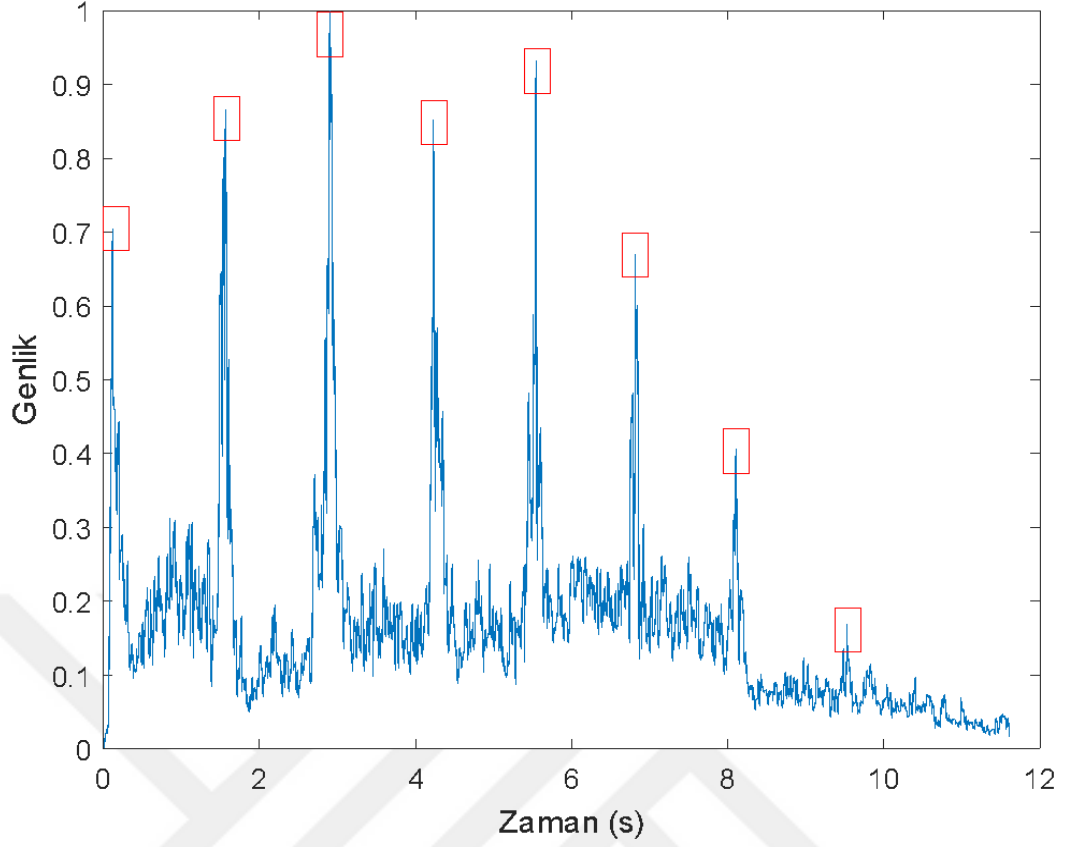
Şekil 4.34'te birinci katılımcıya ait boş tel kayıt örneğinin dalga grafiği ile burada yer alan notaların başlangıç zamanları görülmektedir.



Şekil 4.34. Birinci katılımcıya ait boş tel kaydın dalga grafiği ve nota başlangıç zamanları.

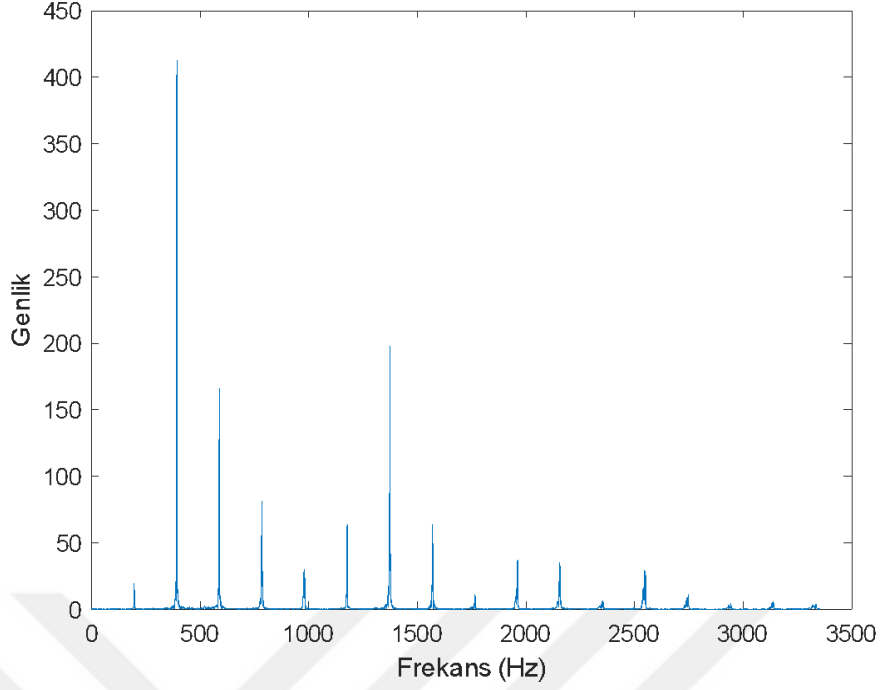
Oluşturulan sistemin ilk basamağı, nota başlangıç zamanlarının tespit edilmesidir. Böylelikle kayıt içerisindeki her bir notanın yeri belirlenmiş olup, ilgili analiz için uygun temel bilgi elde edilmiş olmaktadır. Bu çalışmada notalar arası duraksama olmadığından, bir notanın başlangıç zamanı, önceki notanın bitiş zamanı olarak değerlendirilmiştir. Bu grafikte, kırmızı renkli çizgiler nota başlangıç zamanlarını göstermekte olup, bu dalga formunda sekiz notanın var olduğu açıkça görülebilmektedir.

Şekil 4.34'te belirtilen nota başlangıç zamanlarını bulma işlemini otomatik olarak yapmak üzere karmaşık spektral fark yöntemi kullanılmıştır. Elde edilen benzeşim sonucu Şekil 4.35'de verilmiştir. Burada tepe noktalara karşılık gelen yatay eksenindeki değerler nota başlangıç değerlerini oluşturmaktadır.



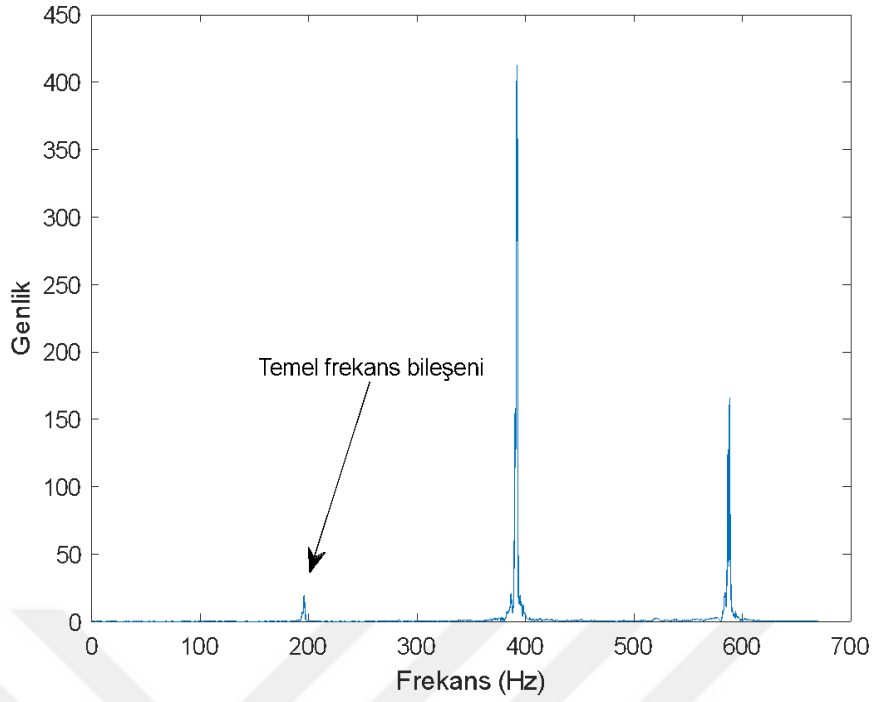
Şekil 4.35. Birinci katılımcıya ait boş tel kayıt için karmaşık spektral fark yöntemiyle bulunan nota başlangıç zamanı tespit fonksiyonu grafiği.

Oluşturulan sistemin ikinci aşaması, kayıt içerisinde çekilen notanın temel frekansının bulunmasıdır. Birinci katılımcıya ait kayıttan alınan G3 telinin çekilmesine ait sesin (yani birinci notanın) frekans uzayındaki bileşenleri Şekil 4.36’da verilmiştir. Bu notayı tespit edebilmek için temel frekans bileşeninin frekansının bulunması gerekmektedir.



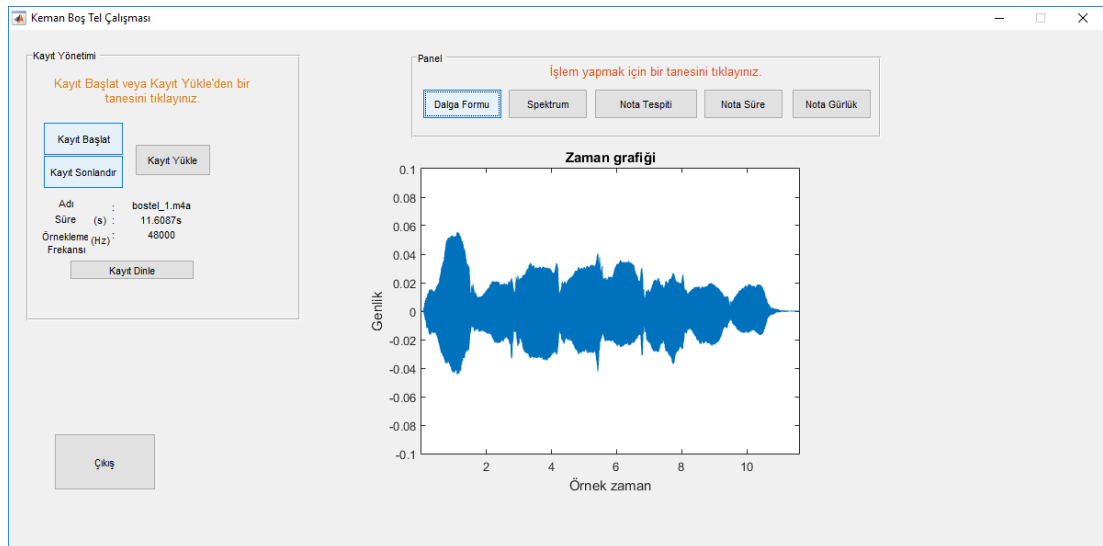
Şekil 4.36. Birinci katılımcıya ait boş tel kayıttaki çekerek çalınan G3 notasının spektrumu.

Şekil 4.37’den görüleceği üzere, temel frekans ideal G3 notasının frekansına (196 Hz yakın olduğundan, bu kaydın G3 notası olduğu ve ideale çok yakın çalındığı anlaşılmaktadır. Şekil 4.37’deki grafikten G3 boş teli için en yüksek enerjiye sahip bileşenin ikinci bileşen olduğu, dolayısıyla ilk bileşeni bulmak için özel bir yöntem gerekliliği duyulduğu görülmektedir. Bu çalışmada bunun için adaptif eşik ve segmentasyon işlemleri kullanılmıştır.



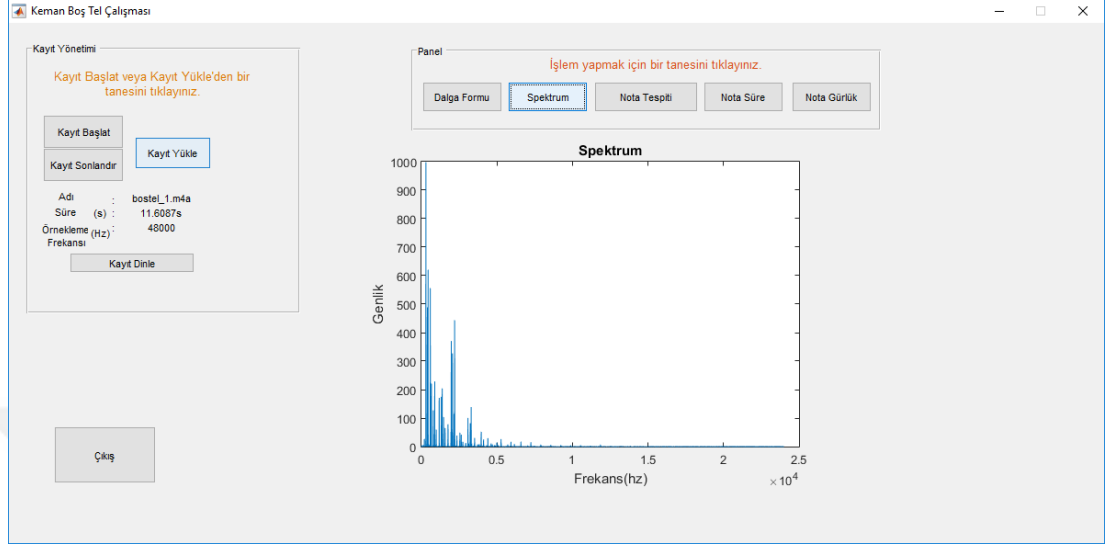
Şekil 4.37. Birinci katılımcıya ait boş tel kayıttaki çekerek çalınan G3 notasının temel frekans civarında büyütülmüş spektrumu.

Yukarıdaki işlemleri otomatik olarak yapmak için hazırlanan arayüz Şekil 4.38’de görülmektedir. Kayıt yönetiminden birinci kişiye ait ses kaydı arayüze yüklenmiş ve panel bölümünden “Dalga Formu” seçilerek Şekil 4.38 elde edilmiştir.



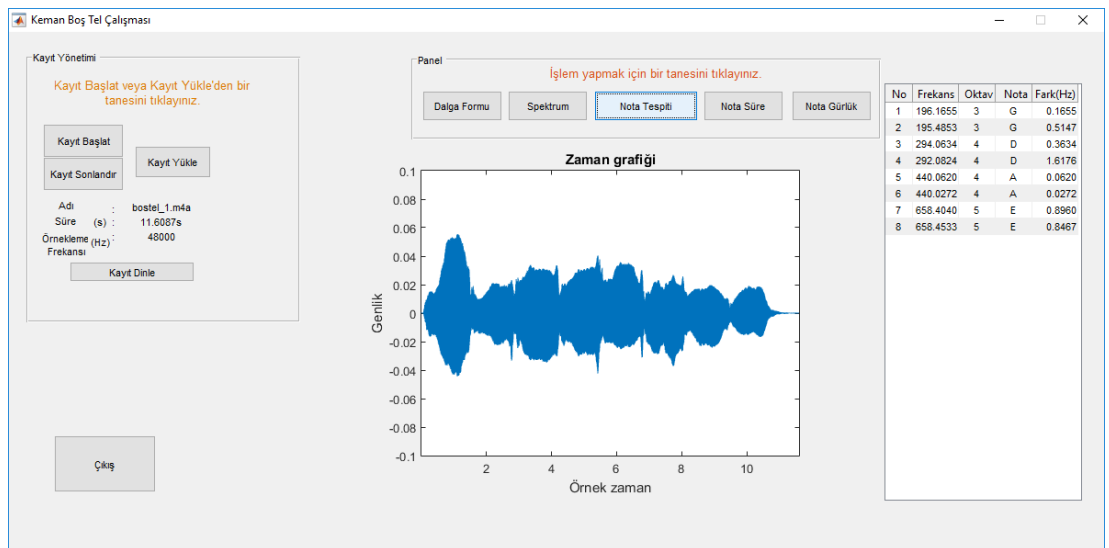
Şekil 4.38. Boş tel çalışması birinci kayıt için elde edilen dalga formu analiz sonucu.

Panel kısmında “Spektrum” seçildiğinde, ilgili kaydın spekturumu elde edilmektedir (Şekil 4.39).



Şekil 4.39. Boş tel çalışması birinci kayıt için elde edilen spektrum analiz sonucu.

Panel kısmında “Nota Tespiti” seçildiğinde ilgili kayıttaki notaların oktav ve nota isimleri ile ideal frekans değerlerinden ne kadar fark ile çalındığı gösterilmektedir (Şekil 4.40).



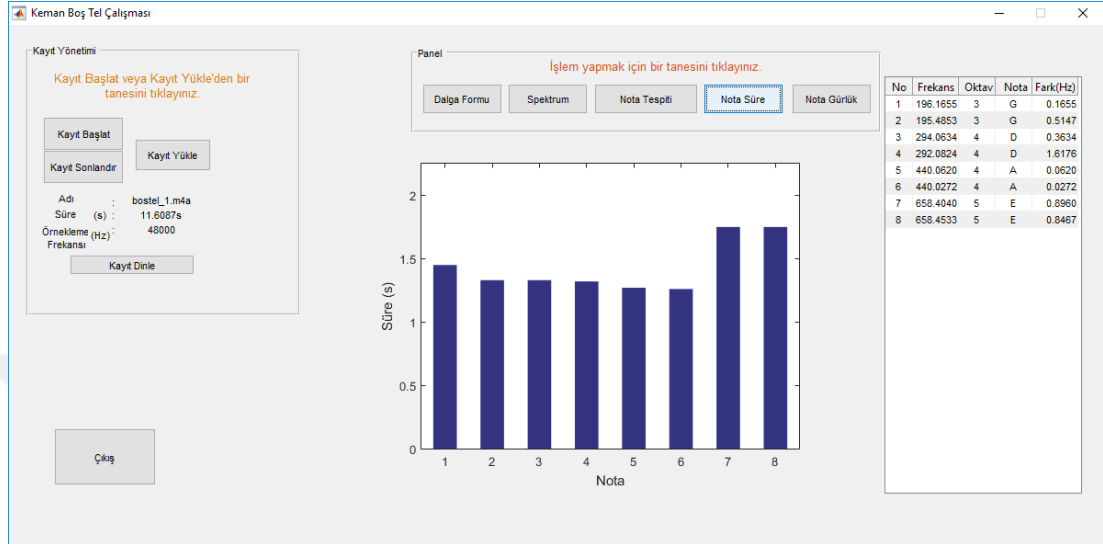
Şekil 4.40. Boş tel çalışması birinci kayıt için elde edilen nota tespit sonucu.

Birinci kayıt dışındaki diğer kayıtlar için de nota tespiti yapmak için sistem çalıştırıldığında Çizelge 4.1’de belirtilen sonuçlara ulaşılmıştır. Sonuçlara bakıldığında en yüksek fark değerinin yedinci kayıta ait çekerek çalınan E5 notasında olduğu görülmektedir. Benzer şekilde fark değerlerine bakarak hangi kaydın hangi notasında ne kadar bir fark oluştuğu, dolayısıyla katılımcıların frekans anlamında performansları görülebilir.

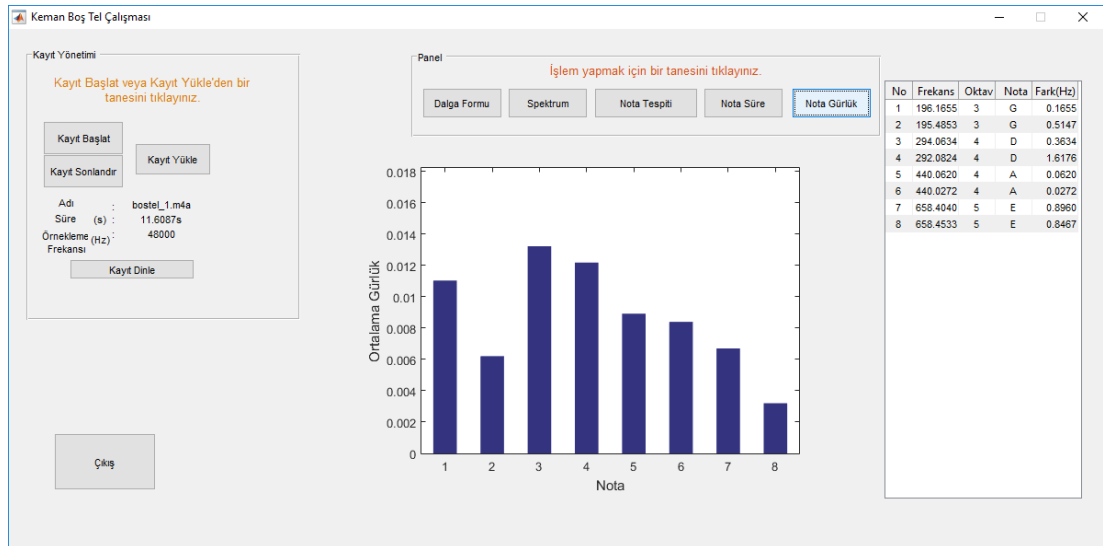
Çizelge 4.1. Boş tel otomatik transkripsiyon ile bulunan frekans analiz sonuçları.

	Boş Tel Nota Bazında İdeal Frekansa Göre Hz Cinsinden Mutlak Hata							
Kayıt No	G3	G3	D4	D4	A4	A4	E5	E5
1	0,17	0,51	0,36	1,62	0,06	0,03	0,90	0,85
2	0,32	0,51	0,28	0,37	0,65	1,59	0,78	0,43
3	0,51	0,44	1,93	1,82	0,99	1,74	0,96	0,86
4	0,04	0,18	1,31	0,63	0,31	1,17	1,25	1,97
5	0,51	0,72	0,31	1,83	1,87	0,77	1,00	2,45
6	0,49	0,07	1,55	1,02	1,41	2,17	2,45	1,90
7	1,16	0,71	1,94	0,18	0,44	0,02	2,56	1,05
8	0,98	0,63	0,62	0,40	1,86	0,58	1,43	1,75

Panel kısmında “Nota Süre” seçildiğinde sekiz notanın saniye cinsinden ne kadar sürede çalındıkları gösterilmektedir (Şekil 4.41). Benzer şekilde panel kısmında “Nota Gürlük” seçildiğinde sekiz notanın ne kadar genlikle çalındıkları gösterilmektedir (Şekil 4.42).



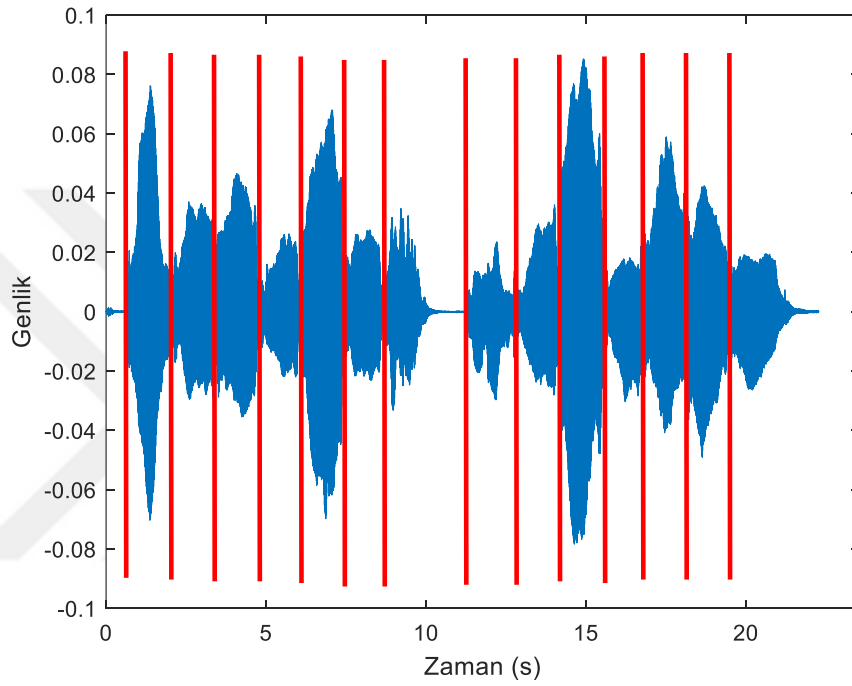
Şekil 4.41. Boş tel çalışması birinci kayıt için elde edilen nota süreleri.



Şekil 4.42. Boş tel çalışması birinci kayıt için elde edilen nota gürlük değerleri.

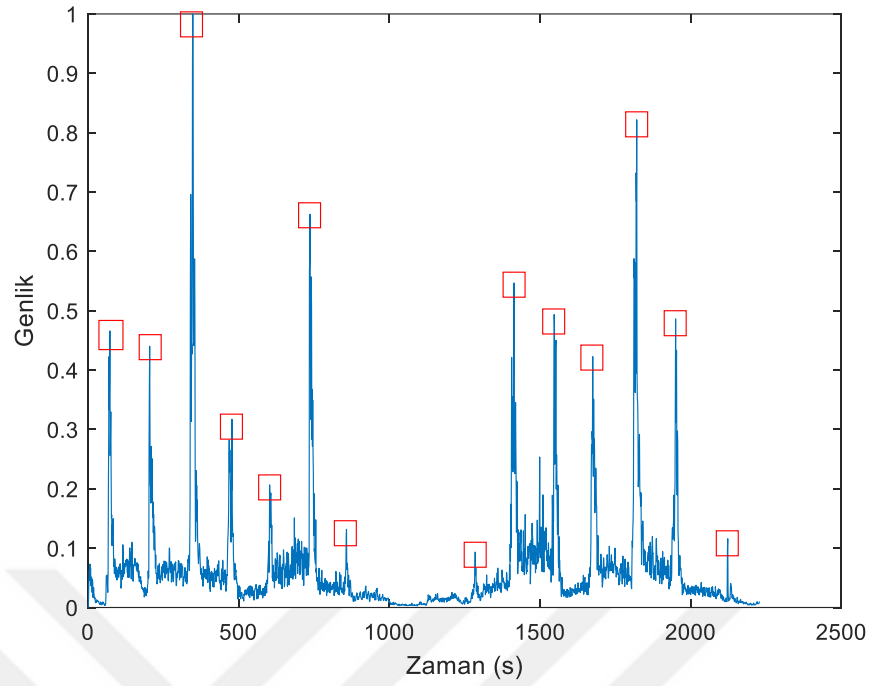
4.4.2 Arpej Çalma Kaydı için Analiz Sonuçları

Şekil 4.43’de birinci katılımcıya ait sol majör kayıt örneğinin dalga grafiği ile burada yer alan notaların başlangıç zamanları görülmektedir. Bu grafikte, kırmızı renkli çizgiler nota başlangıç zamanlarını göstermekte olup, bu dalga formunda 14 nota ve arada bir sus işaretinin var olduğu açıkça görülebilmektedir.



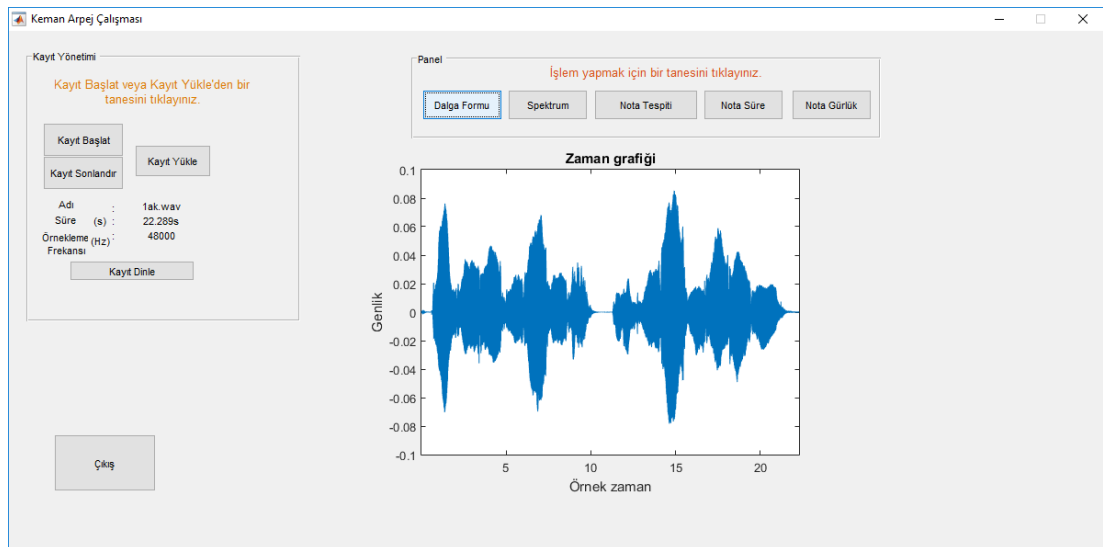
Şekil 4.43. Birinci katılımcıya ait arpej kaydın dalga grafiği ve nota başlangıç zamanları.

Şekil 4.43’de belirtilen nota başlangıç zamanlarını bulma işlemini otomatik olarak yapmak üzere karmaşık spektral fark yöntemi kullanılmıştır. Elde edilen benzeşim sonucu Şekil 4.44’de verilmiştir.



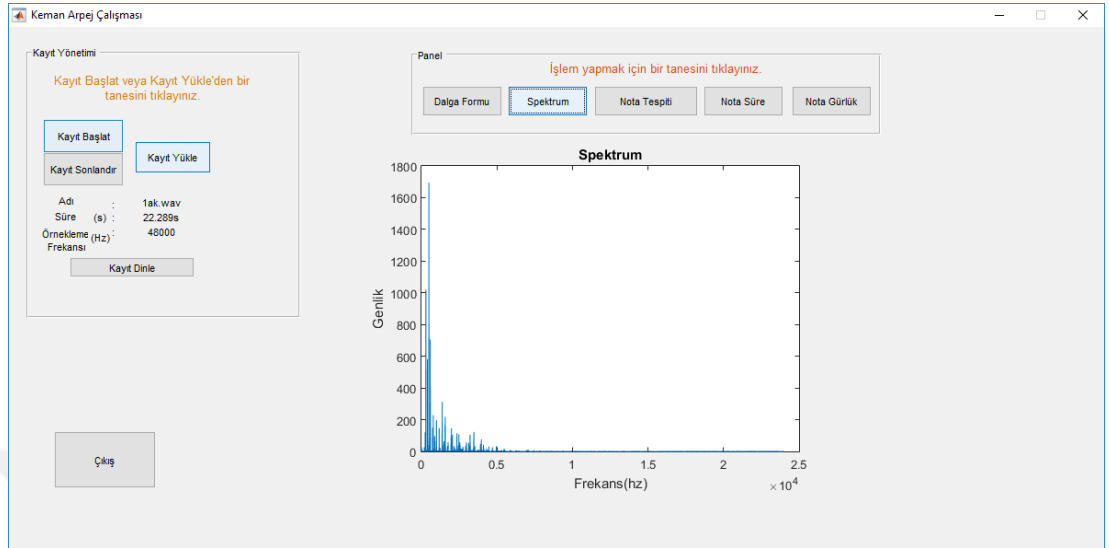
Şekil 4.44. Birinci katılımcıya ait arpej kayıt için karmaşık spektral fark yöntemiyle bulunan nota başlangıç zamanı tespit fonksiyonu grafiği.

Yukarıdaki işlemleri otomatik olarak yapmak için hazırlanan arayüz Şekil 4.45’de görülmektedir. Kayıt yönetiminden birinci kişiye ait wav uzantılı (bu formatla da çalıştığını göstermek için) ses kaydı arayüze yüklenmiş ve panel bölümünden “Dalga Formu” seçilerek Şekil 4.45 elde edilmiştir.



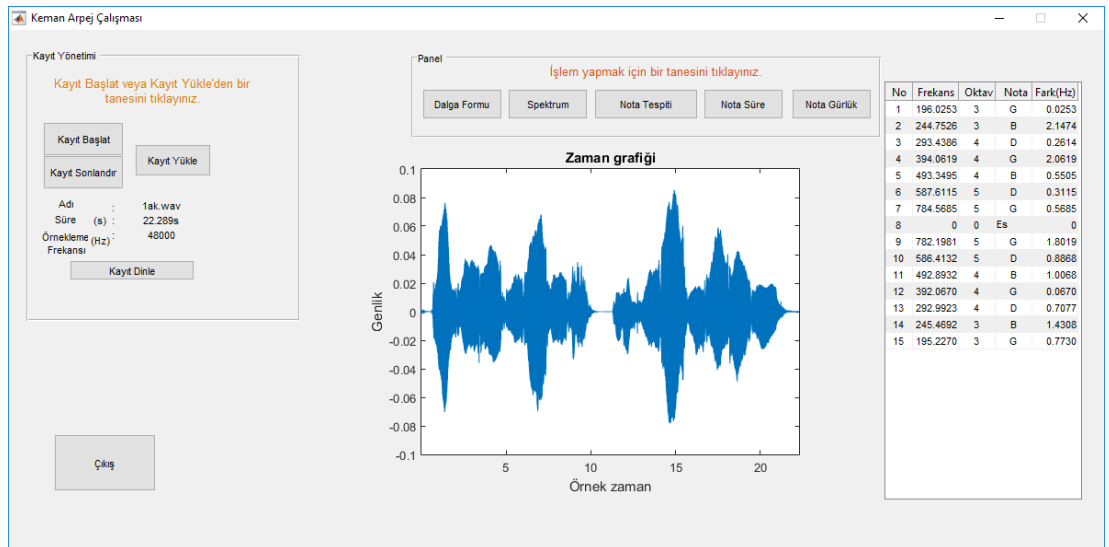
Şekil 4.45. Arpej çalışması birinci kayıt için elde edilen dalga formu analizi.

Panel kısmında “Spektrum” seçildiğinde, ilgili kaydın spekturumu elde edilmektedir (Şekil 4.46).



Şekil 4.46. Arpej çalışması birinci kayıt için elde edilen spectrum analiz sonucu.

Panel kısmında “Nota Tespiti” seçildiğinde ilgili kayıttaki notaların oktav ve nota isimleri ile ideal frekans değerlerinden ne kadar fark ile çalındığı gösterilmektedir (Şekil 4.47).



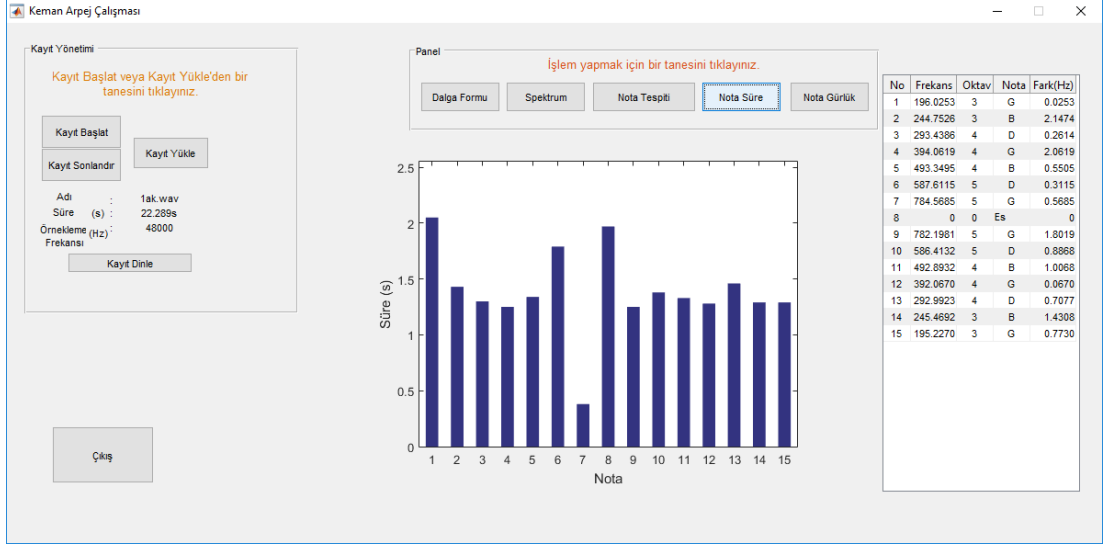
Şekil 4.47. Arpej çalışması birinci kayıt için elde edilen nota tespit sonucu.

Birinci kayıt dışındaki diğer kayıtlar için de nota tespiti yapmak için sistem çalıştırıldığında Çizelge 4.2’de belirtilen sonuçlara ulaşılmıştır. Sonuçlara bakıldığında en yüksek fark değerinin altıncı kayıta ait G5 notasında olduğu görülmektedir. Benzer şekilde fark değerlerine bakarak hangi kaydın hangi notasında ne kadar bir fark olduğu, dolayısıyla katılımcıların frekans anlamında performansları görülebilir.

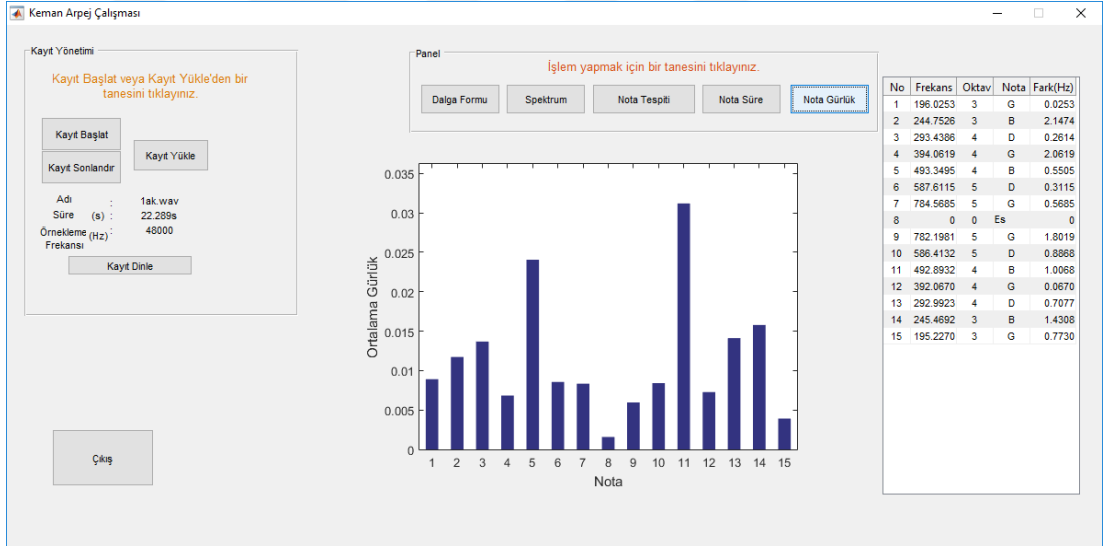
Çizelge 4.2. Arpej otomatik transkripsiyon ile bulunan frekans analiz sonuçları.

Arpej Nota Bazında İdeal Frekansa Göre Hz Cinsinden Mutlak Hata														
No	G3	B3	D4	G4	B4	D5	G5	G5	D5	B4	G4	D4	B3	G3
1	0,03	2,15	0,26	2,06	0,55	0,31	0,57	1,80	0,89	1,01	0,07	0,71	1,43	0,77
2	0,64	2,03	0,86	0,15	0,51	1,16	0,41	3,62	0,66	0,81	0,56	1,39	2,57	0,53
3	1,22	0,93	0,58	0,44	0,08	0,65	0,46	0,87	1,52	1,85	0,15	0,06	0,92	0,07
4	0,54	1,40	1,09	2,30	0,09	0,08	1,31	1,65	0,63	1,31	1,21	0,96	0,95	0,69
5	0,20	1,85	1,31	1,68	1,34	1,12	0,62	5,22	0,18	0,08	1,07	1,16	2,35	0,49
6	0,67	0,94	3,18	3,14	0,39	1,40	5,27	1,07	1,31	1,34	0,02	1,16	1,44	0,77
7	0,38	0,00	0,86	2,44	1,78	0,91	1,48	1,62	1,31	1,63	1,19	0,61	0,48	0,49
8	0,04	1,48	2,01	1,07	2,78	0,47	2,48	1,31	0,42	1,38	1,21	0,16	0,96	0,85

Panel kısmında “Nota Süre” seçildiğinde ondört notanın saniye cinsinden ne kadar sürede çalındıkları gösterilmektedir (Şekil 4.48). Benzer şekilde panel kısmında “Nota Gürlük” seçildiğinde ondört notanın ne kadar genlikle çalındıkları gösterilmektedir (Şekil 4.49).



Şekil 4.48. Arpej çalışması birinci kayıt için elde edilen nota süreleri.

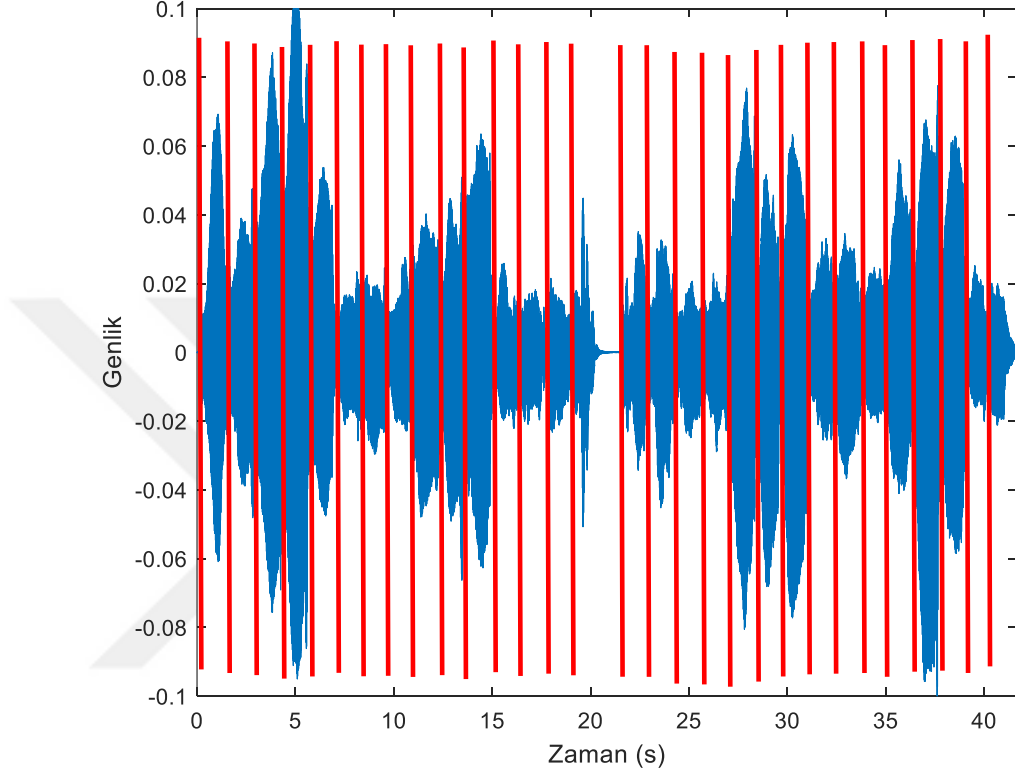


Şekil 4.49. Arpej çalışması birinci kayıt için elde edilen nota gürlük değerleri.

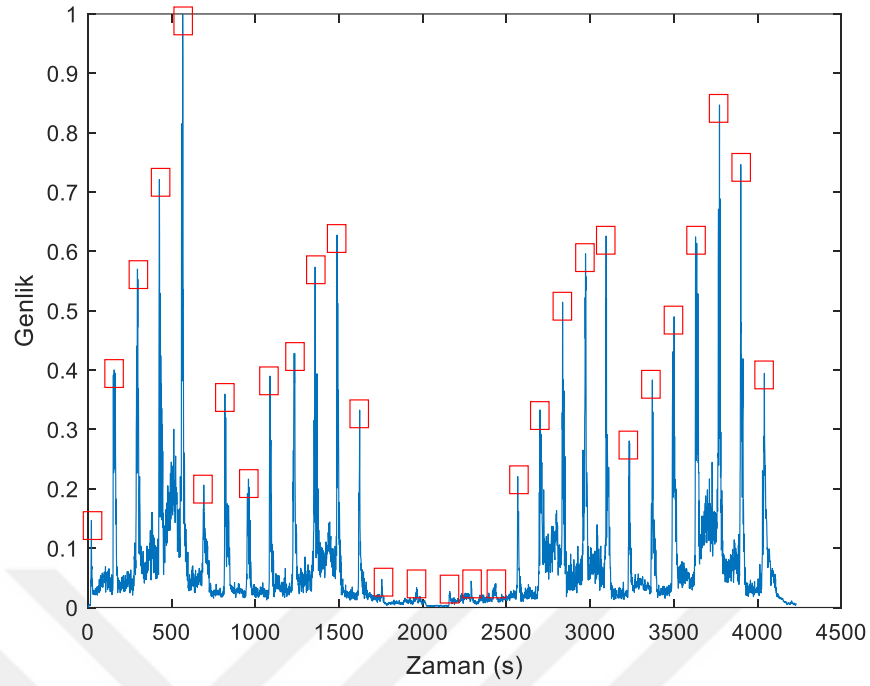
4.4.3 Dizi Çalma Kaydı için Analiz Sonuçları

Şekil 4.50’de birinci katılımcıya ait sol major dizi kayıt örneğinin dalga grafiği ile burada yer alan notaların başlangıç zamanları görülmektedir. Bu grafikte, kırmızı renkli çizgiler nota başlangıç zamanlarını göstermekte olup, bu dalga formunda otuz notanın var olduğu açıkça görülebilmektedir.

Şekil 4.50’de belirtilen nota başlangıç zamanlarını bulma işlemi otomatik olarak yapmak üzere karmaşık spektral fark yöntemi kullanılmıştır. Elde edilen benzeşim sonucu Şekil 4.51’de verilmiştir. Burada tepe noktalara karşılık gelen yatay eksendeki değerler nota başlangıç değerlerini oluşturmaktadır.

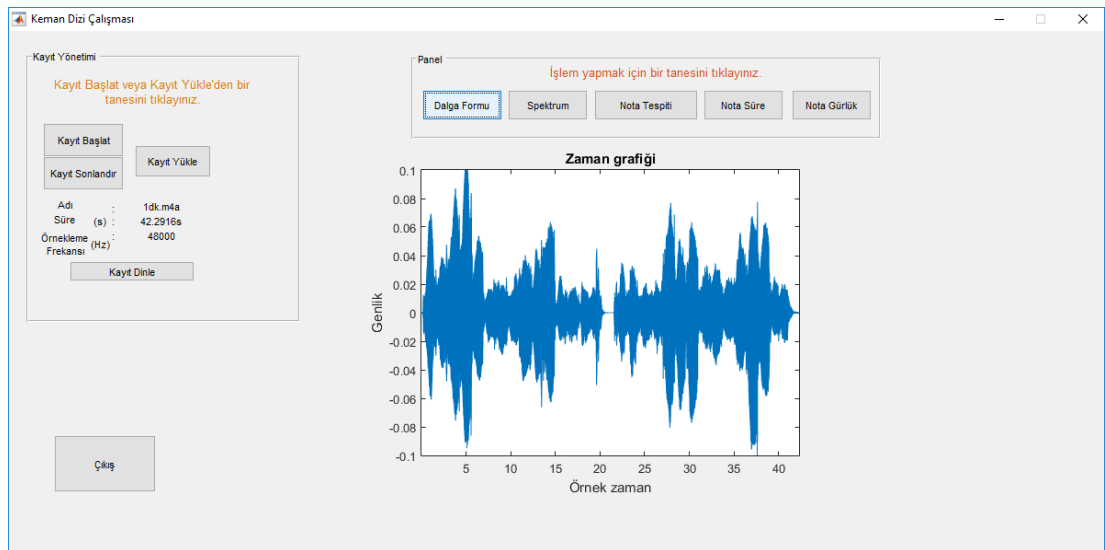


Şekil 4.50. Birinci katılımcıya ait dizi kayıtn dalga grafiğı ve nota başlangıç zamanları.



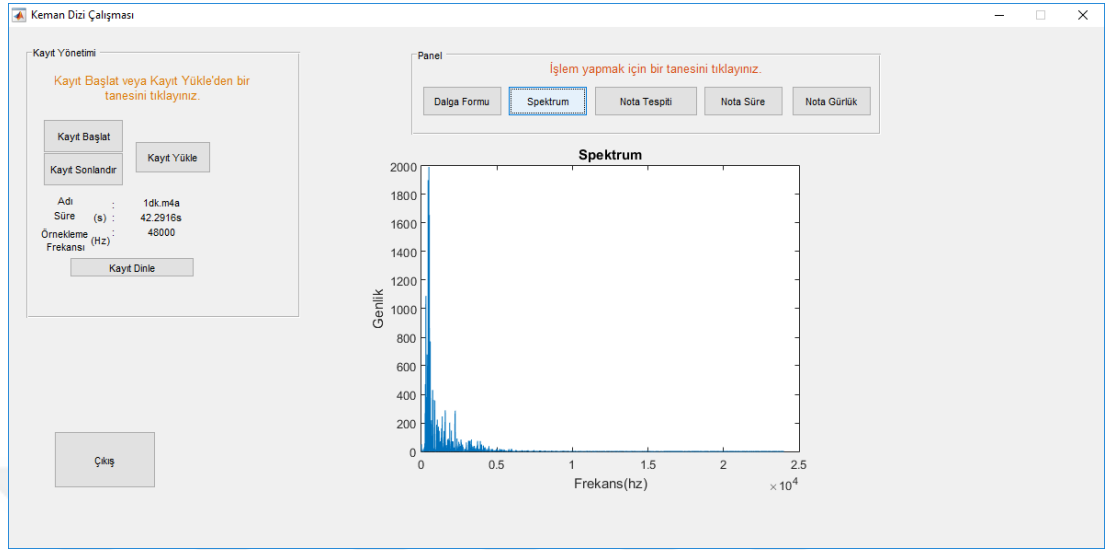
Şekil 4.51. Birinci katılımcıya ait dizi kayıt için karmaşık spektral fark yöntemiyle bulunan nota başlangıç zamanı tespit fonksiyonu grafiği.

Yukarıdaki işlemleri otomatik olarak yapmak için hazırlanan arayüz Şekil 4.52’de görülmektedir. Kayıt yönetiminden birinci kişiye ait ses kaydı arayüze yüklenmiş ve panel bölümünden “Dalga Formu” seçilerek Şekil 4.52 elde edilmiştir.



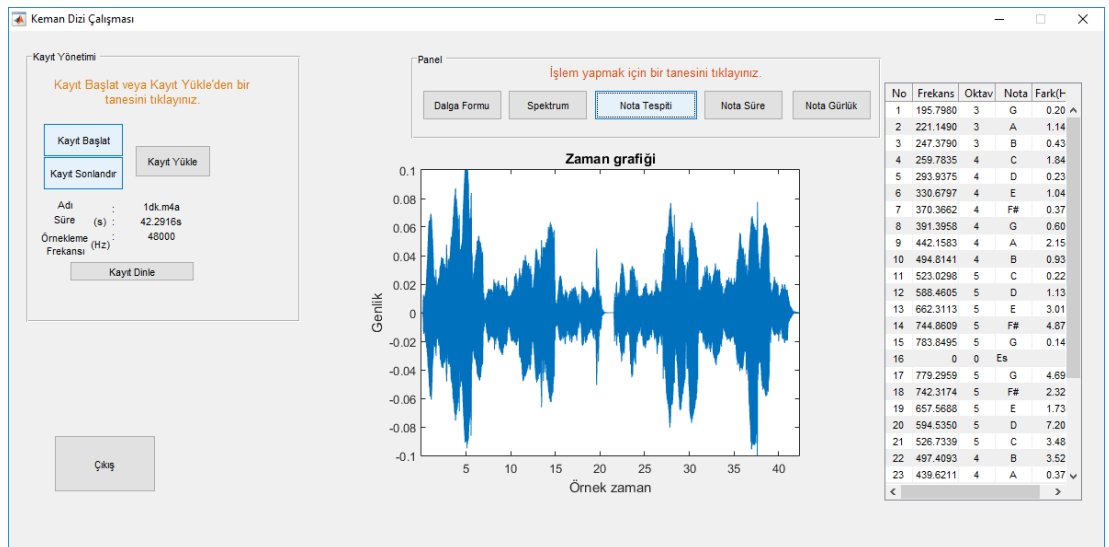
Şekil 4.52. Dizi çalışması birinci kayıt için elde edilen dalga formu analiz sonucu.

Panel kısmında “Spektrum” seçildiğinde, ilgili kaydın spekturumu elde edilmektedir (Şekil 4.53).



Şekil 4.53. Dizi çalışması birinci kayıt için elde edilen spektrum analiz sonucu.

Panel kısmında “Nota Tespiti” seçildiğinde ilgili kayıttaki notaların oktav ve nota isimleri ile ideal frekans değerlerinden ne kadar fark ile çalındığı gösterilmektedir (Şekil 4.54).



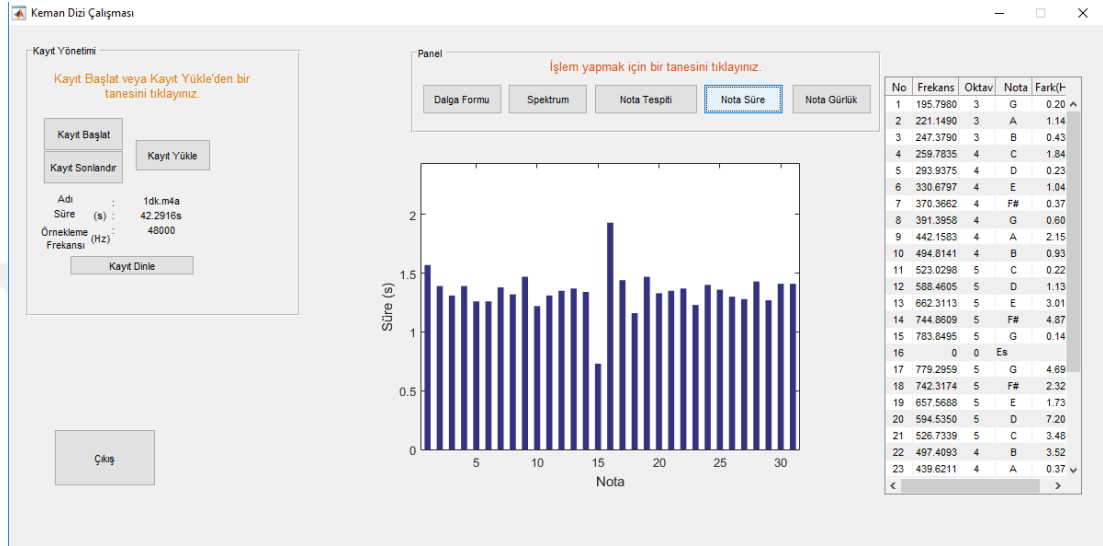
Şekil 4.54. Dizi çalışması birinci kayıt için elde edilen nota tespit sonucu.

Birinci kayıt dışındaki diğer kayıtlar için de nota tespiti yapmak için sistem çalıştırıldığında Çizelge 4.3’de belirtilen sonuçlara ulaşılmıştır. Sonuçlara bakıldığında en yüksek fark değerinin beşinci kayıta ait F#5 notasında olduğu görülmektedir. Benzer şekilde fark değerlerine bakarak hangi kaydın hangi notasında ne kadar bir fark olduğu, dolayısıyla katılımcıların frekans anlamında performansları görülebilir.

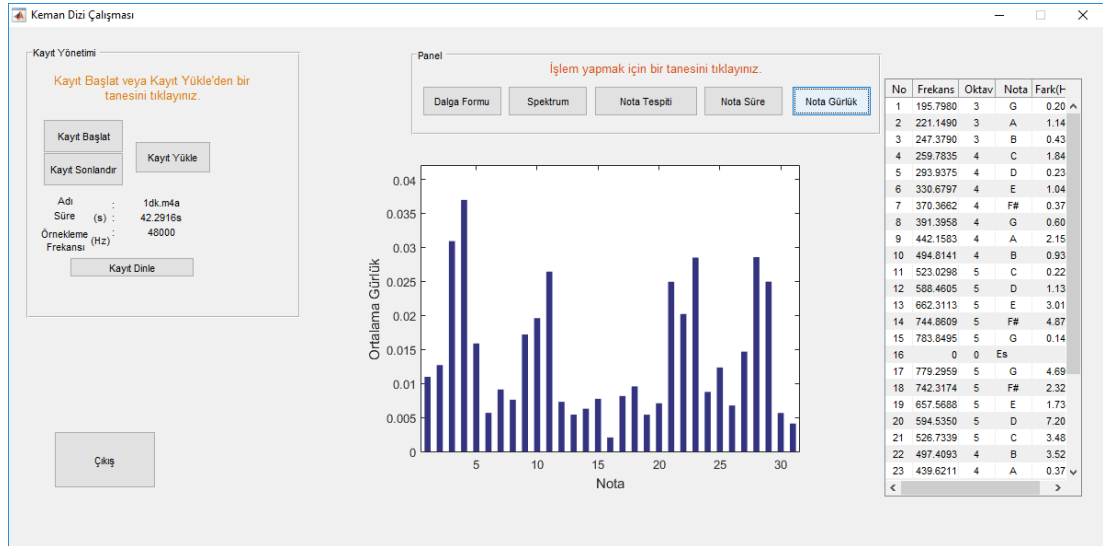
Çizelge 4.3. Dizi otomatik transkripsiyon ile bulunan frekans analiz sonuçları.

Kayıt No Nota	Dizi Nota Bazında İdeal Frekansa Göre Hz Cinsinden Mutlak Hata							
	1	2	3	4	5	6	7	8
G3	0,20	0,38	0,76	0,42	0,38	0,04	0,25	0,48
A3	1,15	0,85	0,32	1,47	0,38	0,52	0,79	1,29
B3	0,44	0,39	0,94	1,25	0,99	2,29	0,44	1,35
C4	1,85	1,01	1,83	2,07	0,51	0,23	0,04	2,38
D4	0,24	0,58	0,01	0,60	0,76	0,39	0,01	1,39
E4	1,05	1,15	0,14	4,03	0,90	2,42	0,76	1,18
F#4	0,38	0,92	1,72	0,80	0,87	1,82	2,57	0,37
G4	0,60	0,56	2,06	2,15	0,33	0,07	1,15	1,37
A4	2,16	0,50	2,13	0,30	0,02	1,41	0,02	0,19
B4	0,93	1,64	1,75	0,07	0,08	0,07	2,33	0,73
C5	0,22	1,66	0,12	0,09	0,73	0,01	0,74	1,00
D5	1,13	1,40	2,40	0,92	1,15	1,99	2,77	1,58
E5	3,01	0,92	1,86	2,11	6,79	7,65	0,12	3,39
F#5	4,87	2,05	0,72	3,49	6,55	0,59	8,90	0,66
G5	0,14	5,50	1,84	4,61	1,68	0,65	1,98	3,02
G5	4,69	2,27	0,03	8,29	4,74	0,58	3,38	1,03
F#5	2,33	1,92	0,71	5,65	11,88	5,00	2,08	3,47
E5	1,73	0,04	5,25	1,27	9,55	3,39	2,48	0,88
D5	7,21	1,77	0,24	0,45	0,24	0,89	0,47	1,83
C5	3,48	1,88	0,36	4,75	0,88	0,63	1,75	0,98
B4	3,53	4,24	0,93	0,99	4,34	1,88	0,49	1,80
A4	0,38	0,64	1,47	0,15	0,56	0,34	0,71	0,50
G4	0,85	0,80	1,06	3,26	0,02	2,17	0,41	0,62
F#4	1,73	2,31	2,40	0,89	0,37	0,96	3,07	0,36
E4	0,84	1,44	3,14	0,42	1,44	3,40	1,35	0,84
D4	0,01	0,09	0,50	1,44	0,86	1,11	0,73	1,31
C4	0,04	2,99	1,25	3,46	0,58	1,52	0,12	0,71
B3	0,52	0,88	0,97	0,44	0,45	1,90	2,65	1,73
A3	0,67	2,49	2,22	0,84	0,94	0,63	1,35	0,10
G3	1,63	0,53	1,08	0,15	0,67	0,85	0,76	0,69

Panel kısmında “Nota Süre” seçildiğinde otuz notanın saniye cinsinden ne kadar sürede çalındıkları gösterilmektedir (Şekil 4.55). Benzer şekilde panel kısmında “Nota Gürlük” seçildiğinde otuz notanın ne kadar genlikle çalındıkları gösterilmektedir (Şekil 4.56).



Şekil 4.55. Dizi çalışması birinci kayıt için elde edilen nota süreleri.



Şekil 4.56. Dizi çalışması birinci kayıt için elde edilen nota gürlük değerleri.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, başlangıç seviyesi keman öğreniminde öğrencilere yardımcı olabilecek bir kullanıcı arayüz tasarımı gerçekleştirilmiştir. Önerilen arayüz, temel keman eğitimi etütlerinden olan boş tel çalma, sol majör arpej çalma ve sol majör dizi çalma için tasarlanmıştır. Bu sistemi tasarlayabilmek için öncelikle keman seslerini notalarına doğru bir şekilde otomatik ayırt edebilecek bir transkripsiyon sistemi oluşturulmuştur.

Önerilen otomatik transkripsiyon, öncelikle nota başlangıç zamanlarını tespit etmekte ve sonra frekans analiziyle notaların temel frekansını bulmaya dayanmaktadır. Nota başlangıç zamanları tespiti için farklı yöntemler denenmiş ve bunlar arasında kullakarmaşık spektral fark yönteminin keman sesleri için en uygun olduğu sonucuna varılmıştır. Kayıtlar notaya başarılı bir şekilde bölündükten sonra, her bir notanın temel frekansı bulunarak hangi nota olduğu ve ideal frekanstan ne kadar saptığı tespit edilmiştir. Bununla birlikte arayüz üzerinde süre ve gürlük analizleri de yapılabilecek şekilde sistem geliştirilmiştir.

Essentia ve MIRtoolbox gibi iyi bilinen müzik analiz yazılımları, bu çalışmada kullanılan sekiz kişiye ait keman sesi veriseti için uygulandığında, bu yazılımların nota başlangıç zamanı bulmada bazı problemler yaşadıkları gözlemlenmiştir.

Şu anki oluşturulan sistem boş tel çalma, sol major arpej çalma ve sol major dizi çalma etüdlerine ait eşit vuruşlu sesler için başarılı bir şekilde çalışmaktadır. Dolayısıyla, önerilen kullanıcı arayüzü bu tür etütler için öğrencilere faydalı bir geri dönüt yapabilecektir.

Konuyla ilgili olarak ileride yapılabilecek çalışmalar için şu öneriler yapılmaktadır:

- Matlab dışında bir arayüzün gerçekleştirilmesi (mobil uygulama, Windows ortamında uygulama)
- Son kullanıcıya yönelik web uygulaması gerçekleştirilmesi

- Farklı vuruşlardaki notalara sahip bir keman kaydın otomatik transkripsiyonunun yapılması
- Farklı keman çalış tekniklerinin (vibrato, vb) dahil olduğu etüdlerin otomatik transkripsiyonunun yapılması



6. KAYNAKLAR

- Abesser J ve Schuller G (2017) "Instrument-Centered Music Transcription of Solo Bass Guitar Recordings", IEEE/ACM Transactions on Audio, Speech, and Language Processing, 25(9):1741-1750.
- Akbari M (2015) ClaVision: Visual Automatic Piano Music Transcription, Doktora Tezi, University of Lethbridge, Canada.
- Akbari M ve Cheng H (2015) "Real-time Piano Music Transcription Based on Computer Vision", IEEE Transactions on Multimedia, 17(12): 2113-2121.
- Argenti F, Nesi P ve Pantaleo G (2011) "Automatic Transcription of Polyphonic Music Based on the Constant-Q Bispectral Analysis", IEEE Transactions on Audio, Speech, and Language Processing, 19(6):1610-1630.
- Avci K ve Acuner TŞ (2017) "Keman Kayıtlarından Boş Tel Notalarının Otomatik Transkripsiyonu", 25. IEEE Sinyal İşleme ve İletişim Uygulamaları Kurultayı (SIU-2017), 15 – 18 Mayıs 2017, Antalya.
- Avci K, Ece AS, Açıkgöz T (2016) "Keman Eğitiminde Yay ile Üretilen Ses Gürlüğünün Bilgisayar Destekli Analizi: Öğrencilerin Gürlük Performanslarının Değerlendirilmesi ve Ses Gürlüğü ile Kullanılan Parmak ve Tel Değişiklikleri Arasındaki İlişkilerin Tespiti" Abant İzzet Baysal Üniversitesi BAP Projesi
- Barbancho I, de la Bandera C, Barbancho AM ve Tardon LJ (2009) "Transcription and Expressiveness Detection System for Violin Music", 2009 IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing, 19 April 2009, Taipei, Taiwan.
- Barbancho AM, Klapuri A, Tardón LJ ve Barbancho I (2012) "Automatic Transcription of Guitar Chords and Fingering from Audio", IEEE Transactions on Audio, Speech, and Language Processing, 20(3):915-921.
- Bello JP, Daudet L, Abdallah S, Duxbury C, Davies M ve Sandler MB (2005) "A tutorial on Onset Detection in Music Signals" IEEE Transactions on Speech and Audio Processing, 13(5):1035-1047.
- Bello JP, Daudet L ve Sandler MB (2006) "Automatic Piano Transcription Using Frequency and Time-domain Information", IEEE Transactions on Audio, Speech, and Language Processing, 14(6):2242-2251.
- Benetos E, Dixon S, Giannoulis D, Kirchhoff H ve Klapuri A (2012) "Automatic Music Transcription: Breaking the Glass Ceiling", ISMIR 2012 , 8-12 October 2012, Porto.
- Benetos E, Dixon S, Giannoulis D, Kirchhoff H ve Klapuri A (2013) "Automatic Music Transcription: Challenges and Future Directions", Journal of Intelligent Information Systems 41(3):407-434.
- Brossier PM (2007) Automatic Annotation of Musical Audio for Interactive Applications, PhD thesis, QMUL, London, UK.

- Kirkpatrick T, Andreas J ve Klein D (2014) "Unsupervised Transcription of Piano Music", NIPS 2014, 8-13 December 2014, Montreal, Canada.
- Bilen S (1995) İşbirlikli Öğrenmenin Müzik Öğretimi ve Güdusel Süreçler Üzerindeki Etkileri, Doktora Tezi, DEÜ Sosyal Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- Bogdanov D, Wack N, Gómez E, Gulati S, Herrera P, Mayor O, Roma G, Salamon J, Zapata J ve Serra X (2013) "Essentia: an Open-source Library for Sound and Music Analysis", ACM Multimedia 2013, 21-25 October 2013, Barcelona.
- Carrillo AP, Bonada J, Maestre E, Guaus E ve Blaauw M (2012) "Performance Control Driven Violin Timbre Model Based on Neural Networks", IEEE Transactions on Audio, Speech, and Language Processing, 20(3):1007-1021.
- Charles JA, Fitzgerald D ve Coyle E (2004) "Towards a Computer Assisted Violin Teaching Aid", International Symposium on Psychology and Music Education 29 Nov 2004, Padua, Italy.
- Charles JA, Fitzgerald D ve Coyle E (2006) "Violin Timbre Space Features", 2006 IET Irish Signals and Systems Conference, 28-30 June 2006, Dublin, Ireland.
- Charles JA, Fitzgerald D ve Coyle E (2008) "Violin Sound Quality Detection", 2008 IET Irish Signals and Systems Conference, 18-19 June 2008, Galway, Ireland.
- Çuhadar CH (2008) "Müzik ve Beyin", Çukurova Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, 17(2):67-76.
- Dhara P, Rengaswamy P ve Rao KS (2016) "Designing Automatic Note Transcription System for Hindustani Classical Music", International Conference on Advances in Computing, Communications and Informatics 2016, 21-24 September 2016, Jaipur, India.
- Duxbury C, Bello JP, Davies M ve Sandler M (2003) "A Combined Phase and Amplitude Based Approach to Onset Detection for Audio Segmentation", Workshop on Image Analysis for Multimedia Interactive Services 2003, 9-11 April 2003, London.
- Gillet O ve Richard G (2008) "Transcription and Separation of Drum Signals from Polyphonic Music", IEEE Transactions on Audio, Speech, and Language Processing 16(3):529-540.
- Github, MTG / Essentia, https://github.com/MTG/essentia/blob/master/src/examples/standard_pitchdemo.cpp, 22 Kasım 2017.
- Gómez E ve Bonada J (2013) "Towards Computer-assisted Flamenco Transcription: An Experimental Comparison of Automatic Transcription Algorithms as Applied to a Cappella Singing", Computer Music Journal, 37(2): 73-90.
- Gowrishankar B ve Bhajantri NU (2016) "An Exhaustive Review of Automatic Music Transcription Techniques: Survey of Music Transcription Techniques", Signal Processing, Communication, Power and Embedded System 2016, 3-5 October 2016, Odisha, India.

- Grosche P, Schuller B, Müller M ve Rigoll G (2012) "Automatic Transcription of Recorded Music", *Acta Acustica United with Acustica*, 98(2):199-215.
- Hallam S (2010) "The Power of Music: Its Impact on The Intellectual, Social and Personal Development of Children and Young People", *International Journal of Music Education*, 28(3):269-289.
- Huang HH (2008) "Research and Development of an Automatic Violin Player", *Intelligent Control and Automation 2008*, 25-27 Jun 2008, Chongqing, China.
- Huang HH, Li WH, Chen YJ ve Wen CC (2012) "Automatic Violin Player". *Intelligent Control and Automation 2012*, 6-8 July 2012, Beijing, China.
- Jie W, Boo J, Wang Y ve Loscos A (2006) "A Violin Music Transcriber for Personalized Learning", *Multimedia and Expo 2006*, 9-12 Jul 2006, Toronto, Canada.
- Jo W, Lee B ve Kim D (2016) "Development of Auditory Feedback System for Violin Playing Robot", *International Journal of Precision Engineering and Manufacturing*, 17(6):717-724.
- Jo W, Park H, Lee B ve Kim D (2015) "A study on Improving Sound Quality of Violin Playing Robot", *Automation, Robotics and Applications 2015*, 17-19 February 2015, Queenstown, New Zealand.
- Jyväskylä Üniversitesi, MIRtoolbox, <https://www.jyu.fi/hytk/fi/laitokset/mutku/en/research/materials/mirtoolbox/mirtoolbox>, 22 Kasım 2017.
- Kehling C, Abeßer J, Dittmar C ve Schuller G (2014) "Automatic Tablature Transcription of Electric Guitar Recordings by Estimation of Score-and Instrument-Related Parameters", *DAFx-14*, 1-5 September 2015, Erlangen, Germany.
- Klapuri AP (2004a) "Automatic Music Transcription as We Know It Today", *Journal of New Music Research*, 33(3):269-282.
- Klapuri AP (2004b) *Signal Processing Methods for the Automatic Transcription of Music*, Doktora Tezi, Tampere University of Technology, Finland.
- Klapuri AP (2006) "Multiple Fundamental Frequency Estimation by Summing Harmonic Amplitudes ", *International Society for Music Information Retrieval Conference*.
- Krishnaswamy A ve Smith JO (2003) "Inferring Control Inputs to an Acoustic Violin from Audio Spectra", *Multimedia and Expo 2003*, 6-9 July 2003, Baltimore, MD, USA.
- Kroher N ve Gómez E (2016) "Automatic Transcription of Flamenco Singing from Polyphonic Music Recordings", *IEEE/ACM Transactions on Audio, Speech, and Language Processing*, 24(5):901-913.
- Lartillot O ve Toivainen P (2007) "A Matlab Toolbox for Musical Feature Extraction from Audio", *DAFx-07*, 10-14 September 2007, Bordeaux, France.

- Lassauniere A, Tewkesbury G, Sanders D, Marchant J ve Close A (1999) "A New Music Technology System to Teach Music", 25th EUROMICRO Conference 1999, 8-10 September 1999, Milan.
- Li B, Dinesh K, Sharma G ve Duan Z (2017) "Video-based Vibrato Detection and Analysis for Polyphonic String Music", ISMIR 2017, 23-27 October 2017, Suzhou, China.
- Liang CY, Su L, Yang YH ve Lin HM (2015) "Musical Offset Detection of Pitched Instruments: The Case of Violin", ISMIR 2015, 26-30 October 2015, Malaga, Spain.
- Liang YC, Shiue YM, Huang YM ve Liu CG (2016) "Development of a Digital Game-based Learning System in Music Learning", Advanced Materials for Science and Engineering 2016, 12-13 Nov 2016, Tainan, Taiwan.
- Lin YJ, Wang TM, Chen TC, Chen YL, Chang WC ve Su AW (2014) "Musical Note Analysis of Solo Violin Recordings Using Recursive Regularization", EURASIP Journal on Audio, Speech, and Music Processing 2014, 2014(25):1-13.
- Loscos A, Wang Y ve Boo WJJ (2006) "Low Level Descriptors for Automatic Violin Transcription", ISMIR 2006, 8-12 October 2006, Victoria, Canada.
- Lu H, Zhang B, Wang Y ve Leow WK (2008) "iDVT: an Interactive Digital Violin Tutoring System Based on Audio-visual Fusion", ACM Multimedia 2008, 27-31 October 2008, Vancouver, Canada.
- Maezawa A, Itoyama K, Takahashi T, Ogata T ve Okuno HG (2009) "Bowed String Sequence Estimation of a Violin Based on Adaptive Audio Signal Classification and Context-Dependent Error Correction", International Symposium on Multimedia 2009, 14-16 December 2009, San Digo, CA, USA.
- Maezawa A, Itoyama K, Komatani K, Ogata T ve Okuno HG (2012) "Automated Violin Fingering Transcription Through Analysis of an Audio Recording", Computer Music Journal, 36(3):57-72.
- Marolt M (2012) "Automatic Transcription of Bell Chiming Recordings", IEEE Transactions on Audio, Speech, and Language Processing, 20(3):844-853.
- Maruyama T ve Uemura T (2017) "Development of a Violin Playing Robot and Its Sound Volume and Pitch Controls", Society of Instrument and Control Engineers 2017, 19-22 September 2017, Kanazawa, Japan.
- Moorer JA (1977) "On the Transcription of Musical Sound by Computer", Computer Music Journal, 1:32-38.
- Muller M, Ellis DP, Klapuri A ve Richard G (2011) "Signal Processing for Music Analysis" IEEE Journal of Selected Topics in Signal Processing, 5(6):1088-1110.
- Muller M (2015) Fundamentals of Music Processing: Audio, Analysis, Algorithms, Applications, Springer.

- Muto Y ve Tanaka T (2002) "Transcription System for Music by Two Instruments", 6th Signal Processing Conference 2002, 26-30 Aug 2002, Beijing, China.
- Öz NB (2001) "İnsanın Kültürel Gelişiminde Müzik Eğitiminin Önemi", Uludağ Üniversitesi Eğitim Fakültesi Dergisi, 14(1):101-106.
- Özmenteş S (2005) "Müzik Eğitiminin Boyutları ve Çalgı Eğitimi", İnönü Üniversitesi Eğitim Fakültesi Dergisi, 6(9): 89-98.
- Pardue LS, Harte C ve McPherson AP (2015) "A Low-Cost Real-Time Tracking System for Violin", Journal of New Music Research, 44(4):305-323.
- Piszcalski M ve Galler BA (1977) "Automatic Music Transcription", Computer Music Journal, 1(4):24-31.
- Pompeu Fabra Üniversitesi, Essentia, <http://essentia.upf.edu/documentation/>, 22 Kasım 2017.
- Qionggang R (2009) "Application and Research on Digital Music Technology in Music Teaching", Computer-Aided Industrial Design & Conceptual Design, 26-29 Nov 2009, Wenzhou, China.
- Salamon J ve Gómez E (2012) "Melody Extraction from Polyphonic Music Signals Using Pitch Contour Characteristics", IEEE Transactions on Audio, Speech, and Language Processing, 20(6):1759–1770."
- Sastre J, Cerdà J, García W, Hernandez C, Lloret N, Murillo A, Picó D, Serrano J, Scarani S ve Dannenberg R (2013) "New Technologies for Music Education", 2013 Second International Conference on E-Learning and e-Technologies in Education, 23-25 September 2013, Lodz, Poland.
- Souza VM, Batista GE ve Souza-Filho NE (2015) "Automatic Classification of Drum Sounds with Indefinite Pitch", 2015 International Joint Conference on Neural Networks, 12-17 July 2015, Killarney, Ireland.
- Tavares TF, Barbedo JGA, Attux R ve Lopes A (2013) "Survey on Automatic Transcription of Music: Historical Overview of Techniques", Journal of the Brazilian Computer Society, 19(4):589-604.
- Thornburg H, Leistikow RJ ve Berger J (2007) "Melody Extraction and Musical Onset Detection via Probabilistic Models of Framewise STFT Peak Data", IEEE Transactions on Audio, Speech, and Language Processing, 15(4):1257-1272.
- Topalak Ş (2013) "Güzel Sanatlar Lisesi Çalgı Eğitimi/Öğretiminde Karşılaşılan Sorunların İncelenmesi", Sanat Eğitimi Dergisi, 1(2):114-129.
- Uçan A (1997) Müzik Eğitimi : Temel Kavramlar-İlkeler-Yaklaşımlar, Müzik Ansiklopedisi Yayınları, Ankara.
- Vogel BK, Jordan MI ve Wessel D (2005) "Multi-instrument Musical Transcription Using a Dynamic Graphical Model", Acoustics, Speech, and Signal Processing 2005, 19 - 23 Mar 2005, Philadelphia, USA.

- Wan Y, Wang X, Zhou R ve Yan Y (2015) "Automatic Piano Music Transcription Using Audio-Visual Features", Chinese Journal of Electronics, 24(3):596-603.
- Wang JH, Wang SA, Chen WC, Chang KN ve Chen HY (2012) "Real-time Pitch Training System for Violin Learners", Multimedia and Expo Workshops 2012, 9-13 July, Melbourne, Australia.
- Wang Y, Zhang B ve Schleusing O (2007) "Educational Violin Transcription by Fusing Multimedia Streams", Proceedings of the International Workshop on Educational Multimedia and Multimedia Education, 28 September 2007, Augsburg, Germany.
- Wang Y ve Zhu J (2007) "Interactive Digital Violin Tutor (iDVT): An Edutainment System for Violin Learners", 2007 International Conference on Advances in Computer Entertainment Technology, 15-17 June 2007, Salzburg, Austria.
- Yazawa K, Itoyama K ve Okuno HG (2014) "Automatic Transcription of Guitar Tablature from Audio Signals in Accordance with Player's Proficiency", 2014 IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing, 4 - 9 May 2014, Florence, Italy.
- Yin J, Wang Y ve Hsu D (2005) "Digital Violin Tutor: an Integrated System for Beginning Violin Learners", ACM Multimedia 2005, 6-12 November 2005, Singapore.
- Yura J, Oyun-Erdene M, Byambasuren BE ve Kim D (2017) "Modeling of Violin Playing Robot Arm with Matlab/Simulink", Springer Robot Intelligence Technology and Applications, 4: 249-261.
- Zhang B ve Wang Y (2009) "Automatic Music Transcription Using Audio-visual Fusion for Violin Practice in Home Environment", School of Computing, National University of Singapore, Tech. Rep. TRA7/09.
- Zhang B, Zhu J, Wang Y ve Leow WK (2007) "Visual Analysis of Fingering for Pedagogical Violin Transcription", The 15th ACM International Conference on Multimedia 2007, 23-28 September 2007, Augsburg, Germany.

7. ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Tamer Şevki Acuner

Doğum Yeri ve Tarihi : Girne, 29.06.1981

Lisans Üniversite : Doğu Akdeniz Üniversitesi

Elektronik posta : tacuner@gmail.com

İletişim Adresi : Bahçelievler Mah. Ethem Bircan Cad. No:15/5
ZONGULDAK / MERKEZ

Yayın Listesi : K. Avcı ve T. Ş. Acuner, ‘Keman Kayıtlarından
Boş Tel Notalarının Otomatik Transkripsiyonu’ 25. *IEEE Sinyal İşleme
ve İletişim Uygulamaları Kurultayı (SIU-2017)*, Antalya, 2017, pp. 1-4.
Doi: 10.1109/SIU.2017.7960729