

**FAGOT İÇİN KULLANILAN AĞIZLIĞIN AKUSTİK ÖZELLİKLERİNİN  
BELİRLENMESİ**

**Ömer DİNCEL**

**Yüksek Lisans Tezi**

**Makine Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Danışman: Doç. Dr. Tolga YASA**

**Eskişehir**

**Eskişehir Teknik Üniversitesi**

**Lisansüstü Eğitim Enstitüsü**

**Ekim 2021**

# ÖZET

## FAGOT İÇİN KULLANILAN AĞIZLIĞIN AKUSTİK ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİ

Ömer DİNCEL

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Eskişehir Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Ekim 2021

Danışman: Doç. Dr. Tolga YASA

Bu çalışma bir müzik aleti olan “Fagot ’un” çalımında kullanılan kamışların akustik özelliklerinin belirlenmesi üzerinedir. Fizik dallarından biri olan akustik, sesin yayılma hızını ve frekansını ölçen bir bilim dalıdır. Frekans spektrumundaki sayısal değerlerin ve dalga yapısının incelenmesi bir sesin “doğru ses” ya da “yanlış ses” olduğu hakkında bilgi vermektedir. Bu nedenle müzik aletlerinde frekans spektrumuna etki eden faktörlerin incelenmesi ve bu faktörlerin optimize edilmesi önemlidir. Fagot enstrümanında kamış çeşitleri, kamışla uygulanan basınç farklılığı, kamışa giren hava miktarı gibi etkenler frekans spektrumuna etki eden önemli parametreler olarak belirlenmiştir. Fagot kamışı üzerine yapılan çalışmalarda frekans spektrumu incelenmesi yetersiz kalmıştır. Bu tez, bu konuya katkıda bulunmak amacıyla yapılmıştır.

Bu çalışmada kamışların akustik özelliklerinin belirlenmesinde Fourier dönüşümü kullanılmıştır. Kamış ve fagot ’tan çıkan ses mikrofonlar aracılığıyla toplanmış ve bu veriler bir bilgisayar aracılığıyla veri toplama sistemine aktarılmıştır. Daha sonra bu veriler Matlab programında uygun kodlar kullanılarak Fourier dönüşümü gerçekleştirilmiştir. Alınan veriler genlik ve frekans açısından incelenerek hangi ölçümlerde daha yüksek genlikler elde edildiği, frekans spektrumunun tam olarak elde edilip edilmediği, meydana gelen frekans değerlerindeki sapma olup olmadığı ve varsa ne kadar sapma gösterdiği ve hangi parametrelerin daha uygun olduğu gibi faktörler incelenmiştir. Yapılan çalışmalardan önce ölçümlerin örnekleme uzunluğu, örnekleme frekansı, mikrofon konumu gibi parametrelerden bağımsızlığını göstermek amacıyla ölçümler yapılmıştır. Yapılan deneyler iki bölüme ayrılmıştır.1.Bölümde fagot enstrümanı ile çalınan ölçümlerde organik ve sentetik kamışların karşılaştırılması, Rieger-1a, Rieger-2 ve Thunemann kamış geometrilerinin karşılaştırılması ve yumuşak,

orta, sert olmak üzere üç farklı kamış sertliğinin karşılaştırılması yapılmıştır. Bu bölümde yapılan çalışmalar 7 farklı nota için incelenmiştir ve her bir ölçüm parametresi için 5 ölçüm alınmıştır.2.Bölümde ise kurulan deney sistemi aracılığı ile farklı müzik dinamiklerinde ve farklı baskılarda meydana gelen değişimler incelenmiştir. Ayrıca bu kısımda kamış çıkışındaki hızın frekans analizine olan etkisi incelenmiştir.

**Anahtar Sözcükler:** Fagot, Kamış, Akustik, Fourier, Organik ve sentetik



## **ABSTRACT**

### **DETERMINATION OF ACOUSTIC PROPERTIES OF MOUTHPIECE USED FOR BASSOON**

**Ömer DİNCEL**

Department of Mechanical Engineering

Eskişehir Technical University, Institute of Graduate Programs, October 2021

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Tolga YASA

This study is on the determination of the acoustic properties of the reeds used in the playing of the "bassoon", which is a musical instrument. Acoustics, one of the branches of physics, is the science that measures the propagation speed and frequency of sound. Examining the numerical values and wave structure in the frequency spectrum gives information about whether a sound is "correct sound" or "false sound". For this reason, it is important to examine the factors affecting the frequency spectrum of musical instruments and to optimize these factors. In the bassoon instrument, factors such as reed types, pressure difference applied with the reed, and the amount of air entering the reed were determined as important parameters affecting the frequency spectrum. Frequency spectrum analysis was insufficient in studies on bassoon reed. This thesis was made to contribute to this subject.

In this study, Fourier transform was used to determine the acoustic properties of reeds. The sound from the reed and bassoon was collected by microphones and these datas were transferred to the data acquisition system via a computer. Then, these datas were transformed into Fourier transform using appropriate codes in Matlab program. The data received were examined in terms of amplitude and frequency, and factors such as which measurements obtained higher amplitudes, whether the frequency spectrum was fully obtained, whether there was a deviation in the occurring frequency values, and if so, how much it deviated and which parameters were more appropriate were examined. Before the studies, measurements were made to show the independence of the measurements from parameters such as sampling length, sampling frequency, microphone position. The experiments were divided into two parts. In the first part, the comparison of organic and synthetic reeds in the measurements played with the bassoon instrument, the comparison of the Rieger-1a, Rieger-2 and Thunemann reed geometries

and the comparison of three different reed hardnesses as soft, medium and hard were made. The studies in this section were examined for 7 different notes and 5 measurements were taken for each measurement parameter. In the second part, the changes in different music dynamics and different pressures were examined through the experimental system established. In addition, in this part, the effect of the speed of the reed outlet on the frequency analysis is examined.

**Keywords:** Bassoon, Reed, Acoustic, Fourier, Organic and Synthetic.



## TEŞEKKÜR

Bu çalışma TÜBİTAK 1001 programı kapsamında desteklenen 119M049 kodlu Organik ve sentetik fagot kamışlarının yapısal ve akustik açıdan incelenmesi parametrelerinin ilişkisinin modellenmesi isimli proje kapsamında gerçekleştirilmiştir. Projenin gerçekleşmesini mümkün kılan finansal destek için TÜBİTAK'a teşekkür ederim.

Çalışmamda bana yön gösteren, destek ve emeklerini esirgemeyen tez danışmanım sayın Doç.Dr. Tolga Yasa'ya sonsuz teşekkürlerim sunarım.

Araştırmada kullanılan kamışların teminini sağlayan ve müzik tecrübesiyle birçok konuda yardımı dokunan Doç. Emre Hopa 'ya teşekkürlerimi sunarım.

Hayatım boyunca beni destekleyen, annem ve babama teşekkürlerimi sunarım.

Ömer DİNCEL

## **ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ**

Bu tezin bana ait, özgün bir çalışma olduğunu; çalışmamın hazırlık, veri toplama, analiz ve bilgilerin sunumu olmak üzere tüm aşamalarında bilimsel etik ve kurallara uygun davrandığımı; bu çalışma kapsamında elde edilen tüm veri ve bilgiler için kaynak gösterdiğimi ve bu kaynaklara kaynakçada yer verdiğimi; bu çalışmanın Eskişehir Teknik Üniversitesi tarafından kullanılan “bilimsel intihal tespit programı”yla tarandığını ve hiçbir şekilde “intihal içermediğini” beyan ederim. Herhangi bir zamanda, çalışmamla ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun saptanması durumunda, ortaya çıkacak tüm ahlaki ve hukuki sonuçları kabul ettiğimi bildiririm.

Ömer DİNCEL

## İÇİNDEKİLER

### Sayfa

|                                                                  |      |
|------------------------------------------------------------------|------|
| BAŞLIK SAYFASI .....                                             | i    |
| ÖZET .....                                                       | ii   |
| ABSTRACT.....                                                    | iv   |
| TEŞEKKÜR .....                                                   | vi   |
| ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ.....                 | vii  |
| İÇİNDEKİLER.....                                                 | viii |
| TABLOLAR DİZİNİ.....                                             | xi   |
| ŞEKİLLER DİZİNİ.....                                             | xii  |
| SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....                              | xv   |
| 1.GİRİŞ .....                                                    | 1    |
| 1.1.Fagot Yapısı ve Fiziksel Özellikleri .....                   | 2    |
| 1.2.Kamışlar ve Özellikleri.....                                 | 3    |
| 1.3.Müzik Fiziği .....                                           | 4    |
| 1.3.1.Sesin oluşumu ve özellikleri.....                          | 4    |
| 1.3.2.Frekans analizi.....                                       | 6    |
| 1.3.2.1.Harmonikler ve inharmonikler .....                       | 8    |
| 1.3.3.Fourier dönüşümü .....                                     | 9    |
| 1.3.4.Hızlı Fourier Dönüşümü .....                               | 11   |
| 1.4.Güç Spektral Yoğunluğu (Gsy).....                            | 13   |
| 1.4.1.Güç spektral yoğunluğun FFT kullanılarak hesaplanması..... | 13   |
| 1.5.Müzikte Dinamikler .....                                     | 14   |
| 1.6.Literatür Özeti.....                                         | 14   |
| 2.ÖLÇÜMLER İÇİN GEREKLİ ORTAMIN YARATILMASI.....                 | 19   |
| 2.1.Kullanılan Ekipmanlar ve Özellikleri .....                   | 19   |
| 2.1.1.Mikrofonlar.....                                           | 19   |
| 2.1.2.Veritoplama sistemi.....                                   | 20   |
| 2.2.Verilerin Toplanması İçin Gerekli Ortamın Seçilmesi.....     | 21   |



|                                                                       |           |
|-----------------------------------------------------------------------|-----------|
| 2.3.Ölçümlerin Gerçekleştirilmesi ve Verilerin Toplanması .....       | 26        |
| 2.4.Verilerin Analizi .....                                           | 27        |
| 2.4.1.Sıfır doldurma.....                                             | 28        |
| 2.4.2.Pencereleme .....                                               | 30        |
| 2.5.Örnekleme Uzunluğunun Etkisinin İncelenmesi .....                 | 34        |
| 2.6.Örnekleme Frekansının Etkisinin İncelenmesi .....                 | 35        |
| <b>3.FAGOT İLE YAPILAN ÇALIMLARDA KAMIŞLARIN AKUSTİK</b>              |           |
| <b>ÖZELLİKLERİ .....</b>                                              | <b>37</b> |
| 3.1.Farklı Kamışlara Ait Frekans Değerlerinin Karşılaştırılması ..... | 37        |
| 3.1.1.Si notası .....                                                 | 38        |
| 3.1.1.1.Farklı kanallar arasındaki tutarlılık.....                    | 38        |
| 3.1.1.2.Kamışların karşılaştırılması .....                            | 40        |
| 3.1.2.Diğer notalara ait grafikler ve karşılaştırma .....             | 43        |
| 3.2.Kamışlarda Sertlik ve Yoğunluk .....                              | 45        |
| 3.3.Kamış Geometrisi Değişiminin Etkisinin İncelenmesi .....          | 46        |
| 3.3.1.Si Notası.....                                                  | 47        |
| 3.3.2.Diğer notalara ait grafikler ve karşılaştırma.....              | 49        |
| 3.4. Kamış Sertlik Değişiminin Etkisinin İncelenmesi.....             | 51        |
| 3.4.1.Si notası .....                                                 | 51        |
| 3.4.2. Diğer notalara ait grafikler ve karşılaştırma.....             | 53        |
| <b>4.MEKANİK AĞIZ KULLANILARAK AKUSTİK ÖZELLİKLERİN</b>               |           |
| <b>İNCELENMESİ .....</b>                                              | <b>56</b> |
| 4.1.Deney Sisteminin Kurulumu ve Ekipmanların Tanıtılması .....       | 56        |
| 4.1.1.Hava sistemi .....                                              | 57        |
| 4.1.3.Baskı sistemi.....                                              | 58        |
| 4.1.4.Anemometre.....                                                 | 59        |
| 4.1.5.Kompresör .....                                                 | 60        |
| 4.1.6.Debimetre .....                                                 | 61        |
| 4.1.7.Kamışlar .....                                                  | 62        |
| 4.2.Ölçüm Parametreleri .....                                         | 63        |
| 4.2.1.Mikrofon konumunun etkisinin incelenmesi .....                  | 63        |
| 4.2.2.Filtre Uygulanması .....                                        | 64        |

|                                                                                 |           |
|---------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>4.3.Ölçümler ve Sonuçlar .....</b>                                           | <b>65</b> |
| <b>4.3.1.Farklı dinamiklerdeki kamışlar için sonuçlar .....</b>                 | <b>65</b> |
| <i>4.3.1.1.Piano dinamiğinde elde edilen çalımlar için sonuçlar.....</i>        | <i>65</i> |
| <i>Organik kamış.....</i>                                                       | <i>66</i> |
| <i>Medium kamış.....</i>                                                        | <i>67</i> |
| <i>4.3.1.2. Mezza Forte dinamiğinde elde edilen çalımlar için sonuçlar.....</i> | <i>68</i> |
| <i>Organik kamış.....</i>                                                       | <i>68</i> |
| <i>Medium kamış.....</i>                                                        | <i>69</i> |
| <b>4.3.2.Hız değişiminin etkisinin incelenmesi.....</b>                         | <b>70</b> |
| <i>4.3.2.1.Organik kamış.....</i>                                               | <i>70</i> |
| <i>4.3.2.2.Medium kamış.....</i>                                                | <i>72</i> |
| <i>4.3.2.3.Medium-Hard kamış.....</i>                                           | <i>73</i> |
| <b>5.SONUÇLAR VE TARTIŞMA .....</b>                                             | <b>75</b> |
| <b>KAYNAKÇA.....</b>                                                            | <b>78</b> |
| <b>EKLER .....</b>                                                              | <b>82</b> |
| <b>ÖZGEÇMİŞ</b>                                                                 |           |

## TABLÖLER DİZİNİ

### Sayfa

|                                                                                                                                                              |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Tablo 2.1.</b> Mikrofonlar arasındaki mesafe değişiminin 'de elde edilen sonuçlar .....                                                                   | 24 |
| <b>Tablo 2.2.</b> Çalın yapılan yer ile mikrofonlar arasındaki mesafe değişiminde elde edilen sonuçlar .....                                                 | 25 |
| <b>Tablo 2.3.</b> Flattop penceresi fonksiyonunda kullanılan katsayıların değerleri .....                                                                    | 30 |
| <b>Tablo 3.1.</b> Notalara ait temel frekanslar .....                                                                                                        | 37 |
| <b>Tablo 3.2.</b> Olması gereken frekans değeriyle kamışlar arasındaki sapmalar .....                                                                        | 42 |
| <b>Tablo 3.3.</b> Kargı kamışı yoğunluk belirleme cihazına göre kamışların yoğunluk dereceleri sınıflandırması .....                                         | 45 |
| <b>Tablo 3.4.</b> Kargının sertlik değerlerine göre sınıflandırılması .....                                                                                  | 46 |
| <b>Tablo 3.5.</b> Farklı geometride kamışların olması gereken frekans değeriyle ölçümlerde gözlenen değerler arasındaki sapmaların yüzdesel değerleri .....  | 50 |
| <b>Tablo 3.6.</b> Farklı sertlikteki kamışların olması gereken frekans değeriyle ölçümlerde gözlenen değerler arasındaki sapmaların yüzdesel değerleri ..... | 54 |
| <b>Tablo 4.1.</b> Sistemde kullanılan anemometrenin özellikleri.....                                                                                         | 59 |
| <b>Tablo 4.2.</b> Kullanılan kompresörün özellikleri .....                                                                                                   | 61 |

## ŞEKİLLER DİZİNİ

### Sayfa

|                                                                                                              |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Şekil 1.1. Fagot.....                                                                                        | 3  |
| Şekil 1.2. Sesin zamana göre basınç değişimi .....                                                           | 5  |
| Şekil 1.3. Düşük ve yüksek frekanslı dalgalar için periyod .....                                             | 5  |
| Şekil 1.4. Saf sinüs sinyali (Basit ve periyodik).....                                                       | 7  |
| Şekil 1.5. İki sinüs sinyalinin birleşimi .....                                                              | 7  |
| Şekil 1.6. Kare dalga (karmaşık ama periyodik.....                                                           | 7  |
| Şekil 1.7. Rastgele sinyal (karmaşık ama periyodik değil) .....                                              | 8  |
| Şekil 1.8. a) Bir gitar telinin ileri geri hareketi b) Bir gitar telinin kompleks<br>biçimde titreşimi ..... | 8  |
| Şekil 1.9. Bir sinyal için örnekleme .....                                                                   | 10 |
| Şekil 1.10. İkili bir FFT örneği.....                                                                        | 12 |
| Şekil 1.11. Do notasına ait bir FFT grafiği.....                                                             | 13 |
| Şekil 2.1. Sistemde kullanılan ses kayıt cihazları a) mikrofon b) kalibratör [29] .....                      | 20 |
| Şekil 2.2. Kullanılan veri toplama sistemi a) GN 7t şasi b) GN816 kartı c)<br>Kullanıma ait görsel .....     | 21 |
| Şekil 2.3. Ölçümlerin gerçekleştirilmesi için düşünülen mekân .....                                          | 22 |
| Şekil 2.4. Mikrofonların Yerleştirilmesi.....                                                                | 22 |
| Şekil 2.5. Sistemde kullanılan ekipmanların yerleşim şeması.....                                             | 23 |
| Şekil 2.6. Mikrofonlar arasındaki mesafe değişiminin etkisinin grafik gösterimi .....                        | 24 |
| Şekil 2.7. Çalın yapılan yer ile mikrofonlar arasındaki mesafe değişimin ‘de elde<br>edilen sonuçlar .....   | 26 |
| Şekil 2.8. Perception programında yapılan ölçümlere ait bir ekran görüntüsü .....                            | 26 |
| Şekil 2.9. Yapılan ölçümlerden birine ait zaman-voltaj grafiği .....                                         | 27 |
| Şekil 2.10. Ölçümün Gsy grafiği a) 16384 veri ile b) 32768 veri ile c) 131072 veri<br>ile.....               | 29 |
| Şekil 2.11. Ölçümlerin 0-2000 Hz. aralığındaki değerleri için karşılaştırma.....                             | 29 |
| Şekil 2.12. Farklı pencere türlerine sahip Gsy grafikleri.....                                               | 32 |
| Şekil 2.13. Farklı pencere türlerine sahip Gsy grafikleri a) 60-70 Hz. b) 120-140<br>Hz. c) 515-535 Hz.....  | 33 |
| Şekil 2.14. Farklı pencere türlerine sahip Gsy grafiklerinin 2500-5000 Hz.<br>arasındaki gösterimi .....     | 33 |

|                                                                                                                                                                                                       |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Şekil 2.15.</b> Örneklem uzunluğunun Gsy değerlerine etkisi (Do Notası) a) 0-5000 Hz. b) 0-1000Hz.....                                                                                             | 35 |
| <b>Şekil 2.16.</b> Örneklem frekansının Gsy sonuçlarına etkisi a) 0-5000 Hz. b) 0-1000 Hz. ....                                                                                                       | 36 |
| <b>Şekil 3.1.</b> Si Notası için farklı kanal ölçümlerinin karşılaştırılması (organik) a) Temel frekans b) 3. harmonik c) 7. Harmonik.....                                                            | 39 |
| <b>Şekil 3.2.</b> Si Notası için farklı kanal ölçümlerinin karşılaştırılması a) Temel frekans (Sentetik M) b) 2. harmonik (Sentetik M) c) 3. Harmonik (Sentetik MH) d) 4. Harmonik (Sentetik MH)..... | 39 |
| <b>Şekil 3.3.</b> Farklı kanallara ait Gsy karşılaştırılması a) Organik b) Sentetik M c) Sentetik MH.....                                                                                             | 40 |
| <b>Şekil 3.4.</b> Si notasında Farklı kamış çeşitlerine ait harmoniklerin karşılaştırılması.....                                                                                                      | 40 |
| <b>Şekil 3.5.</b> Si notasında farklı kamışlara ait Gsy diyagramlar a) Temel frekans b) 1.harmonik c) 2.harmonik d) 3.harmonik e) 4.harmonik f) 5.harmonik.....                                       | 42 |
| <b>Şekil 3.6.</b> Farklı kamış çeşitlerine ait Gsy karşılaştırılması a) La notası b) Sol notası c) Fa notası d) Mi notası e) Re notası f) Do notası.....                                              | 44 |
| <b>Şekil 3.7.</b> a) Rieger-1a b) Rieger-2 c) Thunemann Fagot kamışı forması.....                                                                                                                     | 47 |
| <b>Şekil 3.8.</b> Si notasında Farklı geometrilere sahip kamışların harmoniklerinin karşılaştırılması .....                                                                                           | 48 |
| <b>Şekil 3.9.</b> Si notasında farklı geometrilere sahip kamışlara ait Gsy diyagramları a) Temel frekans b) 1.harmonik c) 2.harmonik d) 3.harmonik e) 4.harmonik f) 5.harmonik .....                  | 49 |
| <b>Şekil 3.10.</b> Farklı kamış geometrilerine ait Gsy karşılaştırılması a) La notası b) Sol notası c) Fa notası d) Mi notası e) Re notası f) Do notası.....                                          | 50 |
| <b>Şekil 3.11.</b> Si notasında farklı sertliklere sahip kamışların harmoniklerinin karşılaştırılması .....                                                                                           | 52 |
| <b>Şekil 3.12.</b> Si notasında farklı geometrilere sahip kamışlara ait Gsy diyagramları a) Temel frekans b) 1.harmonik c) 2.harmonik d) 3.harmonik e) 4.harmonik f) 5.harmonik .....                 | 53 |
| <b>Şekil 3.13.</b> Farklı kamış geometrilerine ait Gsy karşılaştırılması a) Do notası b) Re notası c) Mi notası d) Fa notası e) Sol notası f) La notası .....                                         | 54 |
| <b>Şekil 4.1.</b> Deney sisteminin görünüşü .....                                                                                                                                                     | 56 |

|                                                                                                                                           |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Şekil 4.2.</b> Kamışa gelen hava sisteminin alttan görünüşü .....                                                                      | 57 |
| <b>Şekil 4.3.</b> Havanın doğrudan temasını önlemek amacıyla kullanılan kompozit<br>boru .....                                            | 57 |
| <b>Şekil 4.4.</b> Baskı sisteminin görseli.....                                                                                           | 58 |
| <b>Şekil 4.5.</b> Sistemde kullanılan manometre ve regülatör .....                                                                        | 59 |
| <b>Şekil 4.6.</b> Anemometre ve kamış arasındaki yerleşim.....                                                                            | 60 |
| <b>Şekil 4.7.</b> Sistemde kullanılan kompresör .....                                                                                     | 61 |
| <b>Şekil 4.8.</b> Sistemde kullanılan debimetre .....                                                                                     | 62 |
| <b>Şekil 4.9.</b> Sistemde kullanılan kamışlar.....                                                                                       | 62 |
| <b>Şekil 4.10.</b> Mikrofonların yerleşimi .....                                                                                          | 63 |
| <b>Şekil 4.11.</b> Mikrofon konumlarına göre elde edilen Gsy diyagramları .....                                                           | 64 |
| <b>Şekil 4.12.</b> Filtre kullanılmamış ölçüm ile a) Üç b) Dört c) Beşinci derece<br>butterworh filtresinin karşılaştırılması .....       | 65 |
| <b>Şekil 4.13.</b> Organik kamışı piano dinamiği a) 60 mbar 1.ölçüm b) 60 mbar<br>2.ölçüm c) 50 mbar 1.ölçüm d) 50 mbar 2.ölçüm.....      | 66 |
| <b>Şekil 4.14.</b> Medium kamışı piano dinamiği a) 50 mbar 1.ölçüm b) 50 mbar<br>2.ölçüm c) 42 mbar 1.ölçüm d) 42 mbar 2.ölçüm.....       | 68 |
| <b>Şekil 4.15.</b> Organik kamışı mezzo-forte dinamiği a) 1.ölçüm b) 2.ölçüm .....                                                        | 69 |
| <b>Şekil 4.16.</b> Medium kamışı mezzo-forte dinamiği a) 50 mbar 1.ölçüm b) 50 mbar<br>2.ölçüm c) 42 mbar 1.ölçüm d) 42 mbar 2.ölçüm..... | 70 |
| <b>Şekil 4.17.</b> Organik Kamışta 3,3-3,7 hız aralığında frekans değerlerinin hıza bağlı<br>olarak değişimi.....                         | 71 |
| <b>Şekil 4.18.</b> Organik Kamışta 4,3-4,7 hız aralığında frekans değerlerinin hıza bağlı<br>olarak değişimi.....                         | 71 |
| <b>Şekil 4.19.</b> Medium kamışta ilk pik frekans değerlerinin hız değişimine bağlı<br>olarak grafiği.....                                | 72 |
| <b>Şekil 4.20.</b> Medium kamışta maksimum pikteki frekans değerlerinin hız<br>değişimine bağlı olarak grafiği .....                      | 72 |
| <b>Şekil 4.21.</b> Medium kamışta a)3,2 b)3,3 c)3,4 d)3,5 e)3,6 m/s hızındaki ölçüme ait<br>Gsy grafiği .....                             | 73 |
| <b>Şekil 4.22.</b> Medium-Hard kamışta Frekans değerlerinin hıza bağlı olarak değişimi .....                                              | 74 |
| <b>Şekil 4.23.</b> Medium-Hard kamışta a)3,3 b)3,4 c)3,5d)3,6 m/s hızındaki ölçüme ait<br>Gsy grafiği .....                               | 74 |

## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

|     |                                                       |
|-----|-------------------------------------------------------|
| Gfy | : Güç Frekans Yoğunluğu                               |
| M   | : Medium                                              |
| MH  | : Medium-Hard                                         |
| FFT | : Fast Fourier Transform (Hızlı Fourier Dönüşümü)     |
| Dft | : Discrete Fourier Transform (Ayrık Fourier Dönüşümü) |
| VTs | : Veri Toplama Sistemi                                |
| Sn  | : Saniye                                              |

## 1.GİRİŞ

Müzik fiziği, henüz ülkemizde yeterince ilgi görememiş ve üzerinde çok fazla çalışma yapılmamış alanlardan biridir. Aksine başta Avrupa ülkeleri olmak üzere yurtdışı ülkeler müzik aletlerinin çalışma prensiplerini mühendislik yaklaşımları ile ayrıntılı olarak incelenmiş, özel yöntemlerle yapılarının titreşimleri araştırılmış, oluşan sesin ve kaynağının yapılarıyla ilgili birçok tespitlerde bulunulmuştur. Müzik aletleri hakkında yapılan bu incelemeler sonucunda daha doğru çalma teknikleri geliştirilmiş ve müzisyenler enstrümanlarını bu çalışmalara göre düzenlemeye çalışmıştır.

Ses bir kaynaktan üretilir ve iletici ortam aracılığıyla alıcıya aktarılır. Bu olay tamamen fiziğe bağlı olarak gerçekleştiğinden dolayı ses dalgalarının matematiksel olarak incelenmesi mümkündür. Matematiksel yöntemlerden farklı enstrümanlar arasında ses karşılaştırılması, enstrümanların çalınmasında kullanılan yardımcı elemanların performansının belirlenmesi gibi birçok faktörde yararlanılmıştır. Frekans spektrumundaki sayısal değerlerin ve dalga yapısının incelenmesi bir sesin “doğru ses” ya da “yanlış ses” olduğu hakkında bilgi vermektedir.

Bu çalışmanın amacı, bir müzik aleti olan fagotun çıkardığı sesin oluşumunda en önemli etkiye sahip olan ve ağızlık ya da kamış olarak adlandırılan yapının fagot ile çalınmasında organik ve sentetik kamışlar arasındaki değişimi, farklı geometri ve sertlik değişiminin etkisini frekans spektrumuyla incelemektir. Bir diğer amaç ise kamışın kurulan deney sistemi amacıyla farklı baskı ve farklı kamış çıkış hızlarındaki değişiklikleri yine frekans spektrumunun incelenmesiyle analiz edilmesidir.

Birinci bölümde sesin ve müziğin, fizik bilimi ile olan ilişkisi incelenmiş ayrıca Fourier dönüşümü hakkında bilgi verilmiştir ve bu tezin yapılmasındaki amaç ve gereklilik üzerinde durulmuştur. İkinci bölümde yapılacak ölçümler ve analizler için uygulanacak olan parametre seçimlerinin nelere bağlı olarak gerçekleştirildiği ve farklı parametreler kullanılması durumunda elde edilen farklılıklar belirtilmiştir. Üçüncü bölümde ise fagot ile yapılan çalılarda elde edilen sonuçlar verilmiştir ve bunların nedenleri açıklanmaya çalışılmıştır. Dördüncü bölümde ise kurulan deney sistemi



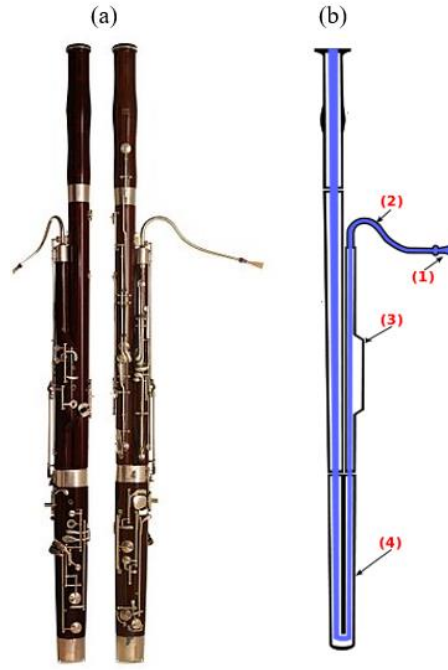
aracılığıyla yapılan ölçümlerdeki değişiklikler ve nedenleri açıklanmaya çalışılmıştır. Beşinci bölümde ise elde edilen veriler yorumlanarak, hangi değerlerin kriterlere uygun olduğu tespit edilmeye çalışılmıştır.

### **1.1.Fagot Yapısı ve Fiziksel Özellikleri**

Fagot, ahşap nefesli bir çalgı aletidir. Fagot, çift kamışlı ve tek parçalı bir enstrüman olan Curtal'dan, 16.yüzyıl'da Avrupa'da türemiştir. Ses aralığı 3,5 oktav olan akçaağaç ve metal borudan yapılan fagotun uzunluğu 1,3 metre, borunun açılmış haliyle 2.5 metredir. Ana hatlarıyla fagot, konik biçimde oyulmuş ve ikiye katlanmış bir borunun geliştirilmiş halidir. Genellikle akçaağaçtan yapılır. Dört parçanın birleşmesinden oluşur.

- Kalak
- Çizme (çift borulu bölüm)
- Bas (veya Uzun)
- Tenor

Çizme bölümü en alttadır. Çizmenin içi yan yana oyulmuş ve alttan birbirine "U" şeklinde bağlanmış iki borudan oluşur. Çizmenin üzerine kanat ve bas bölümü yan yana takılır. Bas bölümün üstüne de kalak eklenir. Kalak bölümünün en üstüne "S" şeklinde kıvrılmış metal bir boru takılır. "Es borusu" denilen bu borunun ucuna da kamış takılır. Sol el yukarıda, yan yana olan kanat ve bas bölümlerinin perdelerini denetleyebilecek şekilde, sağ el ise aşağıdaki çizme bölümünü üzerindeki perdeleri kullanabilecek şekilde tutulur. Bu tutuş, en üstteki kalak bölümü sol omuz yönüne, en alttaki çizme bölümü ise sağ kalça yönüne olmak üzere çapraz biçimdedir. Fagot, çalıcının boynuna takılan askı ile desteklenir [1]. Fagotun resmi ve bölümleri Şekil 1.1 (a ve b'de) verilmiştir.



Şekil 1.1. Fagot [1]

Bu çalışmadaki fagot ile yapılan deneyler 'de (3.Bölüm) Yamaha marka YDF-812 C model fagot kullanılmıştır. Bu testlerde Heckel marka CD2 model Es borusu kullanılmıştır. Fagot enstrümanı ile yapılan deneyler Anadolu Üniversitesi/Devlet Konservatuarı/Müzik Bölümü/Üflemeli ve Vurmalı Çalgılar Ana sanat Dalı öğretim üyesi Doç. Emre Hopa tarafından gerçekleştirilmiştir.

## 1.2.Kamışlar ve Özellikleri

Fagotun ses rengi, entonasyonu, artikülasyonu, nefes ve ses kontrolü ile yakından bağlantılı olan fagot kamışının yapımı çalınan eserlerin doğruluğu için önemli bir rol oynamaktadır. Fagot kamışı yapımında organik ve sentetik olmak üzere iki farklı kamış türü bulunmaktadır. Kullanım süresi organik kamışın yapımında kullanılan kargının kalitesine, nem, kamışın sertliği ve kullanım koşullarına göre değişiklik göstermesine karşın genellikle ömrü bir ay ile sınırlıdır [2].

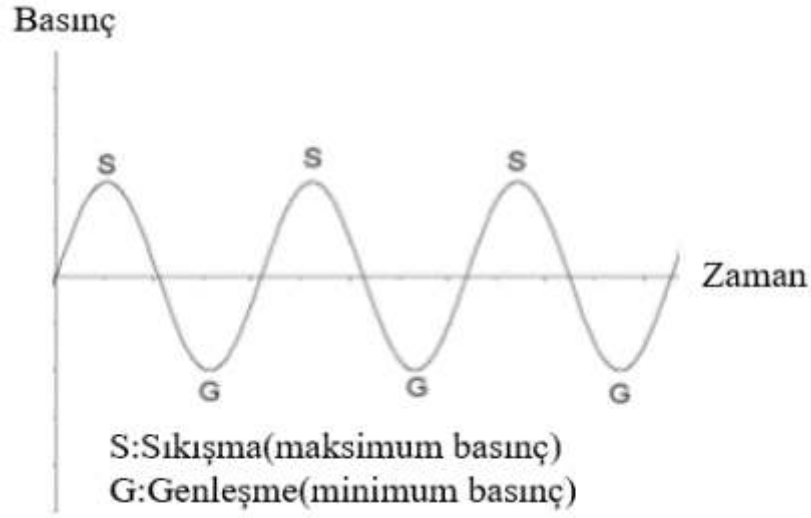
Sistemde kullanılan kamış çeşitleri Anadolu Üniversitesi/Devlet Konservatuarı/Müzik Bölümü/Üflemeli ve Vurmalı Çalgılar Ana sanat Dalı öğretim üyesi Doç. Emre Hopa tarafından hazırlanmıştır. Ölçümlerde organik fagot kamışı forması olarak George Rieger Marka 1a, 2 ve Thunemann kamış formları, Sentetik fagot kamışı olarak Legere marka Medium ve Medium-Hard fagot kamışı kullanılmıştır.

### **1.3.Müzik Fiziği**

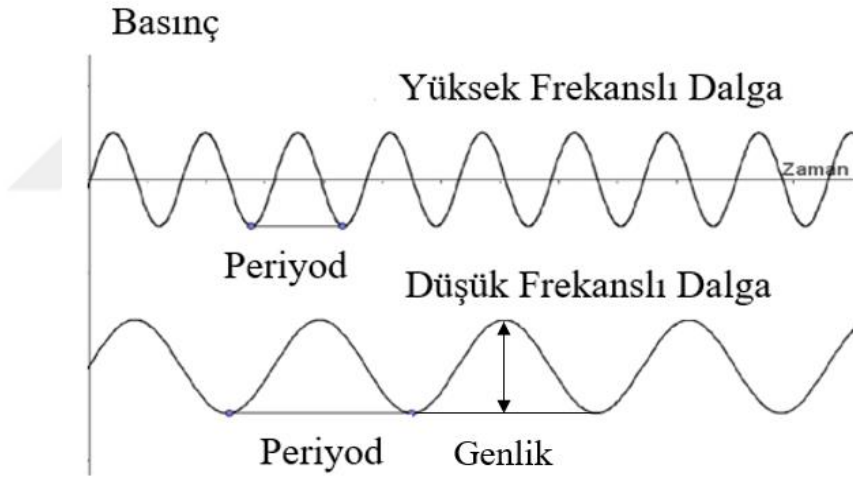
#### **1.3.1.Sesin oluşumu ve özellikleri**

Ses belirli bir kaynaktan oluşur ve bu sesin iletilmesi iletici bir ortam (çoğunlukla hava) ile sağlanır. İletilen bu ses mikrofön veya kulak tarafından algılanır ve böylece müzik fiziğinin üç temel ögesi olan kaynak, iletim ortamı ve alıcı tamamlanmış olur. Sesin oluşabilmesi için her zaman bir kaynağın titreşimine gerek duyulur. Kaynağa yakın bulunan hava molekülleri kaynak tarafından oluşturulan titreşime uyacak şekilde titreşmeye başlarlar. Titreşen hava molekülleri titreşimi bir başka hava molekülüne aktararak diğer molekülleri de harekete geçirir. Böylece kaynak tarafından oluşturulan titreşim hareketi ortam içinde yayılır ve alıcı tarafından algılanır [3-5].

Ses iletilirken ortamda bulunan herhangi bir kısımda basıncın zamana bağlı olarak değişimi belirlenebilir. Bu grafik Şekil 1.2’de verilmiştir. Basıncı denge konumundan yüksek ise sıkışma denge konumundan aşağıda ise genleşme olarak adlandırılır. Şekil 1.2’de görüldüğü gibi basınç değişimi maksimum basınç-minimum basınç şeklinde kendini tekrar eden yapıya sahip ise titreşim periyodik olarak adlandırılır. Basıncın denge konumuna göre olan uzaklığına genlik (İng. Amplitude) denir. Genlik terimi bazı durumlarda maksimum genliği ifade etmektedir [5]. Sesin kuvvetliliğini veya hafifliğini ifade eden terime ise gürülük denir. Genlik sesin gürülüğünü belirtir. Bir ses dalgası için maksimum genliğin gösterimi Şekil 1.3’te verilmiştir.



Şekil 1.2. Sesin zamana göre basınç değişimi [3]



Şekil 1.3. Düşük ve yüksek frekanslı dalgalar için periyod [4]

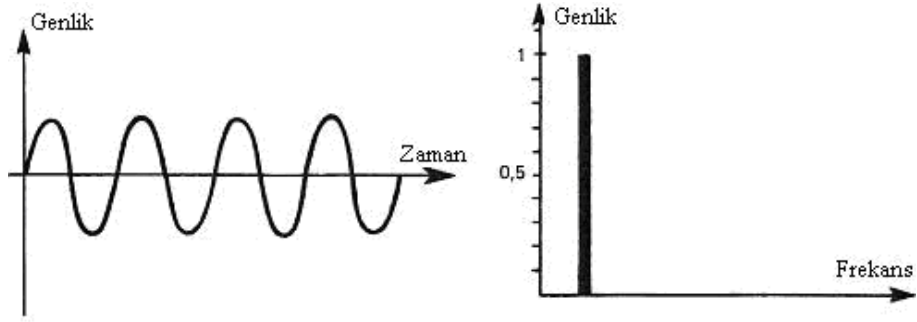
Periyod(T), iki maksimum basınç ya da iki minimum basınç arasında geçen zaman olarak tanımlanır. Frekans ise belirlenen zaman aralığında (genellikle bir saniye) kaç kere salınım gerçekleştiğini (zaman aralığında görülen maksimum ya da minimum

basınç sayısı) gösterir. Frekans için uluslararası bir ölçü birimi olan Hertz [Hz] kullanılır ve 1 Hertz bir saniyede bir döngünün meydana geldiğini gösterir.

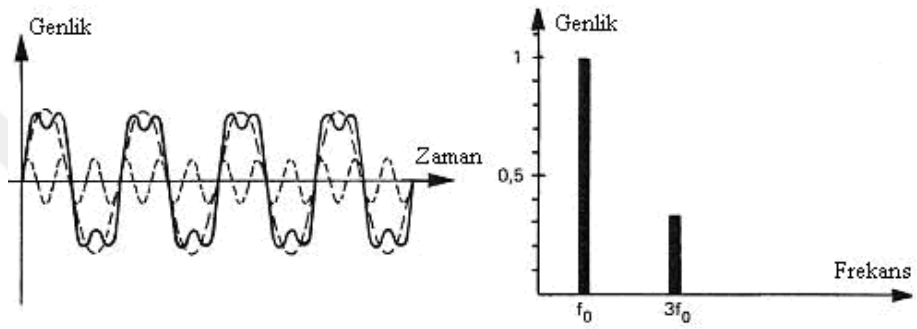
Ses kaynak tarafından oluşturulan titreşimin moleküllerin birbirine aktarmasıyla iletildiğinden dolayı iletici ortam içerisindeki tüm moleküller kaynağın titreşim frekansı ile aynı olacak şekilde titreşir ve sonuç olarak alıcıya ulaşan titreşim ile kaynak tarafından oluşan titreşimin frekansı değişmez.

### **1.3.2.Frekans analizi**

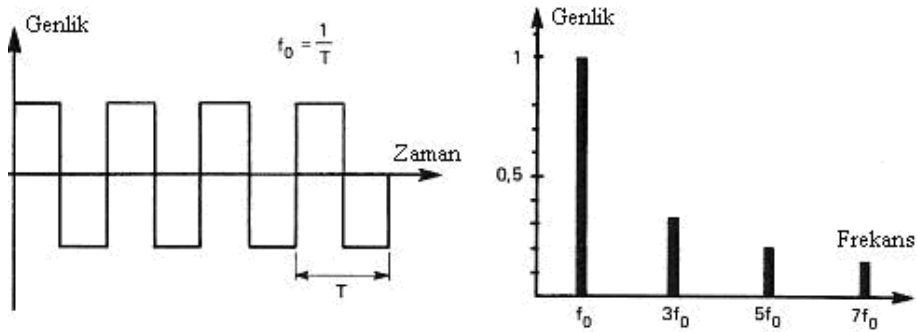
Yukarıda anlatıldığı gibi bir sesin oluşabilmesi için titreşim gereklidir. Ancak genellikle ses dalgaları tek bir titreşimden oluşmaz. Bunun yerine farklı frekanslara sahip çok sayıda titreşimin birleşmesiyle oluşur. İletici ortam içinde hareket eden iki ses dalgası bir araya geldiği zaman oluşan yeni dalga genliği bu iki dalga genlikleri toplamı olmaktadır. Yani birçok ses dalgası bir araya geldiğinde birbirinin genliğini yükseltebilir veya alçaltabilir. Fourier ise, ses ne kadar karmaşık olursa olsun tüm periyodik fonksiyonların artan frekans değerlerinin toplanmasıyla ifade edilebileceğini göstermiştir. Fourier bu toplamı elde ederken sinüs ve kosinüs fonksiyonlarını kullanmıştır. Örneğin Şekil 1.6'da verilen kara dalga genliği sıfırdan farklı temel frekans ve bunun ardışık katlarını içeren sonsuz sayıda sinüs eğrisinin toplanmasıyla elde edilebilir. Aşağıdaki Şekil 1.4 ve Şekil 1.7 arasında dört farklı sinyale ait grafikler verilmiştir. Bu şekillerde birinci grafik bir titreşimde zamana bağlı olarak değişen basıncı, ikinci grafik ise bu titreşime ait frekansı göstermektedir [6].



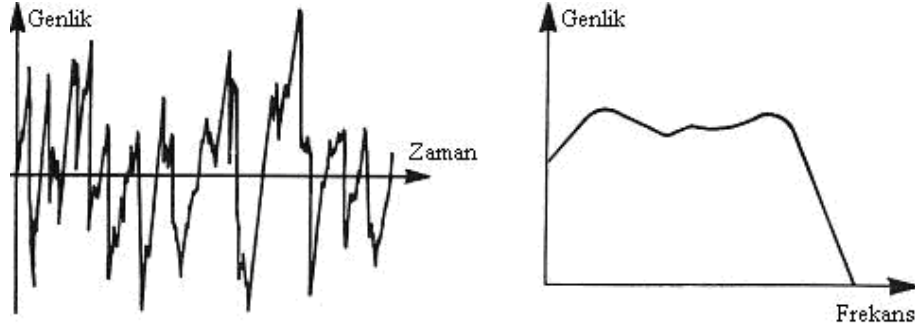
Şekil 1.4. Saf sinüs sinyali (Basit ve periyodik) [6]



Şekil 1.5. İki sinüs sinyalinin birleşimi [6]



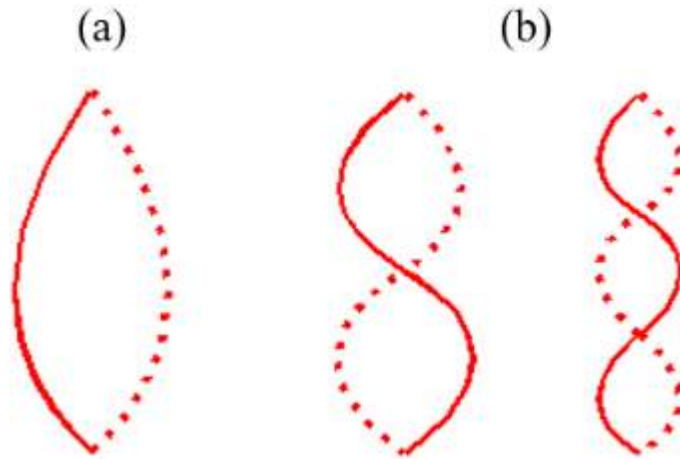
Şekil 1.6. Kare dalga (karmaşık ama periyodik) [6]



Şekil 1.7. Rastgele sinyal (karmaşık ama periyodik değil) [6]

### 1.3.2.1. Harmonikler ve inharmonikler

Harmonikleri anlamak için bir gitar telinin hareketi ele alınmaktadır. İki ucu sabitlenmiş bir gitar teli ilk olarak ileri ve geri olmak üzere hareket edebilmektedir. Veya telin her yarım veya üçte birlik parçasının komşusuna göre ters yönde hareket ettiği daha kompleks biçimlerde titreşebilir. Bu hareket ve titreşim Şekil 1.8 (a ve b'de) gösterilmiştir. Sonuç olarak gitar teli belirtilen hareketlerin hepsini ve sonsuz sayıda farklı hareketi aynı anda gerçekleştirir. Her bir titreşimin kendine ait bir frekansı ve genliği oluşmaktadır [7].



Şekil 1.8. a) Bir gitar telinin ileri geri hareketi b) Bir gitar telinin kompleks biçimde titreşimi [7]

Şekil 1.8'a da verilen hareket temel frekans olarak adlandırılmaktadır. Daha sonraki titreşimler temel frekansın ardışık katları olacak şekilde oluşan basit dalgalar ve bu dalgalar harmonik olarak adlandırılmaktadır. Müzik notaları, belirli bir notanın iki harmoniğinin gücü ardışık oktavlara karşılık gelecek şekilde oktavlar halinde düzenlenir. Ses analiz edilerek, notada hangi frekansların ve dolayısıyla hangi harmoniklerin bulunduğunu belirlemek mümkündür. Harmoniklerin genlikleri, üretilen sesin kalitesini belirler ve enstrümandan enstrümana farklılık gösterir [7]. Enstrümanlar tamamen mükemmel olmadığından, yüksek harmoniklerin biraz uyumsuz olması alışılmadık bir durum değildir. Bu değişim, bu deneyle ilgili frekanslar için genellikle 10 Hz'den fazla değildir. Çok daha yüksek harmoniklerin bazıları, harmoniğin değerinden 30-40 Hz. kadar yüksek veya düşük olabilir, ancak bu harmonikler bu çalışmanın odak noktası değildir.

Bir sesin Fourier ayrıştırılması, içerdiği frekansların analizine izin verir. Bu çalışmada, genlikleri ve frekansları gözlemlemek için Fourier analizini kullanılmıştır. Bu, genliği 0 Hz. ile 5000 Hz. arasındaki tüm frekanslarda görüntülemeyi mümkün kılmıştır [7].

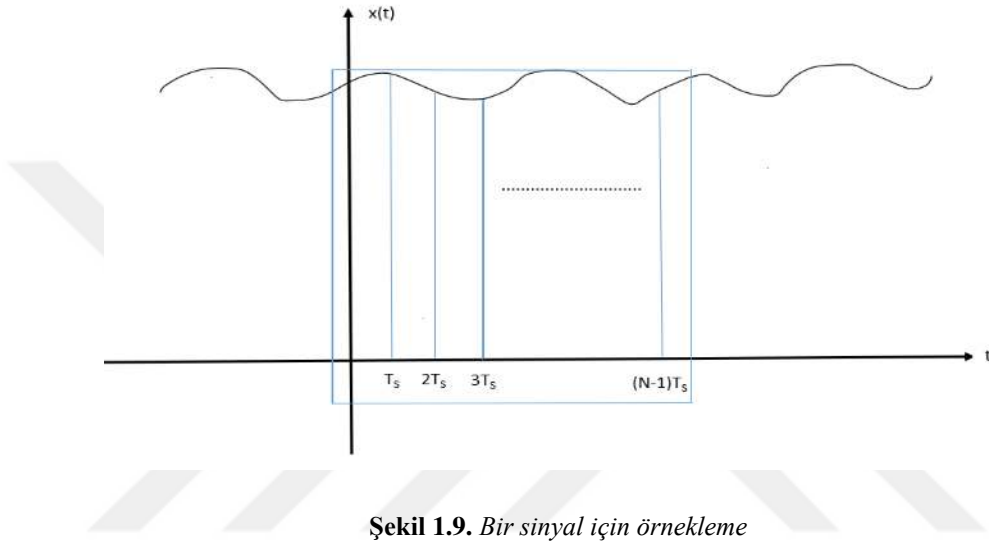
### **1.3.3.Fourier dönüşümü**

Fourier dönüşümü ilk yıllarda uzun işlemler içermesinden dolayı sayısal sistemlerde kullanılması mümkün olmamıştır. Ancak ilerleyen yıllarda karmaşık işlemlerin yapılmasına olanak sağlayan sistemlerin ucuzlaması ve yaygınlaşması ile Fourier dönüşümünün sayısal sistemlere uygulanması konusunda çalışmalar yapılmıştır. Yapılan çalışmalar özellikle çok fazla sayıda matematiksel işlem gerektiren ayrık zamanlı Fourier dönüşümünün (İng. Discrete Fourier Transform-DFT) işlem sayısını azaltmak üzerine olmuştur. Bu konuda dönüm noktası, parçala ve hesapla mantığına dayalı olan Cooley-Tukey algoritması olmuştur. Şekildeki gibi sürekli zamanda bir sinyal için Fourier dönüşümü aşağıdaki gibi verilmektedir (Şekil 1.9). Şekil 1.9'da bir



sinyal için örneklemenin nasıl yapıldığı gösterilmiştir. Zaman uzayında Fourier dönüşümü Formül 1.1 ile ifade edilir.

$$X(jw) = \int_{-\infty}^{\infty} x(t)e^{-j\omega t} dt \quad (1.1)$$



Şekil 1.9. Bir sinyal için örnekleme

Bu sürekli zaman sinyalinden  $T_s$  aralığımız olacak şekilde  $f[0], f[1], f[2], \dots, f[N-1]$  şeklinde  $N$  tane örnek alındığında Fourier dönüşümü aşağıdaki hale dönüşür.

$$X(jw) = \sum_{n=0}^{N-1} x[n]e^{-jwnT_s} \quad (1.2)$$

Bu işlemle zaman uzayı ayrıklaştırılmış olur. Bir diğer aşama frekans uzayını ayrıklaştırmak olacaktır. Yukarıda şekilde kare içinde verilen alan seçilen bir periyod olsun. Bu durumda periyod  $NT_s$  temel açısal frekans ise  $2\pi/NT_s$  olacaktır. Bu durumda  $w$  değerlerini harmonikleri de içerecek şekilde  $0, 2\pi/NT_s, 2 \times 2\pi/NT_s, (N-1) \times 2\pi/NT_s$

şeklinde olacaktır. Bu  $w$  değerlerini formül 1.2’de yerine yazdığımız zaman ayrık Fourier dönüşümü (discrete Fourier Transform -DFT) olarak adlandırılan formül elde edilir.

$$X[k] = \sum_{n=0}^{N-1} x[n] e^{-jnk \frac{2\pi}{N}} \quad (1.3)$$

Yukarıdaki formül N-nokta için ayrık Fourier dönüşümü olarak adlandırılır ve hesaplanmasında yukarıdaki formül yerine daha kolay hesaplama sağlayan aşağıdaki matris formu tercih edilir.

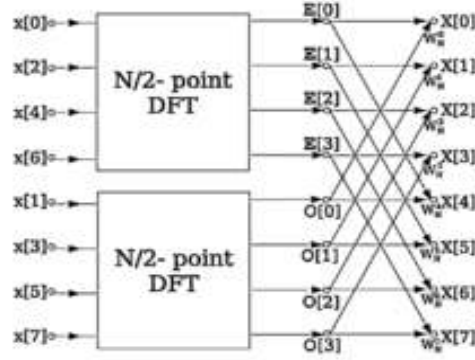
$$\begin{pmatrix} X[0] \\ X[1] \\ X[2] \\ X[3] \\ \vdots \\ X[N-1] \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & \dots & 1 \\ 1 & w & w^2 & w^3 & \dots & w^{N-1} \\ 1 & w^2 & w^4 & w^6 & \dots & w^{2(N-1)} \\ 1 & w^3 & w^6 & w^9 & \dots & w^{3(N-1)} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 1 & w^{N-1} & w^{2(N-1)} & w^{3(N-1)} & \dots & w^{(N-1)^2} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x[0] \\ x[1] \\ x[2] \\ x[3] \\ \vdots \\ x[N-1] \end{pmatrix}$$

Ayrık zamanlı Fourier dönüşümü (DFT), içerdiği algoritmalar sayesinde titreşim analizi ve titreşim sorunlarının giderilmesi, mühendislikteki rulman hatalarının hesaplanması, ses filtreleme, frekans spektrumu analizi gibi birçok alanda kullanılmaktadır [8].

#### 1.3.4.Hızlı Fourier Dönüşümü

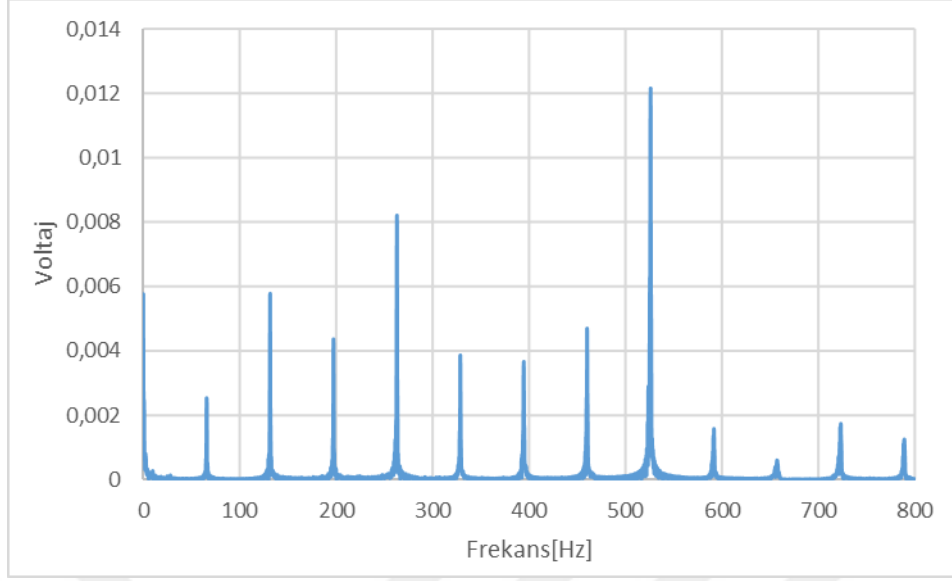
Ayrık zamanlı Fourier dönüşümü birçok alanda kullanılmasına rağmen veri boyutunun büyük olduğu (binler ve milyonlar mertebesi) veya yuvarlama hatasının bulunduğu durumlarda hesabı hızlı ve pratik değildir. Bu nedenle ilerleyen yıllarda yine bir dizinin ayrık Fourier dönüşümü ya da ters ayrık Fourier dönüşümüne hesaplayan ancak hesap yöntemiyle bunlardan daha hızlı olan Hızlı Fourier dönüşümü (İng. Fast Fourier Transform-FFT) geliştirilmiştir. FFT algoritmaları DFT dönüşüm matrisinin seyrek matrislere ayrıştırılması ile çalışır. Bu şekilde DFT’nin karmaşıklığı  $O(N^2)$ ’den

$O(N \log N)$ 'e düşürülebilmektedir; burada  $N$  veri boyutunu ifade eder [9]. Şekil 1.10'da ikiye bölmeli bir FFT örneği gösterilmiştir [9].



Şekil 1.10. İkiye bölme bir FFT örneği [9]

Yapılan ölçümlere ait değerler Matlab programı aracılığıyla uygun kod yazılarak FFT çıkarma işlemi gerçekleştirilmiştir. Matlab programında kullanılan kod EK 1'de verilmiştir. Ayrıca yapılan Ölçümlere ait bir FFT grafiği Şekil 1.11'de gösterilmiştir. Şekildeki FFT grafiği 2 sn. olarak 10 kHz değerinde Do notasına ait bir çalının bir FFT grafiğidir. Grafikte sadece 800 Hz'e kadar olan harmonik değerleri verilmiştir. Şekil 1.11 incelendiği zaman do notasının temel frekans değeri olan 65,41 Hz. değeri grafikte okunmuş ve bu frekans değerine ait harmonikler grafiğin geri kalanında açıkça görülmüştür. Ancak bu grafik genlik değerini voltaj olarak verdiği için analizler için uygun değildir ve bu genlik değerlerinin güç spektral yoğunluğu kullanılarak frekans bileşenlerindeki güç ve enerji belirlenmelidir.



**Şekil 1.11.** Do notasına ait bir FFT grafiği

#### 1.4.Güç Spektral Yoğunluğu (Gsy)

Güç spektrumu, bir sinyale ait çeşitli frekans bileşenlerinin büyüklüğünün bir temsidir. Spektruma bakarak, sinyalin frekans bileşenlerinde ne kadar enerji veya güç bulunduğunu bulunabilir. Güç spektrumu analizi, bir sinyal hakkında kritik bilgiler sağlayan önemli bir araçtır. Bir sinyalin güç spektrumu kavramı ve kullanımı mühendislikte, iletişim sistemlerinde, mikrodalga ve radarlarda çok önemlidir. Güç spektrumunu oluşturmak için birkaç teknik vardır. Bunlardan biri Fourier dönüşümünü kullanmaktır. Dalgacık dönüşümü veya maksimum entropi yöntemi gibi diğer teknikler de deneysel verilerin sayısallaştırılmasıyla kullanılabilir.

##### 1.4.1.Güç spektral yoğunluğun FFT kullanılarak hesaplanması

Güç spektrumu analizi, bir sinyalin çeşitli frekans bileşenlerinin büyüklüğünü temsil etmek için FFT kullanır. Spektrumu gözlemleyerek, sinyalin farklı frekans bileşenlerinde ne kadar enerjisi veya gücü olduğu bulunabilir. Güç spektrumu, gücü her bir frekans hattında ortalama kare genlik olarak gösterir, ancak faz bilgisi içermez. Güç

spektrumu faz bilgisini kaybettiğinden, bir sinyalin hem frekansını hem de faz bilgisini görüntülemek için güç spektral yoğunluğunun yanında FFT 'de kullanılmalıdır.

$$P_S = |FFT(x(t))|^2 \quad (1.4)$$

### 1.5.Müzikte Dinamikler

Dinamik, bir sesin veya notanın şiddetini ifade eder. Terim, dinamikleri belirtmek için kullanılan yazılı veya basılı müzik notalarına da uygulanır. Dinamikler görecelidir ve belirli ses seviyelerine atıfta bulunmaz.

Ana dinamik seviyeler şunlardır;

- Düşük ses olarak nitelendirilen piano(p)
- Şiddetli ses olarak nitelendirilen forte(f)

Bunların yanında orta derecede gürültülü anlamına gelen mezzo-forte(mf) dinamikleri bulunur.

### 1.6.Literatür Özeti

Kamış kullanılan enstrümanlar ile yapılan en eski çalışmalardan biri Weber [10] tarafından 1830 yılında yapılmıştır. Çalışmaları esas olarak borulu orglardaki metal kamışlarla ilgiliyken Weber org borularındaki metal kamışlar tarafından yaratılan doğal frekansı hesaplamıştır. Weber bu çalışmasıyla kamış ve havanın belirli kombinasyonlarıyla belirli frekansların yakalanabildiği kanıtlamıştır.30 yıl sonra Hemholtz [11] yaptığı çalışmada salınımların sadece kamışın doğal frekansına yakın değerlerde çalımlar yapıldığı zaman oluştuğunu belirtmiştir. 1963'te John Backus [12], salınım eşiğine yakın çok küçük genlikler için geçerli olan klarnet salınımlarının doğrusal bir teorisini sunmuştur. Yaptığı çalışmayla eşikteki üfleme basıncını ve eşikteki salınım frekansını hesaplayabilmiştir. Backus ayrıca yaptığı bu çalışmada hava sütununa akışın kamış ucu açıklığı ve kamış boyunca meydana gelen basınç değişiminin bir fonksiyonu olduğunu hesaplamıştır. Akışın her iki değişkenin de doğrusal olmayan bir fonksiyonu olduğunu bulmuştur ve bununla ilgili formülü geliştirmiştir. Nederveen

[13], Backus 'un teorisini çift kamışlar için genişletmiştir ve çift kamışlardan geçen akışın yine kamış boyunca meydana gelen basınç farklılığı ile kamış ucu açıklığının bir fonksiyonu olduğunu bulmasına rağmen bu fonksiyonun tek kamışlar için elde edilenden farklı olduğunu göstermiştir. Ancak yaptığı bu çalışmada doğrusal olmamanın etkilerini hesaba katmamıştır. Yapılan bu çalışmaların tamamı hesaplamalarında tüm müzikal aletlerde bulunan genlik ve spektrum kararlılığı arasındaki ilişkiyi açıklayamamıştır. Bu ilişkinin açıklanabilmesi için enstrümanlarda yer alan keskin köşelerden ya da enstrüman parçalarındaki birleşim yerlerinden dolayı oluşan doğrusal olmamanın etkilerinde hesaba katılması gerekmektedir. 1929 yılında Henri Bouasse [14] üflemeli çalgılar üzerinde yaptığı çalışmada enstrümanlardaki salınımların sürdürülebilmesi için kamışın öneminden bahsetmiştir. Yaptığı bu çalışmada herhangi bir formül geliştirmese de kamış içerisinde görülen bu doğrusal olmamanın etkilerini ifade eden birçok gözlem sunmuştur. Doğrusal olmayan hesaplamalar konusunda yapılan ilk çalışmalardan biri Benede ve Gans [15] tarafından yapılmıştır. Bu çalışmayla bakır enstrümanlarda görülen salınımlar hakkında doğrusal olmayan davranışlarını içeren birçok formül geliştirmişlerdir. Yapılan bu çalışmadan sonra Fletcher [16] benzer bir çalışma yapmıştır. Fletcher, org borularında hem geçici hem de kararlı basınç spektrumlarını tahmin edebilen bir teori geliştirmiştir. Teorisinde boru içerisindeki akışın ağız kısmındaki dalganın hızı tarafından kontrol edildiğini göstermiştir. Ancak Fletcher 'in yaptığı bu çalışma akışı kamış içerisindeki basınç değişimiyle kontrol edilen kamışlı müzik enstrümanlarına uygulanamamıştır. Schumacher [17] ilerleyen yıllarda, doğrusal olmama davranışlarını içeren bir integral denklem teorisi geliştirmiştir ve bu teoriyi hem org boruları hem de kamışlı çalgılar için uygun hale getirmiştir. Schumacher, ilerleyen yıllarda Worman Benade-Gans tarafından geliştirilen teorileri kamış ucundaki Bernoulli kuvvetinin ihmal edilebileceği kamış enstrümanları için düzenlemiştir. Şimdiye kadar özetlenen çalışmalar boyunca, tüm araştırmacılar, kamışın doğal frekansının, çalma frekansının yeterince üzerinde olduğunu ve kamış rezonansının çalım sürecinde aktif bir rol oynamadığını varsaymışlardır. Bununla birlikte müzik aletlerindeki salınımlarda genellikle kamış frekansının çalma frekansının

çok üzerinde olduğu varsayılmıştır. Thompson [18],1979’da yaptığı çalışmayla kamış rezonansının, kamış enstrümanlarının üst kayıtlarındaki salınımlarının korunmasında dinamik olarak önemli bir rol oynayabileceğini göstermiştir.

Kamışlı çalgılar üzerinde teorik olarak yapılan çalışmalardan biri de 1974’te Wilson ve Beavers [19] tarafında yayımlanan makaledir. Bu çalışmada kamış açıklığındaki alanın değişimin kamış içerisindeki basınç ile ağızda bulunan basınç arasındaki farklılıktan kaynaklandığını belirlemişlerdir. Bu çalışma ile ayrıca kamış içindeki hava debisinin kamış içerisindeki basınç ile ağızda bulunan basınç arasındaki basınç farkı, kamış açıklığındaki alan, kamışın rijitlik sabiti ve yoğunluğu içeren bir formül ile hesaplanabildiğini göstermiştir. Bu formül basit kamış modeli olarak adlandırılmıştır. 2005 yılında, Gilbert, Dalmont ve Guimezanes [20] kamış kanalını kapatmak için gerekli minimum basıncı ifade eden statik kamış yenme basıncı adı altında yeni bir basınç formülü geliştirmişlerdir ve bu formülü basit kamış modeline uygulayarak hava debisini birimsiz olarak ifade etmişlerdir. 1995 yılında yayımlanan makalede Wijnands and Hirschberg [21] çift kamışlı enstrümanlar için aynı modelin uygulanamayacağı belirtilmiştir. Bunun nedeni olarak çift kamışlı enstrümanlardaki akış yönü ile tek kamışlı enstrümanlardaki akış yönünün farklılığı olduğu öne sürülmüştür. Bu değişimin geliştirilen basit kamış modeli formüllerini önemli oranda değiştirebileceğini savunmuşlardır. En önemli farklılık olarak kamış kesitinin yerel minimumlarının, akışın duvarlardan ayrılmasına neden olabileceğini ve akışın yük kaybına uğradığını savunmuşlar ve bu durumda karakteristik eğrinin tek değerliden çok değerliye dönüşebileceğini ifade etmişlerdir. Bu tür değişikliklerin kamış salınımları üzerinde önemli sonuçları olabileceğini ortaya koymuşlardır.

2004 yılında André Almeida, Christophe Vergez ve René Caussé [22] yaptığı çalışmayla yapay bir ağzın üfleme mekanizması ve kamış için destek olarak kullanılabileceğini kanıtlamıştır. André Almeida, Christophe Vergez ve René Caussé [23] 2007 yılında yaptığı çalışmada yapay bir ağız ile bir ölçüm gerçekleştirmiş ve klarnet, obua ve fagot için basınç farkı (ağız ile kamış arasındaki) ile debi arasındaki

ilişkiyi incelenmiştir. Yaptıkları bu çalışmayla basit kamış modeli formülleri ile çift kamışlı enstrümanlar arasındaki farklılıkları belirlemeye çalışmışlardır. Karakteristik eğrilerin basit kamış modeli ile benzerlik gösteriyor olmasına rağmen, yüksek hacimli akışlarda önemli farklılıklar gösterdiği sonucuna ulaşmışlardır. Bu farklılıkların, kamışa giren hızın karesiyle orantılı olarak gelişen bir basınç geri kazanım modeliyle açıklanabileceği savunulmuştur. Yine Almedia ve arkadaşları [24], çift kamışlı enstrümanlarda görüntü analizinin kullanılarak, kamış davranışını araştırmak ve çalım koşullarında elde edilemeyecek kamış dinamiğinin bazı matematiksel modellerin hesaplamalarını gerçekleştirmiştir. Bu çalışmayla kamış açıklık alanının çift kamış arasında bulunan mesafeyle orantılı olarak değiştiğini göstermişlerdir.

Müzik aletlerinin frekans spektrumu özelliklerinin belirlenmesi konusunda yapılan çalışmalar ise literatürde çok fazla değildir ve bu konuda bir eksiklik mevcuttur. Serdar Yılmaz [25] yaptığı çalışmayla kanunda kullanılan ses tablasının akustik özelliklerinin incelenmesi konusunda yaptığı çalışmada FFT kullanılarak frekans spektrumu analizi gerçekleştirmiştir. Yapılan bu çalışmada ses tablası 4 farklı kalınlıkta incelenmiş ve 24 perde için frekans spektrumları çıkarılarak Fourier analizi yardımıyla harmonik değerlerin karşılaştırılması gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmaya benzer bir çalışma Kendall Millar [7] tarafından gerçekleştirilmiştir. Kendall yaptığı bu çalışmada obua için frekans spektrumu analizi yapmıştır. Bu çalışmada ilk olarak yumuşak ve orta sertlikteki organik kamışlar ile plastik kamış arasında bir karşılaştırılma yapılmıştır. Bu çalışma yapılırken her bir kamışta plastik ve tahta obua olmak üzere iki obua ile ölçüm gerçekleştirmişlerdir. Plastik kamışta organik kamıştan farklı olarak 16 KHz üzerinde hiçbir salınım görülmemiştir. Kamış tipinden bağımsız olarak yüksek harmonik değerlerde frekans sapmalarının daha fazla gerçekleştiğini görmüştür. Yine kamış tipinden bağımsız olarak frekans spektrumu incelendiğinde temel frekansın frekans spektrumundaki en yüksek genliğe sahip olmadığını belirlemiştir. En yüksek genlik değeri ikinci ya da üçüncü harmonikte görülmüştür. Çalışmanın ilerleyen kısımlarında, farklı obua malzemelerinin frekans spektrumuna etkisini ve farklı obuacılar tarafından gerçekleştirilen çalım sonucunda elde edilen farklılıkları incelenmiştir.



Timo Grethe [26] yaptığı çalışmada fagot kamışının özelliklerinin belirlenmesi amacıyla bir deney sistemi tasarlamıştır. Bu deney sisteminde yapay ağız olarak balonlar kullanılmıştır. Balonların ucuna sabitlenmiş bir fagot kamışı yerleştirilmiştir. Ayrıca kamışa uygulanan baskıyı hesaplayabilmek için kuvvet sensörleri monte edilmiştir. Bu çalışmada kamış içerisindeki basınç değişimi ile kamış açıklığı ve debi arasındaki ilişki farklı modeller için ayrı ayrı açıklanmıştır. Sonuç olarak kamış açıklığı ve debinin basınç farkının belirli bir değerinde maksimum olduğu ve bu değerden sonra azalarak sıfır değerine ulaştıklarını sonucuna ulaşmıştır. Yapılan bir diğer incelemede ise kamışın yapısı ve duvar kalınlığı nedeniyle dudak kuvvetinin eksenel konumunun kamışın merkez ekseninin kayması ve kamış giriş yüksekliği gibi parametrelerin karakteristik eğrilerini değiştirdiğini gözlemlemiştir. Yaptığı ölçüm sonuçlarını ayrıca önceden geliştirilmiş basit kamış modeli hesaplamalarıyla karşılaştırmıştır. Ayrıca bu çalışmada farklı fagot modellerindeki notaların hangi basınç ve hangi baskı kuvvetinde elde edildiği gösterilmiştir. Sonuç olarak çift kamışlı müzik enstrümanlarının frekans spektrumu analizi konusunda yapılan çalışmalar yetersiz ve sınırlı kalmıştır. Fagot kamışlarının frekans spektrumu farklılıklarını belirlemek amacıyla bu çalışma gerçekleştirilmiştir.

## **2.ÖLÇÜMLER İÇİN GEREKLİ ORTAMIN YARATILMASI**

### **2.1.Kullanılan Ekipmanlar ve Özellikleri**

#### **2.1.1.Mikrofonlar**

Mikrofonlar sesi elektrik sinyaline çeviren cihazlardır. Bir mikrofonun yapısı temel olarak üç elemandan oluşmaktadır ve bu parçalar birbirlerini etkileyerek mikrofonun çalışmasını sağlamaktadır [27]. Kasa, mikrofonun hasar görmesini engelleyen bir görev üstlenir ayrıca ses sinyalinin diyaframa iletilmesini gerçekleştirir. Diyafram kasa tarafından gönderilen ses dalgalarıyla titreşen ve titreşimini çeviriciye aktaran elemandır. Çevirici ise diyaframdan gönderilen titreşimi elektrik enerjisine çeviren parçadır. Çevirici mikrofonun hangi tip olduğunu belirleyen kısımdır [28]. Bütün mikrofonlar titreşime karşı tepki veren ve farklı şekillerde tasarlanmış diyaframa sahiptir. Diyafram sesin basıncındaki değişikliklere tepki vererek mekanik titreşim (içe veya dışa doğru hareket) gerçekleştirir. Bu titreşimler sonucunda mikrofonun çıkışında bir gerilim meydana gelir [29-31].

Sistemde kullanılan mikrofonlar fagottan çalınan müziğin kaydedilmesi için gereklidir. Kullanılacak olan mikrofonların sahip olması gereken özellikler aşağıda listelenmiştir.

- Her taraftan gelen seslere karşı eşit derecede hassas olmalıdır.
- Mikrofonun doğrudan ses kaynağına yönlendirilebildiği akustik uygulamalar için uygun olmalıdır.
- Yüksek doğruluğa sahip olmalıdır.
- Frekans aralığı ölçümlerin gerçekleştirileceği aralığa uygun olmalıdır.
- Uygun frekans aralığında mikrofon için Db cinsinden sapması düşük olmalıdır.
- Mikrofonların kalibrasyonu sağlanmış olmalıdır.

Bu çalışmada kullanılan mikrofon GRAS 146AE 1/2" CCP Serbest Alan (Free-field) mikrofondur. Bu mikrofondan üç adet mevcuttur ve ölçümlerde yerleştirildikleri konumlarına göre merkez, sağ ve sol olarak adlandırılmaktadır. Mikrofonların

kalibrasyonu GRAS 42AG ses kalibratör cihazı kullanılarak yapılmıştır. Kullanılan mikrofon ve kalibratörün görselleri sırasıyla Şekil 2.1 a ve b’de gösterilmiştir.



**Şekil 2.1.** Sistemde kullanılan ses kayıt cihazları a) mikrofon b) kalibratör [29]

### 2.1.2. Veri toplama sistemi

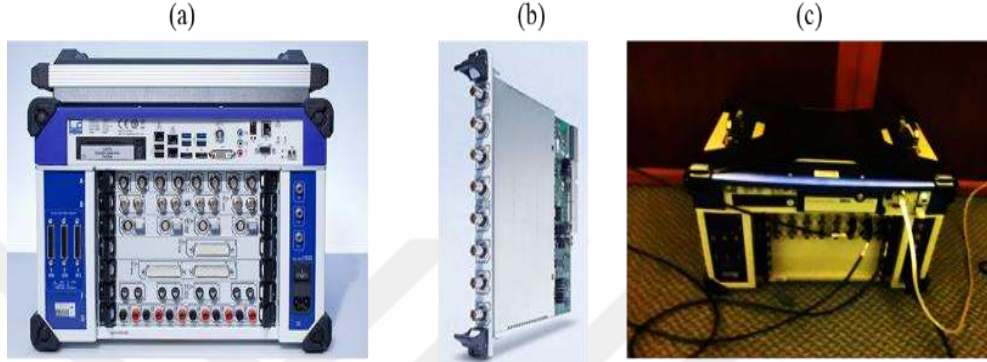
Genellikle VTS olarak kısaltılmış veri toplama, fiziksel olayların ölçümünü yapmak ve bunları analiz etmek için bir takım kaydetme süreçlerinden oluşur. Veri toplama genellikle farklı formlarda aktarım yapar. Sinyaller analog alandan dijital alana dönüştürülür ve daha sonra ROM, flash medya ve sabit disk sürücüler gibi bir dijital ortama kaydedilir.

Testler sırasında oluşturulan ölçüm zincirinin elemanları şunlardır [32].

- Sensörler
- Sinyal Şartlandırma
- Analog-Dijital Dönüştürücü
- Sinyal kaydı ve analizi için VTS Yazılımına sahip bilgisayar

Bir veri toplama sisteminin temel amacı, verileri elde etmek ve depolamaktır. Ancak, verilerin gerçek zamanlı ve kayıt sonrası görselleştirilmesini ve analizini sağlamayı da amaçlamaktadırlar [32]. Sistemde Genesis GN7t veri toplama sistemi GN816 çok amaçlı analog girişli kart ile kullanılmıştır (Şekil 2.2). Veri toplama

sistemine mikrofonlar üç ayrı kanal ile bağlanmıştır. Mikrofonlar tarafından ölçülen değerler veri toplama sisteminde voltaj olarak kaydedilmektedir. Daha sonra elde edilen bu voltaj değerleri bilgisayar aracılığıyla ve veri toplama sistemine bağlı olarak çalışan bir program yardımıyla kayıt altına alınmaktadır.



**Şekil 2.2.** Kullanılan veri toplama sistemi a) GN 7t şasi b) GN816 kartı c) Kullanıma ait görsel

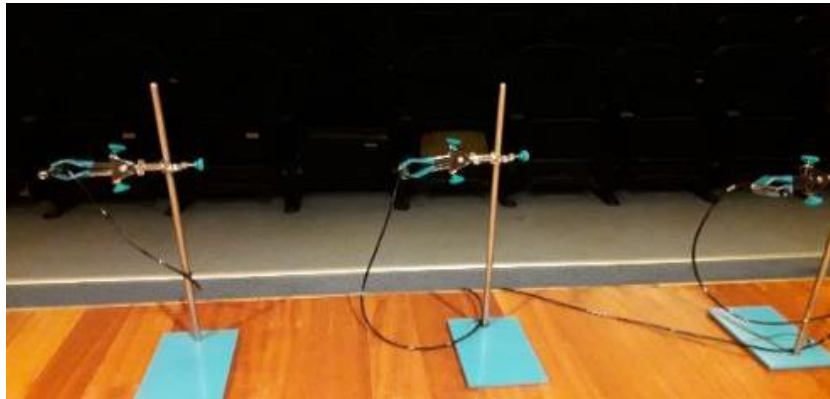
## 2.2.Verilerin Toplanması İçin Gerekli Ortamın Seçilmesi

Fagotun ses verilerinin toplanması için uygun bir ortam seçilmesi gerekmektedir. Seçilecek olan bu ortam gürültüsüz ve yankıyı olabildiğince en aza indirecek şekilde seçilmesi gerekmektedir. Aksi taktirde gürültüden dolayı ölçülen değerlerin frekans değerlerinde ve şiddetlerinde sapmalar meydana gelecektir ve ölçüm değerlerinde gürültü baskın olmaktadır. Ayrıca uygun bir ortam seçilmesi aynı ölçümün farklı tekrarlarında sapmalara neden olmaması açısından önemlidir. Yukarıda verilen sebeplerden dolayı ölçümlerin Eskişehir Teknik Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü Laboratuvarında yapılması düşünülmüş ve burada yapılan ölçümler mümkün olduğunca gürültüden arındırılmıştır. Ölçüm ortamı Şekil 2.3'te gösterilmiştir. Ancak yapılan ölçümlerde tutarsızlıklar olduğu görülmüş ve bu nedenle ölçümler Anadolu Üniversitesi Koral ÇALGAN Salonu'nda gerçekleştirilmiştir.

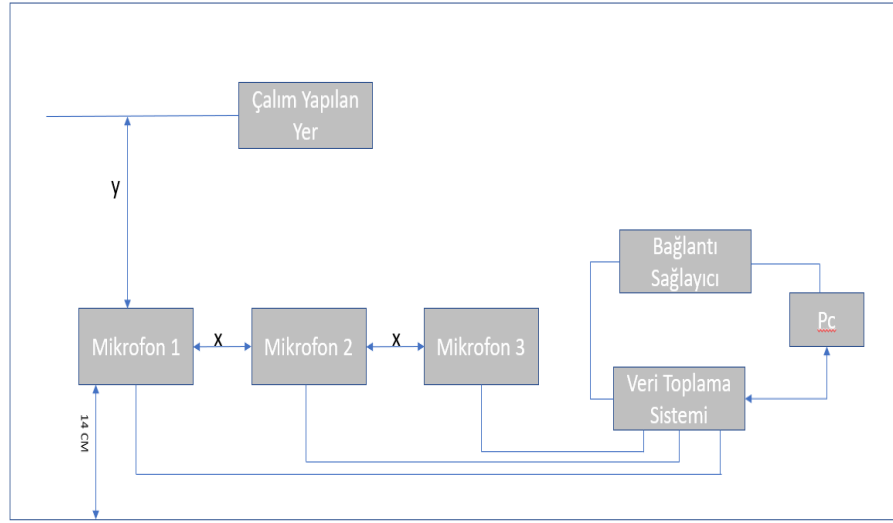


**Şekil 2.3.** Ölçümlerin gerçekleştirilmesi için düşünülen mekân

Ölçümler gerçekleştirilirken yapılacak olan ilk aşama mikrofonların yerleşimidir. Mikrofonlar müzisyenin çaldığı çalgıya dik bir şekilde yerleştirilmiştir. Mikrofonların konumu ve yerleştirilmesi Şekil 2.4’de gösterilmiştir. Ses kaydı yapılan mekâna ait mesafeler ve ölçüm zincirinde kullanılan ekipmanların yerleşimi Şekil 2.5’te gösterilmiştir.



**Şekil 2.4.** Mikrofonların Yerleştirilmesi



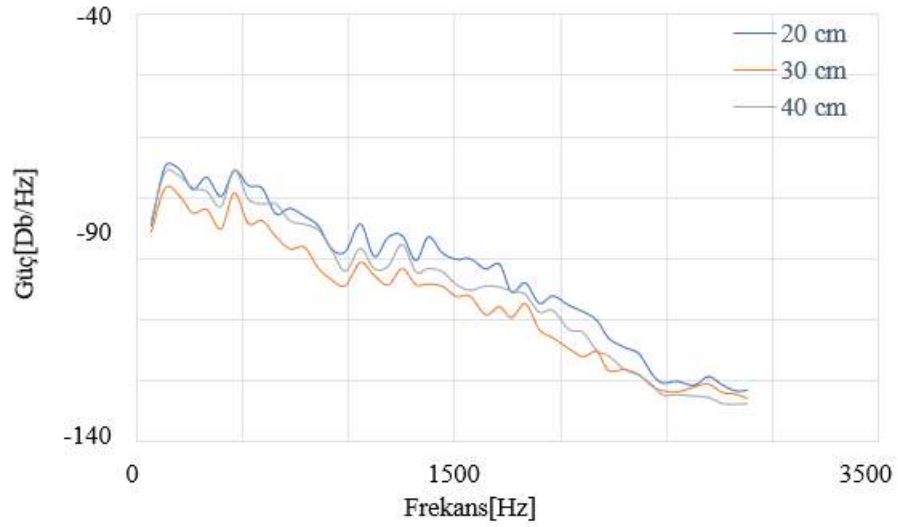
**Şekil 2.5.** Sistemde kullanılan ekipmanların yerleşim şeması

Mikrofonlar arası mesafe olan  $x$  ile çalın yapılan yer ile mikrofonlar arasındaki mesafe olan  $y$ 'nin değişiminin ölçüm sonuçları üzerinde etkili olup olmadığı incelenmiştir. Bu inceleme yapılırken 3 farklı mikrofonda (kanalda) 2 çalının ortalamaları alınarak Gsy diyagramları üzerinden karşılaştırma yapılmıştır.

Mikrofonlar arası mesafe olan ( $x$ ) 20, 30, 40 cm olarak değiştirilmiştir. Her mesafede beş farklı kayıt gerçekleştirilmiş ve bu kayıtların ortalama değerleri Tablo 2.1 ve Şekil 2.6'da gösterilmiştir. Tablo 2.1 ve Şekil 2.6 incelendiği zaman mesafe değişiminin frekans dağılımında baskın bir etkiye sebep olmadığı görülmektedir. Genlikte görülen farklılıklar ise 2-10 Db civarında olup ihmal edilebilecek düzeydedir. Bu nedenle ölçümlerin mikrofonlar arasındaki mesafe değişiminden bağımsız olduğu kabul edilmiştir.

**Tablo 2.1.** Mikrofonlar arasındaki mesafe değişiminin 'de elde edilen sonuçlar

| 20 cm   |        | 30 cm   |        | 40 cm   |        |
|---------|--------|---------|--------|---------|--------|
| Frekans | Genlik | Frekans | Genlik | Frekans | Genlik |
| 65,61   | -69,13 | 65,61   | -71,13 | 65,61   | -67,20 |
| 130,93  | -49,70 | 130,92  | -56,70 | 130,92  | -51,52 |
| 197,47  | -50,65 | 197,45  | -59,12 | 197,43  | -52,70 |
| 261,87  | -57,35 | 261,84  | -64,91 | 261,81  | -56,67 |
| 327,18  | -53,38 | 327,15  | -63,70 | 327,15  | -57,80 |
| 394,94  | -59,62 | 394,90  | -70,16 | 394,90  | -62,73 |
| 458,11  | -51,17 | 458,07  | -58,29 | 458,07  | -50,82 |
| 524,04  | -56,06 | 523,99  | -68,37 | 523,99  | -60,30 |
| 589,35  | -56,95 | 589,29  | -67,42 | 589,29  | -61,88 |
| 654,67  | -65,39 | 654,60  | -72,73 | 654,60  | -61,97 |
| 720,59  | -63,53 | 720,52  | -76,71 | 720,52  | -67,46 |
| 789,57  | -66,14 | 789,49  | -76,23 | 789,49  | -68,64 |



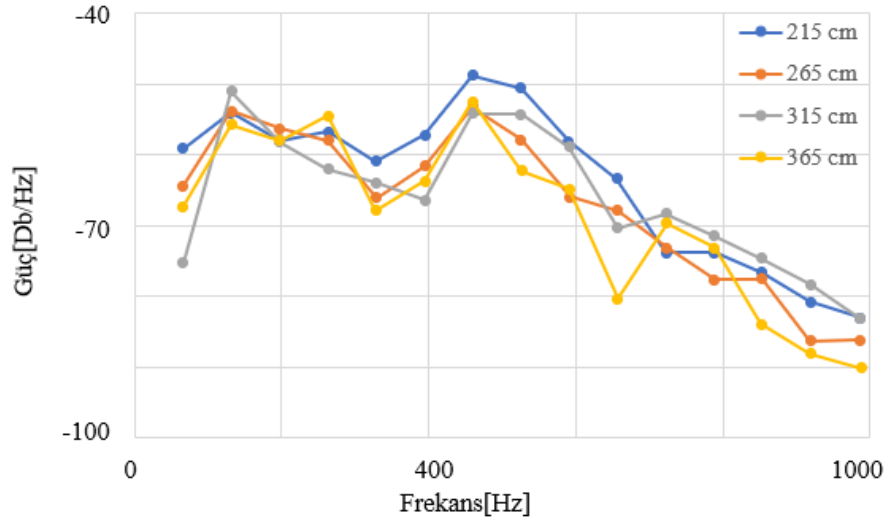
**Şekil 2.6.** Mikrofonlar arasındaki mesafe değişiminin etkisinin grafik gösterimi

Mikrofonlar ile ses kaynağı arasındaki mesafenin değişiminin frekans spektrumundaki genlik ve frekans değerlerini değiştirebileceği ve yanıtılabileceği ihtimali nedeniyle ikinci bir faktör olarak araştırılmıştır. Bu amaçla, çalım yapılan mesafe ile mikrofonlar arasındaki mesafe olan (y) için de dört değer 215,265,315,365 cm olarak seçilmiş ve her konumda kayıt yapılarak sonuçlar Tablo 2.2 ve Şekil 2.7’de verilmiştir. Sonuçlar incelendiği zaman mesafe değişiminin frekansa etkisi bazı frekans değerlerinde sıfır bazı değerlerde ise %0,1’den daha az olduğu görülmüştür. Genlikteki değişim ise 2-8 Db mertebelerinde gerçekleşmiştir. Ancak mikrofonun konumu çalım yapılan yere göre değiştirildiğinden bu normal bir sonuçtur. Sonuç olarak mikrofon ile ses kaynağı arasındaki mesafe 315 cm olarak belirlenmiştir.

**Tablo 2.2.** Çalım yapılan yer ile mikrofonlar arasındaki mesafe değişiminde elde edilen sonuçlar

| 215 cm  |        | 265 cm  |        | 315 cm  |        | 365 cm  |        |
|---------|--------|---------|--------|---------|--------|---------|--------|
| Frekans | Genlik | Frekans | Genlik | Frekans | Genlik | Frekans | Genlik |
| 65,61   | -59,08 | 65,61   | -64,38 | 65,61   | -75,26 | 65,61   | -67,27 |
| 130,92  | -53,98 | 131,53  | -53,78 | 131,23  | -51,00 | 131,53  | -55,69 |
| 196,84  | -58,00 | 196,84  | -56,29 | 196,84  | -58,17 | 196,84  | -57,99 |
| 262,76  | -56,72 | 262,76  | -57,93 | 262,76  | -62,05 | 262,76  | -54,44 |
| 328,37  | -60,89 | 328,45  | -66,06 | 328,37  | -63,89 | 328,37  | -67,83 |
| 395,20  | -57,20 | 395,20  | -61,53 | 395,20  | -66,41 | 395,20  | -63,68 |
| 459,29  | -48,73 | 459,90  | -53,26 | 459,90  | -54,20 | 459,90  | -52,41 |
| 525,21  | -50,60 | 525,21  | -57,88 | 525,21  | -54,30 | 526,12  | -62,27 |
| 590,52  | -58,07 | 591,74  | -65,94 | 591,24  | -58,87 | 591,13  | -64,78 |
| 656,13  | -63,40 | 656,74  | -67,90 | 656,58  | -70,30 | 656,38  | -80,34 |
| 723,12  | -73,86 | 723,27  | -73,13 | 723,02  | -68,33 | 723,94  | -69,62 |
| 788,97  | -73,77 | 789,08  | -77,63 | 788,94  | -71,41 | 788,99  | -73,17 |

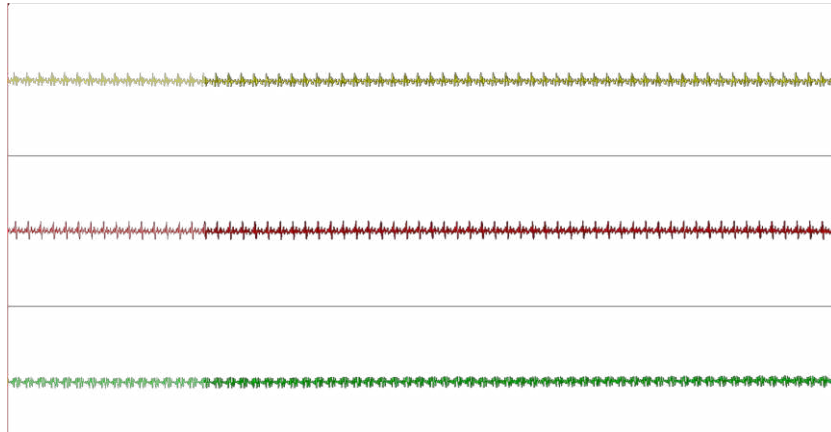




Şekil 2.7. Çalın yapılan yer ile mikrofonlar arasındaki mesafe değişimin 'de elde edilen sonuçlar

### 2.3.Ölçümlerin Gerçekleştirilmesi ve Verilerin Toplanması

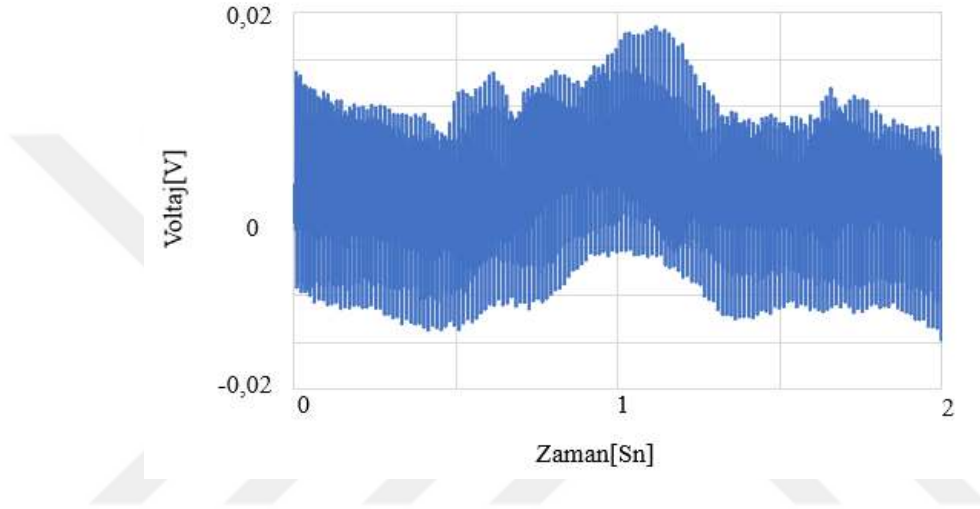
Tüm kurulumlar yapıldıktan sonra müzisyen (Doç. Emre Hopa) fagot aracılığı ile bir çalın seslendirmiş ve bu çalın içerisindeki her nota belirli bir süre çalınarak, ses üç mikrofon aracılığı ile kaydedilmiştir. Örnek bir kayıta ait ekran görüntüsü Şekil 2.8’de gösterilmiştir.



Şekil 2.8. Perception programında yapılan ölçümlere ait bir ekran görüntüsü

## 2.4.Verilerin Analizi

Veriler toplandıktan sonra ilk olarak Matlab dili ile hazırlanan bir program kullanılarak analiz çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Program ile her kayıta ait zaman voltaj grafikleri oluşturulmuş (Şekil 2.9) bunların istatiksel analizleri gerçekleştirilmiş son olarak da ses özellikleri frekans uzayında incelenmiştir. Frekans uzayına dönüşüm için Fourier dönüşümü kullanılmıştır.

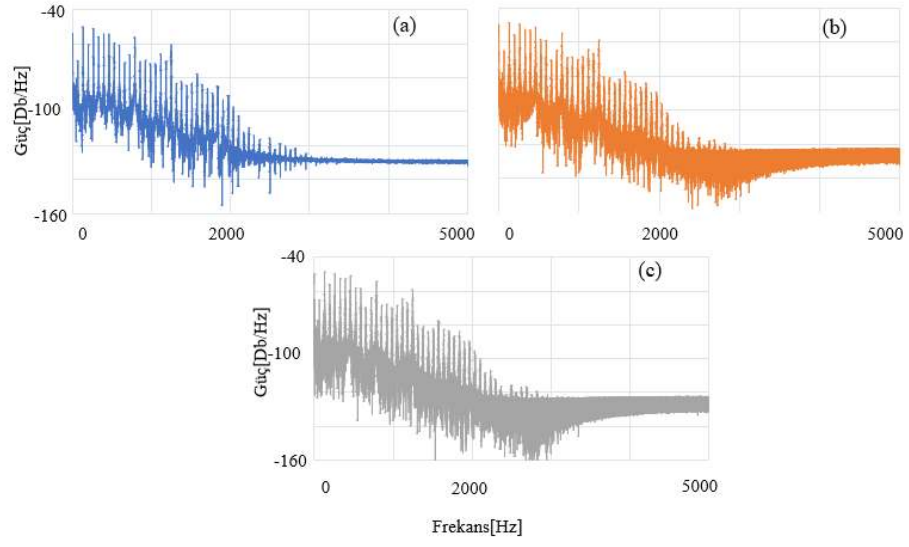


Şekil 2.9. Yapılan ölçümlerden birine ait zaman-voltaj grafiği

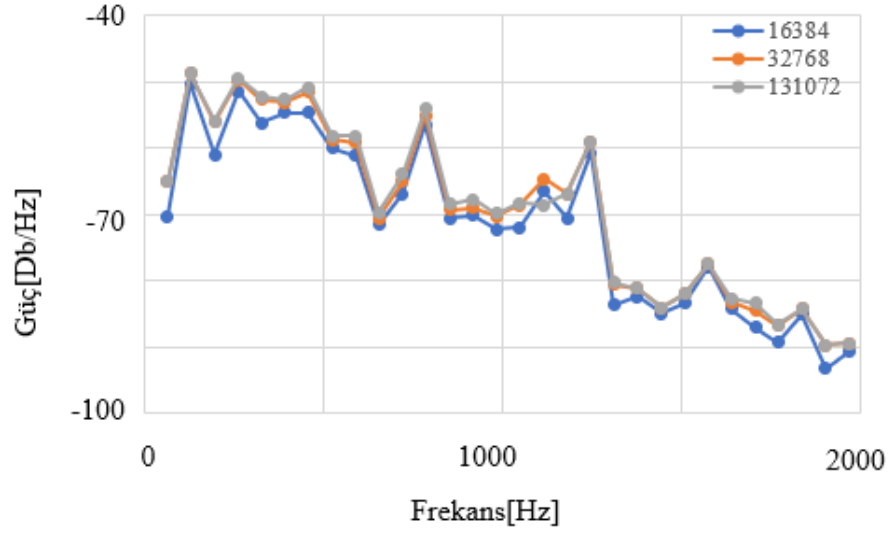
Ancak zaman voltaj grafiği analiz yapmak ve sonuç çıkarmak için uygun bir grafik değildir. Çünkü zaman-voltaj grafiği hem frekans hakkında bilgi vermemekte hem de genlik hakkında bilgi vermemektedir. Bu nedenle Perception x64 programı ile elde edilen değerler yine bu program aracılığıyla bir “.txt” uzantılı dosyaya dönüştürülmüştür. Daha sonra frekans değerlerinin ve bunlara karşılık gelen genlik değerlerinin hesaplanması için Fourier dönüşümü yapılmıştır.

#### 2.4.1.Sıfır doldurma

Sıfır doldurma kısaca zaman analizindeki bir sinyalin sonuna sıfırlar eklenerek onun uzunluğunu artırmaktır. Sıfır doldurma ile daha uzun bir FFT sonuç vektörü üretilecek ve daha uzun bir FFT kullanılmasına izin verecektir. Genel olarak DFT ya da FFT den önce sıfır doldurma çok sayıda noktada hesaplama açısından verimli bir yöntemdir. Ancak sonuna ne kadar sıfır ekleneceği ve etkisinin incelenmesi gerekmektedir. FFT çalışmalarında  $2^n$  sayıda eleman ile çalışmak mümkün olduğundan toplanan örnekleme sayısından daha büyük ikinin en yakın katına yani 32768 veriye ulaşması gerekmektedir. Sıfır doldurmanın sonuçlara etkisinin incelenmesi için yapılan diğer bir uygulamada ise veri sayısı sıfır doldurma ile 131072 yükseltilmiştir. Son olarak sıfır doldurma yerine mevcut verilerin kesilerek  $2n$  sayıdaki en yakın alt değer olan 16384 veri üzerinden analiz yapılmıştır. Şekil 2.11 incelendiğinde sıfır doldurma için yapılan sıfır ilavesinin genlik üzerindeki sonuçlara etkisinin %2'nin altında kaldığı, eklenen sıfır miktarının ise sonuçları değiştirmedeği görülmüştür. 2500 Hz. değerinden sonra bazı verilerin kesildiği ölçüm ile sıfır doldurma yapılmış ölçümler arasındaki farklılığın temel nedeni kesim yapıldığı için kaybolan verilerden kaynaklanmaktadır. Bu nedenle kesilmiş verilerin kullanılması uygun değildir. Sonuç olarak kullanım kolaylığı sebebi ile en yakın  $2n$  değerine kadar sıfır doldurma uygulaması analiz çalışmalarında kullanılmıştır.



Şekil 2.10. Ölçümün Gsy grafiği a) 16384 veri ile b) 32768 veri ile c) 131072 veri ile



Şekil 2.11. Ölçümlerin 0-2000 Hz. aralığındaki değerleri için karşılaştırma

### 2.4.2.Pencereleme

Pencereleme, aktarılabacak olan zaman serilerinin FFT'den önce bir pencere fonksiyonu ile çarpılması anlamına gelir. Dolayısıyla,  $x[n]$  yerine, sinyalin daha net spektral temsilini üretmeyi amaçlayan pencere fonksiyonu için  $x[n] \cdot w[n]$  'yi dönüştürülür. Pencerenin işlevi şu şekildedir: dönüştürülen sinyalin her bir frekans bölmesi,  $N$  zaman örneğinin doğrusal bir kombinasyonudur. Dönüştürülecek sinyal bir sinüs fonksiyonuysa, ideal olarak, tüm bu  $N$  örnek bir bölmede toplanır ve diğer tüm bölmelerde birbirini götürür, böylece sinüs, spektrumda tek bir tepe olarak sonuçlanacaktır. Ölçümler için pencere kullanılıp kullanılmaması gerektiği FFT dönüşümü için önemli bir parametredir [33]. Bu nedenle farklı pencere tipleri kullanılarak pencere kullanma gerekliliği araştırılmıştır. Çok fazla sayıda pencereleme fonksiyonu bulunmaktadır ve bunların gerekli olup olmadığı konusunda karşılaştırılma yapılmıştır. Kullanılan pencerelere ait formüller aşağıda verilmiştir.

$$Hann: w[n] = \begin{cases} 0,5 + 0,5 \cos\left(\frac{2\pi n}{N-1}\right), & |n| \leq \frac{N-1}{2} \\ 0, & \text{diğer yerlerde} \end{cases} \quad (2.1)$$

$$w(n) = a_0 - a_1 \cos\left(\frac{2\pi n}{L-1}\right) + a_2 \cos\left(\frac{4\pi n}{L-1}\right) + a_3 \cos\left(\frac{6\pi n}{L-1}\right) + a_4 \cos\left(\frac{8\pi n}{L-1}\right) \quad (2.2)$$

$0 \leq n \leq L-1$  olmak üzere katsayılar aşağıdaki gibidir.

**Tablo 2.3.** Flattop penceresi fonksiyonunda kullanılan katsayıların değerleri

| Katsayı | Değerler |
|---------|----------|
| $a_0$   | 0,210    |
| $a_1$   | 0,410    |
| $a_2$   | 0,270    |
| $a_3$   | 0,080    |
| $a_4$   | 0,006    |

Diğer bazı pencere türlerinin fonksiyonları şu şekildedir;

$$Hamming: w[n] = \begin{cases} 0,54 + 0,46 \cos\left(\frac{2\pi n}{N-1}\right), & |n| \leq \frac{N-1}{2} \\ 0, & \text{diğer yerlerde} \end{cases} \quad (2.3)$$

$$Blackman: w[n] = \begin{cases} 0,42 + 0,5 \cos\left(\frac{2\pi n}{N-1}\right) + 0,08 \cos\left(\frac{4\pi n}{N-1}\right), & |n| \leq \frac{N-1}{2} \\ 0, & \text{diğer yerlerde} \end{cases} \quad (2.4)$$

Bessel fonksiyonuna dayalı olan Kaiser fonksiyonu pencere uzunluğu (N) ve ayarlanabilir  $\alpha_k$  parametrelerine sahiptir.

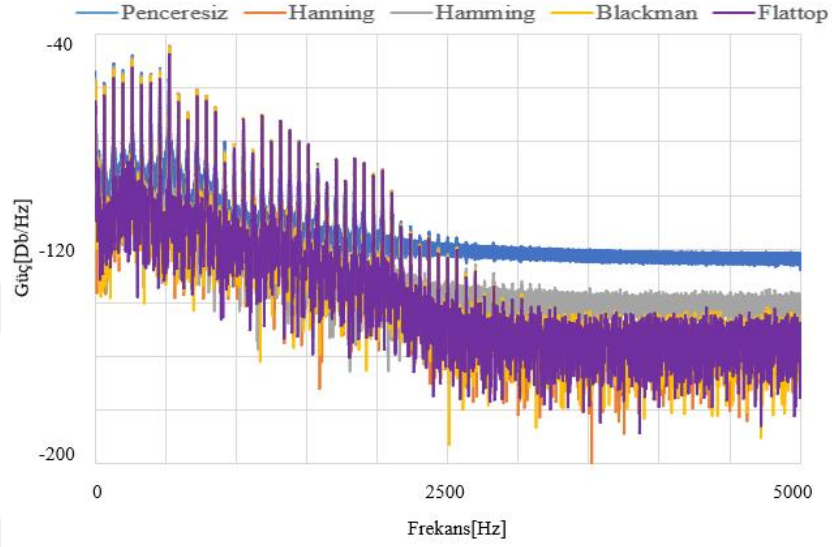
$$w[n] = \begin{cases} \frac{I_0(\alpha_k \sqrt{1 - (\frac{2n}{N-1})^2})}{I_0(\alpha_k)}, & |n| \leq \frac{N-1}{2} \\ 0, & \text{diğer yerlerde} \end{cases} \quad (2.5)$$

Burada  $\alpha_k$  ayarlanabilir parametre,  $I_0(x)$  sıfır dereceli birinci tür geliştirilmiş Bessel fonksiyonu olup güç serisi açılımı aşağıdaki gibidir.

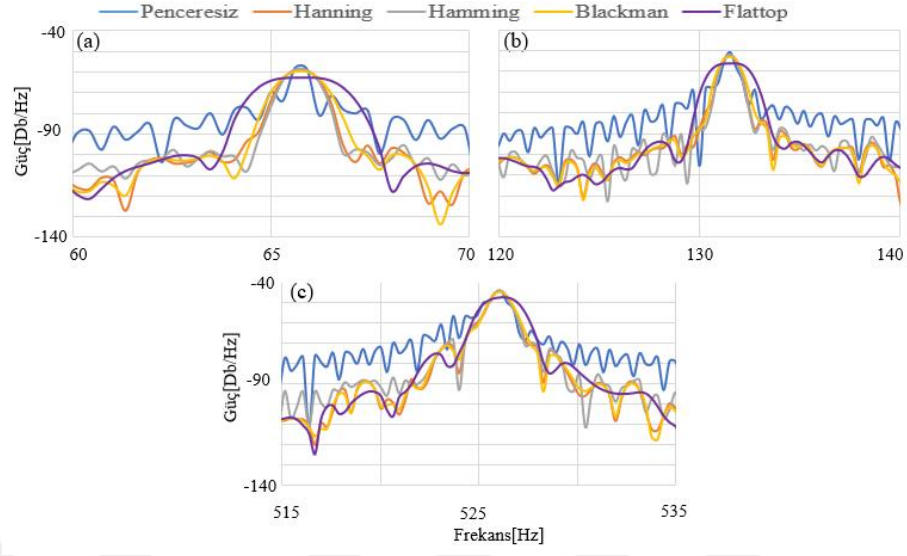
$$I_0(x) = 1 + \sum_{k=1}^{\infty} \left[ \frac{1}{k!} \left(\frac{x}{2}\right)^{2k} \right] \quad (2.6)$$

Güç spektral yoğunluğu hesaplamaları yukarıda anlatılan teoriye dayanarak Matlab programında çizdirilmiştir. Kullanılan kodlar Ek 2’de verilmiştir. Pencere fonksiyonlarının etkisini incelemek amacıyla Do notasına ait beş çalının üç kanaldaki ortalamaları alınarak Gsy grafikleri çizdirilmiştir. Şekil 2.12 ve Şekil 2.14 arasındaki grafikler incelendiğinde pencere fonksiyonu uygulamanın spektral sızıntıyı arttırdığı ve pencere fonksiyonu uygulamanın gerekli olmadığı açık bir şekilde görülmektedir.

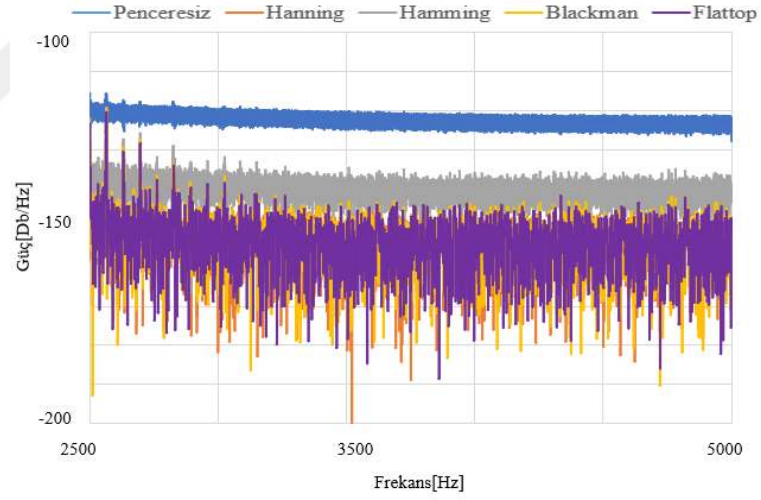
Ayrıca, penceresiz ve pencere fonksiyonu uygulanmış güç spektral yoğunluğu grafikleri incelendiğinde genlik açısından penceresiz yaklaşımın daha yüksek olduğu görülmektedir. Frekans açısından pencere kullanımının herhangi bir etkisinin olmaması ve penceresiz sonuçların daha belirgin pikler yapması nedeniyle analizlerde pencere kullanılmamıştır.



**Şekil 2.12.** Farklı pencere türlerine sahip Gsy grafikleri



**Şekil 2.13.** Farklı pencere türlerine sahip Gsy grafikleri a) 60-70 Hz. b) 120-140 Hz. c) 515-535 Hz



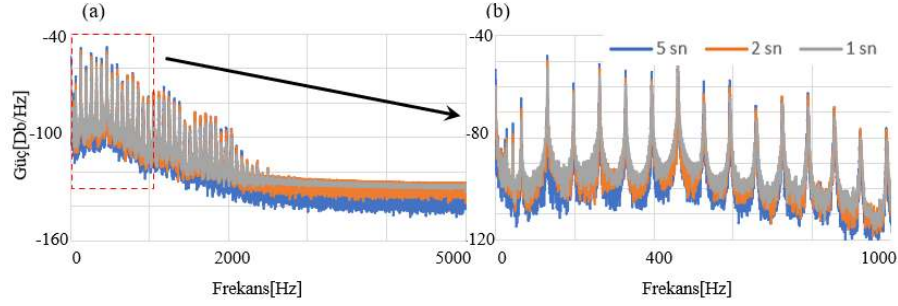
**Şekil 2.14.** Farklı pencere türlerine sahip Gsy grafiklerinin 2500-5000 Hz. arasındaki gösterimi



Yukarıda anlatıldığı gibi FFT parametreleri belirlendikten sonra ölçümlerdeki örnekleme süresinin ve örnekleme frekansının belirlenmesi ve frekans spektrumuna olan etkilerinin incelenmesidir. Örnekleme süresi(uzunluğu)analiz edilirken 5 sn'lik 5 farklı ölçüm alınmış ve bu ölçüm 1,2 ve 5 saniye olmak üzere üç farklı şekilde parçalanmıştır. Örnekleme frekansı için ise yine benzer şekilde 10,20 ve 50 KHz'de 5 ölçüm alınarak ortalama hesaplanarak analiz edilmiştir.

## **2.5.Örnekleme Uzunluğunun Etkisinin İncelenmesi**

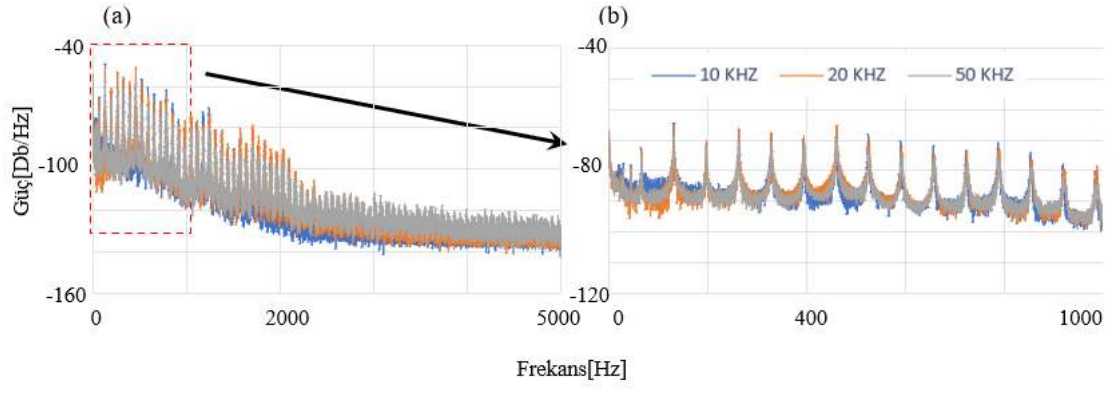
Yapılan analizlerde örnekleme uzunluğunun ve örnekleme frekansının seçilmesi önemli bir kriterdir. Bu nedenle bu değerlerin etkisinin incelenmesi gerekmektedir. Yapılan ölçümlerde ölçümler arası karşılaştırma yapılabilmesi için örnekleme uzunluğu aynı seçilmelidir. Alınan sonuçların örnekleme uzunluğundan bağımsız olması sonuçların doğru şekilde yorumlanabilmesi için önemlidir. Yani, ölçüm süresinin seçimi çalınan notaya ait frekans değerlerine etki etmemelidir. Bu amaçla, “Do” notasına ait çalımların 1, 2 ve 5 sn'lik ölçümlerine karşılık gelen güç spektral yoğunluğu diyagramları Şekil 2.15'de çizdirilmiştir. Her üç ölçüm incelendiğinde frekans değerlerinin ve genliklerinin birbirine yakın olduğu görülmektedir. Benzer durum diğer notalar için söz konusudur. Örnekleme uzunluğu arttıkça ölçümün genlik değerlerinin %5-10 civarında daha yüksek olduğu görülmüştür. Ayrıca örnekleme uzunluğu arttıkça 2500 Hz. değerinden sonraki salınım değerinin arttığı görülmüştür. Bu bölgedeki değişimler notaların frekans değerleri (0-1000 Hz) dışında kalmaktadır. Sonuç olarak yapılan ölçümlerde zamanın etkisinin frekans düzeyinde etkisiz, genlik düzeyinde ise farklı harmoniklere göre %5-10 civarında değiştiği görülmüştür. Ancak genlik değerlerinin maksimum olduğu harmonik ve genliğin değişim trendi değişmediğinden dolayı bu değişim ihmal edilebilir olarak değerlendirilmiştir. Kayıt kapasitesini etkin kullanmak adına deneylerde kayıt süresi olarak 2 sn. seçilmiştir.



**Şekil 2.15.** Örneklem uzunluğunun Gsy değerlerine etkisi (Do Notası) a) 0-5000 Hz, b) 0-1000Hz

## 2.6.Örneklem Frekansının Etkisinin İncelenmesi

Örneklem frekansı da aynı örneklem süresi gibi ölçüm sonuçlarına doğrudan etki edebilecek bir parametredir. Bu amaçla, Do notasına ait bir ölçümler üç frekans değerinde (10,20 ve 50 kHz) gerçekleştirilerek Gsy diyagramları Şekil 2.16’da çizdirilmiştir. Örneklem frekansının örneklem uzunluğunda olduğu gibi frekansa etkisi olmadığı görülmektedir. Örneklem frekansının genliğe olan etkisi örneklem uzunluğuna göre daha fazladır. En yüksek genlik değerleri 10 kHz 20 kHz ‘de gözlemlenmiş ve 50 kHz için daha düşük (harmonik frekanslara göre değişmekle birlikte 5-10 Db civarında) genlik değerleri gözlemlenmiştir. Ayrıca genel olarak 3000 Hz. değerinden sonra genlik değerlerindeki değişim ihmal edilebilir seviyededir. Frekansta herhangi bir değişiklik olmaması ve genlik trendinin örneklem uzunluğunda olduğu gibi değişmemesi örneklem frekansının etkisinin ihmal edilebileceğini göstermiştir. Sonuç olarak ölçümlerin daha kolay analiz edilebilmesi ve depolama açısından 10 kHz örneklem frekansı için gerçekleştirilmesine karar verilmiştir.



Şekil 2.16. Örnekleme frekansının Gsy sonuçlarına etkisi a) 0-5000 Hz, b) 0-1000 Hz.

### 3.FAGOT İLE YAPILAN ÇALIMLARDA KAMIŞLARIN AKUSTİK ÖZELLİKLERİ

Bu bölümde üç farklı kısım ele alınmıştır.1.Kısımda organik ve sentetik kamışlar arasındaki genlik ve frekans farklılıkları ölçülmeye çalışılmış ve arasındaki farkların bulunması amaçlanmıştır. Ayrıca kamışlarda notalara ait hangi harmoniklerin baskın olarak ortaya çıktığı ve notalara ait frekans değerleriyle ölçümlerde gerçekleştirilen değerler arasındaki sapmaların incelenmesi amaçlanmıştır.2.Kısımda ise farklı kamış geometrilerinin etkileri,3.Kısımda ise farklı kamış sertliklerinin değişimi incelenmiştir. Bu kısımda yapılan ölçümlerde Si notasında genel bir karşılaştırılma yapılmış diğer notalara ait grafikler benzer özellikler gösterdiğinden eklerde verilmiştir.

Bir müzik aletinin kalitesi harmoniklerinin dağılımına tabidir. Bunun belirtilmesi harmonik şiddetlerinin frekansına göre grafik olarak gösterilmesiyle mümkündür. Bu nedenle bu kısımda frekans-genlik diyagramları ele alınarak kamışlar arasındaki farklılıklarının belirlenmesi amaçlanmıştır.

Bu bölümde verilen notalara ait temel frekanslar Tablo 3.1’de verilmiştir.

**Tablo 3.1.** Notalara ait temel frekanslar

| Nota         | Do    | Re    | Mi    | Fa    | Sol   | La     | Si     |
|--------------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|
| Frekans [Hz] | 65,41 | 73,42 | 82,41 | 87,31 | 98,00 | 110,75 | 124,22 |

#### 3.1.Farklı Kamışlara Ait Frekans Değerlerinin Karşılaştırılması

Yapılan ölçümlerde 3 farklı kamış çeşidi kullanılmıştır. Kullanılan kamış çeşitleri aşağıdaki gibidir.

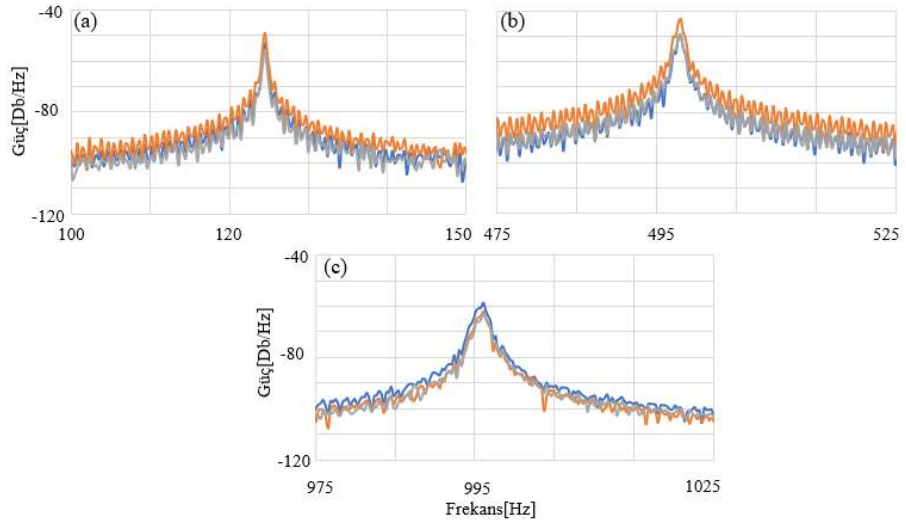
1. Organik Kamış
2. Sentetik Kamış M/ Medium
3. Sentetik Kamış MH/ Medium Hard

Ölçümlerde fagot enstrümanı ile çalınan değerler ölçülmüştür. Yapılan ölçümler 2 sn. boyunca kaydedilmiştir. Ölçümler Merkez, Sağ ve Sol olmak üzere üç farklı mikrofondan(kanaldan) gerçekleştirilmiştir. Bu ölçümler fagotun ilk oktavında yer alan do, re, mi, fa, sol, la ve si notaları olmak üzere yedi farklı nota ile gerçekleştirilmiş ve her bir nota için 5 ölçüm alınmıştır. Değerlendirmede ilk olarak kanallar arası ölçümlerin ve farklı ölçümler arasındaki frekans ve genlik değişimlerinin analizi yapıldıktan sonra üç farklı kamış türü karşılaştırılmıştır.

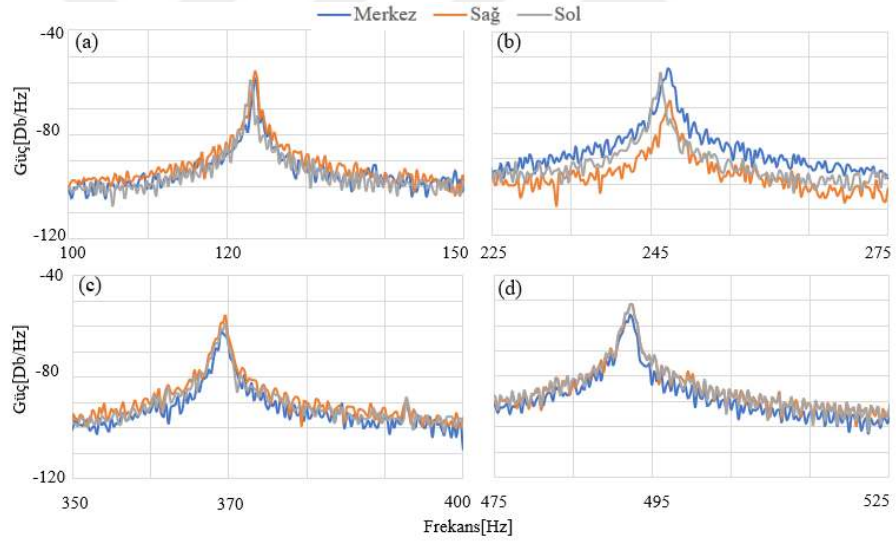
### **3.1.1.Si notası**

#### ***3.1.1.1.Farklı kanallar arasındaki tutarlılık***

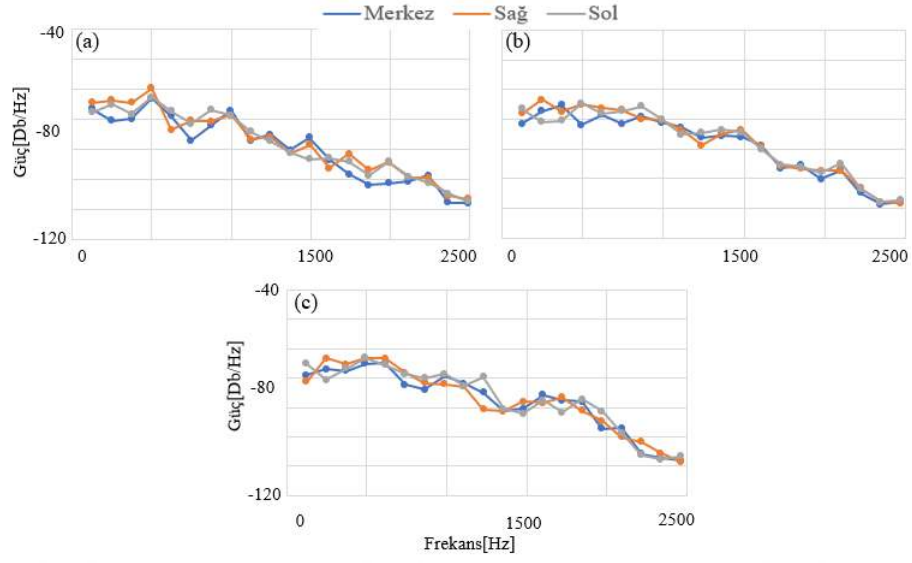
Şekil 3.1 ve Şekil 3.3 arasında Organik, Sentetik Medium, Sentetik Medium-Hard olarak adlandırılan üç farklı kamış için yapılan ölçümlere ait Gsy diyagramları gösterilmektedir. Grafikler incelendiğinde kamış tipinden bağımsız olarak her üç kanaldan alınan ölçümlerin benzer karakteristik verdikleri görülebilmektedir. Üç mikrofonda da alınan değerler karşılaştırıldığında hem frekans özelindeki genlik değerleri (Şekil 3.1 ve Şekil 3.2) hem de 0-2500 Hz. bandındaki genlik değişimlerinin farkının (Şekil 3.3)farklı harmoniklerdeki değişmekle birlikte %1 ile %10 seviyesi arasında değiştiği görülmüştür. Bu sebeple mikrofonların benzer sonuçlar aldığı kabul edilmiş ve detay analiz çalışmaları orta mikrofondan yapılan kayıtlar ile sürdürülmüştür.



**Şekil 3.1.** Si Notası için farklı kanal ölçümlerinin karşılaştırılması (organik) a) Temel frekans b) 3. harmonik c) 7. Harmonik



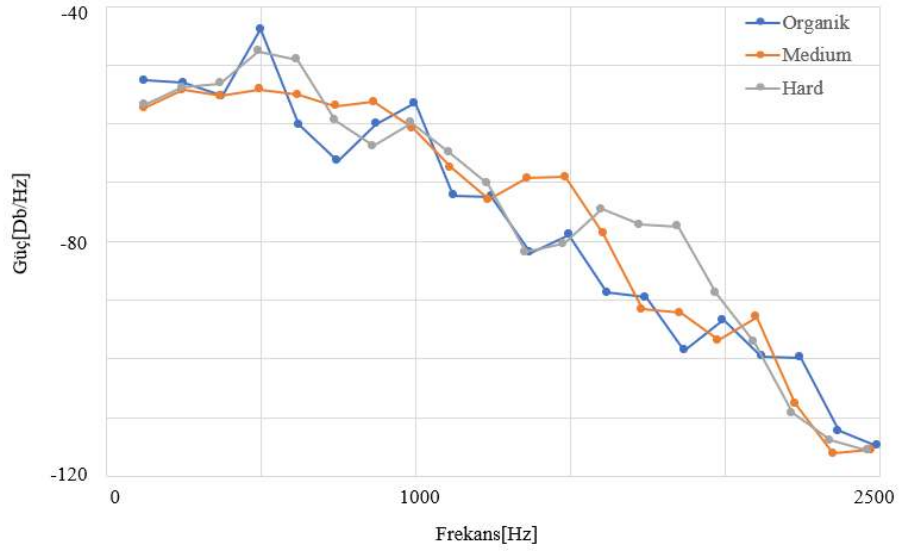
**Şekil 3.2.** Si Notası için farklı kanal ölçümlerinin karşılaştırılması a) Temel frekans (Sentetik M) b) 2. harmonik (Sentetik M) c) 3. Harmonik (Sentetik MH) d) 4. Harmonik (Sentetik MH)



**Şekil 3.3.** Farklı kanallara ait Gsy karşılaştırılması a) Organik b) Sentetik M c) Sentetik MH

### 3.1.1.2. Kamışların karşılaştırılması

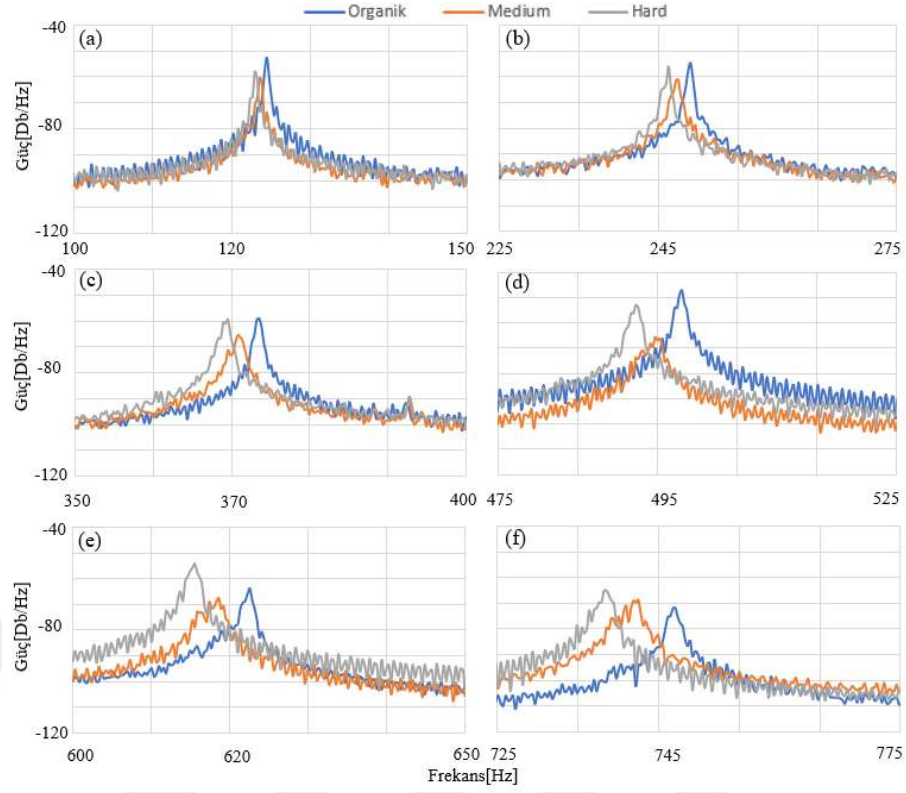
Şekil 3.4'te üç farklı kamış için 0-2500 Hz. aralığındaki harmonik değerlerinin karşılaştırılması verilmiştir.



**Şekil 3.4.** Si notasında Farklı kamış çeşitlerine ait harmoniklerin karşılaştırılması

Si notası (B2) için farklı kamışlar ile yapılan ölçümlere ait sonuçlar 0-2500 Hz. bandında Şekil 3.4'te karşılaştırılmıştır. B2 notasının temel frekansı olan 123,47 Hz. değeri ve on dokuz harmonik değeri doğrudan yakalanabilmiştir. Üç farklı kamış türü için de temel frekans spektrumunda bulunan en yüksek genlik değildir. En yüksek genlik üçüncü harmonik frekansta ölçülmüştür. Bu noktadaki genlik değeri organik kamış için -43,94 olarak ölçülmüşken Sentetik-M ve Sentetik-MH tipi kamışlarda genlik değerinin sırası ile -54,13 ve -47,70 olarak ölçülmüştür. Her üç kamış tipi de 3. harmonik frekansa kadar benzer genlik değerlerinde sonuçlar verirken 3. harmonik frekans sonrası davranışları ciddi şekilde ayrışmaktadır. Özellikle temel frekans ve en yüksek genliğin yakalandığı 3. harmonik frekans için organik kamış ile elde edilen genlik değerleri sentetik kamış ile elde edilen genlik değerlerinden yüksektir. 1500 Hz. değerine kadar Organik ve Sentetik-MH tipi kamışlar benzer genlik davranışı göstermektedir. Gsy diyagramı genlik değerlerindeki genel değişim bilgisini verse de frekans değerlerindeki kaymaların tespit edilmesi için yeterli çözünürlükte değildir. Bu nedenle Şekil 3.5'te frekans değerleri ayrıntılı olarak karşılaştırılmıştır. Bu grafikler 5 ölçümün ve her ölçüm için 3 kanalın olmak üzere her bir kamış için 15 tane verinin ortalamasını alarak hesaplanmıştır.





**Şekil 3.5.** Si notasında farklı kamışlara ait Gsy diyagramlar a) Temel frekans b) 1.harmonik c) 2.harmonik d) 3.harmonik e) 4.harmonik f) 5.harmonik

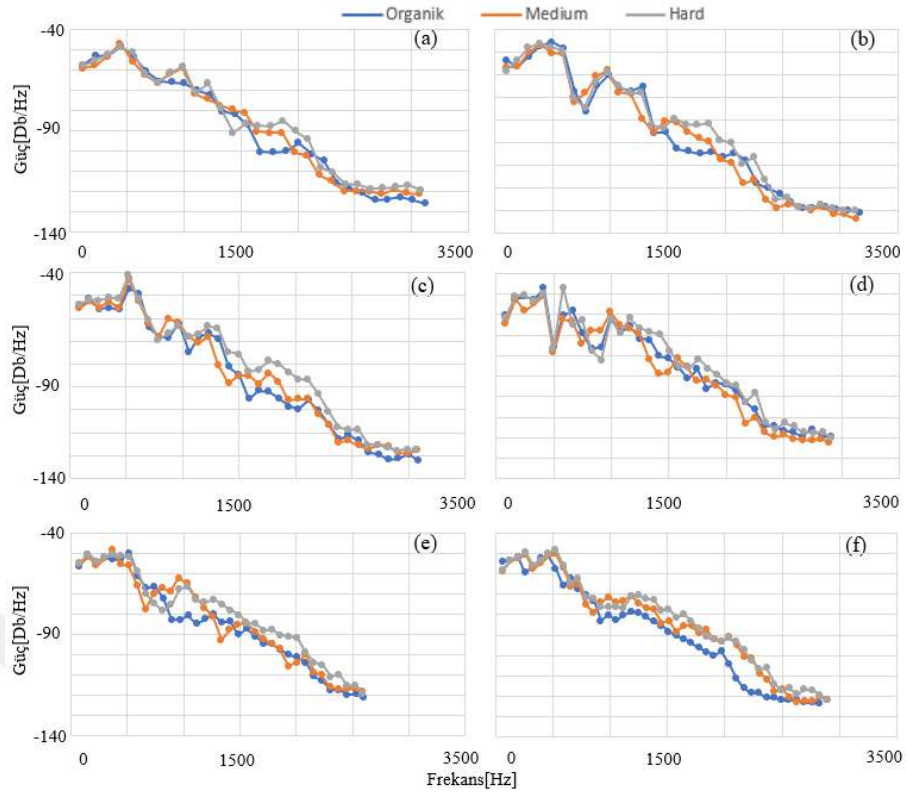
**Tablo 3.2.** Olması gereken frekans değeriyle kamışlar arasındaki sapmalar

| Olması gereken frekans değeri | Organik Kamış ile arasındaki sapma değeri | Sentetik M kamış ile arasındaki sapma oranı | Sentetik MH kamış ile arasındaki sapma oranı |
|-------------------------------|-------------------------------------------|---------------------------------------------|----------------------------------------------|
| 124,22                        | 0,18%                                     | -0,50%                                      | -0,93%                                       |
| 248,44                        | 0,23%                                     | -0,52%                                      | -0,91%                                       |
| 372,66                        | 0,22%                                     | -0,53%                                      | -0,96%                                       |
| 496,88                        | 0,21%                                     | -0,51%                                      | -0,94%                                       |
| 621,10                        | 0,23%                                     | -0,52%                                      | -0,94%                                       |
| 745,32                        | 0,22%                                     | -0,53%                                      | -0,94%                                       |
| 869,54                        | 0,22%                                     | -0,52%                                      | -0,93%                                       |
| 993,76                        | 0,22%                                     | -0,51%                                      | -0,95%                                       |

Şekil 3.5'te Si notasının farklı harmoniklerinin farklı kamışlarda nasıl değiştiği gözlemlenmektedir. Tablo 3.2'de ise olması gereken frekans değeriyle kamışlar da ölçülen değerler arasındaki fark yüzdesel sapma değerleri olarak verilmiştir. Grafik ve tablo yorumlandığı zaman organik kamışın olması gereken frekans değerine en yakın sapmayı gösterdiği görülmüş ve olması gereken frekans değerinden daha yüksek olarak görülmüştür. Medium kamışın frekans değeri olması gereken frekans değerinden daha düşük olarak görülmüştür. Medium-Hard adlı kamışın frekans değerleri ise olması gereken frekans değerinden daha düşük ve en fazla sapma gösteren kamış olduğu görülmüştür. Yaklaşık olarak 2500 Hz. değerinden sonra genlik değişimi meydana gelmemiştir ve üç farklı kamış içinde benzer bir şekilde devam etmiştir.

### **3.1.2. Diğer notalara ait grafikler ve karşılaştırma**

Şekil 3.6'da diğer notalara ait ölçümlerin Gsy grafikleri verilmiştir. Bu grafiklerde bu notalara ilişkin harmonikler ve genlik değerleri verilmiştir. Her bir notaya ait harmoniklerde grafiklerin ayrıntıları EK 3'te verilmiştir.



**Şekil 3.6.** Farklı kamış çeşitlerine ait Gsy karşılaştırılması a) La notası b) Sol notası c) Fa notası d) Mi notası e) Re notası f) Do notası

Tüm notalardaki genlik değerleri incelendiği zaman üç farklı kamış türü için de temel frekans spektrum’da bulunan en yüksek genlik değildir. Genel olarak maksimum genlik harmonik sayısından bağımsız olarak 400-500 Hz. civarlarında meydana gelmiştir. 500 Hz. değerine kadar üç farklı kamış türü içinde aynı harmoniklerdeki genlik değerleri birbirine yakın olarak gözlemlenmiştir. Notalarda organik kamış normal frekans değerinden %0,2 civarında sapma gösterirken sentetik kamışlar olan medium ve medium-hard ’da ise bu sapmalar daha yüksek çıkmış ve birbirine yakın değerler gözlemlenmiştir. Buradan organik kamışın sanatçının çalımına göre daha yüksek doğruluk oranları gösterdiği sentetik kamışlar içinde sertlik arttıkça daha fazla sapma gösterdiği sonucu çıkarılabilir.

### 3.2.Kamışlarda Sertlik ve Yoğunluk

Organik kamışın yapımında kullanılan kargı malzemesinin fiziksel ve mekanik özelliklerini belirleyen en önemli iki parametre kargının sertliği ve yoğunluğudur. Yoğunluk, belirli sıcaklık ve basınç altında birim hacimdeki madde miktarı olarak tanımlanır. Bağlı (Nispi) yoğunluk ise bir cismin kütesinin, aynı hacimdeki başka bir cismin kütesine oranı olarak tanımlanır. Bağlı yoğunluk karşılaştırılmalarında genellikle 4°C’deki suyun yoğunluğu kullanılır. Kargının suya göre bağlı yoğunluğu 0,4 ile 0,8 arasında değişmektedir. Kargının özellikleri her yerinde homojen değildir ve bu nedenle basit ölçümler ile yoğunluğun hesaplanması mümkün değildir [34]. Bu nedenle kargının yoğunluğunun belirlenmesi için çeşitli cihazlar ve makineler ile ölçümler gerçekleştirilmelidir. Kargı kamışının yoğunlukları Anadolu Üniversitesi/Devlet Konservatuarı/Müzik Bölümü/Üflemleri ve Vurmalı Çalgılar Ana sanat Dalı öğretim üyesi Doç. Emre Hopa tarafından George Rieger GMBH firması tarafından üretilmekte olan “Kargı Kamışı Yoğunluk Belirleme Cihazı” ile ölçülmüştür. Bu cihazın el kitapçığına göre kamışların yoğunluk değerlerinin sınıflandırılması Tablo 3.3’de verilmiştir [35].

**Tablo 3.3.** Kargı kamışı yoğunluk belirleme cihazına göre kamışların yoğunluk dereceleri sınıflandırması

| Yoğunluk Derecesi | Değer         |
|-------------------|---------------|
| Düşük yoğunluk    | 0,56-0,57.    |
| Orta yoğunluk     | 0,58-0,60     |
| Yüksek yoğunluk   | 0,61 ve üzeri |

Kamışın sertliği, kargı yüzeyinin plastik deformasyona karşı gösterdiği direnç olarak tanımlanır. Kargının sertliğinin ölçülmesinde Rockwell sertlik deneyi kullanılır. Bu deneyde sabit bir yük altında, bir küre veya koninin kargının yüzeyinde oluşturduğu iz derinliğinin ölçülmesi ile sertlik değeri hesaplanır. Kargının sertlik değeri ile bu iz derinliği ters orantılıdır. Kargıların sertlik değerlerine göre sınıflandırılması Tablo

3.4’de verilmiştir. Kargı heterojen bir yapıya sahip olduğundan sertlik değerleri belirli bir değer yerine bir aralıkta sınıflandırılır.

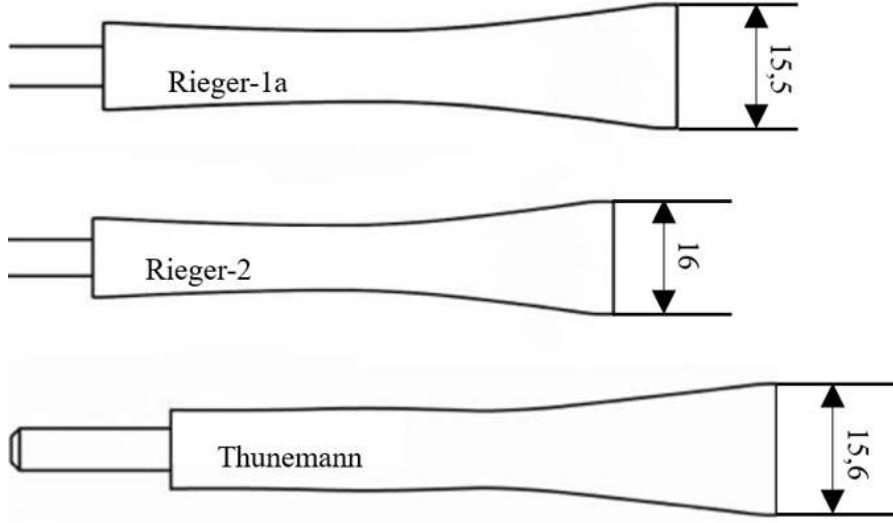
**Tablo 3.4.** *Kargının sertlik değerlerine göre sınıflandırılması*

| Sertlik Derecesi | Değer |
|------------------|-------|
| Düşük sertlik    | 16-20 |
| Orta sertlik     | 13-15 |
| Yüksek sertlik   | 10-12 |

### **3.3.Kamış Geometrisi Değişiminin Etkisinin İncelenmesi**

Kamış geometrisinin frekansa ve genliğe nasıl etki ettiğini görmek amacıyla üç farklı geometride kamış kullanılmıştır. Kullanılan geometri tipleri aşağıdaki gibidir. Bu kamışların hepsi organik kamıştır. Kullanılan kamışlara ait görseller ve ölçüler Şekil 3.7’de verilmiştir.

- 1.Thunemann (organik kamış için kullanılan referans geometri)
- 2.Rieger-1a (organik kamış için kullanılan alternatif geometri)
- 3.Rieger-2 (organik kamış için kullanılan alternatif geometri)



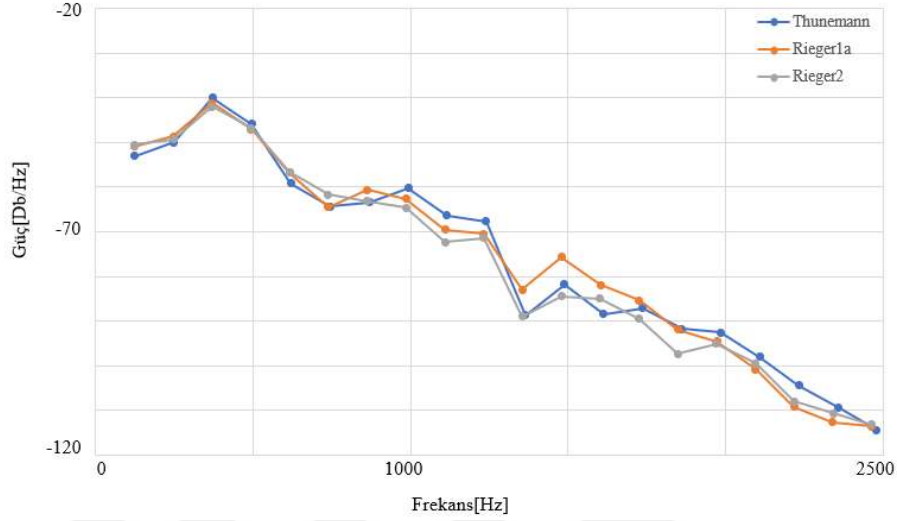
**Şekil 3.7.** a) Rieger-1a b) Rieger-2 c) Thunemann Fagot kamışı forması

Kullanılan kamışların hepsi orta sertlikte ve orta yoğunluktadır. Tüm kamışlar için 2.7 mm ön kısım (çalınabilen kısım) ve 2.7 mm arka kısım olmak üzere toplam 5,4 mm'dir. Ölçümler 10 KHz'de ve 2 saniye boyunca gerçekleştirilmiştir. Ölçümler 3 farklı mikrofonda ölçülmüş ve 7 farklı nota içinde ölçüm alınmıştır. Her bir kamış için her notada 5 farklı ölçüm alınmıştır.

### 3.3.1.Si Notası

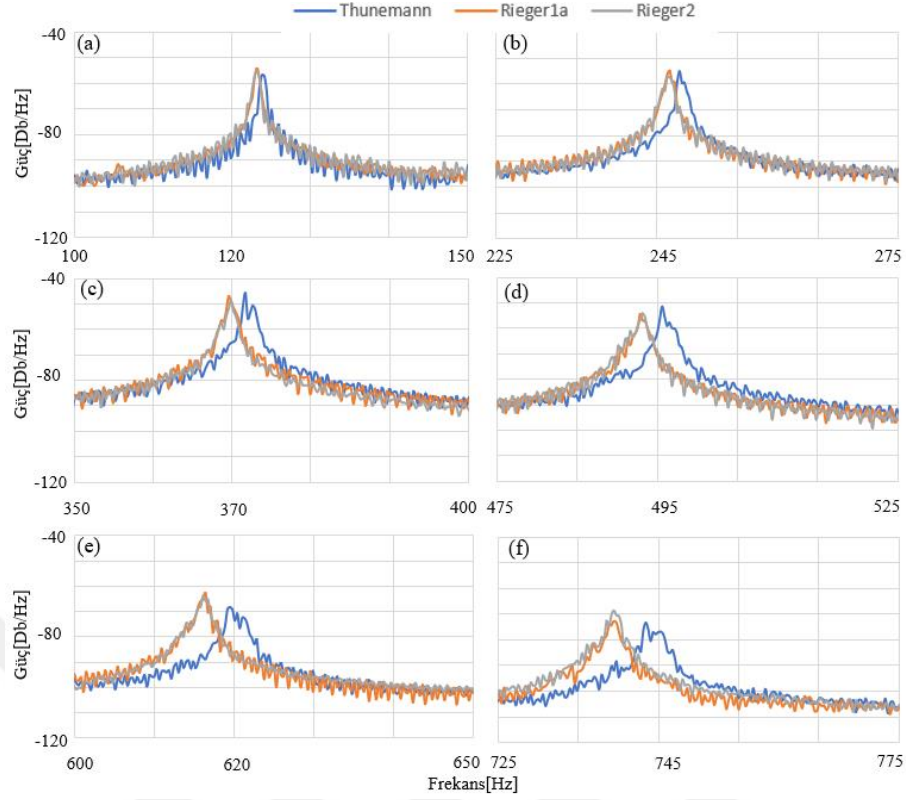
Üç farklı kamış için 0-2500 Hz. aralığındaki frekans değerlerinin Şekil 3.8'de karşılaştırılması verilmiştir. Frekans spektrumundaki baskın frekanslar incelendiğinde Si notasının (123,47 Hz) temel ve harmonik frekansları olduğu görülmektedir. Üç farklı kamış türü için de temel frekans, frekans spektrumunda yer alan frekanslar içinde en yüksek genliği sahip frekans değildir. Üç farklı kamış geometrisi için de ikinci harmonik en yüksek genlik değerini vermektedir. Bu değer Thunemann geometrisinde -39,97, Rieger-1a geometrisinde -41,19, Rieger-2 geometrisinde ise -41,94 olarak ölçülmüştür. Genlik açısından 0-1000 Hz. aralığındaki değerler arasında geometriler arasındaki değişimin çok düşük olduğu görülmüştür. Bunun sonucu olarak sentetik ve organik

kamış çalışmalarında elde edilen farkların geometri kaynaklı değil malzeme kaynaklı olabileceği değerlendirilmiştir.



**Şekil 3.8.** Si notasında Farklı geometrilere sahip kamışların harmoniklerinin karşılaştırılması

Şekil 3.9’da bu grafikteki 0-1000 Hz. arasındaki harmoniklerin daha ayrıntılı grafikleri verilmiştir. Bu grafikler ile geometriler arasındaki frekans sapma farkı gözlemlenmiştir. Harmonikler incelendiğinde Rieger-1a ve Rieger-2 geometrisi için genlik ve frekans değerleri aynı çıkmıştır. Thunemann geometrisi ise bu iki geometriden farklı olarak gerçekleşmiştir. Si notasının harmoniklerine göre Thunemann adlı geometri %0,5 oranında daha yüksek gerçekleşirken, Rieger-1a ve Rieger-2 geometrileri ise %0,2 oranında daha düşük gerçekleşmiştir.

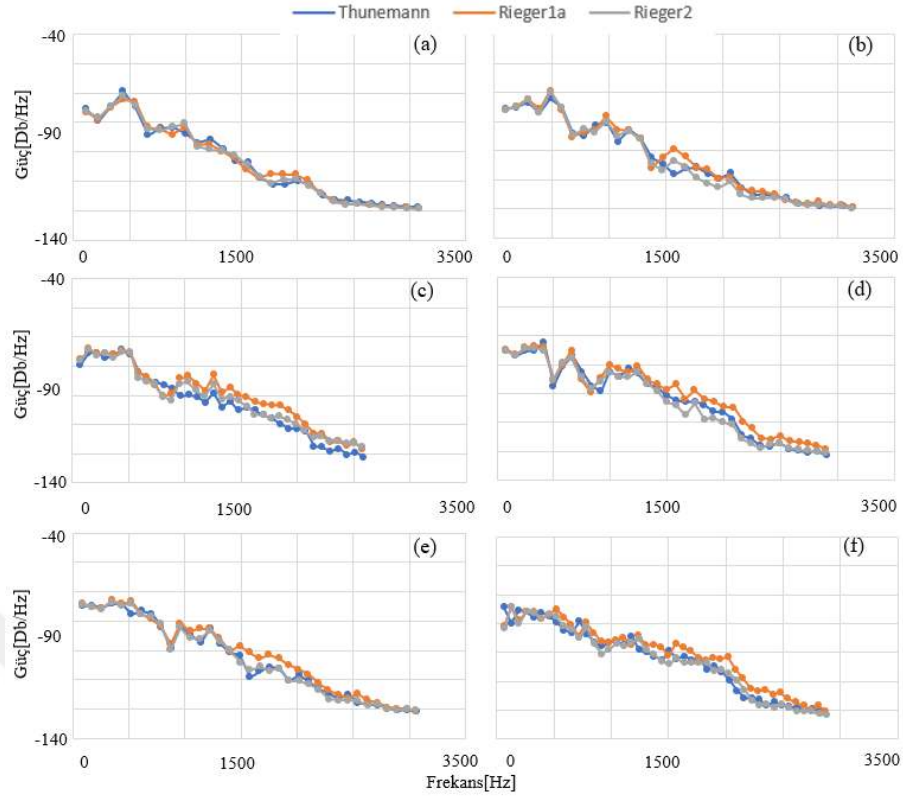


**Şekil 3.9.** Si notasında farklı geometrilere sahip kamışlara ait Gsy diyagramları a) Temel frekans b) 1.harmonik c) 2.harmonik d) 3.harmonik e) 4.harmonik f) 5.harmonik

### 3.3.2. Diğer notalara ait grafikler ve karşılaştırma

Şekil 3.10’da diğer notalara ait ölçümlerin Gsy grafikleri verilmiştir. Bu grafiklerde, bu notalara ilişkin harmonikler ve genlik değerleri verilmiştir. Her bir notaya ait harmoniklerde grafiklerin ayrıntıları EK 4’te verilmiştir. Tablo 3.5’de ise her notanın her kamış geometrisi frekansında meydana gelen yüzdesel sapmalar verilmiştir.





**Şekil 3.10.** Farklı kamış geometrilerine ait Gsy karşılaştırılması a) La notası b) Sol notası c) Fa notası d) Mi notası e) Re notası f) Do notası

**Tablo 3.5.** Farklı geometride kamışların olması gereken frekans değeriyle ölçümlerde gözlenen değerler arasındaki sapmaların yüzdesel değerleri

| Notalar    | Thunemann    | Rieger-1a    | Rieger-2     |
|------------|--------------|--------------|--------------|
| Si notası  | +%0,5 sapma  | %0,18 sapma  | -%0,20 sapma |
| La Notası  | +%1,10 sapma | +%0,20 sapma | +%0,30 sapma |
| Sol Notası | +%0,60 sapma | Sapma yok    | Sapma yok    |
| Fa Notası  | +%0,60 sapma | -%0,05 sapma | Sapma yok    |
| Mi Notası  | +%0,80 sapma | +%0,30sapma  | +%0,25 sapma |
| Re Notası  | +%0,70 sapma | +%0,10 sapma | Sapma yok    |
| Do Notası  | +%0,20 sapma | -%0,25sapma  | +%0,20 sapma |

Grafikler incelendiği zaman en yüksek genlik değerleri La notası için 441 Hz'de, Sol notası için 490 Hz'de, Fa notası için 436,2 Hz'de, Mi notası için 415,2 Hz'de, Re notası için 440,2 Hz'de, Do notasında ise 130,9 Hz'de meydana gelmiştir. Yani en yüksek genlik değeri Do notası hariç notadan bağımsız olarak 400-500 Hz. aralığındaki harmonikte meydana gelmiştir. Frekans açısından yüzdesel sapma değerlerine bakıldığında Do notası hariç Rieger-1a ve Rieger-2 kamışlarının benzer bir yaklaşım gösterdiği görülmüş ancak yine Do notasında Thunemann ve Rieger-2 aynı sapmaları göstermiş ve bu davranışla diğer notalardan farklılaşmıştır. Sonuç olarak kamış geometrisinin frekansta düşük değişimlere neden olması ve ilk harmoniklerdeki değişimin çok kısıtlı olması geometri değişiminin frekans ve genlik değerlerinde çok fazla etkili olmadığı sonucunu çıkarmıştır.

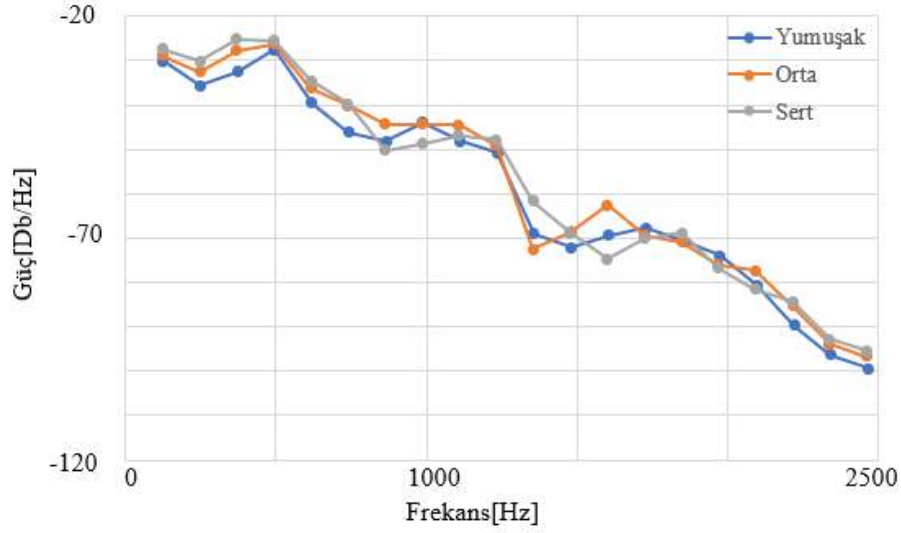
#### **3.4. Kamış Sertlik Değişiminin Etkisinin İncelenmesi**

Kamış sertliğinin frekansa ve genliğe nasıl etki ettiğini görmek amacıyla üç farklı sertlikte kamış kullanılmıştır. Sertlikler yumuşak, orta, sert olarak sınıflandırılmıştır. Kargıların sertlik değerleri 10 ila 12 arası yüksek sertlik, 13 ila 15 arası orta sertlik ve 16 ila 20 arası düşük sertlik değeri olarak değerlendirilmiştir. Ölçümler 10 KHz'de ve 2 saniye boyunca ölçülmüştür. Ölçümler 3 farklı mikrofonda ölçülmüş ve 7 farklı nota içinde ölçüm alınmıştır. Her bir kamış için her notada 5 farklı ölçüm alınmıştır

##### **3.4.1.Si notası**

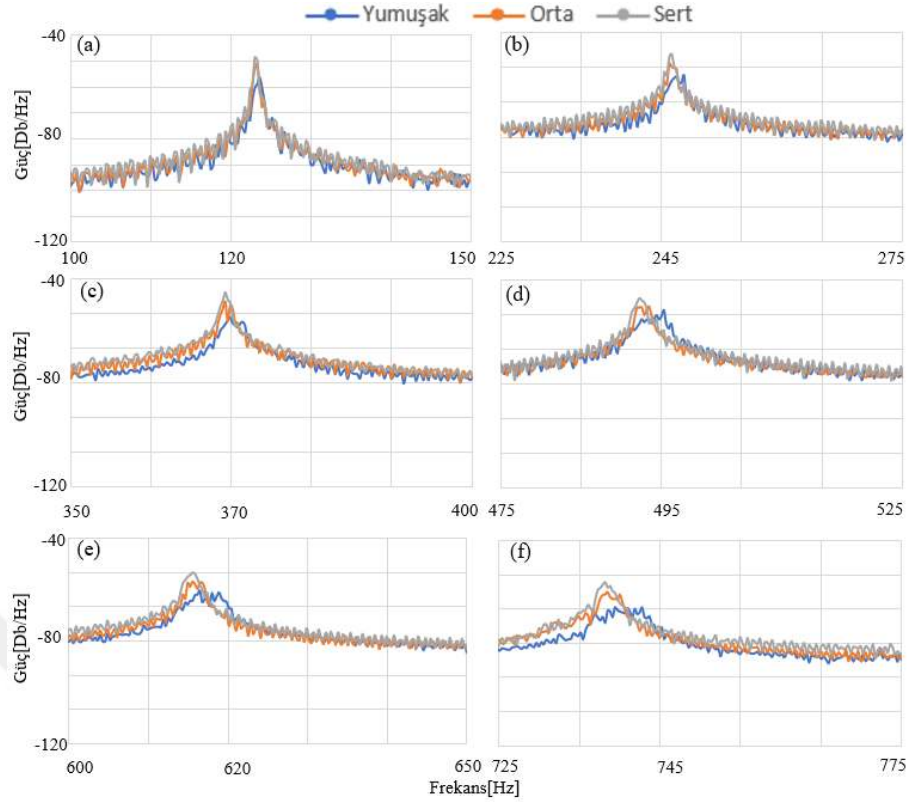
Üç farklı kamış için 0-2500 Hz. aralığındaki frekans değerlerinin karşılaştırılması verilmiştir. Frekans spektrumundaki baskın frekanslar incelendiğinde Si notasının (123,47 Hz) temel ve harmonik frekansları olduğu görülmektedir. Üç farklı kamış türü için de temel frekans spektrum 'da bulunan frekans en yüksek genliği değildir. Yumuşak ve orta sertlikteki kamışlar için ikinci harmonik, sert kamış tipi için üçüncü harmonik en yüksek değeri verdiği görülmüştür. Bu değer yumuşak sertlikte -47,56, orta sertlikte -46,30 sert kamış tipinde ise -45,21 olarak ölçülmüştür. Genlik açısından 0-750 Hz. aralığındaki değerler arasında sert kamış tipinin en yüksek genliği verdiği daha sonra

orta sertlikteki kamış tipinin en düşük ise yumuşak kamış tipi olduğu görülmektedir. Genlik değerlerinde 1231 Hz. Değerinde geometri farklılıklarında da görülen ciddi bir düşüş sertlik değişiminde de yaşanmıştır.



**Şekil 3.11.** Si notasında farklı sertliklere sahip kamışların harmoniklerinin karşılaştırılması

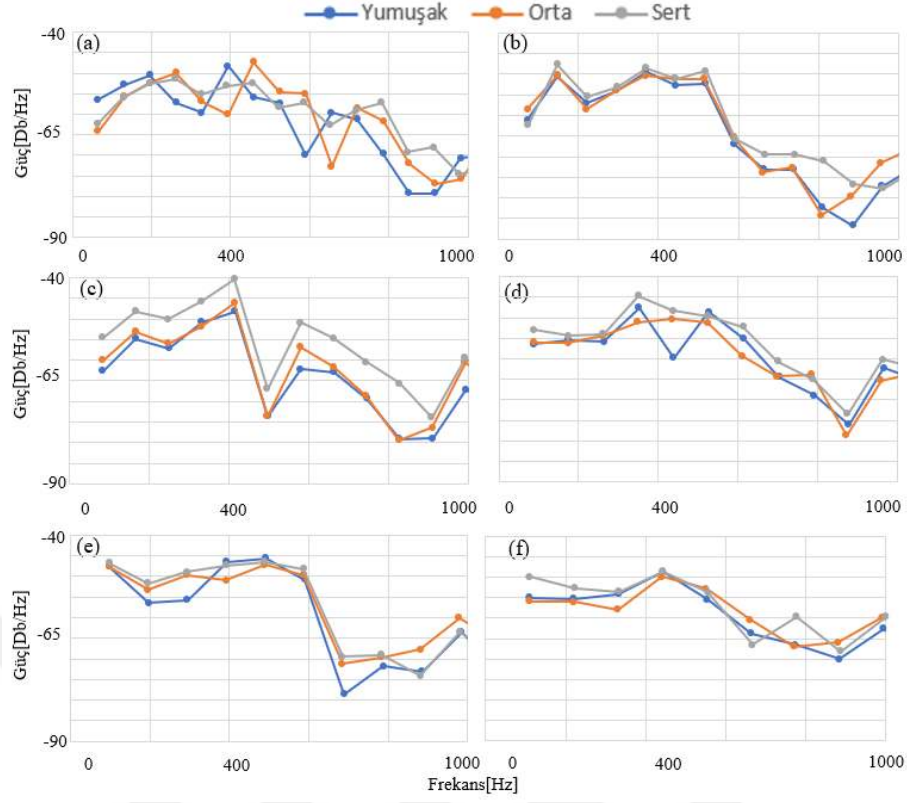
Şekil 3.12’de yukarıda grafikte yer alan temel frekans ve ilk 5 harmoniğe ait daha ayrıntılı grafikleri verilmiştir. Bu grafikler ile farklı sertlikteki kamışlar arasındaki frekans sapma farkı gözlemlenmiştir. Harmonikler incelendiğinde orta ve sert kamış tipleri için genlik ve frekans değerleri aynı çıkmıştır. Yumuşak sertlikteki ise bu iki geometriden farklı olarak gerçekleşmiştir. Si notasının harmoniklerine göre yumuşak kamış tipi herhangi bir sapma göstermezken, sert ve orta kamış tipi %0,2 oranında daha düşük gerçekleşmiştir.



**Şekil 3.12.** Si notasında farklı geometrilere sahip kamışlara ait Gsy diyagramları a) Temel frekans b) 1.harmonik c) 2.harmonik d) 3.harmonik e) 4.harmonik f) 5.harmonik

### 3.4.2. Diğer notalara ait grafikler ve karşılaştırma

Şekil 3.13'te diğer notalara ait ölçümlerin Gsy grafikleri 0-1000 Hz. aralığı için verilmiştir. Bu grafiklerde, bu notalara ilişkin harmonikler ve genlik değerleri verilmiştir. Her bir notaya ait harmoniklerde grafiklerin ayrıntıları EK 5'te verilmiştir. Tablo 3.6'te ise her notanın her kamış geometrisi frekansında meydana gelen yüzdesel sapmalar verilmiştir.



**Şekil 3.13.** Farklı kamış geometrilerine ait Gsy karşılaştırılması a) Do notası b) Re notası c) Mi notası d) Fa notası e) Sol notası f) La notası

**Tablo 3.6.** Farklı sertlikteki kamışların olması gereken frekans değeriyle ölçümlerde gözlenen değerler arasındaki sapmaların yüzdesel değerleri

| Notalar    | Yumuşak      | Orta         | Sert         |
|------------|--------------|--------------|--------------|
| Si notası  | Sapma yok    | -%0,3 sapma  | -%0,3 sapma  |
| La Notası  | +%0,60 sapma | +%0,20 sapma | +%1 sapma    |
| Sol Notası | +%0,40 sapma | Sapma yok    | Sapma yok    |
| Fa Notası  | +%0,65 sapma | -%0,10 sapma | +%0,25 sapma |
| Mi Notası  | +%0,50 sapma | +%0,30 sapma | +%0,30 sapma |
| Re Notası  | +%0,50 sapma | +%0,10 sapma | +%0,80 sapma |
| Do Notası  | +%0,20 sapma | +%0,20 sapma | -%0,30 sapma |

Grafikler incelendiği zaman en yüksek genlik değerlerinin 250-500 Hz. aralığında meydana geldiği görülmüştür.0-1000 Hz. aralığında genlik değerleri açısından Do notası hariç en yüksek değerler sert kapış tipinde daha sonra orta sertlikte en düşük ise yumuşak tipte olduğu görülmüştür. Frekans açısından yüzdesel sapma değerlerine bakıldığında belirli bir dağılım görülmemiş ancak orta sertlikteki kamyş tipinin diğer sertlikteki kamyş tiplerine göre genel olarak daha düşük sapmalar gösterdiği belirlenmiştir.



#### 4.MEKANİK AĞIZ KULLANILARAK AKUSTİK ÖZELLİKLERİN İNCELENMESİ

Bu bölümde kurulan deney sistemi aracılığıyla fagot kamışlarının çeşitli durumlardaki frekans ve genlik değişimleri analiz edilmiştir. Organik ve sentetik kamışların farklı müzik dinamiklerinde(nüanslarında) meydana gelen frekans spektrumları incelenmiş ayrıca kamışların çıkışındaki hız ölçülüp bu durumda meydana gelen frekans değişiklikleri incelenmiştir.

##### 4.1.Deney Sisteminin Kurulumu ve Ekipmanların Tanıtılması

Deney sisteminin kurulumunda kamıştan ses çıkarılabilmesi için gerekli iki temel faktör vardır. Bunlar kamış içerisine hava üfleyecek bir mekanizma ve kamışın iki dudak arasındaki sıkışmasını taklit edecek yapay bir baskı mekanizmasıdır. Bu durumları taklit eden deney sisteminin görünüşü Şekil 4.1’de verilmiştir.



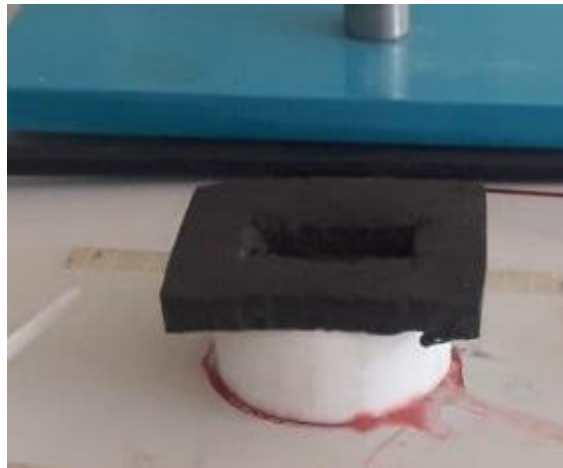
Şekil 4.1. Deney sisteminin görünüşü

#### 4.1.1.Hava sistemi

Kamış için gerekli olan hava bir kompresöre bağlanan 8 mm dış çap 5mm iç çapa sahip bir poliüretan boru aracılığıyla sağlanmıştır. Şekil 4.2’de gösterilen şekilde poliüretan boru bir kapağa tutturulan rakora tutturularak dikey konumunun sabitlenmesi sağlamıştır. Şekil 4.3’te ise borudan çıkan havanın doğrudan kamış ağzına gelmemesi amacıyla ufak bir kompozit boru kullanılmıştır. Hava sisteminde meydana gelen hava kaçakları uygun yerlere sürülen mastik ve yapıştırılan kauçuk neopren bantlar ile önlenmiştir.



**Şekil 4.2.** Kamışa gelen hava sisteminin alttan görünüşü

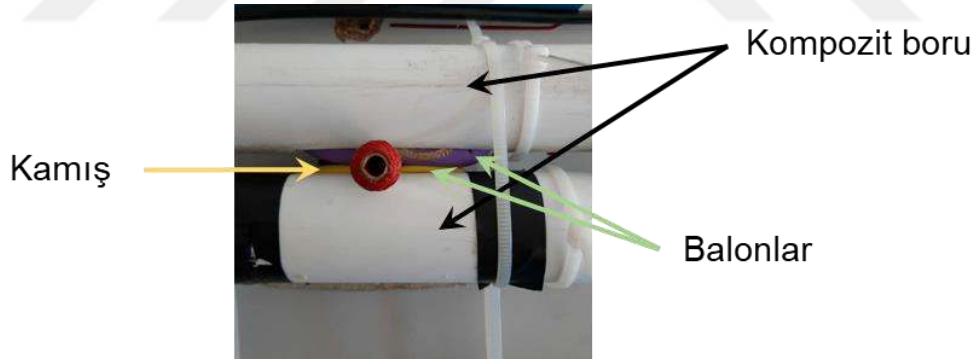


**Şekil 4.3.** Havanın doğrudan temasını önlemek amacıyla kullanılan kompozit boru



#### 4.1.3.Baskı sistemi

Kamıştan ses çıkartılabilmesi için hava sisteminin yanında bir baskı sisteminin kurulması gereklidir. Kurulacak olan bu baskı sistemi sanatçının kamışı üflerken dudağının kamışa uyguladığı basınca benzer bir şekilde eşit olarak dağıtılarak uygulanması gerekmektedir. Ayrıca uygulanan bu baskı kamışın akustik davranışını etkilediğinden kontrol edilmesi gerekmektedir. Bu amaçla baskı oluşturmak üzere oyun balonu kullanımı çözüm olarak değerlendirilmiştir. Balonun şişme yönünü kontrol etmek amacı ile balon üzerinden aksenel yönde bir açıklık oluşturulmuş kompozit bir boru içerisine yerleştirilmiş ve borunun uçları uygun şekilde kapatılarak balonun sadece aksenel yöndeki yarıktan dışarıya doğru şişmesi sağlanmıştır. Balonun ağız kısmı bir hortuma bağlanmıştır ve şişirme işi için basınçlı hava hattından gelen hava kullanılması planlanmıştır. Her iki balondan çıkan borular bir t rakora bağlanmış ve bir kompresör tarafından hava sağlanarak balonların şişmesi sağlanmıştır. Her iki kompozit boru birbirine plastik cırt ile bağlanarak konumlarının sabit kalması sağlanmıştır. Sistemin görseli Şekil 4.4’de verilmiştir.



Şekil 4.4. Baskı sisteminin görseli

Balonların uyguladığı basıncı kontrol etmek amacıyla balonlara gönderilen havanın basıncı manometre tarafından ölçülmüştür. Basıncın ayarlanması ise bir hava regülatörü ile gerçekleştirilmiştir. Sistemde kullanılan manometre Pakkens MC100

marka bir manometre olup 0/600 mbar ölçüm aralığına sahiptir. Hava regülatörü ve manometrenin görseli Şekil 4.5’da gösterilmiştir.



**Şekil 4.5.** Sistemde kullanılan manometre ve regülatör

#### 4.1.4. Anemometre

Anemometreler hava akışının veya hava hızının eş zamanlı olan gösterimini sağlayan aygıtlardır. Sistemde kullanılan anemometre kamıştan çıkan havanın hızını ölçmek amacıyla kullanılmıştır. Sistemde kullanılan anemometre Lutron YK-80AS marka mini kanatçık anemometre olarak seçilmiştir. Kullanılan anemometre kamış çıkış ağzının 1 cm yukarısına yerleştirilmiştir ve elde edilen hava hızları ekrandan takip edilmiştir. Anemometrenin özellikleri Tablo 4.1’de yerleşimi ise Şekil 4.6’da verilmiştir.

**Tablo 4.1.** Sistemde kullanılan anemometrenin özellikleri

| Parametre         | Değerler              |
|-------------------|-----------------------|
| Hava hızı aralığı | 0.8-12 m/s            |
| Temel doğruluk    | Tam ölçeğin $\pm 3\%$ |
| Güç Kaynağı       | 9V                    |



**Şekil 4.6.** Anemometre ve kamış arasındaki yerleşim

#### **4.1.5.Kompresör**

Sistemde kullanılan kompresör kamışa verilen havanın sağlanması ve baskı sistemindeki balonların şişmesinde kullanılmaktadır. Sistemde kullanılan kompresör Jun-Air 18-50 Yağlı hava kompresörüdür. Sisteme hava giriş çıkışını sağlamak amacıyla vanalar kullanılmaktadır. Kompresörün özellikleri Tablo 4.2’de görseli ise Şekil 4.7’de verilmiştir.

Ölçümlerin toplanmasında kullanılan veri toplama sistemi ve mikrofonlar Bölüm 2’de kullanılan ekipmanlardır

**Tablo 4.2.** *Kullanılan kompresörün özellikleri*

| Parametre                     | Değerler         |
|-------------------------------|------------------|
| Tank Hacmi                    | 50 Litre         |
| Kompresör Strok Hacmi (50 Hz) | 150 litre/dakika |
| Kompresör Strok Hacmi (60 Hz) | 180 litre/dakika |
| Maksimum Basınç               | 8 bar            |
| Serbest hava debisi (50 Hz)   | 96 litre/dakika  |
| Serbest hava debisi (60 Hz)   | 111 litre/dakika |



**Şekil 4.7.** *Sistemde kullanılan kompresör*

#### 4.1.6. Debimetre

Kompresör tarafından kamışa verilen hava miktarı bir debimetre ile ölçülerek kayıt altına alınmıştır. Sistemde kullanılan debimetre Alıcat marka M-100SLPM-D model debimetredir. Debimetrenin görseli Şekil 4.8’de verilmiştir.



**Şekil 4.8.** Sistemde kullanılan debimetre

#### 4.1.7.Kamışlar

Sistemde kullanılan organik kamış Rieger-1a türü olup Anadolu Üniversitesi/Devlet Konservatuvarı/Müzik Bölümü/Üflemeli ve Vurmalı Çalgılar Ana sanat Dalı öğretim üyesi Doç. Emre Hopa tarafından hazırlanmıştır. Sentetik kamışlar ise Legere marka Medium ve Medium-Hard kamış türleridir. Kamışların görseli Şekil 4.9’da verilmiştir.



**Şekil 4.9.** Sistemde kullanılan kamışlar

## 4.2.Ölçüm Parametreleri

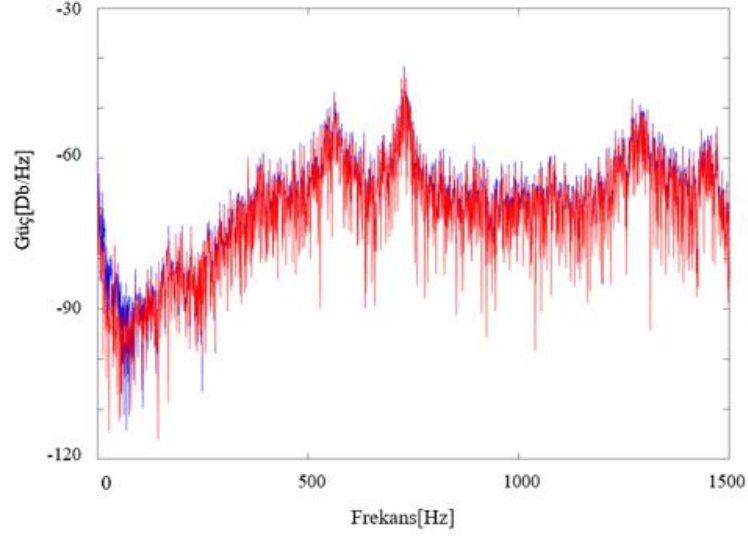
Ölçüm yapılmadan önce sistemin bazı etkenlerden bağımsızlığını kanıtlamak amacıyla bazı testler yapılmıştır. Bunlardan ilki mikrofon oryantasyonunun ölçüm sonuçlara olan etkisidir. İkinci olarak da ölçümlerde filtre kullanıp kullanılmaması gerekliliğidir. Yapılan tüm ölçümler 1 sn boyunca gerçekleştirilmiş ve 10 KHz'de yapılmıştır.

### 4.2.1.Mikrofon konumunun etkisinin incelenmesi

Şekil 4.10'da farklı konumda yerleştirilmiş iki mikrofon görülmektedir. Bu konumda yapılan ölçümler sonucunda elde edilen Gsy diyagramları Şekil 4.11'de verilmiştir. Şekil 4.11 incelendiği zaman frekans değerlerinde sapma olmamış sol olarak adlandırılan mikrofonda maksimum değerler 728,1 Hz. Değerinde -41,48 merkez olarak adlandırılan mikrofonda ise 728,1 Hz. değerinde -42,28 olarak ölçülmüştür. Frekans değerinde herhangi bir sapma olmaması ve genlik değerlerinin maksimum değerlerinde düşük sapmalar göstermesi ölçümlerin mikrofon konumundan bağımsız olduğunu göstermektedir.



Şekil 4.10. Mikrofonların yerleşimi



**Şekil 4.11.** Mikrofon konumlarına göre elde edilen Gsy diyagramları

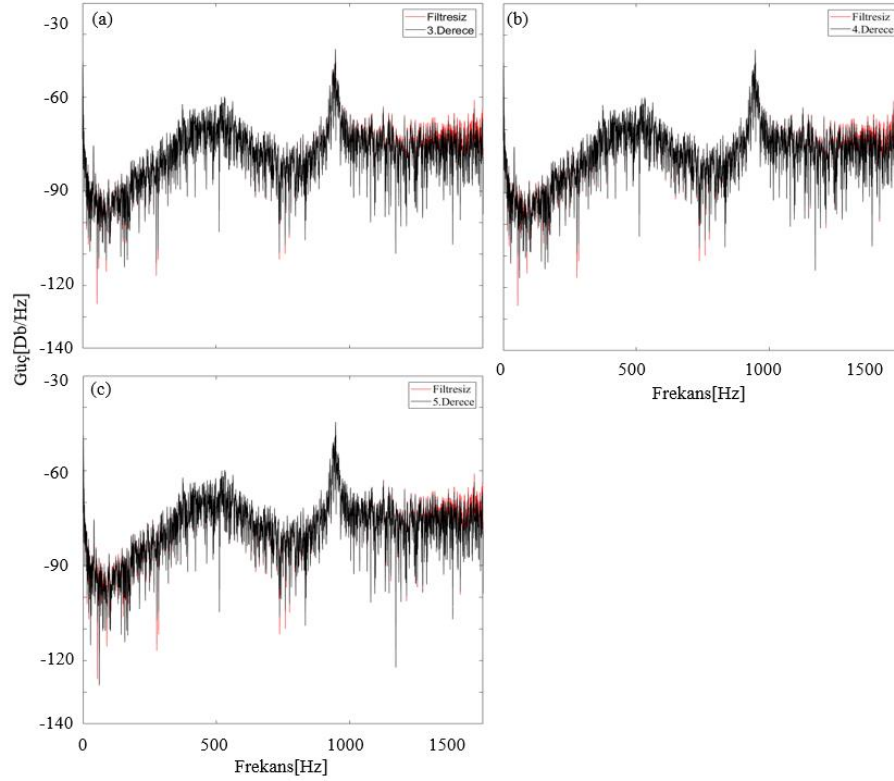
#### 4.2.2. Filtre Uygulanması

Son yıllarda, işaret işleme alanında büyük gelişmeler olmuş ve bu gelişmelerde sayısal filtreler önemli rol oynamıştır. Günümüzde tıbbi ve endüstriyel uygulamalar başta olmak üzere pek çok işaret işleme uygulamasında sayısal filtrelere gereksinim duyulmaktadır. Sayısal filtre, sayısallaştırılmış analog sinyaller üzerinde çalışan, giriş sinyalini istenen çıkış sinyaline dönüştüren yöntem ya da algoritmadır. Uygulama alanları çok geniş olan filtrelerin başlıca tasarım amaçları arasında, karışmış sinyalleri birbirinden ayırmak, sinyaldeki gürültüyü azaltarak sinyal kalitesini arttırmak ve bozulmuş sinyalin tekrar elde edilmesi sayılabilir. Bir başka ifadeyle; filtre, istenilen özellikleri sağlayacak yapının oluşturulması olarak tanımlanabilir.

Yapılan ölçümlere filtre uygulama gerekliliği araştırılmak amacıyla bir ölçüme ait verilere butterworth filtresi uygulanmıştır.

Butterworth filtresi için alçak geçiren filtre olarak kullanılmış ve kesme frekansı olarak 1500 Hz. değeri seçilmiştir. Filtre derecesi için ise 3, 4, 5 olmak üzere üç farklı seçim yapılmıştır. Bu grafik Şekil 4.12’de verilmiştir. Şekillerden açık bir şekilde

görüreceği üzere filtre kullanmak sonuçlarda herhangi bir değişikliğe neden olmamaktadır bu nedenle çalışmada filtreye gerek duyulmadığı değerlendirilmiştir.



Şekil 4.12. Filtre kullanılmamış ölçüm ile a) Üç b) Dört c) Beşinci derece butterworth filtresinin karşılaştırılması

### 4.3.Ölçümler ve Sonuçlar

#### 4.3.1.Farklı dinamiklerdeki kamışlar için sonuçlar

Bu kısımda sistemde organik, medium, medium-hard adlı kamışlar her biri piano, mezzo-forte olarak iki farklı dinamikte çalınarak frekans farklılıkları belirtilmiştir. Bu dinamikler meydana geldiği andaki sesler Doç. Emre Hopa tarafından belirtilmiş ve o anda ölçümler alınmıştır.

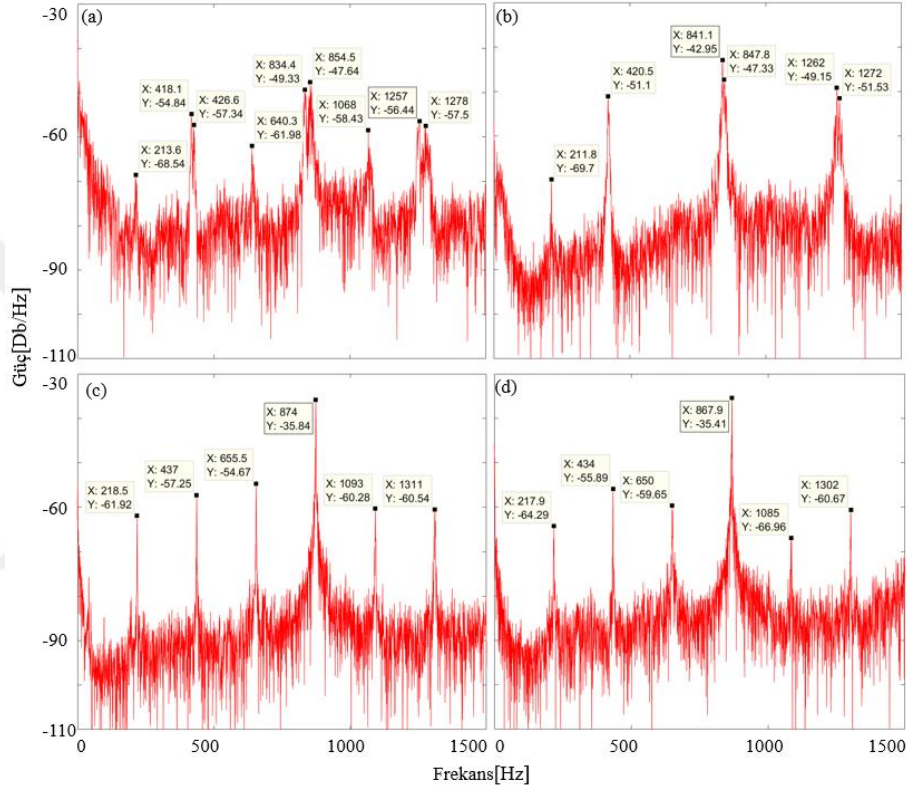
##### 4.3.1.1.Piano dinamiğinde elde edilen çalınmalar için sonuçlar

Piano dinamiğinde elde edilen veriler aşağıdaki gibi Şekillerde gösterilmiştir.



### Organik kamış

Organik kamışta piano dinamiği için ölçümler alınırken balonlara uygulanan basınç 50 mbar ve 60 mbar olarak değiştirilmiştir. Şekil 4.13'te organik kamışın iki farklı baskıdaki çalımları gösterilmiştir. Tekrarlanabilirliği göstermek amacıyla her baskıya ait iki ölçüm verilmiştir.



Şekil 4.13. Organik kamış piano dinamiği a) 60 mbar 1.ölçüm b) 60 mbar 2.ölçüm c) 50 mbar 1.ölçüm d) 50 mbar 2.ölçüm

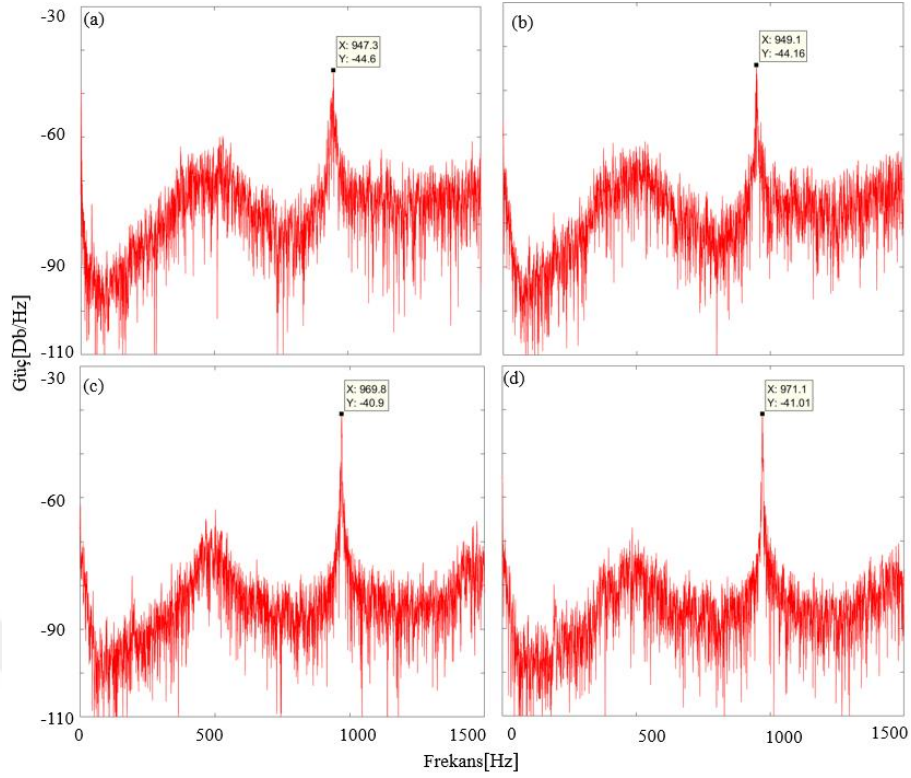
Bu şekiller incelendiği zaman dört şekil içinde ilk harmoniğin 210-220 Hz. arasında meydana geldiği görülmüştür. Dört grafik içinde maksimum genlik değerleri 3.harmonik değerinde gözlemlenmiştir. Baskı düzeyinin değiştirilmesi sonucunda elde edilen en önemli fark 50 mbar baskı değerinde 60 mbar'a göre temel frekans ve

harmoniklerin daha belirgin ve tek olarak ortaya çıkmasıdır.60 mbar baskı değerinde şekillerden görüleceği üzere bazı harmoniklerde 2 adet değer görülmüştür. Baskı düzeyi arasındaki farklılığının bir diğer etkisi de maksimum genlik değerinin şiddeti üzerinde olmuştur.50 mbar baskı değeri 60 mbar değerine göre daha yüksek değerler üretmiştir.

### ***Medium kamış***

Medium kamış ile yapılan ölçümler 50 mbar ve 42 mbar baskı değerlerinde gerçekleştirilmiştir.

Bu ölçümler Şekil 4.14'de verilmiştir. Medium kamışa ait Gsy diyagramları incelendiği zaman organik adlı kamıştan farklı 400-500 Hz. arasında genlikte bir yükselme olmuş ancak en belirgin frekans olarak 950-970 Hz. arasındaki frekans değerleri gözlenmiştir. Baskı farkı incelendiği zaman 42 mbar baskı değerinde maksimum genlik 970 Hz. değerinde gözlenirken 50 mbar baskı değerinde 950 Hz. civarında görülmüştür. Ayrıca organik kamıştakine benzer bir şekilde düşük baskıdaki genlik değerleri daha yüksek olarak gözlemlenmiştir.



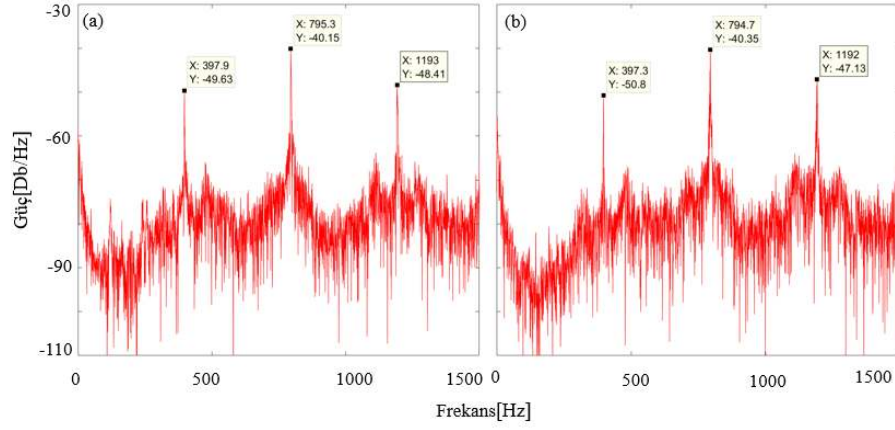
**Şekil 4.14.** *Medium kamışı piano dinamiği a) 50 mbar 1.ölçüm b) 50 mbar 2.ölçüm c) 42 mbar 1.ölçüm d) 42 mbar 2.ölçüm*

#### **4.3.1.2. Mezza Forte dinamiğinde elde edilen çalılar için sonuçlar**

Mezza forte dinamiğinde elde edilen veriler aşağıdaki gibi Şekillerde gösterilmiştir.

##### **Organik kamış**

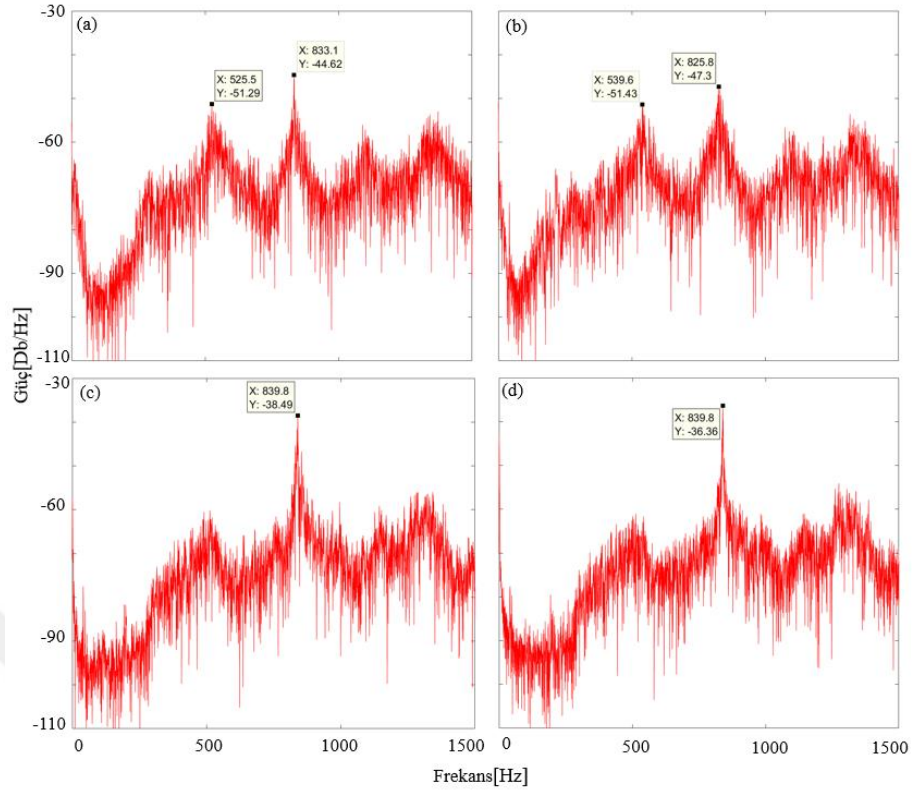
Organik kamış mezzo-forte dinamiğinde elde edilen değerler 50mbar baskı değerinde elde edilmiştir. Sonuçlar Şekil 4.15'te verilmiştir. Grafikler incelendiği zaman organik kamış piano dinamiğinde elde edilen verilere benzer şekilde temel frekans ve bu frekansın harmonikleri şeklinde sonuçlar elde edilmiştir. Ayrıca organik piano ölçümünde olduğu gibi 50 mbar değerinde harmonikler çok açık bir şekilde görülmüştür.



Şekil 4.15. Organik kamışı mezzo-forte dinamiği a) 1.ölçüm b) 2.ölçüm

### **Medium kamış**

Medium kamışı mezzo-forte dinamiği için yapılan ölçümler 50 mbar ve 42 mbar baskı değerlerinde gerçekleştirilmiş. Sonuçlar Şekil 4.16'da verilmiştir. Medium mezzo-forte dinamiğinde elde edilen grafikler piano dinamiğinde elde edilen verilere benzer şekilde gerçekleşmiştir. 400-550Hz. arasında genlikte bir yükselme olmuş ancak en belirgin frekans olarak piano dinamiğinde görülen 950-970 Hz. arasındaki frekans değerleri yerine 820-840 Hz. arasında gözlenmiştir. Yine önceki ölçümlere benzer şekilde 42 mbar baskı değerinde 50 mbar'a göre daha yüksek değerler gözlenmiştir.



**Şekil 4.16.** *Medium kamışı mezzo-forte dinamiği a) 50 mbar 1.ölçüm b) 50 mbar 2.ölçüm c) 42 mbar 1.ölçüm d) 42 mbar 2.ölçüm*

Helmholtz’a göre ses kuvvetli ise kalite zengindir, zayıfsa düşüktür [36]. Ayrıca fagot kamışlarının çalımı için daha düşük basınçta hava verilmesi tavsiye edilmektedir. Yapılan ölçümler sonucunda yukarıda verilen teorileri destekleyecek şekilde daha düşük basınçlarda daha yüksek genlik değerleri ölçülmüştür.

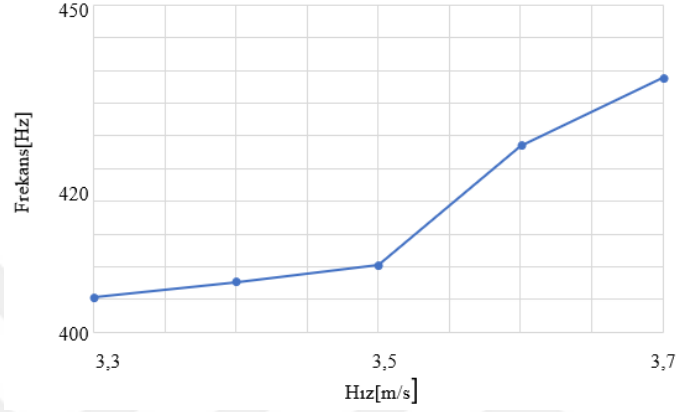
#### 4.3.2.Hız değişiminin etkisinin incelenmesi

Bu bölümde farklı kamışların çıkışından elde edilen veriler ölçülerek hız değişiminin frekans üzerindeki etkisi üç farklı kamış için incelenmiştir.

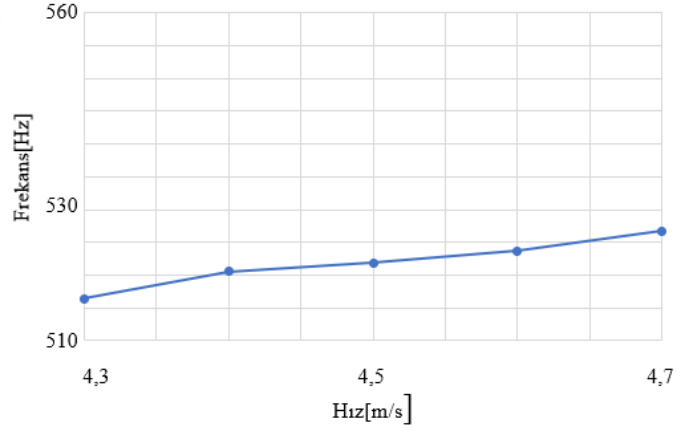
##### 4.3.2.1.Organik kamış

Ölçümlerde hız aralığı 3,2-3,6 m/s ve 4,3-4,7 m/s aralığı olmak üzere iki aralık belirlenmiştir. Şekil 4.17 ve Şekil 4.18’de debiye bağlı olarak frekans değişimi gösterilmiştir. EK 6’da bu ölçümlere ait Gsy diyagramları gösterilmiştir. Bu ölçümler 50 mbar baskı değerinde gerçekleştirilmiştir. Ek 6’da ki grafikler incelendiği zaman

kamış çıkışındaki hızın genliğe etkisinin olmadığı gözlemlenmiştir. Frekans değerleri incelendiği zaman ise yine bölüm başındaki ölçümlere benzer bir şekilde organik kamışta harmonikler net ve açık bir şekilde görülmüştür. Kamış çıkışındaki hız arttıkça 1.harmonik ve buna bağlı olarak diğer harmonikler de artış görülmüştür.



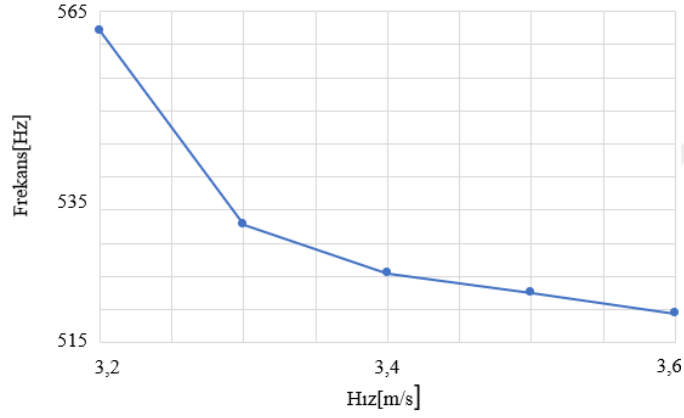
**Şekil 4.17.** Organik Kamışta 3,3-3,7 hız aralığında frekans değerlerinin hıza bağlı olarak değişimi



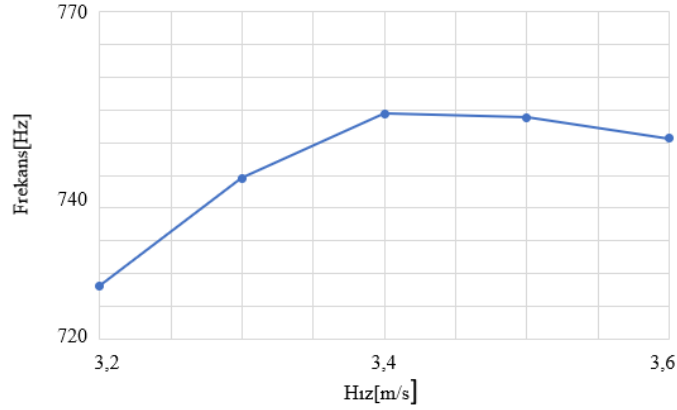
**Şekil 4.18.** Organik Kamışta 4,3-4,7 hız aralığında frekans değerlerinin hıza bağlı olarak değişimi

#### 4.3.2.2. Medium kamış

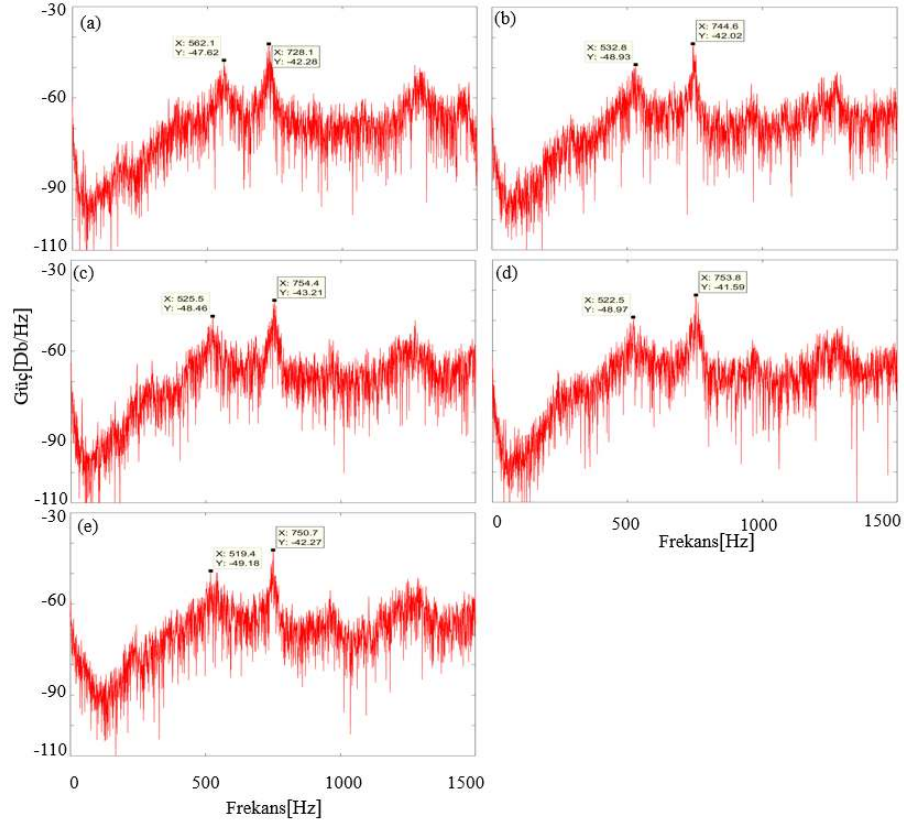
Ölçümlerde hız aralığı 3,2-3,6 m/s aralığı olarak belirlenmiştir. Şekil 4.19 ve Şekil 4.20’de debiye bağlı olarak frekans değişimi gösterilmiştir. Şekil 4.21’de bu ölçümlere ait Gsy diyagramları gösterilmiştir. Grafikler incelendiği zaman kamış çıkışındaki hızın genliğe etkisinin olmadığı gözlemlenmiştir. 1.pik değerleri için hız arttıkça açık bir şekilde sola kayma gerçekleşmiştir. 2.Pik değerleri için ise debi arttıkça frekansta bir sağa kayma gerçekleşmiştir. Yani 2 pik arasındaki açıklık hız arttıkça artmıştır.



Şekil 4.19. Medium kamışta ilk pik frekans değerlerinin hız değişimine bağlı olarak grafiği



Şekil 4.20. Medium kamışta maksimum pikteki frekans değerlerinin hız değişimine bağlı olarak grafiği

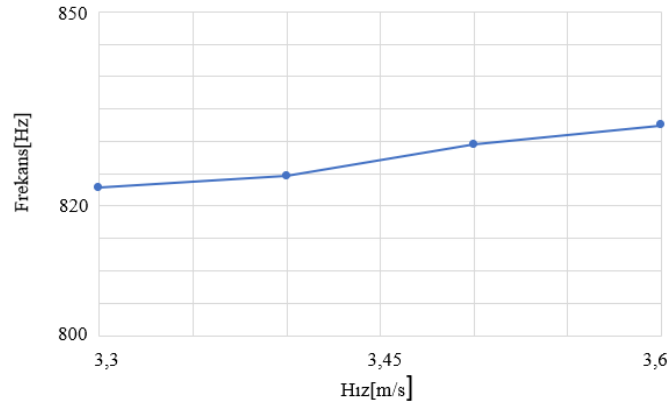


Şekil 4.21. Medium kamışta a)3,2 b)3,3 c)3,4 d)3,5 e)3,6 m/s hızındaki ölçüme ait Gsy grafiği

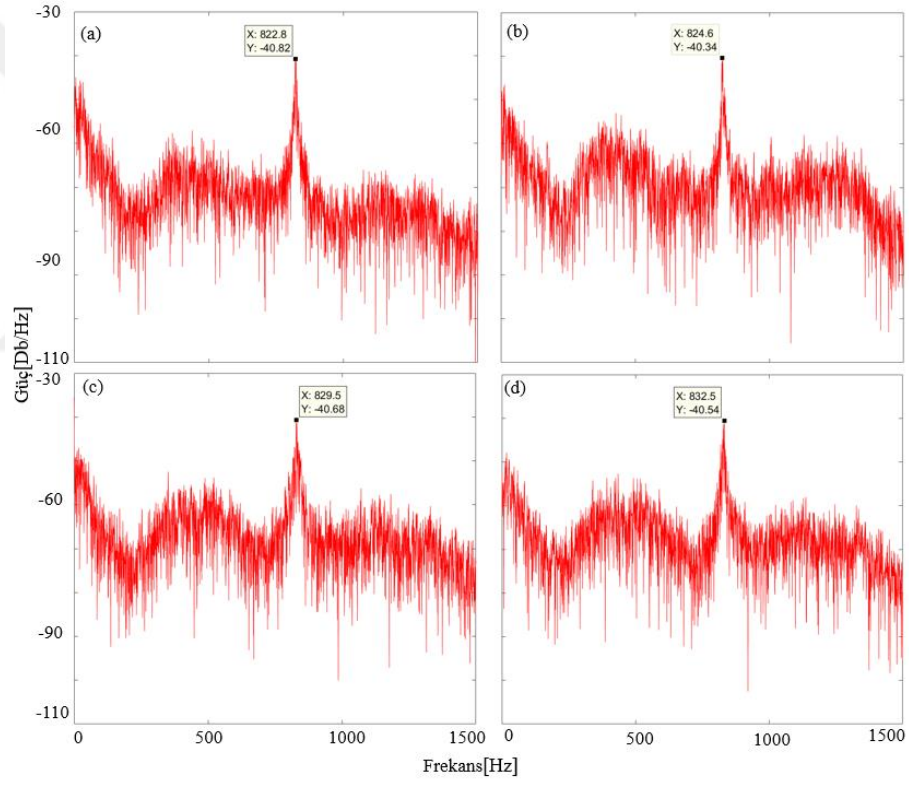
#### 4.3.2.3. Medium-Hard kamış

Ölçümlerde hız aralığı 3,3-3,6 m/s aralığı olarak belirlenmiştir. Şekil 4.22’de debiye bağlı olarak frekans değişimi gösterilmiştir. Şekil 4.23’te bu ölçümlere ait Gsy diyagramları gösterilmiştir. Grafikler incelendiği zaman kamış çıkışındaki hızın genliğe etkisinin olmadığı gözlemlenmiştir. Medium-hard kamışında medium kamışa göre tek bir frekans değeri baskın olarak gözlemlenmiştir. Baskın olan bu frekans değeri hız arttıkça medium kamışta görülene benzer şekilde artış göstermiştir.





Şekil 4.22. Medium-Hard kamışta Frekans değerlerinin hıza bağlı olarak değişimi



Şekil 4.23. Medium-Hard kamışta a)3,3 b)3,4 c)3,5d)3,6 m/s hızındaki ölçüme ait Gsy grafiği

## 5.SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Bu çalışmada ana hatlarıyla temel ses bilgisi ve sesin ortamlarda yayılışı verilerek fagot enstrümanında kullanılan kamışların frekans ve genlik analizleri incelenmiştir.

Bu çalışmada elde edilen bulgular fagot kamış akustiği konusunda tartışmalara veri olarak kullanılacak niteliktedir. Çalışmanın deneysel yapılış tekniğinin verilmesinde ve uygulanan metotlarla bundan sonraki çalışmalara bir fikir olması amaçlanmıştır.

Fagot kamışlarının frekans spektrumunun çıkarılmasında Hızlı Fourier Dönüşümü kullanılmıştır. Yapılan ölçümler için pencere kullanmanın ve filtre uygulamanın gerekli olmadığı görülmüştür.

Deneyler yapılmadan önce örneklem uzunluğunun etkisi, örneklem frekansının etkisi, mikrofon konumu etkisi gibi faktörlerin sonuçları etkileyip etkilemediği incelenmiş ve ölçüm sonuçlarının bu parametrelerden bağımsız olduğu görülmüştür.

Deneyler iki farklı bölümde olarak gerçekleştirilmiştir. İlk bölümde fagot enstrümanı tarafından farklı özelliklere sahip kamışlar çalınarak farklı notalardaki frekans spektrumları analiz edilmiştir.

1.Bölümün ilk kısmında üç farklı parametre için kamışlar incelenmiştir. Tüm bu ölçümler 7 farklı nota için ayrı ayrı incelenmiştir. İlk olarak organik, medium, medium hard kamışlara ait frekans spektrumları analiz edilmiştir. Yapılan ölçümlerde notalara ait temel frekanslar ve bunların harmonikleri net bir şekilde yakalanmıştır. Kamışlara ait frekans spektrumları incelendiğinde tüm kamışlar 2500 Hz. Değerinden sonra bir değişim gözlemlenmemiştir. Tüm notalardaki genlik değerleri incelendiği zaman üç farklı kamış türü için de temel frekans spektrum 'da bulunan frekansın en yüksek genlik olmadığı görülmüştür. Maksimum genlik harmonik sayısından bağımsız olarak 400-500 Hz. civarlarında meydana gelmiştir. Notalarda organik adlı kamış normal frekans değerinden %0,2 civarında sapma gösterirken sentetik kamışlar olan medium ve medium-hard adlı kamışlar için ise bu sapmalar daha yüksek çıkmış ve birbirine yakın

değerler gözlemlenmiştir. Buradan organik kamışın sanatçının çalımına göre daha yüksek doğruluk oranları gösterdiği sentetik kamışlar içinde sertlik artıkça daha fazla sapma gösterdiği sonucu çıkarılabilir.

1.Bölümün ikinci kısmında ise farklı kamış geometrisine sahip kamışların frekans spektrumları incelenmiştir. Geometri olarak Thunemann, Rieger-1'a, Rieger-2 kamış geometrileri kullanılmıştır. Genlik açısından 0-1000 Hz. aralığındaki değerler arasında geometriler arasındaki değişimin çok düşük olduğu görülmüştür. Bunun sonucu olarak sentetik ve organik kamış çalışmalarında elde edilen farkların geometri kaynaklı değil malzeme kaynaklı olabileceği değerlendirilmiştir. Harmonikler incelendiğinde Rieger-1a ve Rieger-2 geometrisi için genlik ve frekans değerleri aynı çıkmıştır. Thunemann geometrisi ise bu iki geometriden farklı olarak gerçekleşmiştir. Si notasının harmoniklerine göre Thunemann adlı geometri %0,5 oranında daha yüksek gerçekleşirken, Rieger-1a ve Rieger-2 geometrileri ise %0,2 oranında daha düşük gerçekleşmiştir.

1.Bölümün üçüncü kısmında ise kamış sertlik değişiminin etkisi incelenmiştir. Genlik açısından 0-750 Hz. aralığındaki değerler arasında sert kamış tipinin en yüksek genliği verdiği daha sonra orta sertlikteki kamış tipinin en düşük ise yumuşak kamış tipi olduğu görülmektedir. Genlik değerlerinde 1231 Hz. Değerinde geometri farklılıklarında da görülen ciddi bir düşüş sertlik değişiminde de yaşanmıştır. Frekans açısından yüzdesel sapma değerlerine bakıldığında belirli bir dağılım görülmemiş ancak orta sertlikteki kamış tipinin diğer sertlikteki kamış tiplerine göre genel olarak daha düşük sapmalar gösterdiği belirlenmiştir.

2.Bölümde ise kurulan deney sistemi aracılığıyla fagot kamışlarının farklı müzik dinamiklerinde frekans spektrumları, farklı baskı durumundaki frekans spektrumları ve kamış çıkışındaki hava hızının frekans spektrumuna olan etkileri incelenmiştir. Yapılan ölçümler sonucunda temel farklılıklar ortaya çıkmıştır. Organik kamış için harmonik değerler belirgin bir şekilde ortaya çıkarken medium kamış da 2 farklı pik değerleri gözlemlenmiş ve bu değerler birbirinin harmoniği olarak ortaya çıkmamıştır, medium-

hard kamışta ise tek bir baskın frekans değeri gözlemlenmiştir. Kamışların frekans değerleri piano ve mezzo forte dinamiklerin de farklı frekans değerleri ölçülmüştür.

Organik kamışta baskı düzeyinin değiştirilmesi sonucunda göre temel frekans ve harmoniklerin daha belirgin ve tek olarak ortaya çıkmıştır. Baskı düzeyi arasındaki farklılığının bir diğer etkisi de maksimum genlik değerinin şiddeti üzerinde olmuştur. Düşük baskı değerlerinde daha yüksek genlik değerleri elde edilmiştir. Medium kamışta organik kamıştakine benzer bir şekilde düşük baskıdaki genlik değerleri daha yüksek olarak gözlemlenmiştir. Fagot kamışlarının çalımı için daha düşük basınçta hava verilmesi tavsiye edilmektedir. Yapılan ölçümler sonucunda yukarıda verilen teorileri destekleyecek şekilde daha düşük basınçlarda daha yüksek genlik değerleri ölçülmüştür.

Kamış çıkışında hızın etkilenmesi incelendiği zaman organik kamışta hız arttıkça ilk harmonikteki frekans değerlerinin arttığı gözlemlenmiştir. Diğer harmoniklerde herhangi bir sapma olmamış ve ilk harmoniğe uygun şekilde ortaya çıkmıştır. Medium kamışta ise 1.pik değerleri için hız arttıkça açık bir şekilde sola kayma gerçekleşmiştir. 2.Pik değerleri için ise debi arttıkça frekansta bir sağa kayma gerçekleşmiştir. Yani 2 pik arasındaki açıklık hız arttıkça artmıştır. Medium-hard kamışta ise baskın olan tek frekans değerinde diğer kamışlara benzer şekilde hız arttıkça artış görülmüştür. Hız değişimi ile genlik arasında belirli bir korelasyon bulunamamıştır.

## KAYNAKÇA

[1] <https://tr.wikipedia.org/wiki/Fagot>

(Erişim Tarihi:12.08.2021)

[2] Hopa, E. (2017). Fagot eğitiminde kamyş yapımının önemi. Anadolu Üniversitesi Sanat ve Tasarım dergisi,7(1).<https://dergipark.org.tr/tr/download/issue-full-file/31374>

(Erişim Tarihi:12.08.2021)

[3] Zeren, A. (1997). Müzik Fiziği (7). İstanbul: Pan Yayıncılık.

[4] Taylan şengöl, “Müzik Fiziği”, Nisan 2017

[5] <https://www.art-izan.org/artizan-arsivi/muzik-fizigi/>

(Erişim Tarihi:12.08.2021)

[6] <http://www.linuxfocus.org/English/March2003/article271.meta.shtml>

(Erişim Tarihi:14.08.2021)

[7] Milar, K (2008). Fast Fourier Transform Analysis of oboes, oboe reeds and oboist: What Matter Most to Timbre.Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi. Massachusetts: Mount Holyoke College, Physics Department

[8] [https://web.itu.edu.tr/~baykut/lab/pdf/Deney\\_3.pdf](https://web.itu.edu.tr/~baykut/lab/pdf/Deney_3.pdf)

(Erişim Tarihi:12.08.2021)

[9] Cooley, J.W. ve Tukey, J.W., (1965). An Algorithm for the Machine Calculation of Complex Fourier Series. American Mathematical Society,19(90), 297- 301.

[10] Weber, G. (1830). Pitch compensation of free-reed organ pipes. Caecilia,43,181-202

[11] Hemholtz, H (1863). Sensations of Tone. (Çev: Alexander Ellis), Isis,109(2),339-345

- [12] Backus, J. (1963). Small vibration theory of the Clarinet. The Journal of the Acoustical Society of America, 35(3), 305-313
- [13] Nederveen, C. (1969). Acoustical aspects of woodwind instruments. Amsterdam: Fritz Knuf
- [14] Bouasse, H. (1930). Instruments a Vent. (1). Fransa: Librairie Delagrave
- [15] Benade, A.H., Gans, D. J (1968). Sound production in Wind instruments. Annals of the New York Acedemy of Sciences, 155(1), 247-263
- [16] Fletcher, N.H. (1976). Transients in the speech of organ flue pipes. Acta Acustica United with Acustica, 34(4), 224-233
- [17] Schumacher, R.T. (1976). Self sustained musical oscillators. The Journal of the Acoustical Society of America, 59, 33
- [18] Thompson, S.C. (1979). The effect of the reed resonance on the woodwind tone production. The Journal of the Acoustical Society of America, 66(5), 1299-1307
- [19] Wilson, T. ve Beavers, G (1974). Operating modes of the clarinet. The Journal of the Acoustical Society of America, 56(2), 653–658.
- [20] Gilbert, J., Dalmond, J. and Guimezanes, T. (2005). Nonlinear propagation in wood-winds. Forum Acusticum in 2005, 1369-1372
- [21] Wijnands, A. P. J., Hirschberg, A. (1995). Effect of a pipe neck downstream of a double reed. In Proceedings of the International Symposium on Musical Acoustics, 149–152. Societe Française d’Acoustique.
- [22] Almeida, A., Vergez, C. ve Caussé, R. (2004). Experimental investigations on double reed quasi-static behavior. In *Proceedings of ICA 2004*, 2. Cilt, 1229–1232.
- [23] Almeida, A., Vergez, C. ve Caussé, R. (2007). Quasistatic nonlinear characteristics of double-reed instruments. The Journal of the Acoustical Society of America, 121(1), 536-546

[24] Almeida, A., Vergez, C.ve Caussé, R. (2007). Experimental investigation of reed instrument functioning through image analysis of reed opening. Acta Acustica,93,645-658

[25] Yılmaz, S. (2002). Kanunda kullanılan ses tablasının akustik özelliklerinin incelenmesi. Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi.Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü

[26] Grethe, T. (2014). Experimantal Investigation of Bassoon Acoustics. Yayınlanmamış Doktora Tezi. Dresden Teknik Üniversitesi, Makine Mühendisliği Enstitüsü

[27] <https://www.idasotomasyon.com/mikrofon-nedir/>

(Erişim Tarihi:12.08.2021)

[28]<http://elektrikelektronikegitimi.blogspot.com/2018/05/mikrofon-nedir-cesitleri-nelerdir.html>

(Erişim Tarihi:14.08.2021)

[29] <https://tr.wikipedia.org/wiki/Mikrofon>

(Erişim Tarihi:14.08.2021)

[30][http://www.megep.meb.gov.tr/mte\\_program\\_modul/moduller\\_pdf/Sens%C3%B6rler%20Ve%20Transduserler.pdf](http://www.megep.meb.gov.tr/mte_program_modul/moduller_pdf/Sens%C3%B6rler%20Ve%20Transduserler.pdf)

(Erişim Tarihi:17.08.2021)

[31]<http://www.proplan.com.tr/Urunler/titresim-ve-akustik/akustik-sensorler/klasik-mikrofonlar>

(Erişim Tarihi:14.08.2021)

[32] <https://rmc.com.tr/veri-toplama-nedir-daq-veya-das/>

(Erişim Tarihi:14.08.2021)

[33]<https://blog.dta.com.tr/window-tipleri-hanning-flattop-uniform-tukey-ve-exponential/>

(Erişim Tarihi:14.08.2021)

[34] Bucur, V. (2019). Handbook of Materials for Wind Musical Instruments. Switzerland: Springer Nature

[35] Rieger, G., (2017). Density determination “Heinrich” for tube cane, instruction manual.

[36] Helmholtz, H. (1954). On the Sensations of Tone. (2.Baskı). Oxford, England: Dover Publications



## **EKLER**

### **EK 1. Matlab programında FFT analizi için kullanılan kodlar**

```
[d,v] = xlsread('Name of text');
```

```
t = d(:,1);
```

```
v = d(:,2);
```

```
v1 = detrend(v,0);
```

```
L = length(v1);
```

```
Ts = mean(diff(t));
```

```
Fs = 1/Ts;
```

```
Fn = Fs/2;
```

```
NFFT = 2^nextpow2(L);
```

```
Y = fft( v1,NFFT)/Fs;
```

```
f = Fn*linspace(0,1,NFFT/2+1);
```

```
p=2*abs(Y(1:NFFT/2+1));
```

```
figure
```

```
plot(f,2*abs(Y(1:NFFT/2+1)));
```

```
xlim([0 1000])
```

```
ylim([0 0.025])
```

```
title('FFT for analysis')
```

```
grid on
```

```
xlabel('Frequency (Hz)')
```

ylabel('Voltage')



## **EK 2. Matlab programında Gsy analizi için kullanılan kodlar**

```
[d,v]= xlsread('Name of text');

t = d(:,1);

v = d(:,32);

L = length(v);

Ts = mean(diff(t));

Fs = 1/Ts;

nfft = 2^nextpow2(L);

xdft = fft(v,nfft);

xdft = xdft(1:nfft/2+1);

psdx = (1/(Fs*L)) * abs(xdft).^2;

psdx(2:end-1) = 2*psdx(2:end-1);

NumUniquePts = nfft/2+1;

freq =(0:NumUniquePts-1)*Fs/nfft;

freq2=transpose(freq);

q=10*log10(psd);

plot(freq,10*log10(psd))

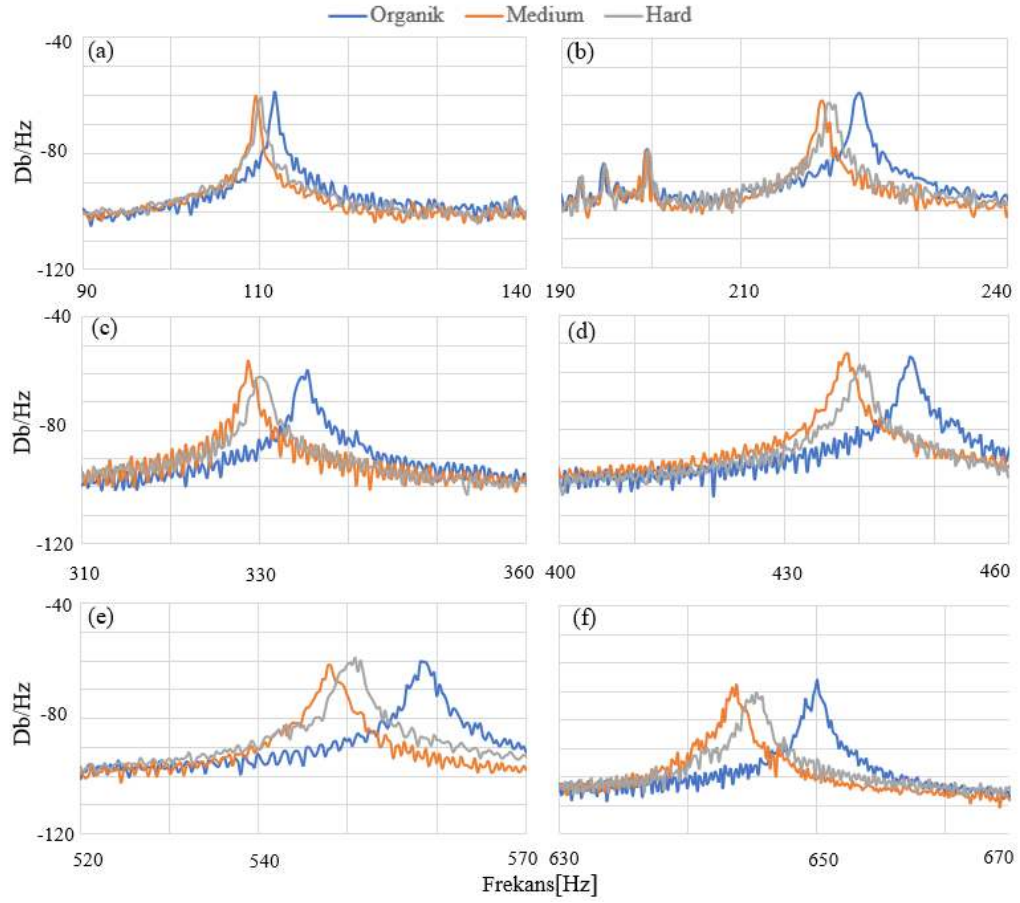
grid on

title('Periodogram Using FFT')

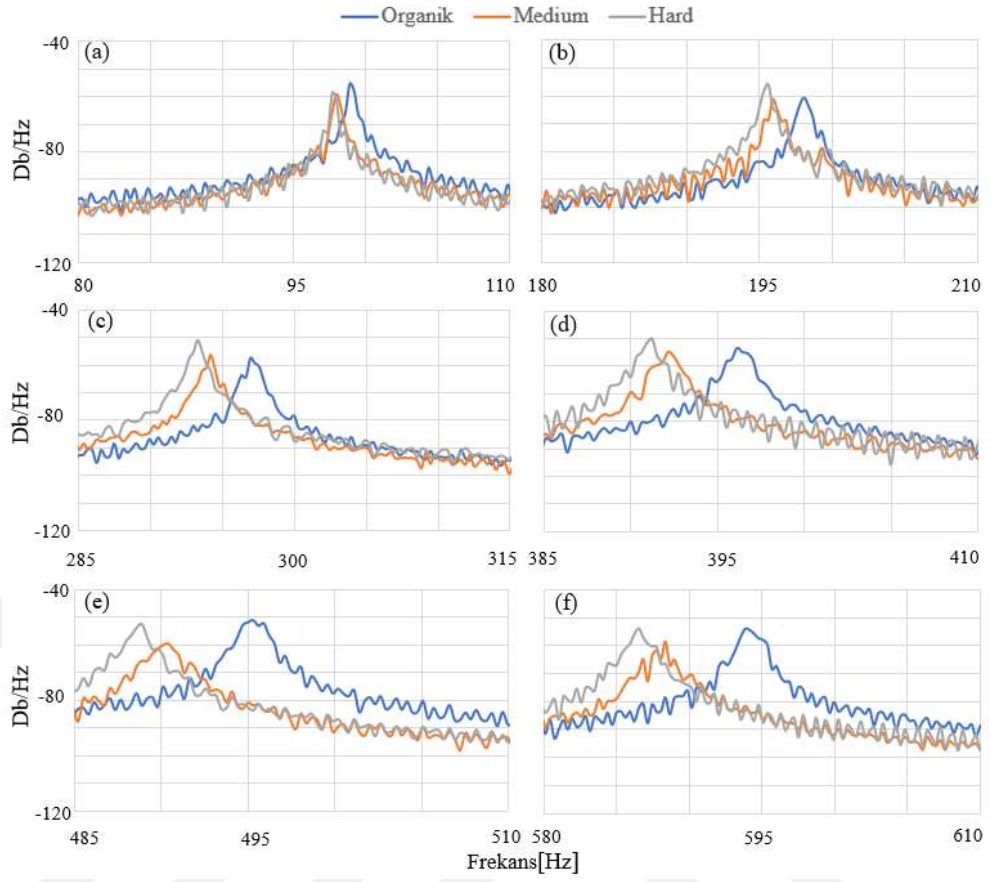
xlabel('Frequency (Hz)')

ylabel('Power/Frequency (dB/Hz)')
```

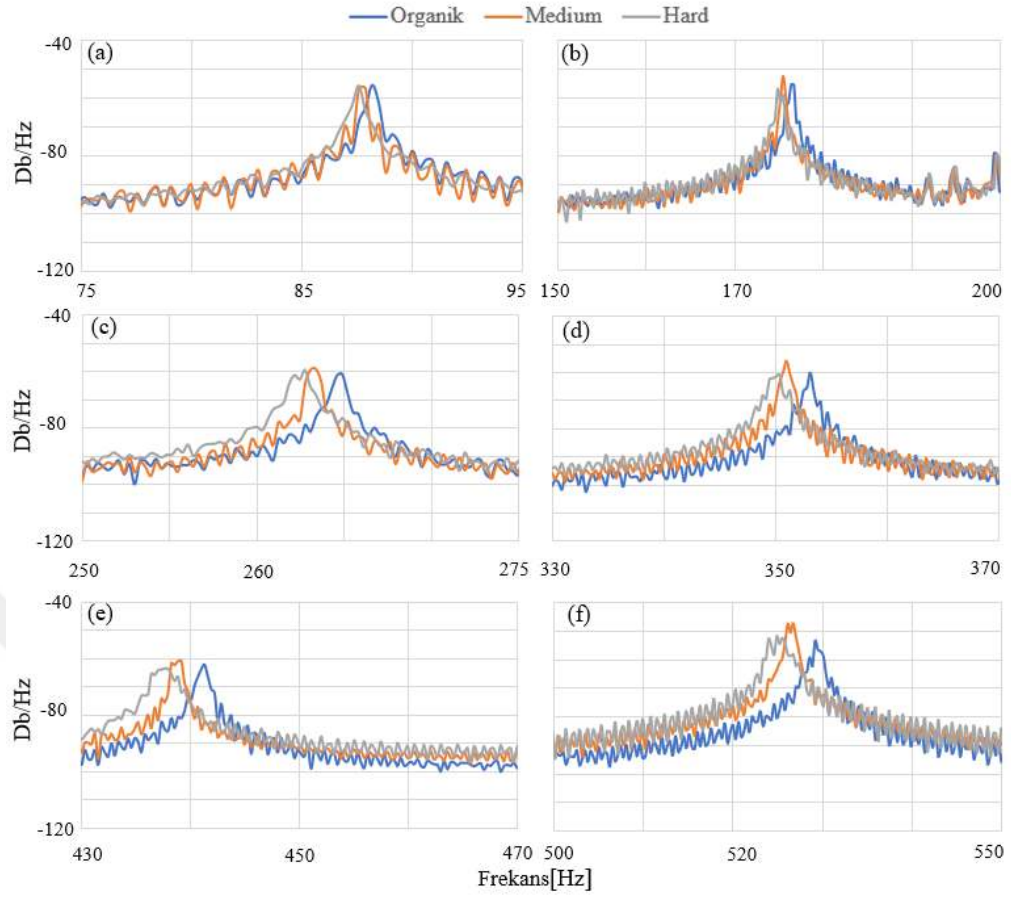
### EK 3. Farklı kamışlara ait ölçümlerin farklı notalardaki harmonikleri



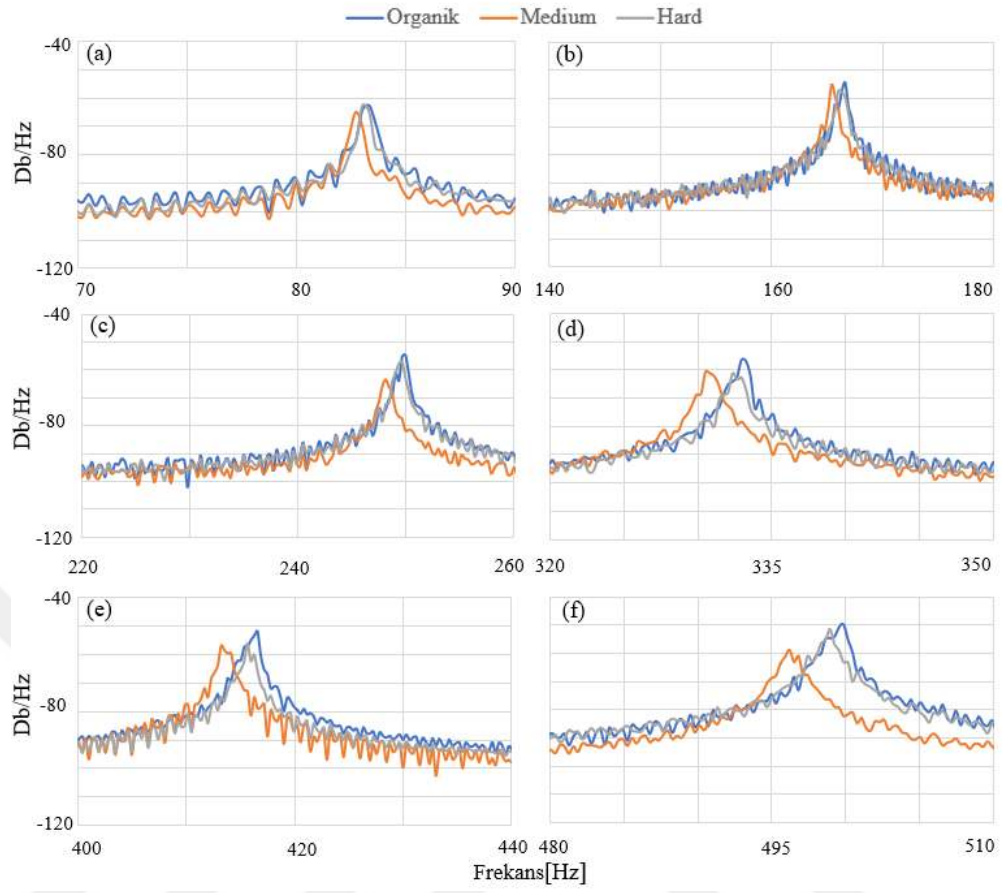
**EK 3 A.** La notasında farklı kamışlara ait Gsy diyagramlar a) Temel frekans b) 1.harmonik c) 2.harmonik d) 3.harmonik e) 4.harmonik f) 5.harmonik



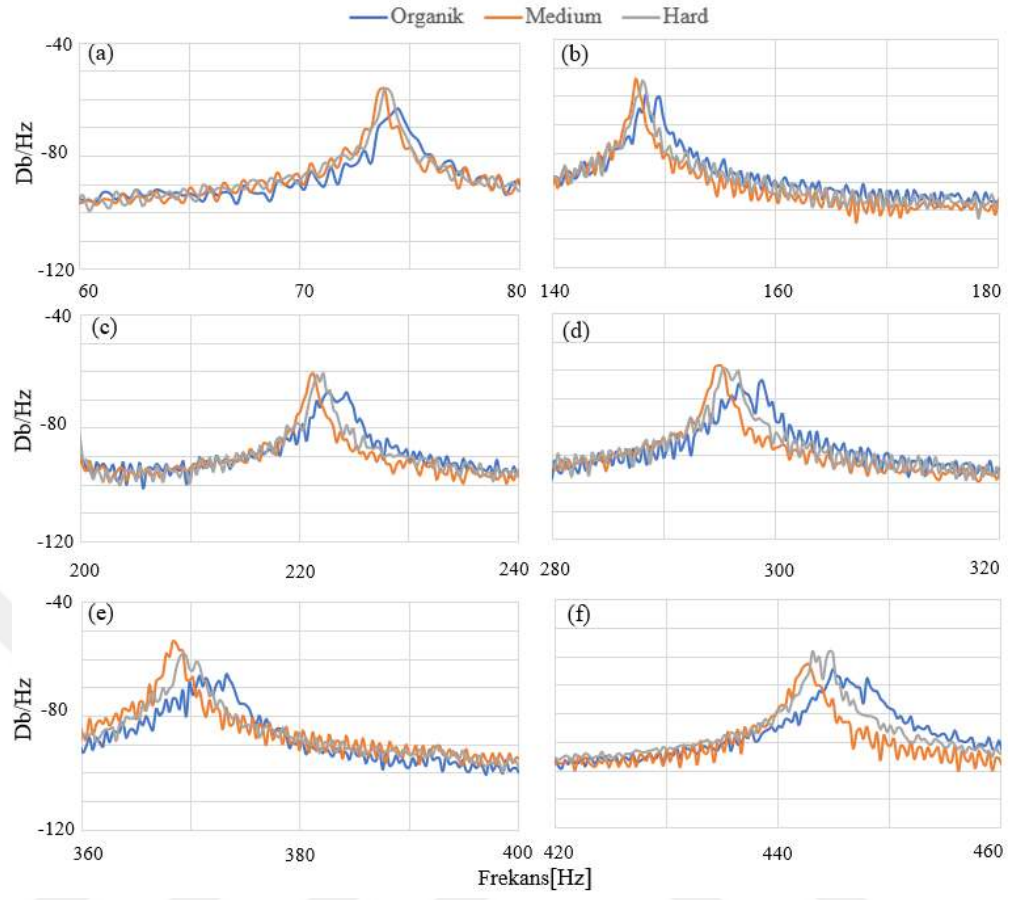
**EK 3 B.** Sol notasında farklı kamışlara ait Gsy diyagramlar a) Temel frekans b) 1.harmonik c) 2.harmonik d) 3.harmonik e) 4.harmonik f) 5.harmonik



**EK 3 C.** Fa notasında farklı kamışlara ait Gsy diyagramlar a) Temel frekans b) 1.harmonik c) 2.harmonik d) 3.harmonik e) 4.harmonik f) 5.harmonik

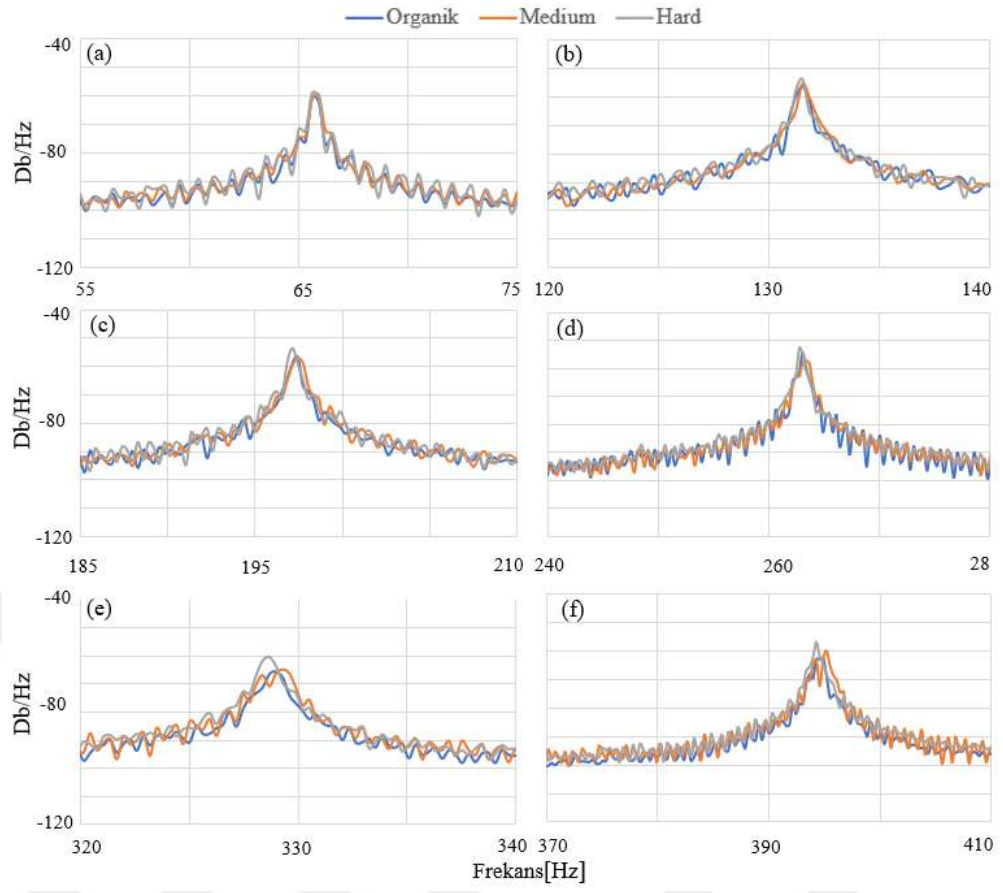


**EK 3 D.** Mi notasında farklı kamışlara ait Gsy diyagramlar a) Temel frekans b) 1.harmonik c) 2.harmonik d) 3.harmonik e) 4.harmonik f) 5.harmonik



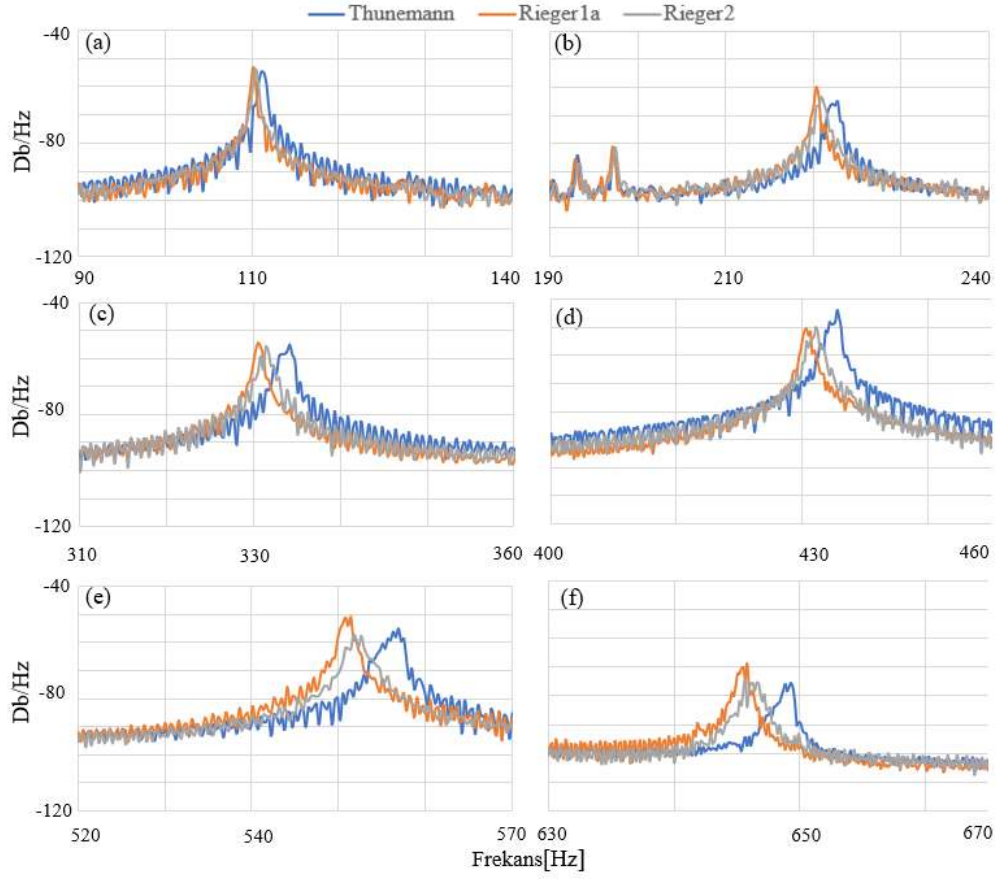
**EK 3 E.** Re notasında farklı kamışlara ait Gsy diyagramlar a) Temel frekans b) 1.harmonik c) 2.harmonik d) 3.harmonik e) 4.harmonik f) 5.harmonik



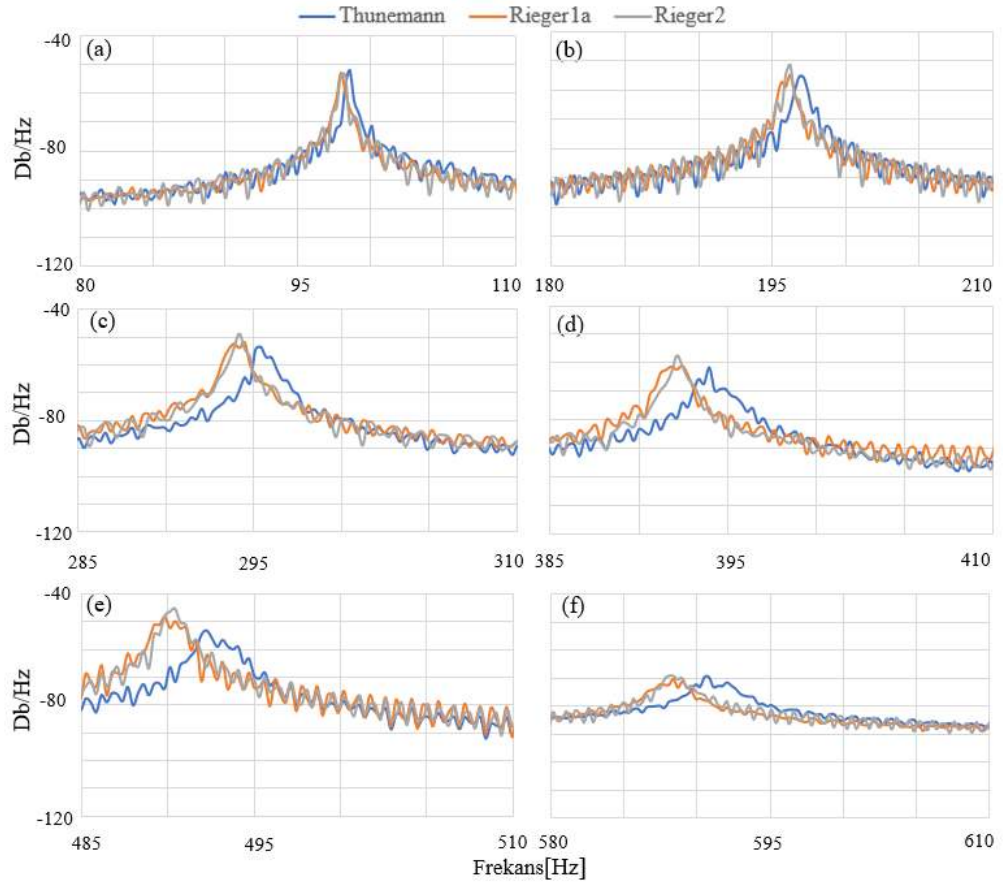


**EK 3 F.** Do notasında farklı kamışlara ait Gsy diyagramları a) Temel frekans b) 1.harmonik c) 2.harmonik d) 3.harmonik e) 4.harmonik f) 5.harmonik

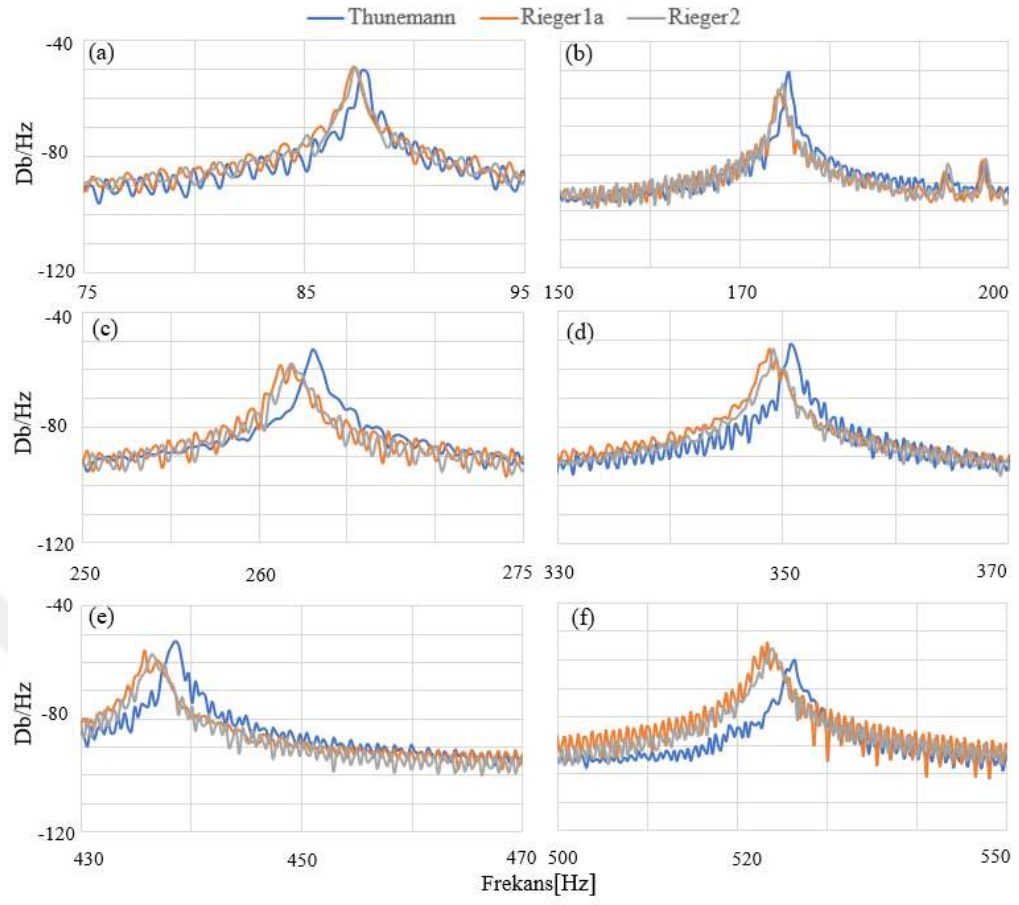
#### EK 4. Farklı geometrilere sahip kamışlara ait ölçümlerin farklı notalardaki harmonikleri



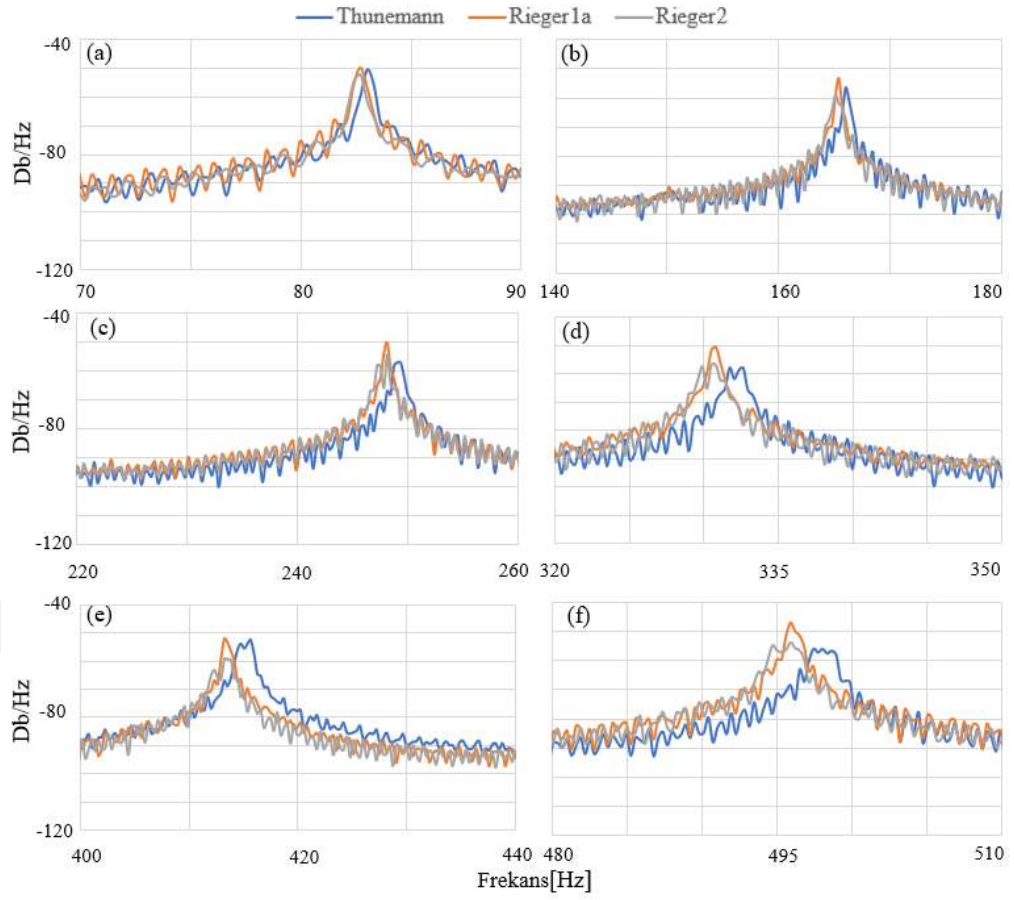
**EK 4 A.** La notasında farklı geometrilere sahip kamışlara ait Gsy diyagramları a) Temel frekans b) 1.harmonik c) 2.harmonik d) 3.harmonik e) 4.harmonik f) 5.harmonik



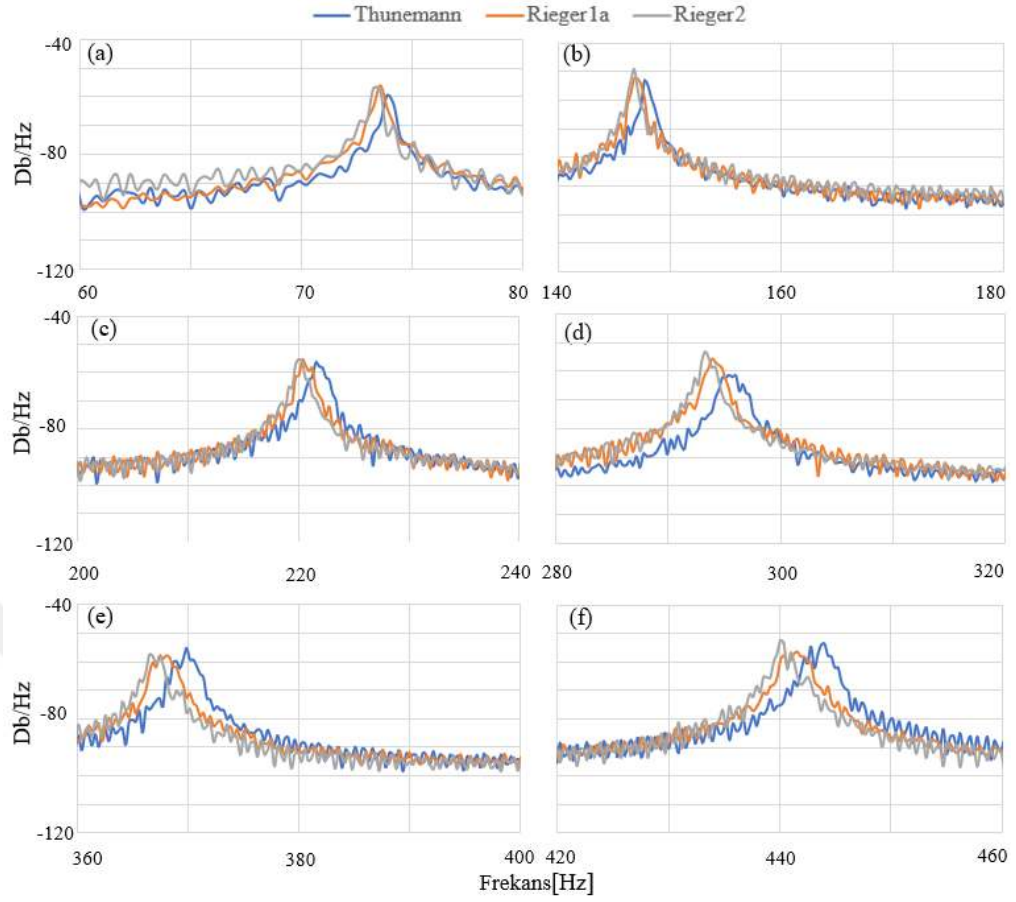
**EK 4 B.** Sol notasında farklı geometrilere sahip kamışlara ait Gsy diyagramları a) Temel frekans b) 1.harmonik c) 2.harmonik d) 3.harmonik e) 4.harmonik f) 5.harmonik



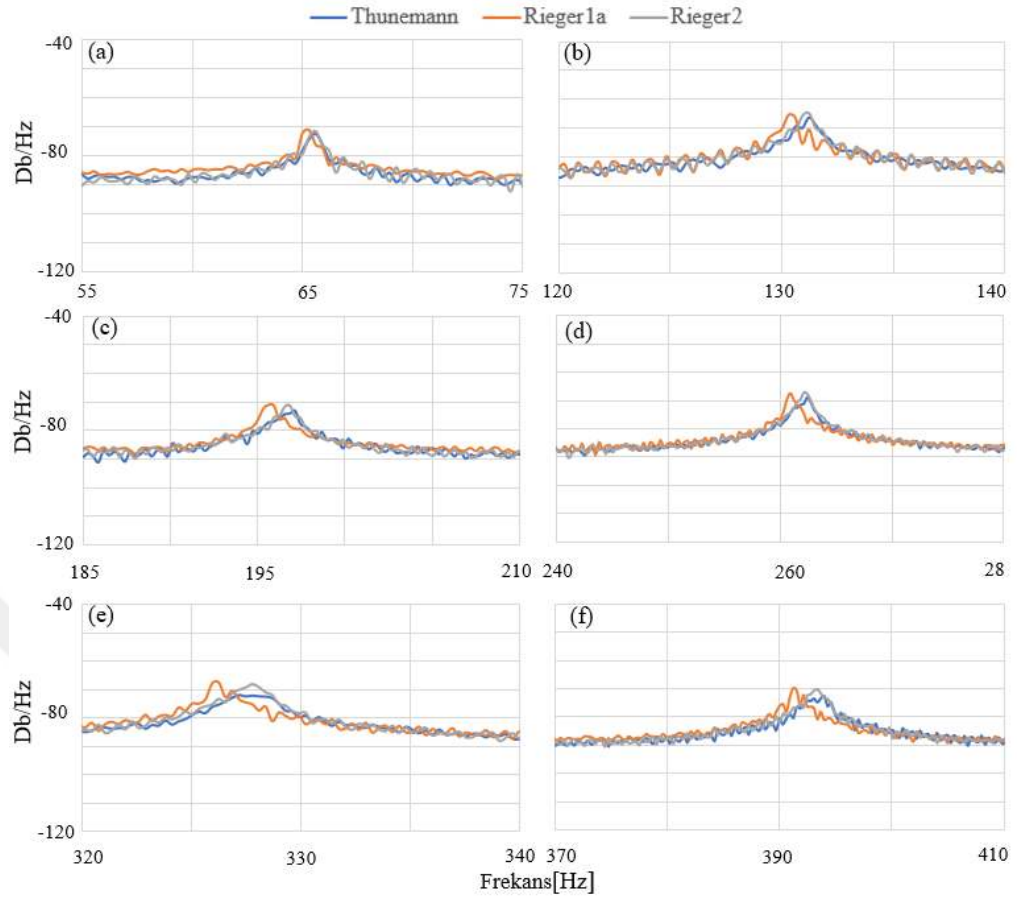
**EK 4 C.** Fa notasında farklı geometrilere sahip kamışlara ait Gsy diyagramları a) Temel frekans b) 1.harmonik c) 2.harmonik d) 3.harmonik e) 4.harmonik f) 5.harmonik



**EK 4 D.** Mi notasında farklı geometrilere sahip kamışlara ait Gsy diyagramları a) Temel frekans b) 1.harmonik c) 2.harmonik d) 3.harmonik e) 4.harmonik f) 5.harmonik

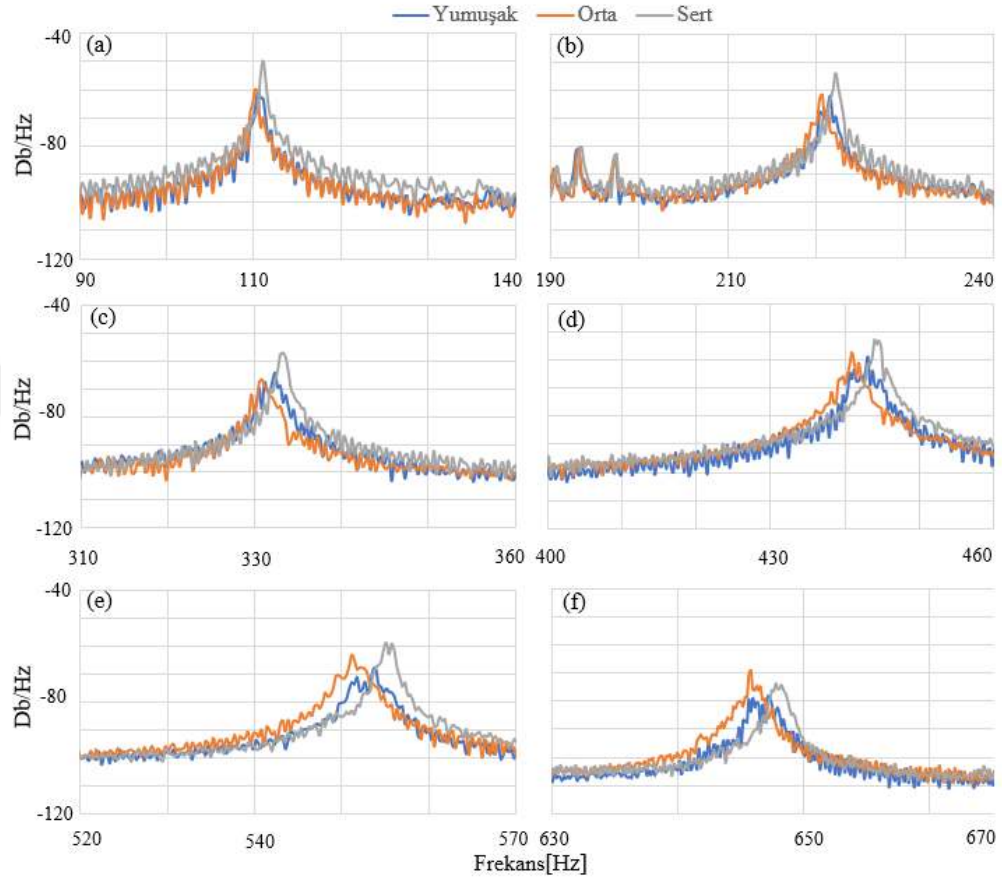


**EK 4 E.** *Re notasında farklı geometrilere sahip kamışlara ait Gsy diyagramları a) Temel frekans b) 1.harmonik c) 2.harmonik d) 3.harmonik e) 4.harmonik f) 5.harmonik*



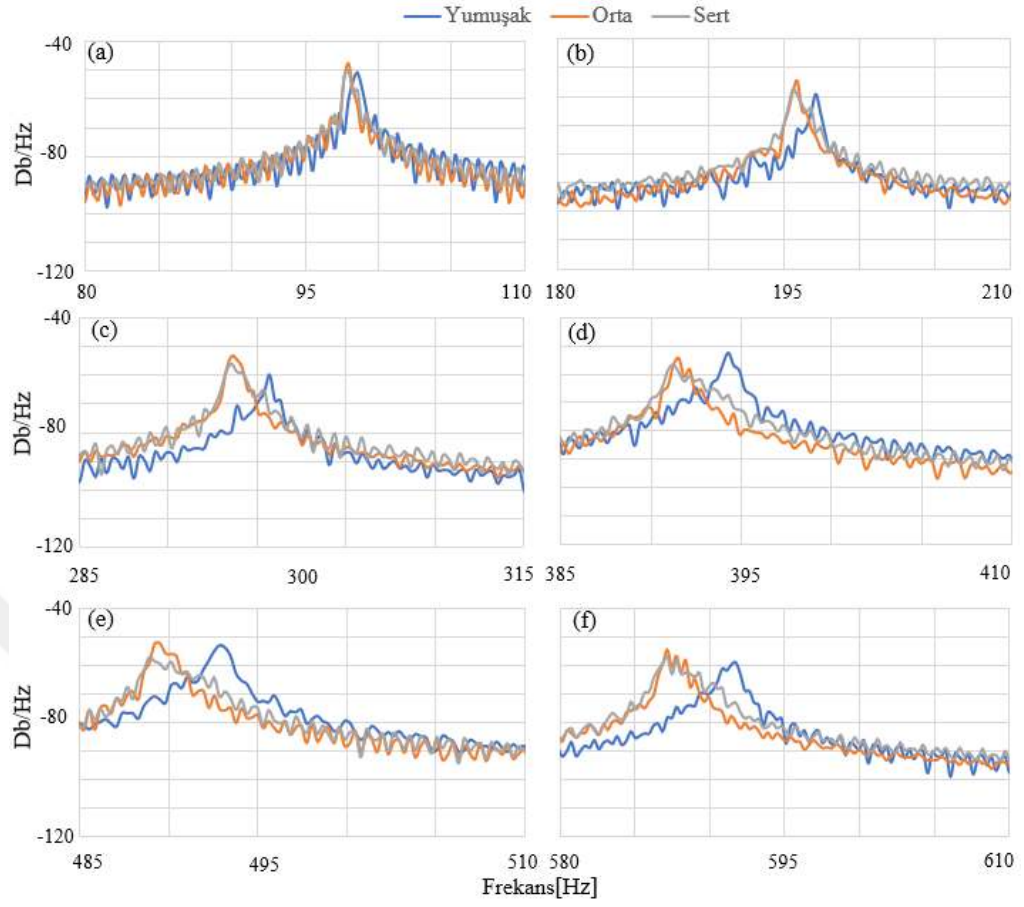
**EK 4 F.** *Do* notasında farklı geometrilere sahip kamışlara ait Gsy diyagramları a) Temel frekans b) 1.harmonik c) 2.harmonik d) 3.harmonik e) 4.harmonik f) 5.harmonik

## EK 5. Farklı sertliklere sahip kamışlara ait ölçümlerin farklı notalardaki harmonikleri

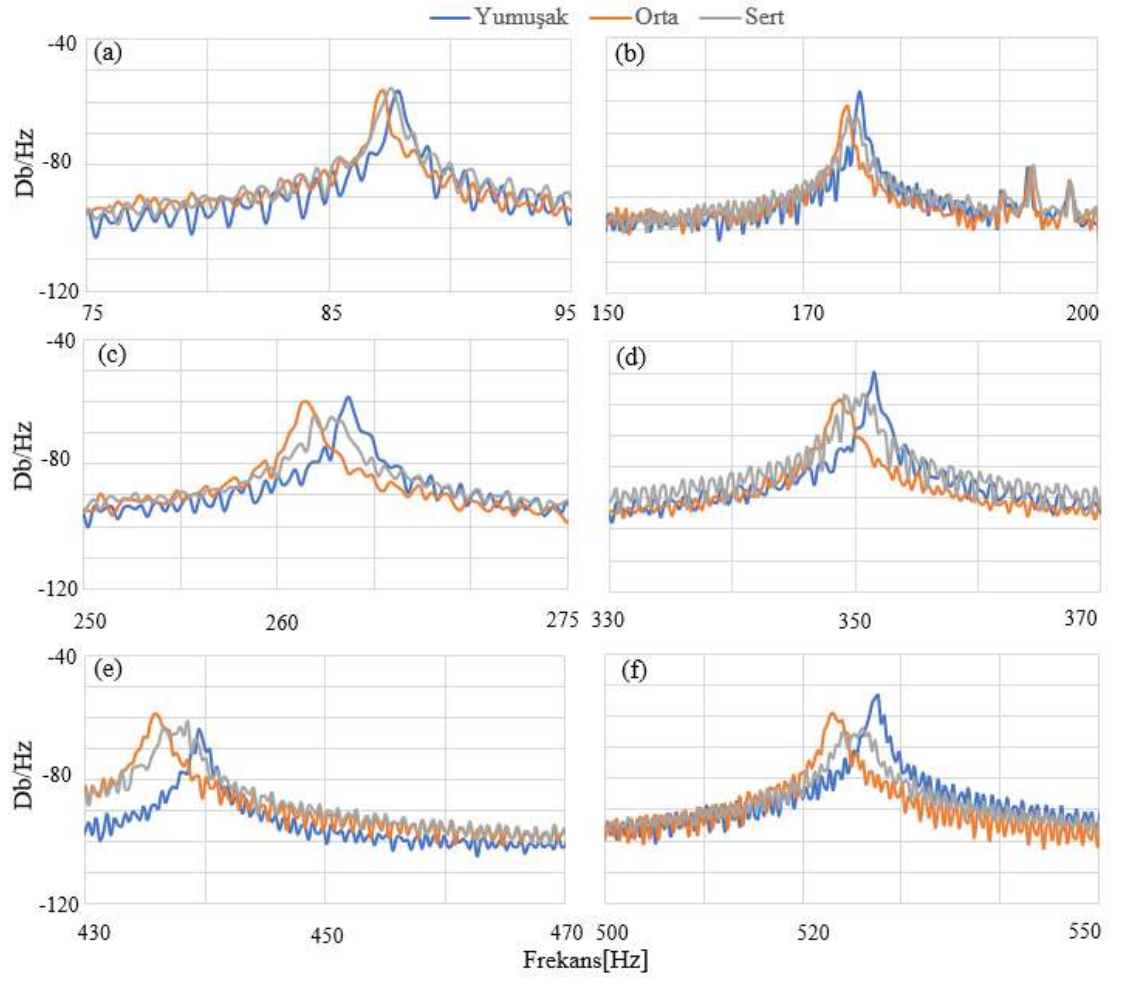


**EK 5 A.** *La notasında farklı sertliklere sahip kamışlara ait Gsy diyagramları a) Temel frekans b) 1.harmonik c) 2.harmonik d) 3.harmonik e) 4.harmonik f) 5.harmonik*

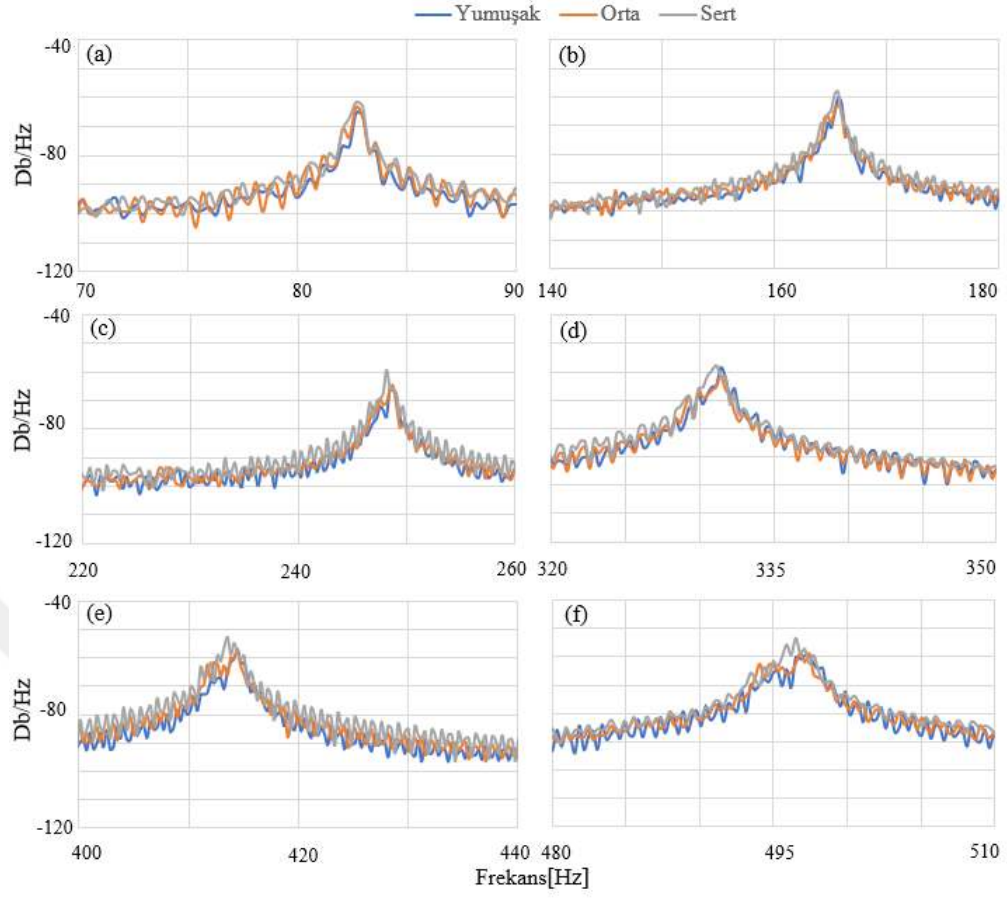




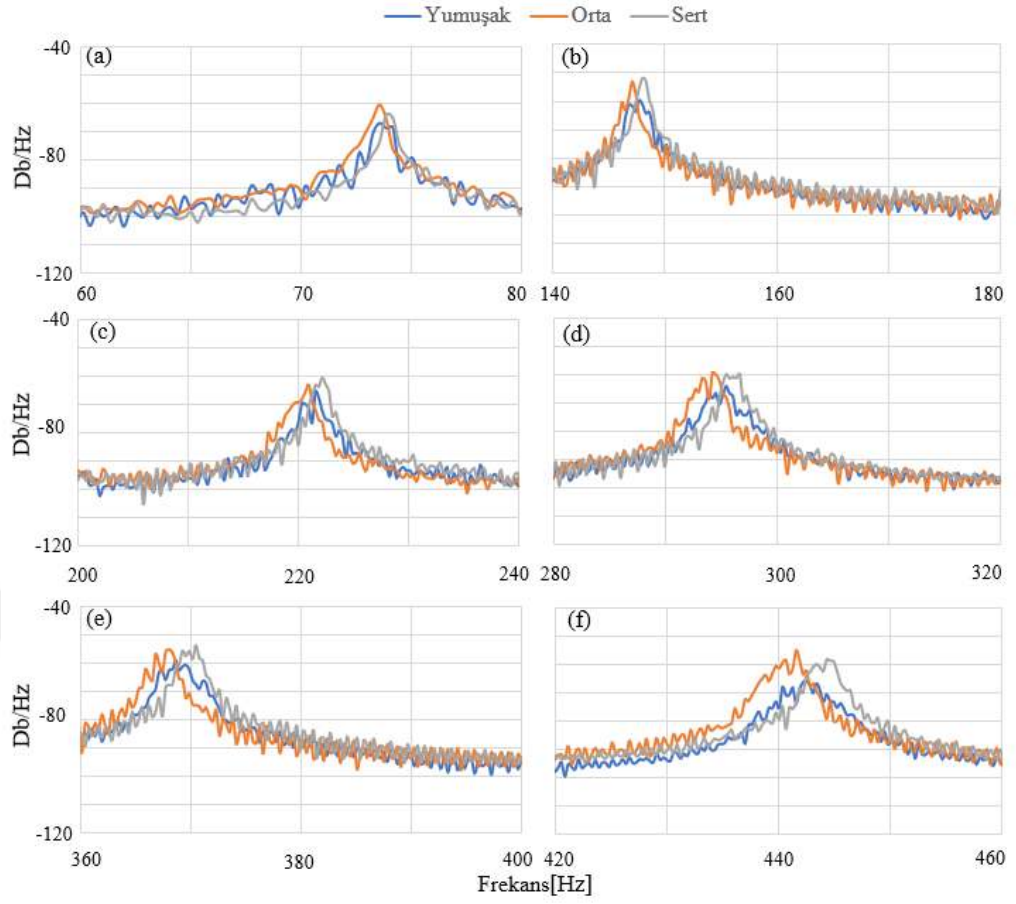
**EK 5 B.** Sol notasında farklı sertliklere sahip kamışlara ait Gsy diyagramları a) Temel frekans b) 1.harmonik c) 2.harmonik d) 3.harmonik e) 4.harmonik f) 5.harmonik



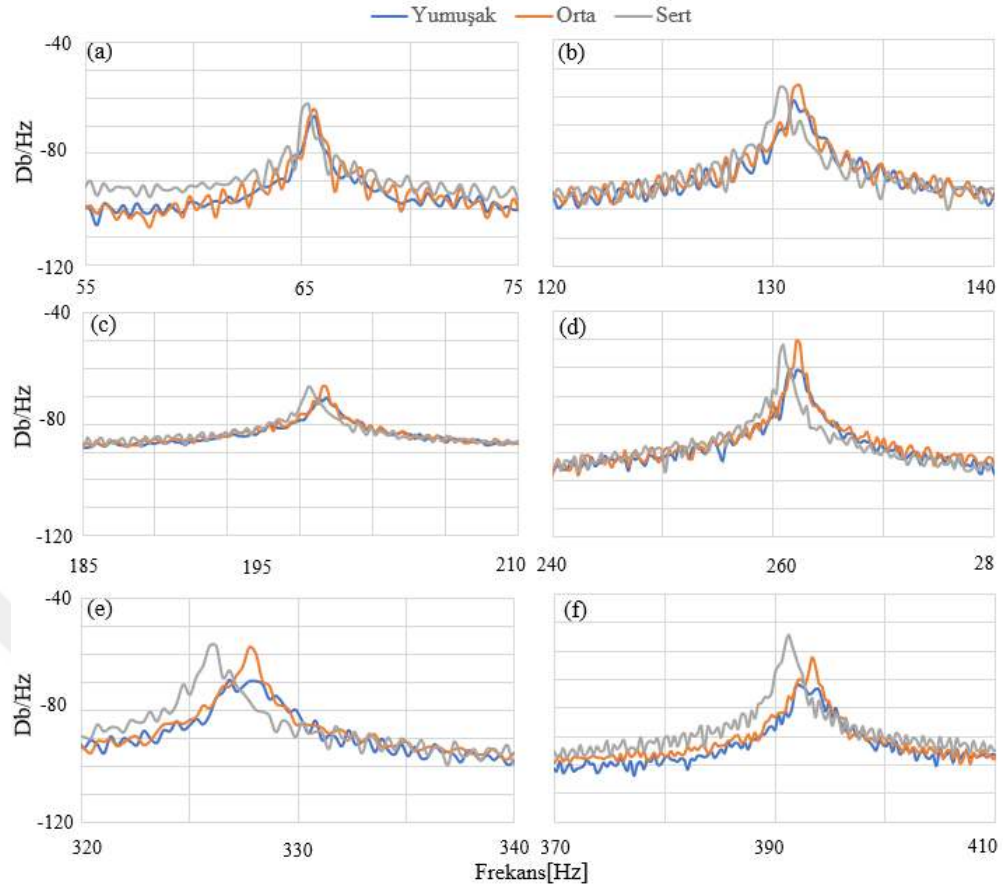
**EK 5 C.** Fa notasında farklı sertliklere sahip kamışlara ait Gsy diyagramları a) Temel frekans b) 1.harmonik c) 2.harmonik d) 3.harmonik e) 4.harmonik f) 5.harmonik



**EK 5 D.** *Mi notasında farklı sertliklere sahip kamışlara ait Gsy diyagramları a) Temel frekans b) 1.harmonik c) 2.harmonik d) 3.harmonik e) 4.harmonik f) 5.harmonik*

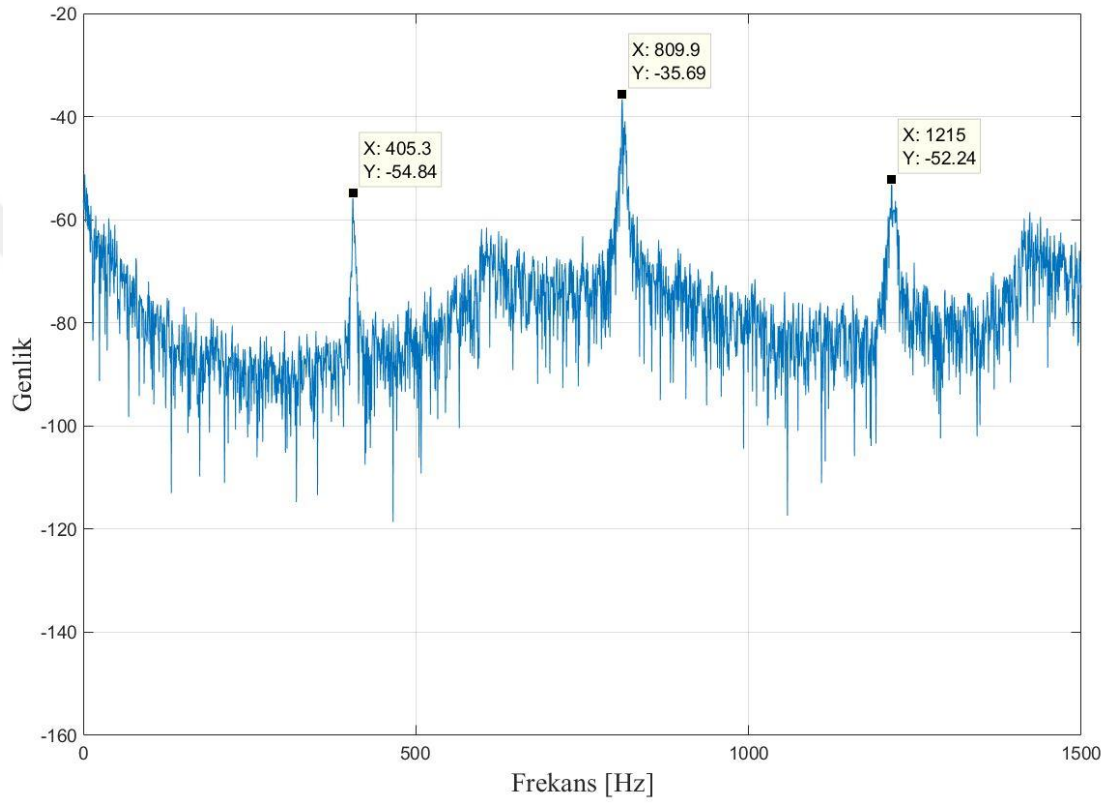


**EK 5 E.** *Re notasında farklı sertliklere sahip kamışlara ait Gsy diyagramları a) Temel frekans b) 1.harmonik c) 2.harmonik d) 3.harmonik e) 4.harmonik f) 5.harmonik*

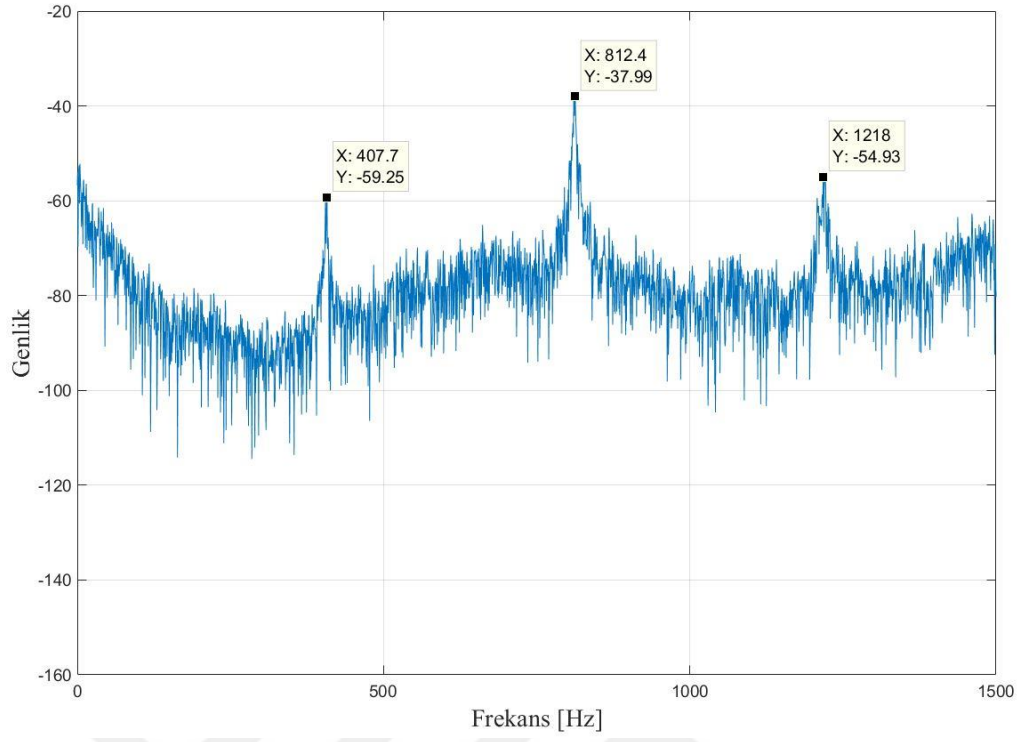


**EK 5 F.** Do notasında farklı sertliklere sahip kamışlara ait Gsy diyagramları a) Temel frekans b) 1.harmonik c) 2.harmonik d) 3.harmonik e) 4.harmonik f) 5.harmonik

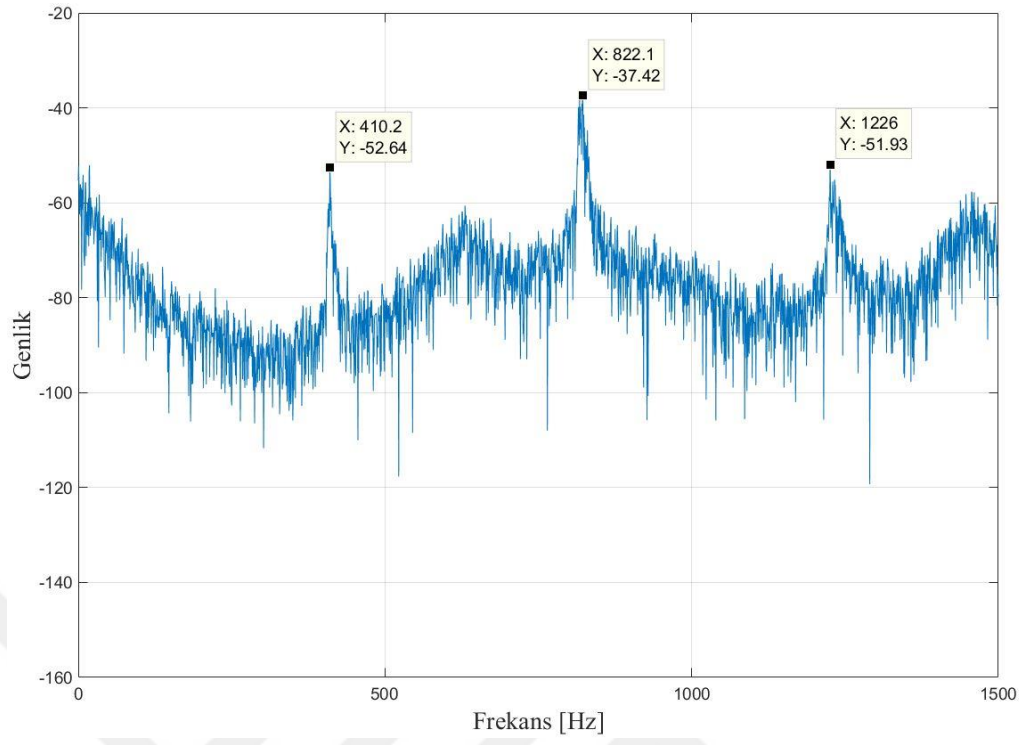
## EK 5. Organik Kamış İçin Farklı Kamış Hızlarına ait Psy Grafikleri



**EK 6 A.** 3,3 m/s kamış çıkış hızına ait PSY grafiği

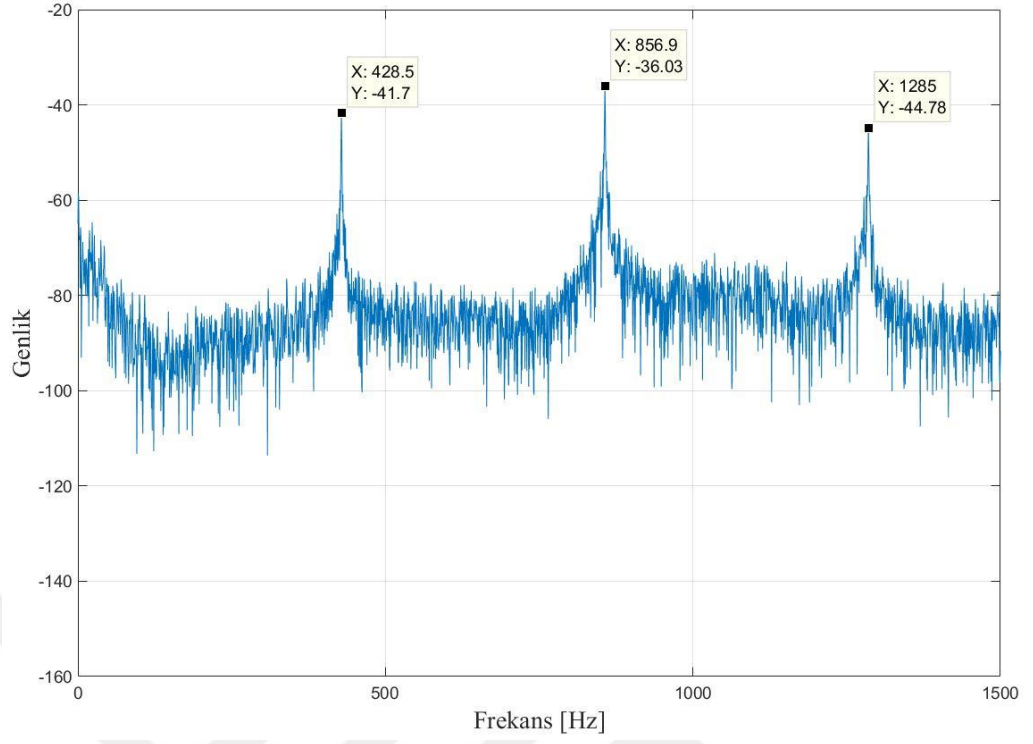


**EK 6 B.** 3,4 m/s kamış çıkış hızına ait PSY grafiği

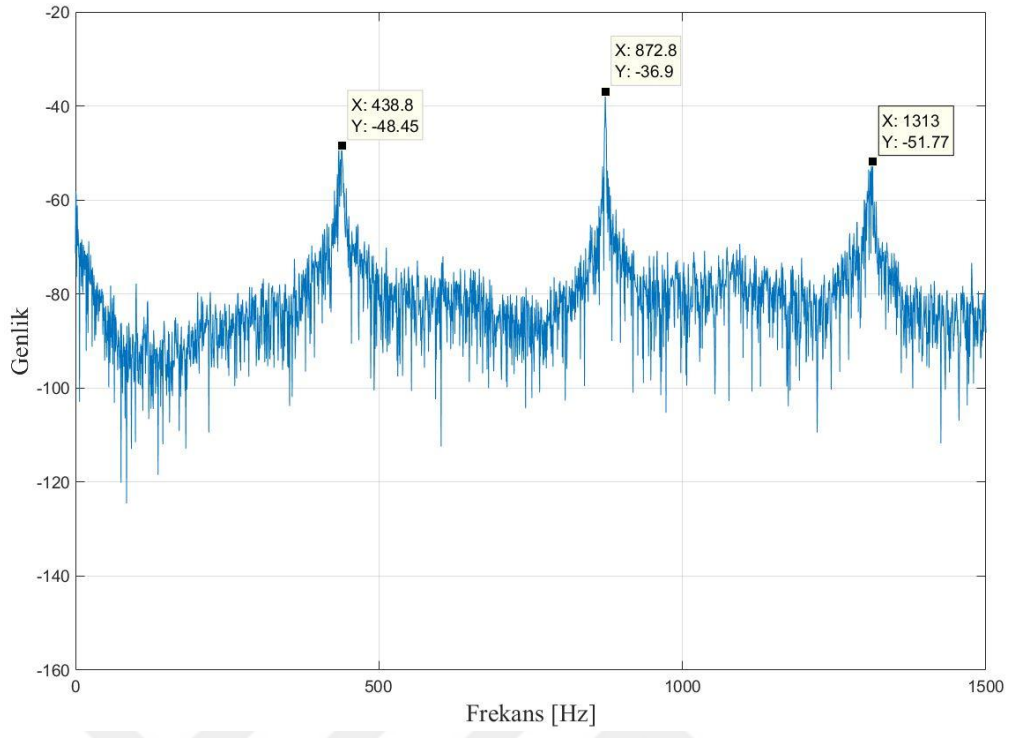


**EK 6 C.** 3,5 m/s kamış çıkış hızına ait PSY grafiği

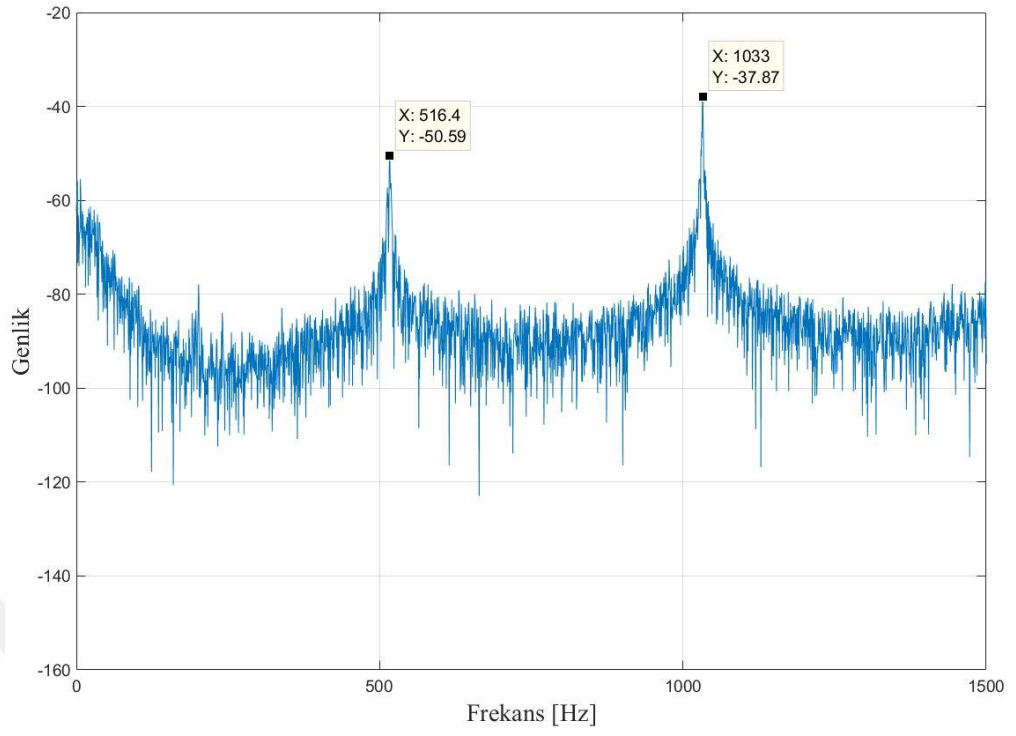




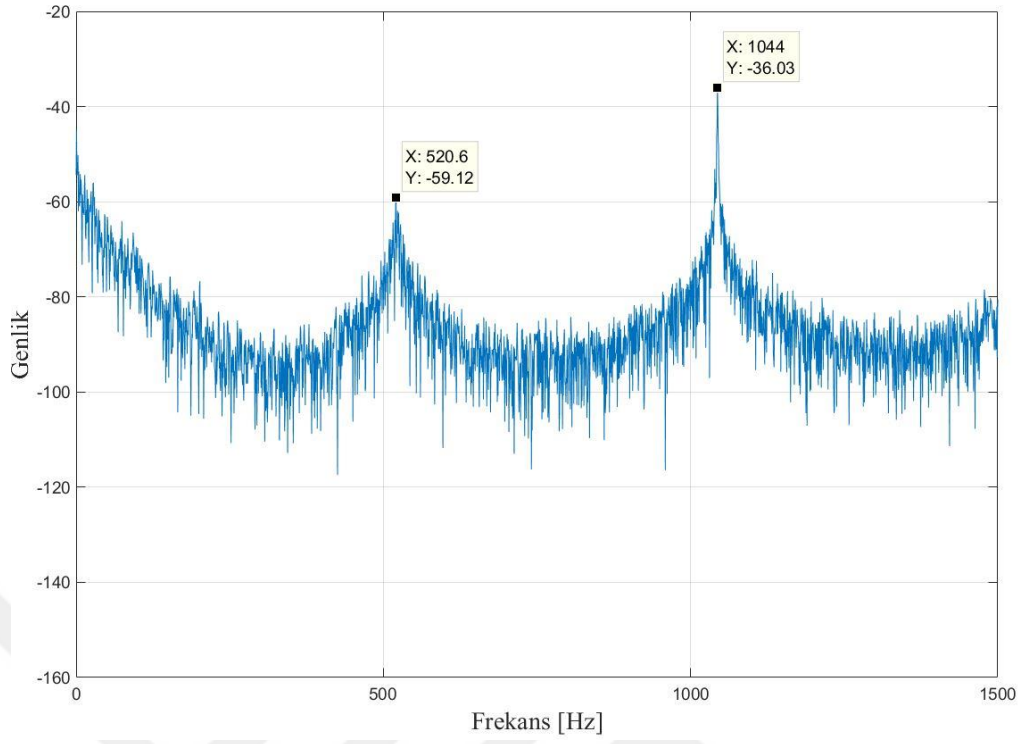
**EK 6 D.** 3,6 m/s kamış çıkış hızına ait PSY grafiği



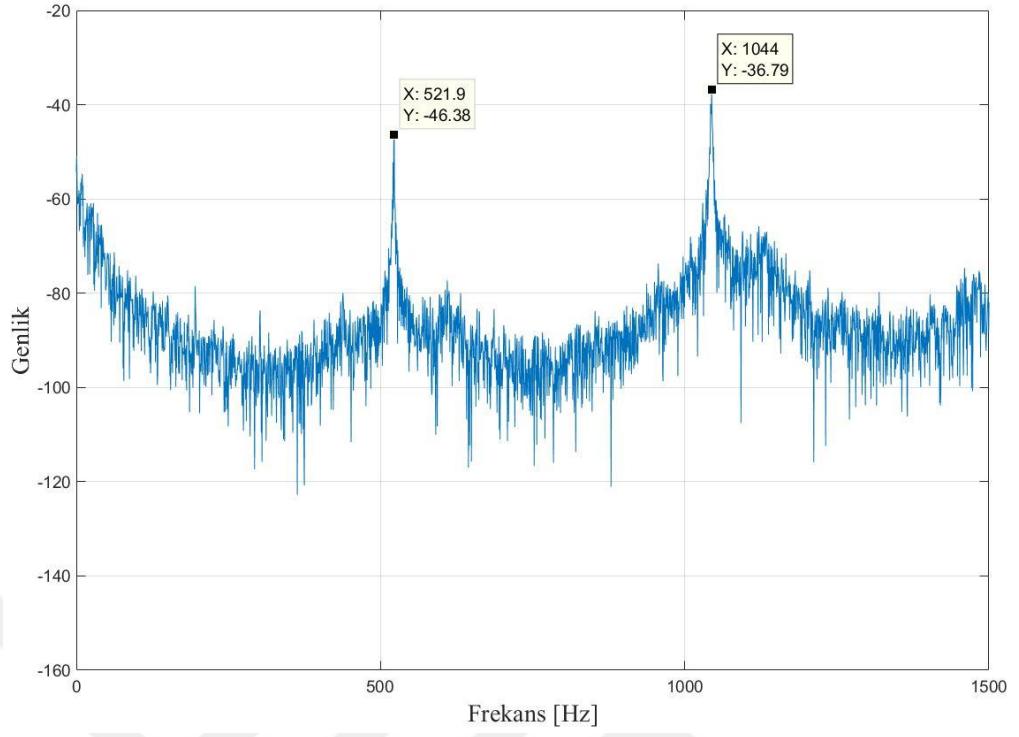
**EK 6 E.** 3,7 m/s kamış çıkış hızına ait PSY grafiği



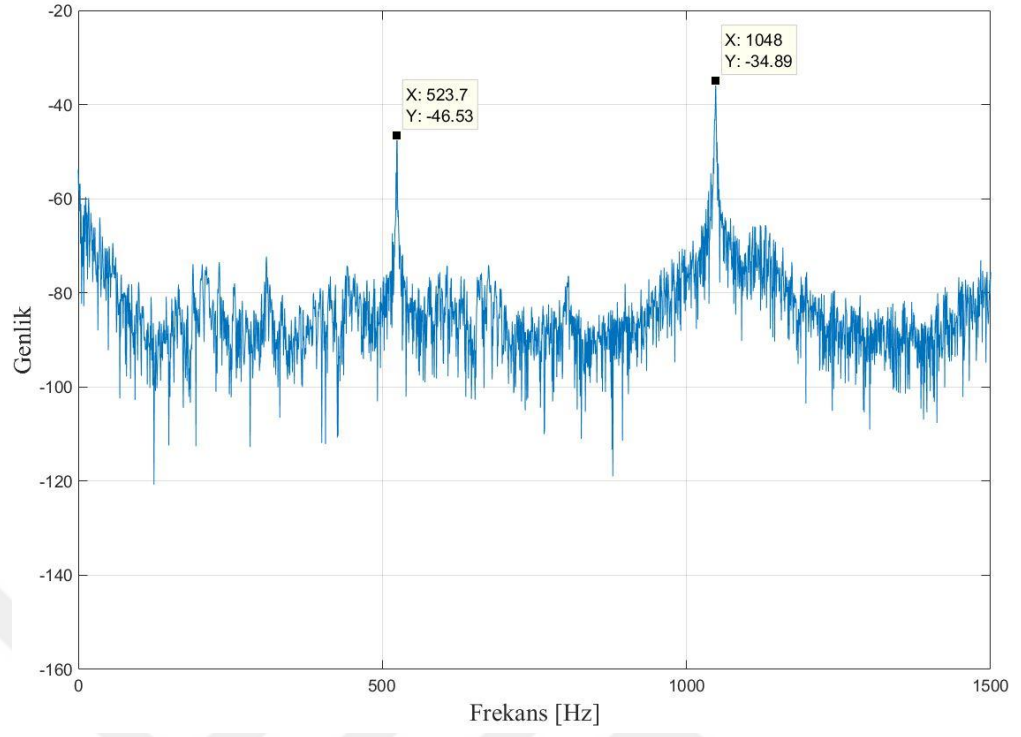
**EK 6 F.** 4,3 m/s kamış çıkış hızına ait PSY grafiği



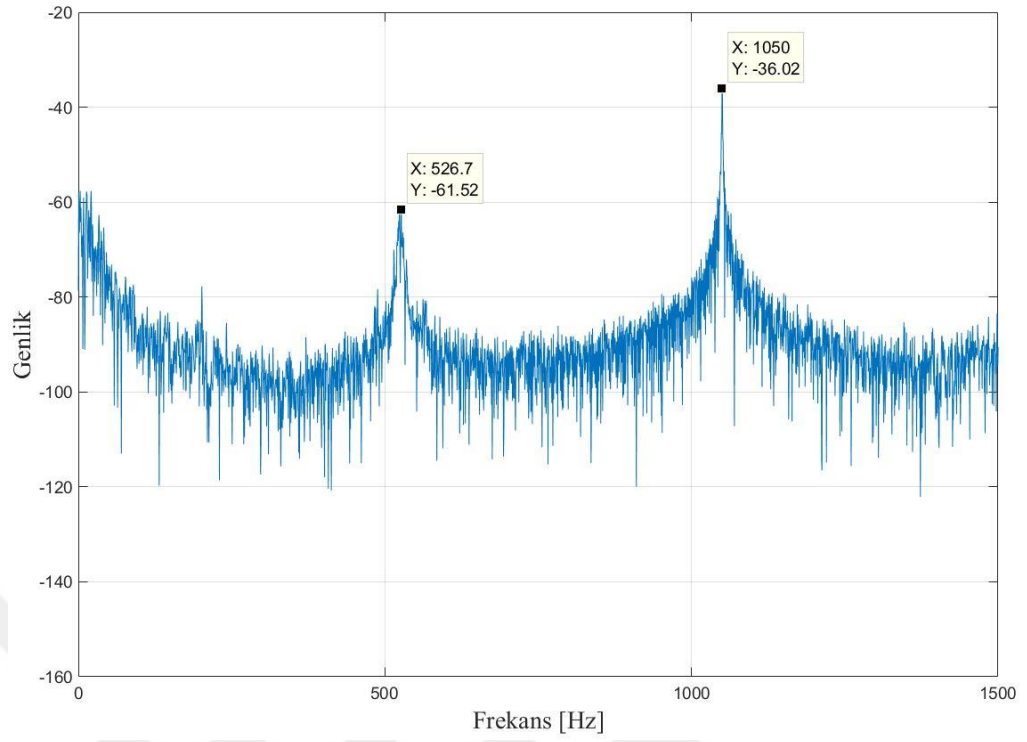
**EK 6 G.** 4,4 m/s kamış çıkış hızına ait PSY grafiği



**EK 6 H.** 4,5 m/s kamyş çıkış hızına ait PSY grafiği



**EK 6 I.** 4,6 m/s kamış çıkış hızına ait PSY grafiği



**EK 6 J.** 4,7 m/s kamış çıkış hızına ait PSY grafiği”

## ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı: Ömer Dincel

Yabancı Dil: İngilizce (ileri seviye)

### **İŞ DENEYİMİ**

|                          |                                                                        |
|--------------------------|------------------------------------------------------------------------|
| Ağustos 2016-Eylül 2016  | Çalıştığı Kurum: Türkiye Lokomotif ve Motor Sanayi A.Ş                 |
| Haziran 2017-Temmuz 2017 | Çalıştığı Kurum: Arıkan Automotive<br>Çalıştığı Pozisyon: Stajyer      |
| Temmuz 2017-Ağustos 2017 | Çalıştığı Kurum: Tuşas Motor Sanayi A.Ş<br>Çalıştığı Pozisyon: Stajyer |
| Ağustos 2017-Eylül 2017  | Çalıştığı Kurum: Alp Havacılık<br>Çalıştığı Pozisyon: Stajyer          |



## **EĞİTİM BİLGİLERİ**

|           |                                                                                         |
|-----------|-----------------------------------------------------------------------------------------|
| 2009-2013 | Toki Şehit İkrım Cirit Anadolu Lisesi                                                   |
| 2013-2018 | Eskişehir Osmangazi Üniversitesi<br>Makine Mühendisliği Lisans<br>Gno:3,84              |
| 2018-2021 | Eskişehir Teknik Üniversitesi<br>Makine Mühendisliği Tezli Yüksek<br>Lisans<br>Gno:3,63 |

## **YETKİNLİKLER**

Microsoft Office (İyi),Autocad (Orta),Catia(Orta),Ansys Fluent(Temel),Matlab(Temel)

## **PROJELER VE SERTİFİKALAR**

TÜBİTAK Araştırma Projesi 119M049 Organik ve sentetik fagot kamışlarının yapısal ve akustik açıdan incelenmesi parametrelerinin ilişkisinin modellenmesi adlı projede bursiyer (01/09/2019-31.09.2021)

Yabancı Dil Eğitimi (C1 Seviyesi) Eskişehir British Town Dil Kursu