



# Kimyasal Modifikasyon Uygulanmış Keman Köprülerinin Kemanın Akustik Frekansları Üzerindeki Etkileri

Orman Endüstri Mühendisliği Ana Bilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Olgun Kurt

ORCID 0000-0003-2862-1442

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Nilgöl Çetin

Temmuz 2022

İzmir Kâtip Çelebi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü öğrencisi **Olgun Kurt** tarafından hazırlanan “**Kimyasal Modifikasyon Uygulanmış Keman Köprülerinin Kemanın Akustik Frekansları Üzerindeki Etkileri**” başlıklı bu çalışma tarafımızca okunmuş olup, yapılan savunma sınavı sonucunda kapsam ve nitelik açısından başarılı bulunarak jürimiz tarafından YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

**ONAYLAYANLAR:**

**Tez Danışmanı:** **Prof. Dr. Nilgöl Çetin**  
İzmir Kâtip Çelebi Üniversitesi

**Jüri Üyeleri:** **Prof. Dr. Nilgöl Çetin**  
İzmir Kâtip Çelebi Üniversitesi

**Doç. Dr. Ali Maruf ALASKAN**  
Ege Üniversitesi

**Dr. Öğretim Üyesi Nasır NARLIOĞLU**  
İzmir Kâtip Çelebi Üniversitesi

**Savunma tarihi: 21.07.2022**

# Yazarlık Beyanı

Ben, **Olgun Kurt**, başlığı “**Kimyasal Modifikasyon Uygulanmış Keman Köprülerinin Kemanın Akustik Frekansları Üzerindeki Etkileri**” olan bu tezimin ve tezin içinde sunulan bilgilerin şahsıma ait olduğunu beyan ederim. Ayrıca:

- Bu çalışmanın bütünü veya esası bu üniversitede Yüksek Lisans derecesi elde etmek üzere çalıştığım süre içinde gerçekleştirilmiştir.
- Daha önce bu tezin herhangi bir kısmı başka bir derece veya yeterlik almak üzere bu üniversiteye veya başka bir kuruma sunulduysa bu açık biçimde ifade edilmiştir.
- Başkalarının yayımlanmış çalışmalarına başvurduğum durumlarda bu çalışmalara açık biçimde atıfta bulundum.
- Başkalarının çalışmalarından alıntıladığımda kaynağı her zaman belirttim. Tezin bu alıntılar dışında kalan kısmı tümüyle benim kendi çalışmamdır.
- Kayda değer yardım aldığım bütün kaynaklara teşekkür ettim.
- Tezde başkalarıyla birlikte gerçekleştirilen çalışmalar varsa onların katkısını ve kendi yaptıklarımı tam olarak açıkladım.

Tarih:

21.07.2022

---

# Kimyasal Modifikasyon Uygulanmış Keman Köprülerinin Kemanın Akustik Frekansları Üzerindeki Etkileri

## Özet

Odun yüzyıllar boyunca çalgı yapımında benzersiz akustik ve mekanik özellikleriyle en çok tercih edilen materyal olmuştur. Bununla birlikte akustik performans verecek şekilde tasarlanıp çalgı haline getirildiğinde, olumlu özelliklerinden dolayı tercih sebebi olmasına rağmen hidrofilik yapısı ve ortamdaki rutubet miktarından etkilenmesi sebebiyle birtakım deformasyonlara uğrayarak restorasyona ihtiyaç duymaktadır. Dünyada gelişen teknoloji ve odun modifikasyonu alanındaki çalışmaların artışıyla birlikte, modifiye edilmiş odun örneklerinin çalgı yapımında değerlendirilmesi mümkün olabilmektedir. Bu çalışmada Akçaağaç (*Acer spp.*) diri odun örnekleri asetik anhidrit ve katalizör olarak piridin kullanılarak 120 °C reaksiyon sıcaklığında, altı farklı reaksiyon süresi boyunca modifikasyon işlemine tabi tutulmuştur. Modifikasyonlu örneklerde en uzun reaksiyon süresi olan 6 saatlik işlem sonunda %10,25 ağırlık kazancı (WPG) ve %70,53 şişmeye karşı etkinlik (ASE) değeri bulguları elde edilmiştir. Kimyasal modifikasyonlu örneklerden, dünyada en yaygın kullanılan çalgıların başında gelen keman çalgısının köprüsü imal edilmiştir. Köprü örnekleri tek bir keman üzerinde değiştirilerek ses yayılım testleri gerçekleştirilmiştir. Testler sonrası modifikasyonlu örnekler ve kontrol grubu örneklerine ait veriler karşılaştırılarak kemanın doğal frekansları üzerindeki etkiler analiz edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Kimyasal modifikasyon, Keman, Akustik ölçüm, Boyutsal sabitlik, Asetik anhidrit, Akçaağaç

# The Effect Of Chemical Modification Bridges On Acoustic Frequencies Of The Violin

## Abstract

For centuries, wood has been the most preferred material in instrument making with its unique acoustic and mechanical properties. However, when it is designed to give acoustic performance and made into an instrument, although it is preferred due to its positive features, it undergoes some deformations and needs restoration due to its hydrophilic structure and being affected by the amount of moisture in the environment. With the advancement of technology in the world and the increase in studies in the field of wood modification, it is possible to evaluate modified wood samples in instrument making. In this study, maple (*Acer spp.*) sapwood samples were modified using acetic anhydride and pyridine as catalyst at a reaction temperature of 120 °C for six different reaction times. 10.25% weight gain (WPG) and 70.53% anti-swelling efficiency findings were obtained at the end of the 6-hour treatment, which is the longest reaction time in the modified samples. The bridge of the violin instrument, which is one of the most widely used instruments in the world, was produced from chemically modified samples. Sound diffusion tests were carried out by changing the bridge samples on a single violin. After the tests, the effects on the natural frequencies of the violin were analyzed by comparing the data of the modified samples and the control group samples.

**Keywords:** Chemical Modification, Violin, Acoustic Analysis, Dimensional Stability, Acetic Anhydride, Maple

*Aileme,*

# Teşekkür

Yüksek lisans eğitimimin en başından itibaren engin bilgi birikimleri, değerli zamanları ve sonsuz destekleriyle tez çalışmamın gerçekleşmesinde bana ışık tutan danışman hocam Prof. Dr. Nilgöl ÇETİN ve Orman Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı Başkanı Prof Dr. Nihat Sami ÇETİN 'e teşekkür ederim.

Yüksek lisans eğitim sürecimde değerli bilgilerini esirgemeyen Dr. Öğretim Üyesi Nasır NARLIOĞLU'na teşekkür ederim.

Lisans eğitimimden itibaren deneyim ve bilgi birikimleriyle birlikte her zaman desteklerini hissettiren, tez çalışmam kapsamında da değerli zamanlarını ve Ege Üniversitesi Devlet Türk Musikisi Konservatuarı Çalgı Yapım Bölümü imkanlarını sunarak yardımcı olan değerli hocalarım Doç. Dr. Ali Maruf ALASKAN, Dr. Öğretim Üyesi Atakan DELİGÖZ ve Öğretim Üyesi Ejder PAMUKÇU'ya teşekkür ederim.

Değerli bilgi birikimi ile akustik ölçümlerin gerçekleştirilmesinde desteklerini esirgemeyen Dr. Öğretim Üyesi Emir DEĞİRMENLİ'ye teşekkür ederim.

Tez çalışmam süresince laboratuvar çalışmaları başta olmak üzere, her aşamada bilgi ve deneyimleriyle yol gösteren, yardımlarını esirgemeyen Ar. Gör. Ayberk AYDOĞMUŞ, Ar. Gör. Hakan FİDAN ve Ar. Gör. Mehmet DEMİR'e teşekkür ederim.

Odun örneklerinin temin edilmesinde yardımcı olan Akustikwood ve keman köprülerinin üretim aşamasında yardımlarını esirgemeyen Udlab firmalarına teşekkür ederim.

Yüksek lisans eğitim sürecimde her zaman yanımda olan ve tez sürecinde sonsuz desteğini hissettiğim arkadaşım Yiğit YURTERİ'ye teşekkürlerimi sunarım.

Beni sonsuz sevgi ve emekle büyüten, hayatımın her anında yanımda olarak mutluluk ve gurur kaynağım olan annem Reşide KURT, babam Mümin KURT ve kardeşim Ezgi KURT'a sonsuz teşekkür ederim.

# İçindekiler

Yazarlık Beyanı .....	ii
Özet .....	iii
Abstract .....	iv
Teşekkür.....	vi
Şekil Listesi .....	x
Tablo Listesi .....	xiii
Kısaltmalar ve Simgeler.....	xiv
<b>1 Giriş .....</b>	<b>1</b>
1.1 Keman .....	2
1.1.1 Kemanın Tarihsel Süreçte Evrimi .....	3
1.1.2 Kemanın Günümüzdeki Son Formuna Kavuşması .....	6
1.2 Keman yapımı .....	9
1.2.1 Keman Çalgısının Oluşumu ve Terminolojisi .....	9
1.2.2 Kemanda Yapımında Kullanılan Odun Türleri .....	10
1.2.3 Köprünün Şekli ve Geleneksel Yapımı.....	13
1.3 Kemanda Ses Oluşumu .....	15
1.4 Kemanda ve Odun Kullanılarak Üretilen Çalgılarda Karşılaşılan Sorunlar.....	16
<b>2 Literatür Özeti .....</b>	<b>24</b>



<b>3 Materyal ve Metot</b> .....	26
3.1 Materyal .....	26
3.1.1 Örneklerin Öğütme İşlemi .....	29
3.1.2 Uygulanan Kurutma Yöntemi .....	30
3.2 Odunun Kimyasal Analizinde Kullanılan Yöntemler .....	30
3.2.1 Ekstraksiyon İşlemi .....	30
3.2.2 Holoselüloz Tayini .....	31
3.2.3 Alfa selüloz Tayini .....	32
3.3 FTIR Analizi .....	33
3.4 Boyutsal Sabitlik Testi .....	34
3.5 Kimyasal Modifikasyon İşlemi .....	36
3.5.1 Küçük Boyutlu Örneklerin Modifikasyonu .....	36
3.5.2 Keman Köprüsü Yapımı Öncesi Örneklerin Modifikasyonu .....	38
3.6 Keman Köprülerinin Hazırlanması .....	39
3.6.1 Keman Köprülerinin Modellenmesi .....	39
3.6.2 Keman Köprülerinin Üretimi .....	40
3.7 Akustik Ölçümler .....	42
3.7.1 Ses Yayınım Analizi .....	42
<b>4 Bulgular</b> .....	45
4.1 Kimyasal Analiz Sonuçları .....	45
4.2 Küçük Boyutlu Örneklerde Kimyasal Modifikasyona Bağlı Bulgular .....	45

4.3 Kimyasal Modifikasyon İşlemi Sonrası Örneklerin Boyutsal Kararlılığı .....	47
4.4 Şişme katsayısı ile ASE Değeri Sonuçları .....	47
4.5 FTIR Analizi.....	49
4.6 Akustik Bulgular .....	51
4.6.1 Ses Yayınım Analizi Sonuçları .....	51
<b>5 Sonuç ve Öneriler .....</b>	<b>56</b>
<b>Kaynakça .....</b>	<b>57</b>
<b>Özgeçmiş .....</b>	<b>60</b>

# Şekil Listesi

Şekil 1.1	Keman ailesi (keman, viyola, viyolonsel, kontrbas) .....	2
Şekil 1.2	Soronno katedralinde Gaudenzio Ferrari tarafından resmedilmiş rebec çalan bir meleğin tasvir edildiği görsel .....	3
Şekil 1.3	Viol çalgısına ait görsel .....	4
Şekil 1.4	<i>Lira da braccio</i> çalgısına ait görsel.....	5
Şekil 1.5	Altın çağ olarak nitelendirilen dönem öncesi yapılmış kemanlar .....	6
Şekil 1.6	Antonio Stradivari ‘Titian’ 1715 kemana ait görsel .....	7
Şekil 1.7	Guarneri del Gesu ‘Plowden’ 1735 kemana ait görsel .....	8
Şekil 1.8	Kemanı oluşturan parçalar ve terminolojisi.....	9
Şekil 1.9	Keman yapımında kullanılan Ladin ( <i>Picea abies</i> ) odunu örnekleri .....	10
Şekil 1.10	Keman yapımında kullanılan akçaağaç ( <i>acer spp.</i> ) odunu örnekleri .....	11
Şekil 1.11	Abanoz ( <i>Diospeyros ebenum</i> ) odunundan üretilmiş tuşe, burgu, çenelik, kuyruk ve kuyruk düğmesi.....	12
Şekil 1.12	Kemanda köprünün konumu .....	13
Şekil 1.13	Keman köprü görüntüsü ve genel ölçülendirilme örnek .....	14
Şekil 1.14	Keman köprü görüntüsü ve genel ölçülendirilme örnek.....	14
Şekil 1.15	Kemanın yatay kesiti.....	15
Şekil 1.16	Güneş ışınlarına maruz kalan yaş odun örneği.....	16
Şekil 1.17	Gövdenin enine kesitinden alınmış farklı şekillerdeki numunelerde kuruma sebebiyle daralma.....	16
Şekil 1.18	Kemanın ses tablası üzerinde oluşan çatlak.....	17
Şekil 1.19	Odun ile asetik anhidrit arasında oluşan reaksiyonun şeması .....	19
Şekil 3.1	Küçük boyutlu örneklerin gönyeleme aparatıyla şerit testerede kesim işlemi .....	27
Şekil 3.2	Küçük boyutlu örneklerin kalınlık makinasında standart kalınlığa getirilmesi işlemi. ....	27
Şekil 3.3	Küçük boyutlu örneklerinin ölçüleri .....	28
Şekil 3.4	Keman köprülerinin ilk kesimi ve numaralandırılması .....	28

Şekil 3.5	Keman köprülerinin modifikasyon işlemi öncesi ölçüleri .....	29
Şekil 3.6	LOYKA marka odun öğütme makinesi .....	30
Şekil 3.7	Ekstraksiyon düzeneği .....	31
Şekil 3.8	Delignifikasyon işlemi yapılan düzenek .....	32
Şekil 3.9	Alfa selüloz miktarının belirlenmesinde kullanılan örnekler .....	33
Şekil 3.10	FTIR analizinin yapıldığı cihaz .....	34
Şekil 3.11	Yıkama döngüsünde kullanılan düzenek .....	35
Şekil 3.12	Kimyasal modifikasyonun gerçekleştirildiği düzenek .....	37
Şekil 3.13	Asetik anhidrit kullanılarak yapılan kimyasal modifikasyon sonrası örneklerin görüntüsü .....	37
Şekil 3.14	Modifikasyon işlemi yapılmış örnekler ile kontrol örnekleri .....	38
Şekil 3.15	Çalışma için hazırlanan keman köprüsü modellemesi .....	39
Şekil 3.16	Köprülerin papuç radyuslarının belirlendiği Aberlink CMM cihazı .....	40
Şekil 3.17	Köprülerin cnc router ile üretim aşaması .....	41
Şekil 3.18	Keman köprülerinin son şekli .....	41
Şekil 3.19	Akustik ölçümlerin yapıldığı test düzeneği .....	43
Şekil 3.20	Ses yayılım analizinde keman köprüsü ve minyatür darbe çekicinin konumu .....	44
Şekil 4.1	Küçük boyutlu akçaağaç ( <i>Acer spp.</i> ) modifikasyonlu örneklerinin süreye bağlı ağırlık kazancı değerleri (WPG) .....	46
Şekil 4.2	Akçaağaç örneklerinin WPG (%) değerine oranla hacimsel değişimi .....	47
Şekil 4.3	Şişme katsayısı (S(%)) değerinin farklı ağırlık kazancı (WPG) değerlerine göre değişimi .....	48
Şekil 4.4	Farklı WPG (%) değerlerine bağlı şişmeye karşı etkinlik dereceleri (ASE (%)) .....	49
Şekil 4.5	Asetik anhidrit ile kimyasal modifikasyon işlemi öncesi ile sonrası elde edilen FTIR analizi .....	50
Şekil 4.6	Köprünün kontrol grafiği .....	51
Şekil 4.7	9 numaralı modifikasyon ve 10 numaralı kontrol örneği arasında FTF analizi .....	52
Şekil 4.8	11 numaralı modifikasyon ve 12 numaralı kontrol örneği arasında FTF analizi .....	52

Şekil 4.9	16 numaralı modifikasyon ve 17 numaralı kontrol örneği arasında FTF analizi .....	53
Şekil 4.10	20 numaralı modifikasyon ve 19 numaralı kontrol örneği arasında FTF analizi .....	53
Şekil 4.11	22 numaralı modifikasyon ve 21 numaralı kontrol örneği arasında FTF analizi .....	54
Şekil 4.12	24 numaralı modifikasyon ve 23 numaralı kontrol örneği arasında FTF analizi .....	54

# Tablo Listesi

Tablo 4.1	Odun örneklerine ait kimyasal içerik .....	45
Tablo 4.2	Küçük boyutlu akçağaç ( <i>Acer spp</i> ) modifikasyonlu örneklerinin süreye bağlı ağırlık kazancı değerleri (WPG) Standart sapma parantez içerisine alınarak gösterilmiştir. ....	46

# Kısaltmalar ve Simgeler

## Kısaltmalar

ASE	Şişmeye Karşı Etkinlik Değeri (%)
S	Şişme katsayısı (%)
WPG	Ağırlık kazancı (%)
FTF	Frekans Tepki Fonksiyonu
FFT	Fast Fourier Transformation

## Semboller

<i>dB</i>	Genellikle ses düzeyi için kullanılan bir birimdir.
<i>Hz</i>	Birim saniyedeki titreşim sayısını veren birimdir.
<i>Pa</i>	Basınç birimidir.

# Bölüm 1

## Giriş

Tüm gelişmiş canlılar duygularını hareketlerle ifade edebilir fakat yalnızca insanoğlu duygusal hareketlerini düzenleyip koordine edebilmekte, bilinçli olarak ritim kullanabilmektedir. Bu bilinçle ritmik hareketler yani dans etmek veya ellerini yere, birbirine, karnına, göğsüne vurarak duyguları seslerle ifade etmek insana özgü bir özelliktir. Muhtemelen insanlar bu hareketleri boş eller, topuklar, parmak uçları, vücudun etli ya da kemikli kısımlarını kullanarak farklı efektler üretmiş ve bunların tamamı enstrümantal müziğin ilkel halini oluşturmuştur. Paleolitik çağdan itibaren çalgılara bakıldığında karşımıza çingiraklar ve vurmali çalgılar çıkmaktadır. Çingirakların sap kısımlarında odunla karşılaşabileceğimiz gibi davul benzeri vurmali çalgılarda da kil ya da odun kullanıldığını görmek mümkündür. Odunu alet ya da ateş kullanarak şekillendirmek kil kullanmaktan daha ilkel bir yöntem olarak kabul edildiğinden odundan yapılan vurmali çalgıların daha erken tür olduğu düşünülmektedir [9].

İnsanlık tarihi boyunca çalgılar sürekli olarak bir gelişim göstermiştir. Kemik, boynuz, deri, kil, metal, karbon fiber, çeşitli sentetik maddeler vb. birçok materyal kullanılarak çalgı üretilse de odunun vazgeçilmez özellikleri onu birçok çalgının yapımında öncelikli kılmaktadır. İlk çalgılardan bu yana üstün akustik özellikleri, kolay ulaşılabilir ve işlenebilir olması, görsel çekiciliği gibi olumlu özellikleriyle çalgı yapımında kullanımı alışkanlık oluşturmuştur [9]. Günümüzde karbon fiber kullanılarak yapılan kemanlar, özellikle dayanıklılık ve modern görünümüleriyle avantajlı gibi görünseler de icracıların geleneksel yapıdaki kemanları tercih etmesi odunun vazgeçilmezliğini anlatan en güzel örneklerinden biridir. Dezavantajlı



özelliklerinin başında ise odunun ortamdaki rutubet değişimlerinden olumsuz etkilenmesi gelmektedir [8]. Buna bağlı olarak büyük hassasiyetle üretilen çalgılarda odunun çalışmasına bağlı boyutsal değişimler, çatlama ve kırılmalar, akort tutma problemleri oluşmaktadır. Bu açıdan bakıldığında gelişen teknoloji ile birlikte odunun dezavantajlı yönlerini bertaraf edip avantajlı yönlerini arttırmak önem arz etmektedir. Odun modifikasyonu sayesinde oduna boyutsal kararlılık, daha iyi akustik ve mekanik özellikler kazandırılabilirdiği bilinmektedir [18,29].

Bu çalışmada, kimyasal modifikasyonun çalgılar üzerinde etkilerini gözlemlemek ve literatüre katkı sağlamak amaçlanmıştır. Yüzyıllardır evrensel çapta kullanılan keman çalgısı üzerinde, kimyasal modifikasyonun kullanılabilirliğini, güvenilir bir şekilde gözlemleyebilmek için birçok çalgıda da olduğu gibi kemanın akustik performans açısından en önemli parçalarından köprü üzerinde kimyasal modifikasyon gerçekleştirilip akustik açıdan değişimler araştırılmıştır.

## 1.1 Keman

Keman günümüzde hem solist hem de orkestra elemanı olarak akla gelen çalgıların en başında bulunmaktadır. Keman, viyola, viyolonsel ve kontrbas olarak adlandırılan yaylı çalgı ailesinin en önemli parçasıdır. Diğer çalgılarla kıyaslandığında ses aralığının geniş olması ve insan sesine yakınlığı kemanın tercih edilmesinde şüphesiz etken olmaktadır. Yay ile çalınan perdesiz bir çalgı olarak icracının hayal gücü ve yeteneği doğrultusunda müzikal açıdan çok geniş yelpazede ezgiler oluşturabilme kapasitesine sahip bir çalgıdır. Dolayısıyla yüzyıllardır evrensel ya da etnik birçok müzik türünün icrasında kendisine önemli bir yer bulmuştur. Keman ailesini oluşturan çalgılar Şekil 1.1’de gösterilmektedir.



Şekil 1.1: Keman ailesi (keman, viyola, viyolonsel, kontrbas) [44]

### 1.1.1 Kemanın Tarihsel Süreçte Evrimi

Kemanın ilk ortaya çıkışından kesin olarak bahsetmek kolay olmamakla birlikte 9.yüzyılda Avrupa'da oyma ve illüstrasyonlarda yayla çalınan, kemanın ataları olduğu düşünülen enstrümanlara rastlanmaktadır. Bilinen kaynaklara göre yay kullanılarak seslendirilen çalgıların kökeni Hindistan ve uzak doğuya dayanır. Yüzyıllar sürecinde göçlerle birlikte Avrupa'ya taşınmış bu çalgıların günümüzde kullanılan keman ailesine doğru evrimi 15 ve 16. yüzyıllarda hız kazanmıştır [14,5].

Yapı olarak keman ve ailesine benzerlik gösteren çalgılar genel olarak *rebec*, Ortaçağ ve Rönesans dönemi kemanı, *lira da braccio* ve *viol* gibi başlıklarda incelenebilir. Bu enstrümanların yapılarını incelediğimizde çok farklı boyutlarda, bazıları bacakların arasında ya da kucakta, bazıları ise günümüzdeki kemana benzer şekilde çene ile omuz arasında konumlandırılarak icra edildikleri görülmektedir [5].

Rebec, mağribi kültürü ile birlikte Avrupa'ya taşınmış, kökenleri Türk ve Arap çalgısı olarak bilinen *Rebap*'a dayandığı düşünülen ve boyun ile omuz arasında çalındığı çeşitli illüstrasyonlarda görülen bir çalgıdır. Çalım şeklini ve burguluk kısmı ile kemana benzerliği Şekil 1.2'deki illüstrasyonda görülmektedir [12].



Şekil 1.2: Soronno katedralinde Gaudenzio Ferrari tarafından resmedilmiş rebec çalan bir meleğin tasvir edildiği görsel [5]

*Viol* olarak bilinen çalgı 1490 civarı İspanyadan kucakta ya da bacakların arasında çalınan tuşesi perdeli bir versiyon olarak İtalya'ya gelirken, İtalya'da *lira da braccio* kemanın günümüzdeki haline çok benzer şekilde çalınan oldukça gelişmiş bir çalgı olarak halihazırda varlık göstermektedir. *Viol* ile ilgili görsel Şekil 1.3'te gösterilmiştir [5].



Şekil 1.3: Viol çalgısına ait görsel [11]

*Lira da braccio* hem omuz ile boyun arasında alınmış biçimi, hem de form olarak yakınlığıyla, günümüzde görmeye alışık olduğumuz kemana en çok benzerlik gösteren çalgıdır. Rezonans kutusunun formu daha gelişmiş ve rezonans deliklerinin F şeklinde olmasının yanında tuşesi perdesiz, akor düzeni ise beşlidir. Görüntüsü Şekil 1.4'te görülmektedir [12].



Şekil 1.4: *Lira da braccio* algısına ait görsel [5]

## 1.1.2 Kemanın Günümüzdeki Son Formuna Kavuşması

15. ve 16. Yüzyıllarda İtalya'nın *Cremona* ve *Brescia* bölgelerindeki aileler kemanın gelişiminde ve popülerliğinin artmasında çok büyük rol oynamışlardır. Bu dönemde yapılan enstrümanlar çalgı yapım sanatının zirvesi olarak kabul edilmektedir. 1500'lü yıllarda Andrea Amati'nin ilk dört telli kemanı yapmış olması muhtemeldir.

“Kemanın altın çağı” olarak nitelendirilen periyod 1600 ile 1750 yılları arasındadır. Bu dönemde aile ekolünden gelen çalgı yapım disiplini ile yetiştirilen öğrencilerin kemana bugünkü şeklini verdikleri söylenebilir. Öncesinde yapılmış bazı keman formları Şekil 1.5'te gösterilmektedir. Belirtilen dönemde üretilen ve günümüzde yeni yapılan kemanlarda şablonları kullanılan bazı kemanların görseli Şekil 1.6 ve Şekil 1.7'de verilmiştir. Cremona ekolünde Giuseppe Guarneri “*del Gesu*” ve Antonio Stradivari, Brescia ekolünde ise Gasparo da Salo ve Maggini gibi isimleri keman yapım dünyasındaki bilinirliğini aşp günümüzde herkesçe tanınan ustalar yetişmiştir [14].



Şekil 1.5: Altın çağ olarak nitelendirilen dönem öncesi yapılmış kemanlar. (Milan, Museo Civico) [7]



Şekil 1.6: Antonio Stradivari 'Titian' 1715 kemana ait görsel [45]



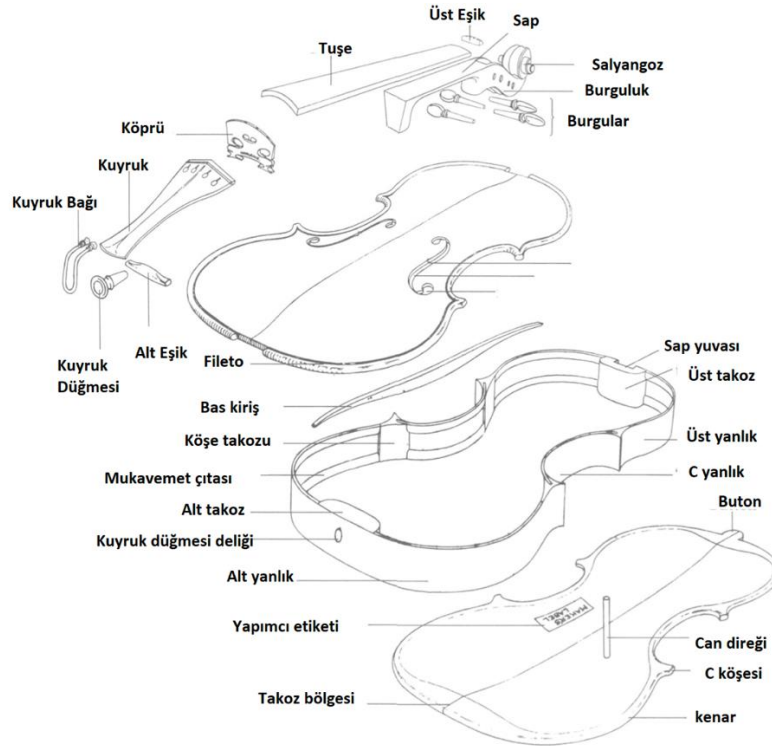
Şekil 1.7: Guarneri del Gesu 'Plowden' 1735 kemana ait görsel [46]

18. Yüzyıla kadar gelinen süreçte Tartini ve Vivaldi gibi bestecilerin yazdığı konçerto ve sonatlar için daha parlak ve ince seslere, dolayısıyla daha üst perdelerden çalınabilmesi için tuşe açısının değişimi ile tuşe boyunun uzaması gereksinimleri duyulmuştur. Daha öncesinde kullanılan bağırsak teller zaman içinde yerini çelik tellere bırakmış olup tüm bu değişimlere bağlı olarak kemanın köprü yüksekliğinde de arttırılmış ve keman çalgısı şu an görmekte olduğumuz son formuna kavuşturulmuştur [5].

## 1.2 Keman Yapımı

### 1.2.1 Keman Çalgısının Oluşumu ve Terminolojisi

Keman geleneksel olarak tüm parçaları el ile şekillendirilen bir enstrümandır. Yapım sürecinde yüksek akustik performans verebilecek, aynı zamanda estetik açıdan göze hoş gelen rezonans odunları özel olarak seçilip kullanılmaktadır. Kullanılan odunların doğal yolla kurutulmuş ve düşük rutubet miktarları barındırıyor olması gelenekte tercih edilmektedir. Kemanı oluşturan tüm parçalar çeşitli el aletleri yardımıyla Luthier (çalgı yapımcısı) tarafından milimetrenin onda biri hassasiyette şekillendirilmektedir. Kemanı oluşturan elemanlar ve terminolojisi Şekil 1.8'de gösterilmiştir.



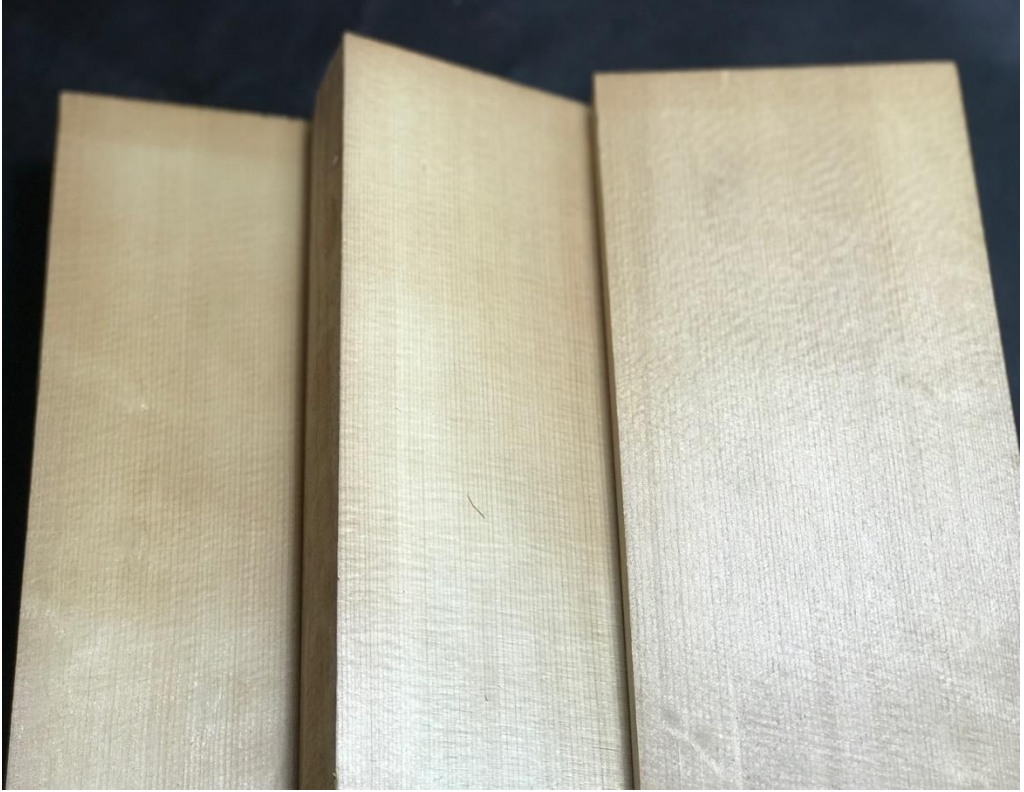
Şekil 1.8: Kemanı oluşturan parçalar ve terminolojisi



## 1.2.2 Keman Yapımında Kullanılan Odun Türleri

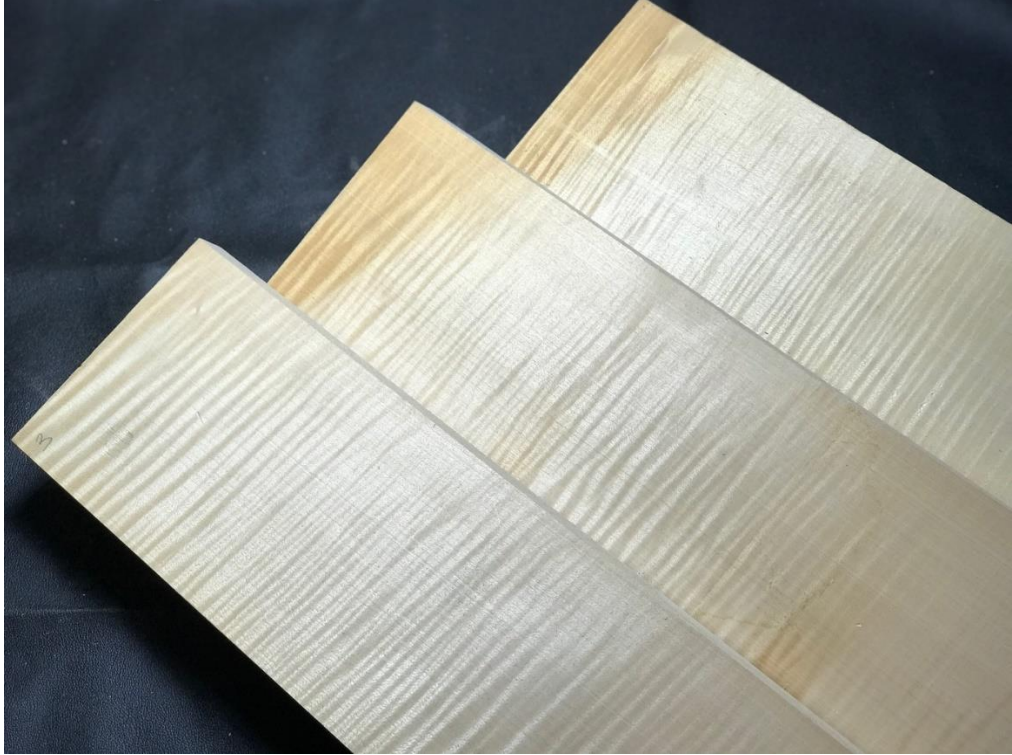
Keman yapımı için geleneksel olarak 3 tür odun kullanılmaktadır;

Ses tablası yapımında kullanılan tür rezonans özellikleri yüksek olması sebebiyle Ladin (*Picea abies*) olmaktadır. Yıllık halkalarının düzgün olmasına dikkat edilir. Seçilen latada akustik özellikleri azalttığı için reçine oranının yüksek olmaması tercih edilmektedir. Keman yapımı için uygun ladin örneği Şekil 1.9'da gösterilmiştir [13,14].



Şekil 1.9: Keman yapımında kullanılan Ladin (*Picea abies*) odunu örnekleri

Kemanın alt tablasında, yanlık ve sap ile köprü yapımında kullanılan odun akçağağtır. (*Acer spp.*) Keman köprüsü yapımında kullanılan akçağağ (*Acer spp.*) odunlarında özışınları yoğun olanlar tercih edilmektedir. Kemanda estetik açıdan etkileyici bir görünüm vermesinin yanında keman yapımında oduna yapılan son yüzey işlemleri olan cilalama konusunda da avantaj sağlamaktadır. Keman arka tablası için kullanıma uygun odunların görüntüsü Şekil 1.10’da gösterilmektedir [13].



Şekil 1.10: Keman yapımında kullanılan akçağağ (*Acer spp.*) odunu örnekleri

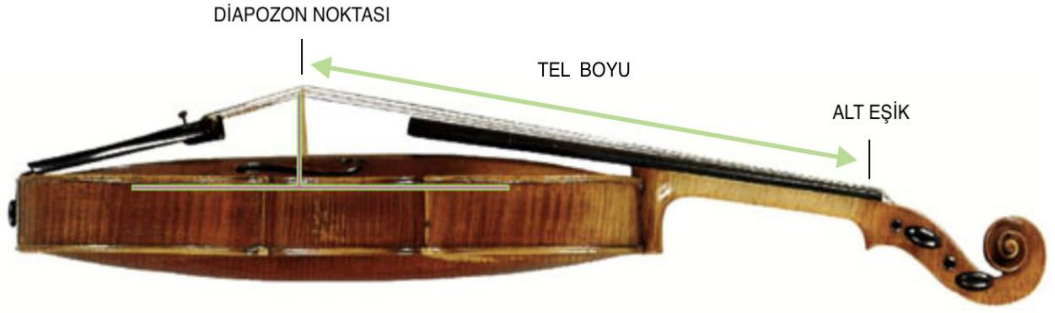
Burgu, tuş ve kuyruk bölümlerinde, telin yüksek gerilimine dayanması açısından ve kullanıma bağlı deformasyonları bertaraf etmek üzere çok sert ve sıkı yapıdaki abanoz (*Diospeyros ebenum*) tercih edilmektedir. Havadaki rutubet değişimlerine karşı çok az boyutsal değişim göstermesi tropikal bölgede yetişen abanoz odununu kullanmaktaki en önemli sebeplerden biridir. Kemanda kullanıldığı örnekler Şekil 1.11’de gösterilmiştir [13].



Şekil 1.11: Abanoz (*Diospeyros ebenum*) odunundan üretilmiş tuş, burgu, çenelik, kuyruk ve kuyruk düğmesi

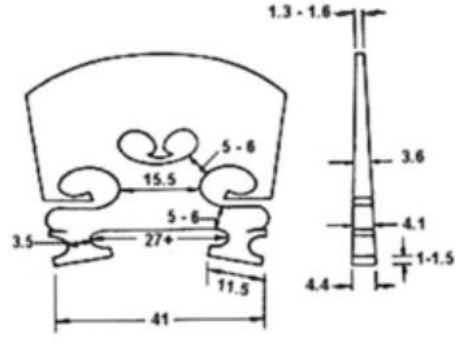
### 1.2.3 Köprünün Şekli ve Geleneksel Yapımı

Köprü ses iletiminde çok önemli bir rol oynamaktadır. Tellerden yüklenmekte olan basıncı karşılaması ve yay (arşe) ile gönderilen titreşime karşı dayanıklı yapıda olması istenmektedir. Akçağaç (*Acer spp.*) odununun öz ışınları yoğun olan bölümlerinden seçilerek keman gövdesine uygun şekillendirilmektedir. Her kemanın ses tablasındaki kubbe biçimindeki yapı nedeniyle, köprünün bulunduğu nokta olan diapozon noktasındaki yüzeye göre, köprü papuçları alıştırılarak ses tablasına oturtulması sağlanır. Diapozon noktası çalgının akustik merkezi olarak ifade edilmektedir. Keman gövdesinden ya da telin üst eşik ile köprü arasındaki uzunluğu ölçülerek bulunmakta, köprünün yeri bu şekilde belirlenebilmektedir. İlgili görsel Şekil 1.12’de görülmektedir.

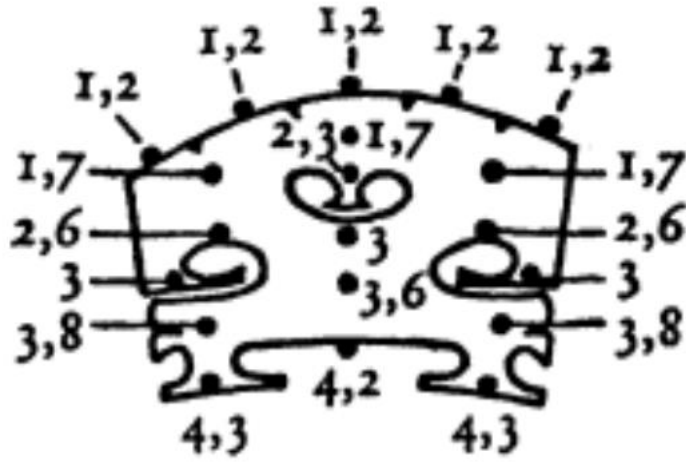


Şekil 1.12: Kemandaki köprünün konumu [47]

Genel bir ölçülendirme ve köprünün yapısı Şekil 1.13’te gösterilmiştir. Literatüre bakıldığında bir diğer kaynakta yine ideal olarak tanımlanan başka ölçülere rastlamak mümkündür. Diğer ölçülendirme örneklerinden bir tanesi de Şekil 1.14’te belirtilmiştir. Farklı keman formlarında boyutlardaki farklılıklardan ve istenen ses tınısı ile icracının taleplerine bağlı olarak ölçüler her kemandaki değişkenlik gösterebilmektedir [14,7].



Şekil 1.13: Keman köprü görüntüsü ve genel ölçülendirilme örnek 1 [3]

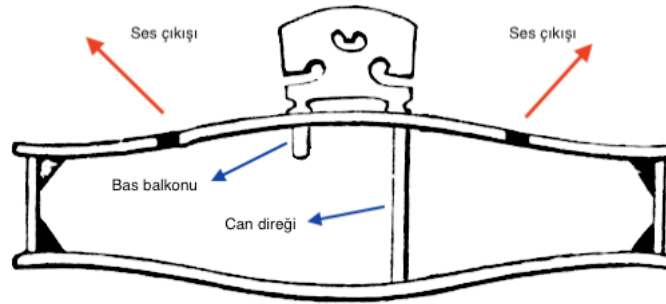


Şekil 1.14: Keman köprü görüntüsü ve genel ölçülendirilme örnek 2 [7]

### 1.3 Kemanda Ses Oluşumu

Kemanda ses oluşumu diğer telli çalgılarla benzer şekilde gerçekleşmektedir. Temel prensip olarak çalgıya bağlı akortlanmış durumdaki teller, yay (arşe) ya da mızraplı çalgılarda mızrap ve benzeri bir cisimle tel titreştirilmektedir. Tellerde oluşturulan titreşimler, köprü veya eşik yardımıyla mekanik kuvvetleri oluşturarak gövdeye her yönde iletilir. Gövdenin gönderilen kuvvetlere karşı gösterdiği titreşim cevabı sesi oluşturur [6].

Köprü üzerinde bas tellerin bulunduğu taraftaki pabucun hizasına, üst tablanın iç kısmında, tabla boyunca uzanan bas balkonu denk gelmektedir. Bas balkonu titreşimlerin üst tablaya yayılmasına yardımcı olurken, tiz tellerin bulunduğu pabucun hizasında, ses tablası ve alt tabla arasına yerleştirilen can direği, telden gelen titreşimlerin alt tablaya iletiminde rol oynamaktadır. Gövde içindeki hava ile birlikte akustik ortam tamamlanarak ses, kemanın üst tablası üzerindeki F şeklindeki ses deliklerinden dinleyiciye kadar ulaşmaktadır. Kemandaki ses oluşumunu sağlayan elemanlar Şekil 1.15'te gösterilmektedir.

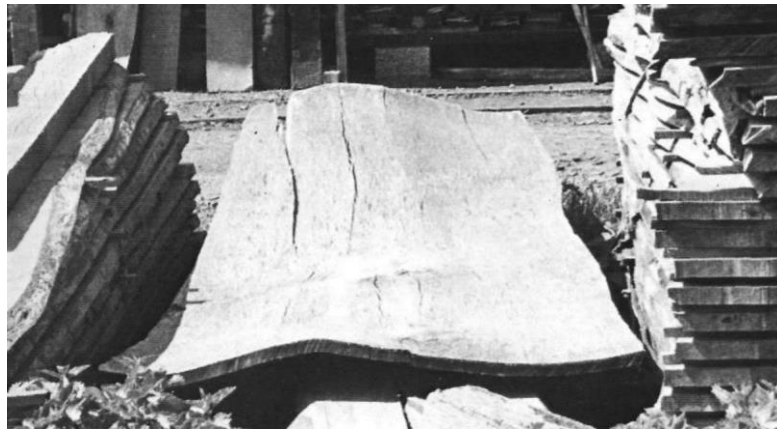


Şekil 1.15: Kemanın yatay kesiti

## 1.4 Kemanda ve Odun Kullanılarak Üretilen Çalgılarda Karşılaşılan Sorunlar

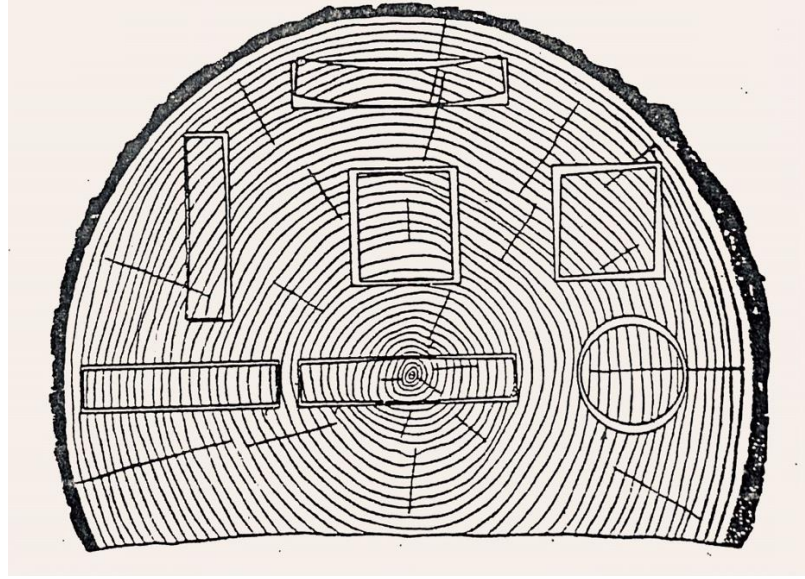
Keman ve birçok çalgıda yüzyıllar boyunca yapı materyali olarak çok çeşitli türde odunlar kullanılmaktadır. Odunun akustik özellikleri, özgül ağırlığına oranla yüksek mekanik özellikleri, estetik görünümü, işleme kolaylığı gibi birçok özelliği çalgı yapımında kullanım açısından vazgeçilmez avantajlar sağlamaktadır.

Fakat odunun bu avantajlarının yanında dezavantajları da bulunmaktadır. Sıcaklık, UV degradasyonu, çürüklük mantarı vb. organizmalar, ortamdaki değişken rutubet koşulları gibi çevresel faktörlerden olumsuz etkilenebilmektedir. Odunun güneş ışınlarına direkt olarak maruz kaldığında ne kadar ciddi bir deformasyona uğrayabileceği Şekil 1.16'da görülebilmektedir. Odunun çalgılar açısından en büyük dezavantajı, değişken rutubet koşullarına maruz kaldığında boyutsal olarak kolayca değişkenlik göstermesidir. Su moleküllerinin hücre içerisindeki micell'ler ve fibril'ler arasındaki boşluklara girerek, bunların birbirine yaklaşması ya da uzaklaşması sebebiyle boyutsal olarak oluşan daralma veya genişlemeye odunun çalışması denmektedir. Tüm odun türlerinde liflere paralel yönde çalışma en az, radyal yönde çalışma daha fazla, yıllık halkalara teğet yönde çalışma ise en fazla olmaktadır. Odunun çalışmasıyla ilgili görsel Şekil 1.17'de verilmiştir [2,8].



Şekil 1.16: Güneş ışınlarına maruz kalan yaş odun örneği [8]





Şekil 1.17: Gövdenin enine kesitinden alınmış farklı şekillerdeki numunelerde kuruma sebebiyle daralma [2]

Ortamdaki rutubet değişimleri çalgıların gövde, ses tablası, sap ve burgu bölümlerinde hacim değişimlerine neden olmakta buna bağlı olarak da akustik performansta kayıplar, akortlama problemleri ve birçok kez de çalgılar üzerinde deformasyona bağlı restorasyon ihtiyaçları doğurmaktadır. Bir kemanın ses tablasında oluşan çatlak Şekil 1.18’de görülebilmektedir.



Şekil 1.18: Kemanın ses tablası üzerinde oluşan çatlak [48]



## 1.5 Odun Modifikasyonu

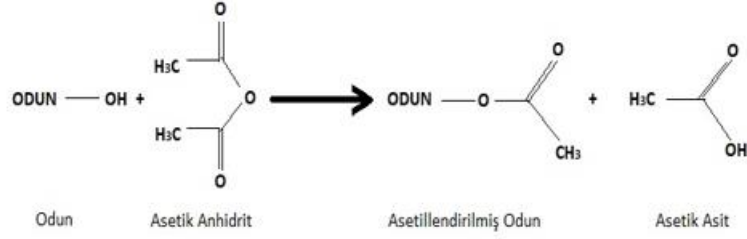
Odunun olumsuz olarak görülmekte olan özelliklerini iyileştirip, dezavantajlarının avantaj haline getirilmesine odun modifikasyonu denilmektedir. Hücre çeperi bileşenleri yüksek sıcaklık ya da çeşitli kimyasallar kullanılarak modifiye edilebilmektedir. Yapılan bu işlemlerin tümü odun modifikasyonu olarak tanımlanmaktadır. Modifikasyon işlemleri ile birlikte, odunun olumlu özellikleri olarak sayılan mekanik ve akustik özellikleri ile işleme kolaylığı, estetik görünümü gibi avantajları korunup geliştirilebilmekte, ortamdaki rutubet değişimlerinden etkilenmesi, UV degradasyonu, mantar ve böcek gibi zararlılara karşı dayanıksızlığı şeklinde sayılabilecek olumsuz özellikleri de geliştirilebilmektedir [16-18].

Bu tez kapsamında odunun anhidrit kullanılarak kimyasal modifikasyon işlemine tabi tutulması amaçlanmıştır.

### 1.5.1 Kimyasal Modifikasyon

Odunda hücre çeperi bileşenleri arasında bulunan hidrofilik yapıdaki hidroksil grupları ortamdaki su molekülleri ile etkileşim içinde olarak boyutsal kararsızlığa sebep olmaktadır. Genel olarak karboksil, karbonil ve hidroksil gruplarından oluşan fonksiyonel gruplar arasında odun içerisinde en yüksek oranla bulunan kısım hidroksil gruplarıdır. Asetillendirme reaksiyonu başta olmak üzere kimyasal modifikasyon yöntemleri ile hidrofilik yapıdaki hidroksil gruplarının, hidrofobik özellikteki kimyasallarla bağlanarak yer değiştirmesi sağlanabilmektedir [17].

Asetilasyon sırasında bir asetil grubu ve bir hidroksil grubu arasında polimerleşme olmaksızın reaksiyon oluşmaktadır. Günümüzde literatürde bulunan kimyasal modifikasyon işlemleri arasında en çok tercih edilmiş yöntem asetik anhidrit reaksiyonudur [19,20,21,22–25]. Asetik anhidrit ve odun arasında gerçekleşen reaksiyon şeması Şekil 1.19'da görülmektedir.



Şekil 1.19: Odun ile asetik anhidrit arasında oluşan reaksiyonun şeması

1928 yılında Almanya’da Fuchs, asetik anhidrit kullanarak sülfirik asit katalizörlüğünde fıstık çamı (*Pinus pinea*) örnekleri üzerinde odunun asetillendirilmesini ilk olarak gerçekleştiren kişidir ve bu işlemdeki ağırlık kazancının %40’tan fazla olduğunu bildirmiştir [26]. Sonrasında 1929 yılında Suida ve Titsch kayın ve çamda piridin ve dimetil-anilini katalizör olarak kullanarak asetillendirme işlemini yapmıştır. Bu numunelerde sağlanan ağırlık kazancı ise % 30-35 olarak belirtilmiştir. Asetillendirme işleminin, oduna rutubet altında boyutsal stabilite kazandırdığını ilk olarak 1946 yılında Tarkow, Stamm ve Erickson tanımlamıştır. Daha sonraki yıllarda asetillendirme ile ilgili çalışmalar hız kazanmış ve değişik odun türleri üzerinde gerçekleştirilmiştir. Asetillendirme işlemi sırasında asetil kimyasalları odun ile reaksiyona girerek ahşap örnekleri üzerinde hacim artışı, dolayısıyla boyutsal kararlılık kazandırılmasına da sebep olmaktadır. Odun bünyesindeki asetil içeriğinde artışa bağlı olarak %20’ye yakın bir ağırlık kazanımı da meydana gelmektedir [17].

1994 yılında Rowell ve arkadaşları tarafından yapılan bir çalışmada asetik anhidritle asetillendirme uygulanan çam odunlarında reaktiflik derecesi açısından ligninin > hemiselüloz > holoselüloz şeklinde saptanmıştır. Asetil içeriğinin %10 WPG değerlerinde hücre çeperinde eşit dağıldığı, %20 WPG değerlerinde ise asetil içeriğinin hücre çeperinin S2 tabakasında orta lamelden daha düşük olduğu tespit edilmiştir [27].

2005 yılında Rowell 'ın yaptığı diğer çalışmasında kavak ve çam odunlarında asetik anhidrit kullanılarak yapılan kimyasal modifikasyon işlemi sonrası benzer WPG değerleri görülen iğne yapraklı ağaçların asetil içeriği geniş yapraklı ağaçlardan daha yüksek bulunmuştur [26].

Ladin odununun %35 denge rutubeti oluşturduğu bağıl nemde, asetillendirme uygulanan ve %19,2 WPG değeri saptanan örneklerde denge rutubetinin %10 olduğu ortaya konmuştur. Asetillendirme işlemi sonucu numunelerde tespit edilen ağırlık artışının, odun içinde bulunan ekstraktif maddeler ile doğrudan bir ilişkisi bulunmaktadır. Asetilasyon sırasında ekstraktif maddelerde yıkanma eğilimi görüldüğü için ağırlık kazancı sonuçları düşük çıkmaktadır. Bu yüzden kimyasal modifikasyon işlemi yapılmadan örneklerin ekstraktif içeriklerinden arındırılması sağlanmalıdır [28].

Kimyasal modifikasyonda kullanılan kimyasal madde odunun hücre çeperlerinin içine ne kadar fazla ulaşırsa asetilasyon işleminin etkinliği o kadar yüksek olmaktadır. Bu yüzden birtakım kimyasal maddeler kullanılarak odunun boşluklarının şişirilmesi vasıtasıyla reaksiyon etkinliği artırılabilir. Bu konuda sıklıkla kullanılan ajan piridin olmaktadır. Etki mekanizması hücre duvarındaki mikro-gözeneklerin genişletilerek odundaki OH gruplarına daha kolay ulaşmayı sağlamak şeklindedir [29].

2011 yılında Çetin ve ark. tarafından asetik anhidrit (AA) ile vinil asetat (VA) kullanarak sarıçam (*Pinus sylvestris*) örnekleri üzerinde yapmış oldukları asetillendirme işlemi sırasında, potasyum asetat, potasyum karbonat ve sodyum asetat gibi 3 farklı katalizör kullanımının WPG değeri üzerine etkisi araştırılmıştır. 100°C sıcaklıkta gerçekleşen modifikasyon işlemi sonucunda en yüksek WPG değerleri her iki kimyasal için potasyum asetat katalizörlüğünde sağlanmıştır. Asetik anhidrit ile gerçekleştirilen asetilasyon işleminde ağırlık kazancı vinil asetat ile gerçekleştirilen modifikasyona oranla daha fazla olduğu saptanmıştır [25].

Odun örneklerinin asetik anhidrit ile kimyasal modifikasyonu sonucu örneklerin bazı mekanik özelliklerindeki değişimin araştırılması 2003 yılında Bongers ve Beckers tarafından dört farklı türdeki; kayın (*Fagus sylvatica*), kavak (*Populus spec.*), sarıçam (*Pinus sylvestris*) ve radyata çamı (*Pinus radiata*) örnekleri ile yapılmıştır.

Sonuç olarak kavak ve sarıçam örneklerinde elastikiyet modülü ve eğilme direnci değerinde kontrol örneklerine kıyasla artış görülmüş fakat, radyata çamı örnekleri için aynı parametrelerde azalma tespit edilmiştir. Kayın numunelerinde ise asetilasyon işlemi sonrası mekanik özelliklerde bir değişim saptanmamıştır [30].

Asetillendirme ilgili ilk çalışmalardan biri de 1953'te Tarkow ve ark., tarafından sitka ladini, sarı huş ile ıhlamur ağacı odunlarından hazırlanan örneklerin asetik anhidrit ile kimyasal modifikasyona tabi tutulmasıdır. Bu çalışmada piridin odun şişirici madde olarak kullanılmıştır [19].

1994 yılında yapılan bir çalışmada Larsson ve Simonson sarıçam (*Pinus sylvestris*) ve ladin (*Picea abies*) odun örneklerine herhangi bir katalizör veya organik ko-solvent kullanmadan asetik anhidrit ile kimyasal modifikasyon işlemi uygulamışlardır. Kimyasal modifikasyon sonrası Sarıçam örneklerinin WPG değeri %19,1 olarak saptanırken ladin örneğinde bu değer %21 bulunmuş ve asetillendirme sonrası örneklerin özgül ağırlıklarında artış olduğu bulgular arasında yer almaktadır. Sarıçam örnekleri özelinde modifikasyon işlemi sonrası elastikiyet modülü ile eğilme direnci değerlerinde %6'lık bir azalmaya rastlanırken ladin örneklerinde aynı değerlerde %7 artış tespit edilmiştir. Asetillendirme işlemine tabi tutulan sarıçam örneklerinde; brinell sertlik değerinde artış saptanmıştır. Ladin örnekleri özelinde yıllık halkalardaki genişlik arttıkça ağırlık kazancı değerinin de arttığı görülmüştür [31].

Li ve ark., 2010 yılında *Chamaecyparis obtusa* odunları kullanarak hazırlanan örnekleri beş değişik anhidrit (asetik, propionik, bütirik, izobütirik ve hegzonoik) ve dört değişik sıcaklıkta (90, 110, 125 ve 140°C) kimyasal modifikasyon işlemi gerçekleştirmişlerdir. 90°C ve 110°C sıcaklıkta bütirik, izobütirik, propionik ve hegzagonik anhidritlerle kimyasal modifikasyon sonucu örneklerin WPG ve ASE değerlerinde belirgin artış saptanmamıştır. Bununla birlikte sıcaklık değeri 125 °C seviyesi üzerine çekildiğinde reaksiyon süresiyle doğru orantılı olarak WPG ve ASE değerlerinde artış sağlanabilmiştir. Modifikasyon sonrası %20 civarında WPG seviyeleri bulunan örneklerde işleme bağlı olarak %70-80 gibi bir boyutsal kararlılık kazancı sağlanabilmiştir [32].

2007 yılında Obatava'nın bir çalışmasında sitka ladini (*Picea sitchensis*) odunu örneklerinde lignin içeriğindeki değişime bağlı olarak kimyasal modifikasyon uygulanan örneklerin bazı özellikleri araştırılmıştır. Wise ve Karl., 1962 metoduna göre ekstraksiyon işlemi gerçekleştirilen ladin odunu örnekleri asetik anhidrit kullanılarak piridin eşliğinde modifikasyona tabi tutulmuştur. Bulgularda odunun lignin içeriği ile ağırlık kazancının doğru orantılı olduğu saptanmıştır [33].

Kimyasal modifikasyon esnasında odundaki rutubet varlığı kullanılan kimyasal maddenin odunda bulunan OH kısımlarına ulaşmasını kolaylaştırmaktadır. Bu yüzden bir miktar rutubet varlığı istenen bir durumdur. Diğer taraftan rutubetin reaksiyon sırasında anhidritler ile karboksilik asit oluşumuna yol açması işlem sonunda ağırlık kazancını olumsuz etkilemektedir. Lif doygunluğu üzerindeki rutubet modifikasyon sırasında istenmemektedir. 2005 yılında Rowell'ın yaptığı bir çalışmada %0 ile %7 arası rutubet seviyesindeki örneklerde asetilasyon oranı değişkenlik göstermemektedir [26].

%0 ve %26 arası değişen rutubet değerlerine sahip örneklerle yapılan bir modifikasyon çalışmasında ise, rutubet değeri arttıkça WPG değerinin azaldığı saptanmıştır. Özellikle %20 seviyesinin üzerindeki rutubet değerlerinde %8 WPG değeri tespit edilmiştir [34].

## 1.5.2 Boyutsal Sabitlik

2000 yılında Hill ve ark., farklı katalizörler kullanarak karaçam (*Pinus nigra*) odun örnekleri üzerinde asetik anhidrit ile kimyasal modifikasyon işlemi uygulamış, örneklerin ağırlık kazançlarında ve reaksiyon hızlarında katalizör kullanılmadan asetillendirilen örneklere oranla artış tespit etmişlerdir [35].

2001 yılında yapılan bir çalışmada Çetin ve Özmen, katalizör olarak piridin kullanarak karaçam (*Pinus Nigra*) ile sarıçam (*Pinus sylvestris*) odunlarını krotonik anhidrit ile asetillendirmiş, reaksiyon sıcaklığının aynı ağırlık kazancı (WPG) değeri elde edildiği sürece boyutsal sabitliğe etkisi olmadığını kanıtlamış ve %30 üzeri bir WPG değerinin üzerinde bir kazanç ile %90 ASE değeri elde etmişlerdir [36].

Çetin ve ark., 2002 yılında karaçam (*Pinus Nigra*) ile sarıçam (*Pinus sylvestris*) odun örneklerine 60 ve 120 °C sıcaklıkta, asetik anhidrit ile krotonik anhidrit yanında piridin katalizörlüğünde yapılan bir asetillendirme işlemi sonucunda %90 üzeri boyutsal kararlılık kazandırmıştır. Asetilasyon sonrası benzer WPG değeri görülen örneklerde, reaksiyonun sıcaklığına bağlı olarak boyutsal kararlılığa bir etki görülmediğini belirtmişlerdir [37].

2009 yılında Çetin ve ark. tarafından okaliptus (*Eucalyptus grandis*) odunları üzerinde yapılan bir çalışmada, 80 °C, 100 °C ve 120 °C sıcaklıklarda ve farklı reaksiyon sürelerinde propiyonik anhidrit yanında katalizör olarak piridin kullanılmış, yapılan kimyasal modifikasyon sonucu 100 °C sıcaklık ve 3 saat süre ile modifiye edilen örneklerde %26 WPG değeri ile %80 üzeri boyutsal kararlılık kazandırılmıştır [38].

2009 yılında yapılan bir çalışmada Aydoğmuş, akçaağaç (*Acer pseudoplatanus*), ladin (*Picea orientalis*) ve maun (*Khaya ivorensis*) diri odunları üzerinde propiyonik anhidrit kullanarak reaksiyon sıcaklığı 120°C olmak üzere farklı sürelerde kimyasal modifikasyon işlemi uygulamıştır. En yüksek süre olan 9 saatlik reaksiyon sonucu Akçaağaç odun örnekleri için %20 WPG ile %81 ASE değeri, Ladin odun örnekleri için %26 WPG ile %82 ASE değeri ve Maun odun örnekleri için %20 WPG ile %50 ASE değeri bulgularına ulaşmıştır [1].

## Bölüm 2

### Literatür Özeti

1999 yılında Obayata., yapmış olduğu çalışmada klarnet çalgısının ağız kısmında kullanılan kamışa alternatif arayışı ile sarı kavak (*Liriodendron tulipifera*), Glehn ladini (*Picea glehnii*), pavlonya (*Paulownia tomentosa*), kiraz (*Prunus sargentii*), Sitka ladini (*Picea sitchensis*), Japon meşesi (*Quercus mongolica*), balsa (*Ochroma lagopus*), Japon huşu (*Betula maximowicziana*) ve Japon sediri (*Cryptomeria japonica*) olmak üzere farklı odun türleri üzerinde, 120°C sıcaklıkta, asetik anhidrit kullanarak 8 saat süre ile kimyasal modifikasyon işlemi gerçekleştirmiştir. Normalde şeker kamışından üretimi yapılan kamışlarda, icra sırasında tükürükle temas olması sebebiyle rutubet değişimleri yaşanarak, boyutsal stabilite sorunları nedeniyle kullanım ömrü kısa olmaktadır. Modifiye edilen örneklerin boyutsal kararlılığı ve akustik özellikleri incelenmiştir. İcracıların yorumları ve yapılan akustik ölçümlerde şeker kamışına göre olumlu sonuçlar görülmüş ayrıca boyutsal stabilitede artış tespit edilmiştir [40].

2011 yılında Calegari ve ark., okaliptüs (*Eucalyptus grandis*) odunları kullanarak örneklerdeki rutubet miktarı ile özgül ağırlık değişimine bağlı ultrasonik ses iletim hızı değişimi üzerine çalışma yapmıştır. Sonuç olarak rutubet artışına bağlı olarak ultrasonik ses hızı azalması ile yoğunluk artışına bağlı olarak ultrasonik ses hızı artışı tespit etmişlerdir [39].

Yapılan bir çalışmada odunda öz ışınlarının varlığına bağlı olarak radyal yönde akustik özelliklerin daha iyi olduğu belirtilmiştir [14]. Ek olarak odun hücrelerinin düzeni ve ilkbahar ile yaz odunu katılım oranı akustik özellikler açısından etkili olmaktadır. Odunda rutubet artışı ile birlikte teğet yöne oranla radyal yönde ses iletim hızının daha çok azaldığı belirtilmiştir [41].

Ladin (*Picea sitchensis Carr.*) odunları üzerinde yapılan bir çalışmada 1993 yılında Yano ve ark., asetik anhidrit ile kimyasal modifikasyon uygulaması gerçekleştirmiştir. Bu modifikasyonlu örneklerden piyano parçaları üretilmiş ve bazı akustik ölçümler yapmışlardır. Sonuçlara bakıldığında ses iletim hızı ile ses boğma katsayısı değerlerinde bir miktar düşüş gözlemlenmiştir. Çalışma özelinde asetillendirme işleminin ses kalitesine etkisi tam olarak tespit edilememiştir [42].

Kabir ve ark., 1998 yılında odunun lif açısı ile rutubet miktarının ses iletim hızına oldukça etki ettiğini bildirmişlerdir. Çalışma kapsamında rubber wood (*Hevea brasiliensis*) örneklerinin üzerinde farklı lif açıları ile farklı rutubet değerlerine bağlı ses iletim hızı ile sertlik değerini inceleyerek lif açısı ve rutubet miktarının artışının, ses iletim hızı ve sertlik değerinde azalmaya sebebiyet verdiğini tespit etmişlerdir [43].

2018 yılında yaptığı çalışmada Değirmenli., on adet ud ve birer adet tanbur ile bağlama çalgıları üzerinde ses yayılım ve eşik mobilitesi testleri yaparak çalgıların akustik özelliklerini incelemiştir. Çalgılara ait ses yayılım özellikleri ile mobilite ölçüm sonuçları karşılaştırılarak doğal titreşim modları ve ses yayılım üzerinde etkileri araştırılmıştır. Çalgının ses karakterinin, doğal titreşimleriyle ilişkisini görme, sayısal veri elde etmede ses yayılım analizinin kullanılabilirliği ve bu analiz sonuçlarıyla mobilite analiz sonuçlarının frekans değerleri üzerinde benzer pikler verdiği şeklinde sonuçlar elde edilmiştir [4].

Elie ve ark., 2013 yılında yaptıkları çalışmada keman üzerinde köprü mobilite testleri gerçekleştirmiş çalgıların akustik olarak verimliliği keman köprüsüne gönderilen kuvvet karşılığındaki titreşim tepkisi gözlemlenerek frekansa bağlı şekilde elde edilmiştir [6].

Schleske., tarafından 2002 yılında yapılan çalışmada keman, bir düzenek üzerine alınıp darbe çekici ile köprü üzerinden gönderilen uyarı itibariyle, kemanın doğal titreşimlerinin bu uyarıya bağlı oluşturduğu seslerin analizi yapılmıştır. Uygulama esnasında mikrofona referans alınarak düzenek döndürülmekte ve ses yayılım analizi yöntemi başarı ile uygulanabilmektedir [10].



## Bölüm 3

### Materyal ve Metot

Yapılan bu çalışmada asetik anhidrit ile modifiye edilmiş Akçağaç (*Acer spp.*) örnekleri keman köprüsü haline getirilerek kemanın akustik frekanslarında gerçekleştirdiği değişimler gözlemlenmiştir. Modifikasyonun etkilerini net olarak tespit edebilmek için hazırlanan köprüler tek bir keman üzerinde konumlandırılarak akustik testlere tabi tutulmuştur. Küçük boyutlu örnekler kullanılarak en verimli modifikasyon süresi tespit edilmiş ve keman köprüsü yapılmak üzere hazırlanan daha büyük boyutlu örneklere bu süre ve aynı şartlarda modifikasyon işlemi uygulanmıştır.

#### 3.1 Materyal

Çalışmada kullanılmak üzere keman köprüsü yapımına uygun Akçağaç (*Acer pseudoplatanus*) odunları Akustikwood Orman Ürünleri firmasından seçilerek temin edilmiştir. Kullanılan odunların makroskopik özelliklerine bakılarak çalgı için düzgün ve mümkün olan en kusursuz yapıda olacak şekilde seçim yapılmış, örneklerin şekillendirme sürecinde de bu hususa özen gösterilmiştir.

Deney örneklerinin hazırlanması sürecinde Ege Üniversitesi Devlet Türk Musikisi Konservatuvarı Çalgı Yapım atölyesi kullanılmış, örnekler şerit testere, planya, kalınlık makinası ve bir takım yardımcı aletler ile aparatlar kullanılarak ölçülendirilmede standart sağlanmıştır. Örneklerin ölçülendirilmesine ait bazı görseller Şekil 3.1 ve Şekil 3.2’de gösterilmiştir.

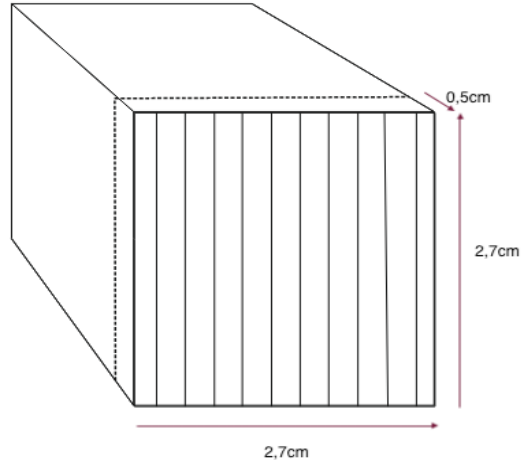


Şekil 3.1: Küçük boyutlu örneklerin gönyeleme aparatıyla şerit testerede kesim işlemi



Şekil 3.2: Küçük boyutlu örneklerin kalınlık makinasında standart kalınlığa getirilmesi işlemi.

Küçük boyutlu örneklerde ölçülendirme 2,7 x 2,7 x 0,5 cm radyal x teğet x kalınlık şeklinde yapılmış olup Şekil 3.3'te belirtilmiştir.



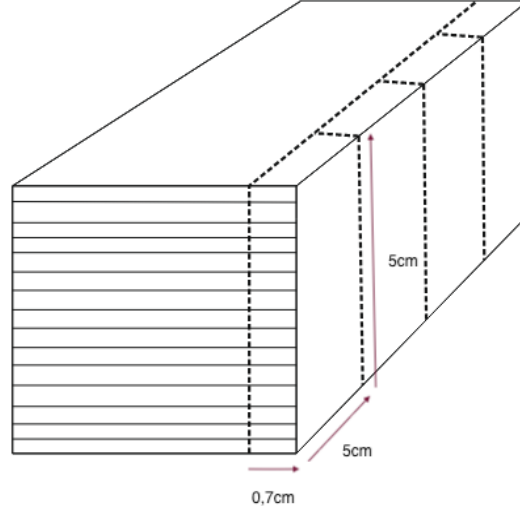
Şekil 3.3: Küçük boyutlu örneklerinin ölçüleri

Köprü yapımında kullanılacak örnekler için de yine aynı alet ve aparatlar kullanılmış eş boyutlandırma ve odunun köprü yapımına uygun yönde ilk şekillendirilmesi Şekil 3.4'te görüldüğü biçimde sağlanmıştır.



Şekil 3.4: Keman köprülerinin ilk kesimi ve numaralandırılması

Modifikasyon öncesi hazırlık aşamasında Akçaağaç (*Acer spp*) odunları, kimyasal modifikasyonun yapılacağı reaktöre sığdırılabilmesi ve daha sonra geleneksel köprü ölçülerine getirilmek üzere 0,7 x 5 x 5 cm teğet x radyal x boyuna şeklinde kesilerek ilk boyutları aşağıdaki Şekil 3.5'te belirtilmiştir.



Şekil 3.5: Keman köprülerinin modifikasyon işlemi öncesi ölçüleri

### 3.1.1 Örneklerin Öğütme İşlemi

İzmir Katip Çelebi Üniversitesi Orman Fakültesi bünyesindeki laboratuvarında, ayrıca makine haznesine konulabilecek küçük parçalar haline getirilen odun parçaları, kimyasal analizde kullanılmak üzere odun öğütme makinesi yardımıyla odun unu haline getirilmiştir. Öğütme işlemi için kullanılmış makine Şekil 3.6'da görülmektedir.



Şekil 3.6: LOYKA marka odun öğütme makinesi

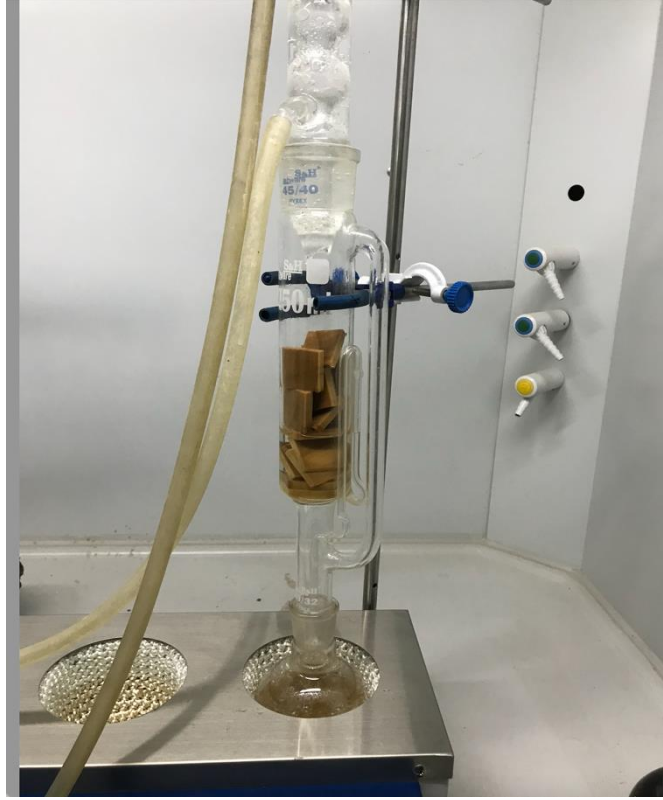
### 3.1.2 Uygulanan Kurutma Yöntemi

Yapılan deneyler sürecinde örnekler,  $103\pm 2^{\circ}\text{C}$  sabit sıcaklıktaki fırın içerisinde değişmeyen miktara ulaşana dek bekletilmiş ve fazla olan rutubet uzaklaştırılmıştır. Kurutma sonrası fosfor pentoksit bulunan desikatör kullanılarak kontrollü şekilde oda sıcaklığına getirilen örnekler mevcut rutubet seviyesini korumak üzere kapalı plastik kaplarda muhafaza edilmiştir.

## 3.2 Odunun Kimyasal Analizinde Kullanılan Yöntemler

### 3.2.1 Ekstraksiyon İşlemi

Ekstraktif maddelerden arındırılmak üzere 4/1/1 oranında tolüen/etanol/aseton/karışımıyla oluşturulan çözücü kullanılarak örneklerin bünyesinde bulunan ekstraktif maddeler 6 saat süresince sokslet düzeneğinde yıkanmıştır. Kullanılan düzenek Şekil 3.7'de gösterilmektedir.



Şekil 3.7: Ekstraksiyon düzeneği

### 3.2.2 Holoselüloz Tayini

Yapılan deneyler sürecinde örneklere ait holoselüloz miktarlarının tespit edilmesi için (Wise ve Carl,1962) klorit metodu kullanılmıştır. 250ml büyüklüğündeki cam erlen içine koyulan 2,5 gram odun unu üzerine, 80 ml saf su, 1 gram  $\text{NaClO}_2$  (Sodyum Klorit) ve 0,5 ml asetik asit eklenerek, 70-80°C sıcaklıkta yağ banyosu içine alınmıştır. Sodyum klorit ile asetik asit, ara ara karıştırılmak suretiyle, erlen içine saatlik periyotlarda, 6 porsiyon olmak suretiyle eklenmiştir. Delignifikasyon işlemi sırasında kullanılan düzenek Şekil 3.8’de gösterilmektedir.

İşlemin devamında sıcak haldeki karışımın 1 gece soğuması beklenmiştir. Devamında saf su ile aseton kullanılarak yapılan süzme işlemi, halihazırda tam kuru tartımı alınmış olan kroze üzerinde uygulanmıştır. İşlem sonrası süzüntü 103±2°C sıcaklıkta sabit ağırlığa gelene dek kurutulmuş, ağırlığı ölçülerek holoselüloz yüzdesi aşağıda belirtilen formülle hesaplanmıştır.

$$\text{Holoselüloz (\%)} = \frac{w_1}{w_2} \times 100$$

$W_1$  = Örneklerin işlem öncesi tam kuru ağırlığı

$W_2$  = Örneklerin işlem sonrası tam kuru ağırlığı



Şekil 3.8: Delignifikasyon işlemi yapılan düzenek

### 3.2.3 Alfa Selüloz Tayini

Odun örneklerinde alfa selüloz tayini yapmak üzere TAPPI\_T203 standartları kullanılmıştır. Delignifikasyon sonrası tam kuru hali oluşturulan numunelerden 2 gram alınarak 200 ml beher içerisine konulmuştur. Numunelere 10 ml %17,5'lik sodyum hidroksit (NaOH) eklenerek cam baget yardımıyla karıştırılmış ve 5 dakika bekleme süresinden sonra 15ml'lik porsiyon miktarıyla sodyum hidroksit ilavesine devam edilmiştir. İşlemin devamında numunelerin üzerine 33 ml saf su ilave edilerek 1 saat bekletilmiştir.

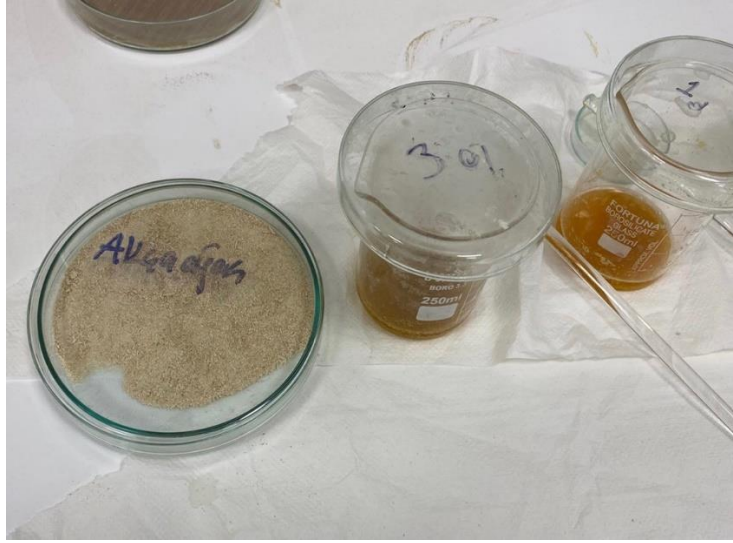
Elde edilen karışım, kroze içine süzdürülüp, 100 ml %8,3'lük NaOH çözeltisi, %10'luk asetik asit ve 250 ml saf su eklemek suretiyle yıkama süreci tamamlanmıştır. Yıkamanın devamında süzüntü halinde kalan miktar, fırında  $103 \pm 2^\circ\text{C}$  sıcaklık ile sabit ağırlığa ulaşana dek bekletilmiştir. Ağırlığı ölçülen

numunelerin alfa selüloz yüzdeleri aşağıda belirtilen formülle hesaplanmıştır. Şekil 3.9'da alfa selüloz tayini amacıyla hazırlanmış örnekler gösterilmektedir.

$$\text{Alfa selüloz (\%)} = \frac{A_{\text{ö}}}{A_{\text{s}}} \times 100$$

A<sub>ö</sub>: İşlemden önceki tam kuru ağırlık

A<sub>s</sub>: İşlemden sonraki tam kuru ağırlık

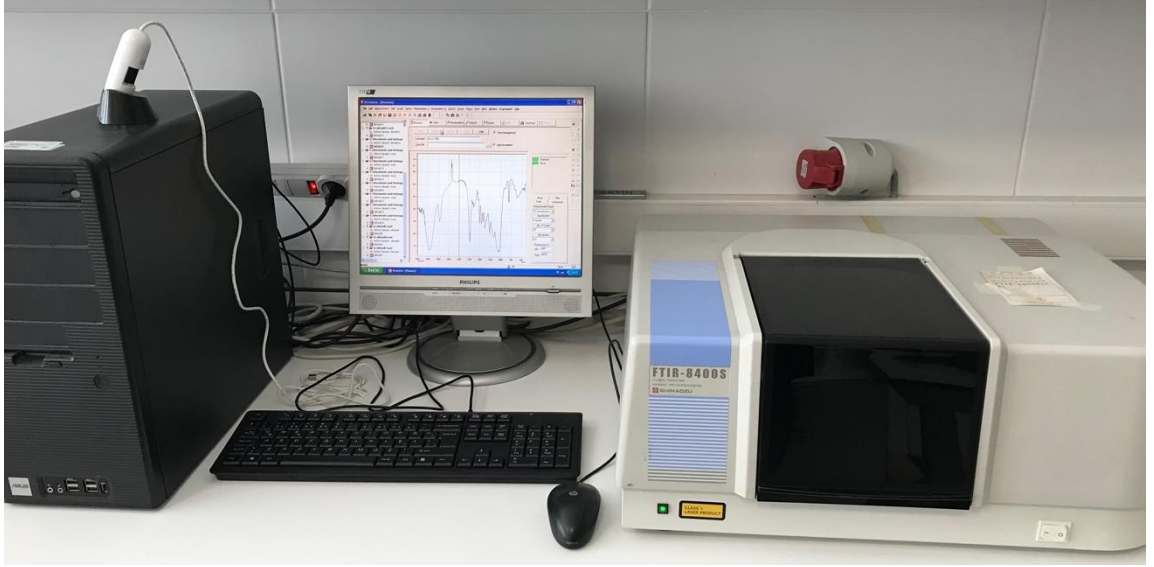


Şekil 3.9: Alfa selüloz miktarının belirlenmesinde kullanılan örnekler

### 3.3 FTIR Analizi

Kontrol ve kimyasal modifikasyonlu örnekler üzerinde FTIR (*Fourier Transform Infrared Spectroscopy*) analizleri gerçekleştirilmiştir. Örneklerden her ölçüm için %1'lik odun unu halinde numune alınarak KBr ile karıştırılmak suretiyle peletler hazırlanmıştır. Hazırlanan peletler Shimadzu FTIR 8400S cihazıyla incelenmiştir. Kullanılan cihaz Şekil 3.10'da gösterilmektedir.





Şekil 3.10: FTIR analizinin yapıldığı cihaz

### 3.4 Boyutsal Sabitlik Testi

Boyutsal sabitliğin belirlenebilmesi için 2,7 x 2,7 x 0,5 cm ölçülerinde hazırlanan odun örnekleri tümüyle suya daldırılacak biçimde, saf su bulunan kaptan 5 gün süre ile bekletilmiş örneklerin yıkanması sağlanmıştır. İşlemin yapıldığı düzenek Şekil 3.11’de gösterilmiştir. Yıkama sonrası alınan örnekler 2 gün süreyle 103±2°C sabit sıcaklıkta bulunan fırında tam kuru hale getirilmiştir. Yıkama ve kurutma işlemleri art arda 5 döngü şeklinde yapılarak her işlem sonrası örneklerin kütle ve hacim değişimleri ölçülmüştür. radyal/teğet/kalınlık ölçümleri mikrometre, ağırlık ölçümleri ise hassas terazi yardımıyla gerçekleştirilmiş ve elde edilen veriler kullanılarak aşağıdaki formülle boyutsal sabitlik hesaplaması yapılmıştır.

$$\text{Şişmeye karşı etkinlik derecesi} = ASE (\%) = \frac{S_k - S_m}{S_k} \times 100$$

$S_k$  = Modifikasyon öncesi odunun şişme katsayısı

$S_m$  = Modifikasyon sonrası odunun şişme katsayısı

$$\text{Şişme katsayısı} = S(\%) = \frac{V_y - V_k}{V_k} \times 100$$

$V_y$  = Suda bekletilmiş odun hacmi

$V_k$  = Tam kuru haldeki odun hacmi



Şekil 3.11: Yıkama döngüsünde kullanılan düzenek

## 3.5 Kimyasal Modifikasyon İşlemi

Asetik anhidrit kullanılarak yapılan bu çalışmada öncelikli olarak, modifikasyon işlemine tabi tutulacak örneklerin miktarına bağlı olarak sarf edilecek anhidrit miktarları belirlenmiştir. Toplam OH içeriği üzerinden yapılan hesaplama sonucunda modifikasyon işlemleri gerçekleştirilmiştir. Küçük boyutlu örneklerin modifikasyonundan sonra yıkama ve kurutma döngüleri tamamlanarak WPG, ASE değerlerine ulaşılmış bu değerlere bağlı olarak da en uygun modifikasyon süresi belirlenmiştir. Keman köprüsü haline getirilecek örneklerin modifikasyonu daha sonrasında bu bilgiler kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

### 3.5.1 Küçük Boyutlu Örneklerin Modifikasyonu

Kimyasal modifikasyon uygulamasından önce 5 adet kontrol ve her farklı reaksiyon süresi için 5'er adet modifikasyonlu olacak biçimde sınıflandırılan örneklerin rutubet tayini, kütle ve hacim ölçümleri yapılarak elde edilen değerler kayıt altına alınmıştır. Kontrol grubu dışındaki tüm örnekler üzerinde ekstraksiyon işlemi gerçekleştirilerek reaksiyona olumsuz etki edebilecek ekstraktif maddelerin örneklerden uzaklaştırılması sağlanmıştır. Modifikasyonun gerçekleştirileceği cam reaktör içerisine alınan örnekler asetik anhidrit, DMF (dimetil formamid) ve katalizör olarak C<sub>5</sub>H<sub>5</sub>N (piridin) karışımı ile 120°C sıcaklıkta yağ banyosu içerisine 0,25, 0,5, 1, 2, 3, 6 saat sürelerde kimyasal modifikasyon işlemine tabi tutulmuştur. Reaksiyonun yapıldığı düzenek Şekil 3.12'de gösterilmiştir. Modifikasyon tamamlandıktan sonra örneklere yeniden ekstraksiyon işlemi uygulanarak kütle ve hacimlerinde meydana gelen değişim ölçülmüştür. Yıkama periyodu sonunda WPG değerleri tespit edilirken aşağıdaki formül kullanılmış olup, örneklerin uygulanan tüm işlemlerden sonraki görüntüsü Şekil 3.13'te gösterilmektedir.

$$\text{WPG (\%)} = \frac{M_m - M_k}{M_k} \times 100$$

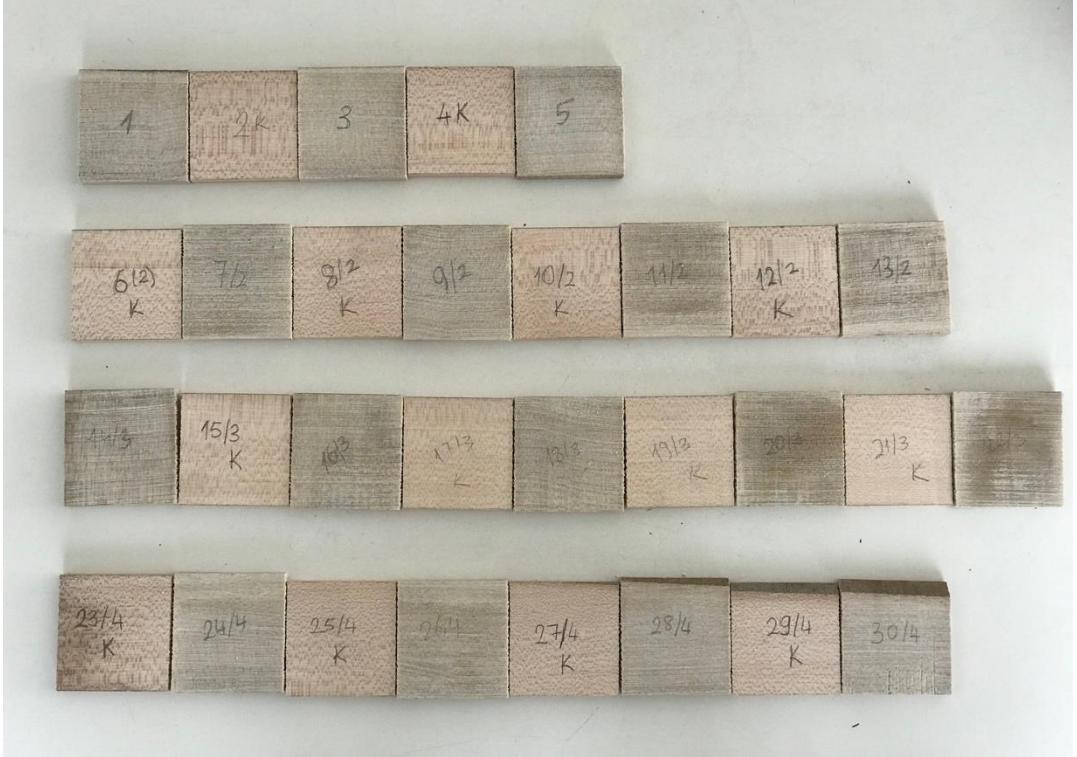
$M_m$  = Modifikasyon sonrası odun tam kuru ağırlık

$M_k$  = Modifikasyon öncesi odun tam kuru ağırlık



### 3.5.2 Keman Köprüsü Yapımı Öncesi Örneklerin Modifikasyonu

Modifikasyon öncesi keman köprüsü yapımı için hazırlanan örnekler cam reaktöre konularak önceden belirlenen 6 saatlik optimum reaksiyon süresinde, asetik anhidrit, DMF (dimetil formamid) ve katalizör olarak  $C_5H_5N$  (piridin) kullanılarak reaksiyona tabi tutulmuştur. Köprü örnekleri Şekil 3.10'da gösterilmiş olan reaksiyon düzeneği kullanılarak kimyasal modifikasyon işlemi tamamlanmıştır. Modifikasyon uygulandıktan sonra örneklerin modifikasyon uygulanmamış kontrol örnekleriyle birlikte görünümüne Şekil 3.14'te yer verilmiştir.



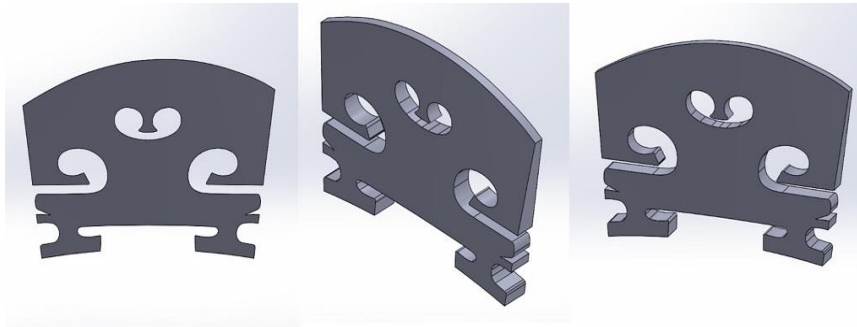
Şekil 3.14: Modifikasyon işlemi yapılmış örnekler ile kontrol örnekleri

## 3.6 Keman Köprülerinin Hazırlanması

Keman köprüleri birbirine en yakın akustik özellikler göstermesi açısından kesim sırasında numaralandırılmış ve yan yana gelen örneklerden birine modifikasyon işlemi uygulanırken, diğerinin kontrol örneği olmasına dikkat edilmiştir. Modifikasyon işlemi sonrası örneklerin keman köprüsünün geleneksel formuna uygun hale getirilmesi ve tek bir keman üzerinde modifikasyonlu köprüler ile kontrol örnekleri değiştirilerek akustik ölçümler yapılması hedeflenmiştir. Bu sebeple örnekler bir dizi işleme tabi tutulmuştur.

### 3.6.1 Keman Köprülerinin Modellenmesi

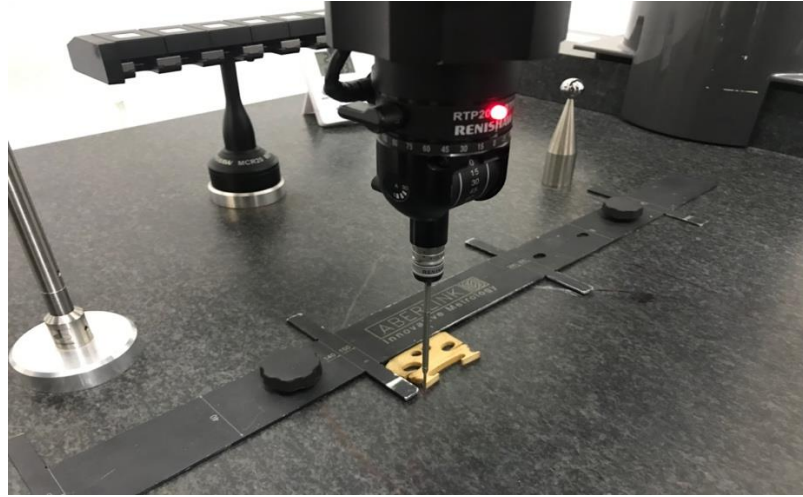
Keman köprüsü geleneksel yöntemde, üzerinde kullanılacağı kemanın formuna ve icracıların müzikal beklentilerine uygun şekilde, el aletleri kullanılarak her bir keman için farklı boyutlarda ve her bir kemana özel olarak ölçülendirilmektedir. El ile şekillendirme her ne kadar özen göstererek yapılsa dahi, örneklerin boyutlarındaki en küçük değişikliklerin akustik ölçümler sırasında ciddi bir fark yaratacağı, böylelikle modifikasyonun etkilerini analiz ederken yanıltıcı bir etken olacağı öngörülmüştür. Ölçümlerin yapılacağı keman olan, Luthier Ahmet Akın'ın üretim yılı olan 2008 el yapımı 4/4 boy akustik kemanın formuna uygun 3 boyutlu bir köprü modellemesi, Solidworks programı kullanılarak dijital ortamda yapılmıştır. Çalışma kapsamında kullanılan dijital çizim Şekil 3.15'te gösterilmiştir.



Şekil 3.15: Çalışma için hazırlanan keman köprüsü modellemesi



Akustik deneyler için kullanılacak kemanın üzerinde var olan köprü, kemanın ses tablasına uygun, pabuçları ses tablasındaki mevcut yüzeye tam uyumlu olarak şekillendirilmiş durumda olduğundan, yeni köprü modellemesi yapılırken eski köprünün pabuç radyusları Aberlink CMM ölçüm cihazı kullanılarak tespit edilmiş ve çizim esnasında ölçümlerden faydalanılmıştır. Modelleme yapılırken keman üzerindeki diğer motifler hazır satın alınan köprülerin motiflerine benzer ölçülerde tasarlanmış, kullanılan köprülerin tamamında standardizasyon yakalandığı için akustik ölçümler sırasında deney açısından önem teşkil etmemektedir. Radyus tespitinde kullanılan cihaz Şekil 3.16’da gösterilmiştir.



Şekil 3.16: Köprülerin pabuç radyuslarının belirlendiği Aberlink CMM cihazı

### 3.6.2 Keman Köprülerinin Üretimi

Çalışma kapsamında modellemesi yapılan köprüler son şekline getirilirken CNC router kullanılmıştır. Kimyasal modifikasyonun etkilerini görebilmek adına köprüler tel yuvaları da modellemeye dahil edilerek testlerin gerçekleştirileceği kemana en uygun biçimde şekillendirilmiş daha sonra tekrar tesviye ihtiyacı duyulmadan kullanılabilir bir birine eş boyutlarda 6 adet kontrol ve 6 adet modifikasyonlu köprü elde edilmiştir. Köprülerin yapım aşamasında kullanılan cihaz Şekil 3.17’de, keman köprülerinin son şekli ise Şekil 3.18’de görülmektedir.



Şekil 3.17: Köprülerin cnc router ile üretim aşaması



Şekil 3.18: Keman köprülerinin son şekli



## 3.7 Akustik Ölçümler

Deneyde kullanılan kemanın üzerinde köprünün konumu tespit edilip kemanın ses tablası üzerinde işaretlemeler yapılmıştır. Bu işaretlemeler keman üzerinde köprü değiştirildiğinde yeni köprünün konumunun belirlenmesinde referans olarak kullanılmış, ayrıca her değişim sırasında tuşe üzerindeki baş eşikten köprünün en üst kısmına denk gelecek biçimde tel boyu ölçümü yapılarak hem köprünün ses tablasına temas ettiği noktadan, hem de tellerin oturduğu üst noktadan kontrol sağlanmıştır. Bir sonraki ölçüm yapılmadan önce can direğinin konumunun değişmediğinden emin olmak sağlıklı veri kazanımı açısından çok önemlidir. Can direğinin alt ve üst tabladaki konumu içeriden işaretlenerek, her bir değişimde f deliklerinden içeriye sokulan küçük bir ayna ve ışık vasıtasıyla kontrol edilmiştir. Ölçümler öncesi modifikasyonlu köprüler ve kontrol örnekleri kesim işlemi sırasında işaretlenmiş, akustik ölçümlerden önce aynı latadan birbirine en yakın parçalar eşleştirilerek ikili guruplara ayrılmıştır. Numaralandırılmış örnekler sırayla keman üzerine yerleştirilip akustik ölçümler yapılmıştır. Akustik ölçümler Ankara Hacı Bayram Veli Üniversitesi Akustik Laboratuvarında gerçekleştirilmiştir.

### 3.7.1 Ses Yayınım Analizi

Bu teknik telli çalgılarda uygulanmak üzere, darbe çekici yardımıyla köprü üzerinde bir noktadan çalgının uyarılması ve belirli uzaklıkta sabitlenmiş mikrofon kullanılarak ses basıncı ölçümü elde edilmesi prensibiyle yapılmaktadır. Literatürde bu metotla keman çalgısı üzerinde yapılan ölçümlerde başarılı sonuçlar alındığı görülmektedir. [10]

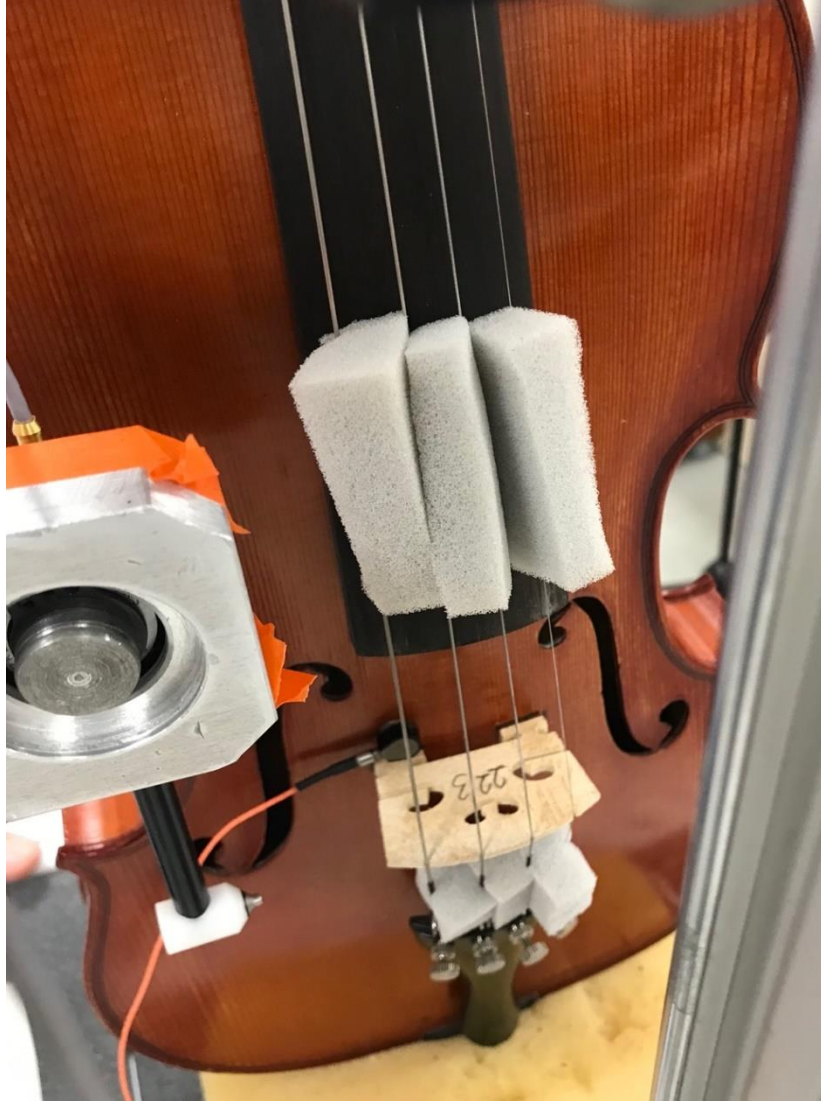
Deneyde kullanılan keman, bir düzenek üzerinde askıya alınarak sabitlenmiş darbe çekici vasıtasıyla kemanın köprüsü üzerine sabit bir noktadan uyarılar gönderilmiştir. Analizlerde elde edilen ses FTF'leri ile darbe çekici marifetiyle oluşturulan ses basıncı oranlanarak FFT analizörü ve bilgisayar yazılımı yardımı ile hesaplanmıştır. Analizör marifetiyle alınan ses basıncı verileri frekans oranlı elde edilmiştir. Kullanılan düzenek mikrofon eksenli döndürülmüş, toplanan verinin ortalaması

alınarak ortam akustiğinden bağımsız elde edilmesi sağlanmıştır. Akustik ölçümlerin yapıldığı düzenek Şekil 3.19 ve Şekil 3.20’de gösterilmiştir.



Şekil 3.19: Akustik ölçümlerin yapıldığı test düzeneği

Akustik deneylerde FFT analizörü olarak B&K marka 6 kanallı 3050-A-060 veri toplama cihazı, B&K 8204 Minyatür Darbe Çekici, B&K 4189-A-021 Mikrofon ile Ön yükseltici ve Pulse Access yazılımı kullanılmıştır.



Şekil 3.20: Ses yayılım analizinde keman köprüsü ve minyatür darbe çekicinin konumu

# Bölüm 4

## Bulgular

### 4.1 Kimyasal Analiz Sonuçları

Çalışma kapsamında kullanılan Akçaağaç (*Acer spp.*) odun örneklerinin kimyasal analiz sonuçları Tablo 4.1’de gösterildiği gibidir.

Tablo 4.1: Odun örneklerine ait kimyasal içerik (\*ekstraktif maddelerden arındırılmış odunun kimyasal bileşen yüzdeleri)

Odun Türü	Holoselüloz*	Lignin*	$\alpha$ -selüloz*	Hemiselülozlar*	Ekstraktif Madde
	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
Akçaağaç	81,6	18,01	43,3	38,3	1,58

### 4.2 Küçük Boyutlu Örneklerde Kimyasal Modifikasyona Bağlı Bulgular

Çalışma kapsamında küçük boyutlu örneklerin kimyasal modifikasyonu gerçekleştirilmek üzere asetik anhidrit, DMF ve katalizör olarak  $C_5H_5N$  kullanılmıştır.  $120^\circ C$  reaksiyon sıcaklığında 0,25, 0,5, 1, 2, 3, 6 saat olmak üzere 6 farklı reaksiyon süresinde modifikasyona tabi tutulan örneklerin ağırlık kazançları Tablo 4.2 ve Şekil 4.1’de gösterilmiştir. Bulgulara göre modifikasyon süresinin artışına bağlı olarak WPG değerinin doğru orantılı arttığı görülmektedir. En yüksek WPG değerine ulaşan odun örneklerinin modifikasyon süresi 6 saat olan örnekler olduğu görülebilmektedir.

Tablo 4.2: Küçük boyutlu akçaağaç (*Acer spp*) modifikasyonlu örneklerinin süreye bağlı ağırlık kazancı (WPG) değerleri Standart sapma parantez içerisinde alınarak gösterilmiştir.

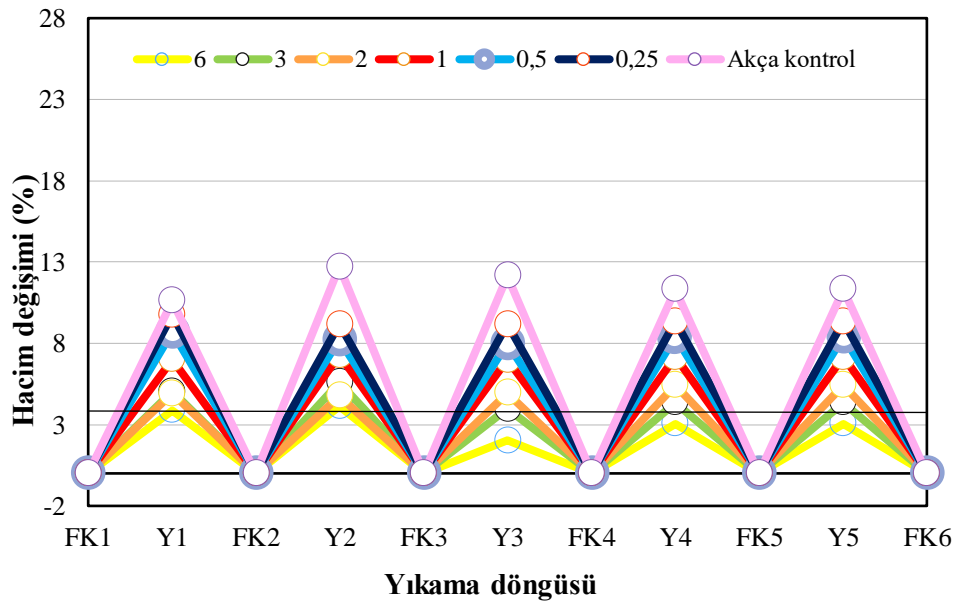
Modifikasyon süresi (Saat)	WPG (%)
0,25	2,57 (0.4)
0,5	3,69 (0.6)
1	6,36 (0.5)
2	7,50 (0.2)
3	9,05 (0.4)
6	10,25 (0.4)



Şekil 4.1: Küçük boyutlu akçaağaç (*Acer spp.*) modifikasyonlu örneklerinin süreye bağlı ağırlık kazancı (WPG) değerleri

## 4.3 Kimyasal Modifikasyon İşlemi Sonrası Örneklerin Boyutsal Kararlılığı

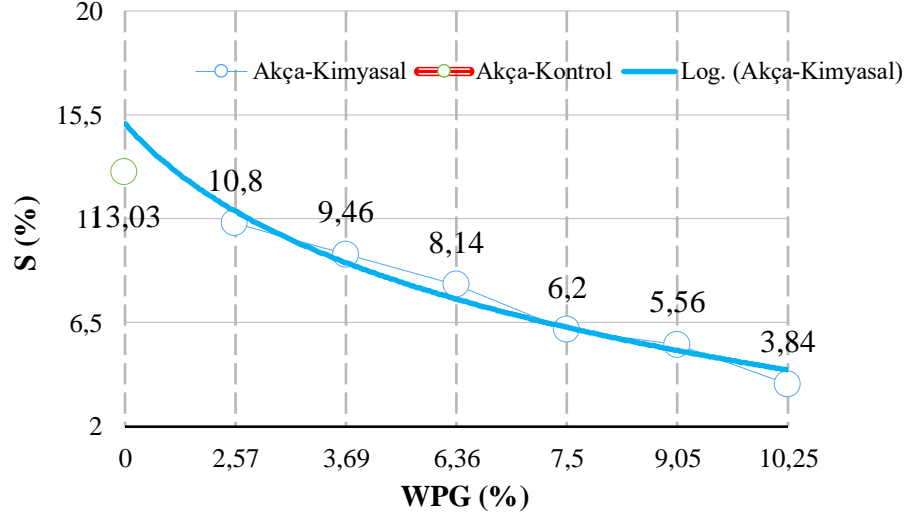
Asetik anhidrit kullanılarak yapılan modifikasyon işlemi sonrasında örneklerin ağırlık kazancı (WPG) değerlerine bağlı tam yaş ile tam kuru hali arasındaki hacim değişimleri incelenmiş ve ağırlık kazancı sağlandıkça hacim değişimlerinde azalma tespit edilmiştir. Boyutsal kararlığın ağırlık kazancına bağlı artışı Şekil 4.2’de görülebilmektedir.



Şekil 4.2: Akçaağaç örneklerinin WPG (%) değerine oranla hacimsel değişimi

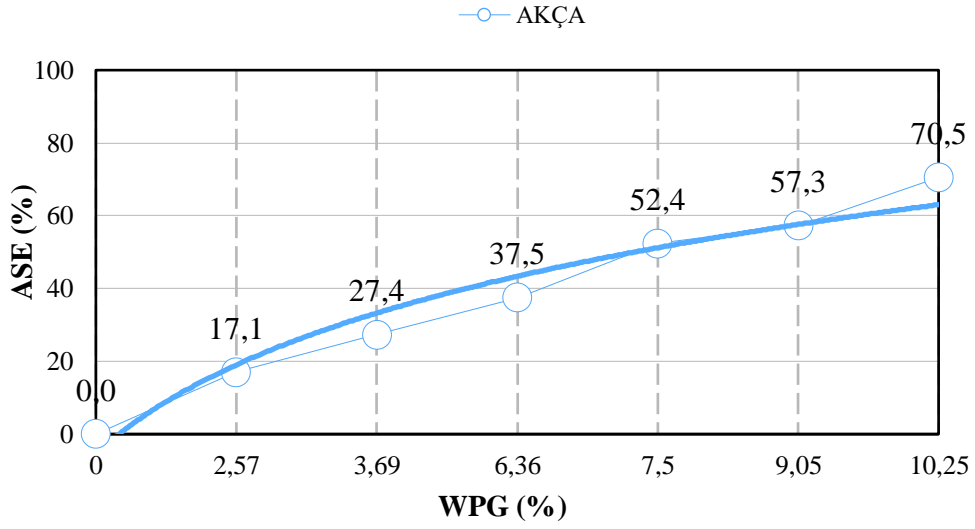
## 4.4 Şişme katsayısı ile ASE Değeri Sonuçları

Asetik anhidrit kullanılarak yapılan modifikasyon işlemi sonrası akçaağaç (*Acer spp.*) örneklerinin şişme katsayısı (S (%)) değerinin ağırlık kazancı (WPG) değerindeki artışa bağlı olmak üzere azaldığı saptanmıştır. Akçaağaç (*Acer spp.*) kontrol örneklerinde %13,03 olarak tespit edilen şişme katsayısı kimyasal modifikasyon işleminin ardından %10,25 ağırlık kazancı ile birlikte %3,84 seviyesine gelmiştir. Şişme katsayısı ile ilgili bulgular Şekil 4.3’te gösterilmiştir.



Şekil 4.3: Şişme katsayısı (S(%)) değerinin farklı ağırlık kazancı (WPG) değerlerine göre değişimi

Ağırlık kazancı (WPG) değerlerinde görülen artışla birlikte şişmeye karşı etkinlik derecesi (ASE) de artış göstermektedir. Asetik anhidrit modifikasyonu uygulanan örneklerde 6 saatlik reaksiyon sonucu %10,25 WPG değeri elde edilmiş ve buna bağlı olarak %70,5 ASE değerine ulaşılmıştır. Elde edilen verilerde diğer ağırlık kazancı (WPG) değerlerine bağlı ASE sonuçları da Şekil 4.4'te gösterilmektedir. Bulgulara bakıldığında asetik anhidrit modifikasyonu ile odun örneklerine boyutsal kararlılık kazandırılmıştır.



Şekil 4.4: Farklı WPG (%) değerlerine bağlı şişmeye karşı etkinlik dereceleri (ASE (%))

## 4.5 FTIR Analizi

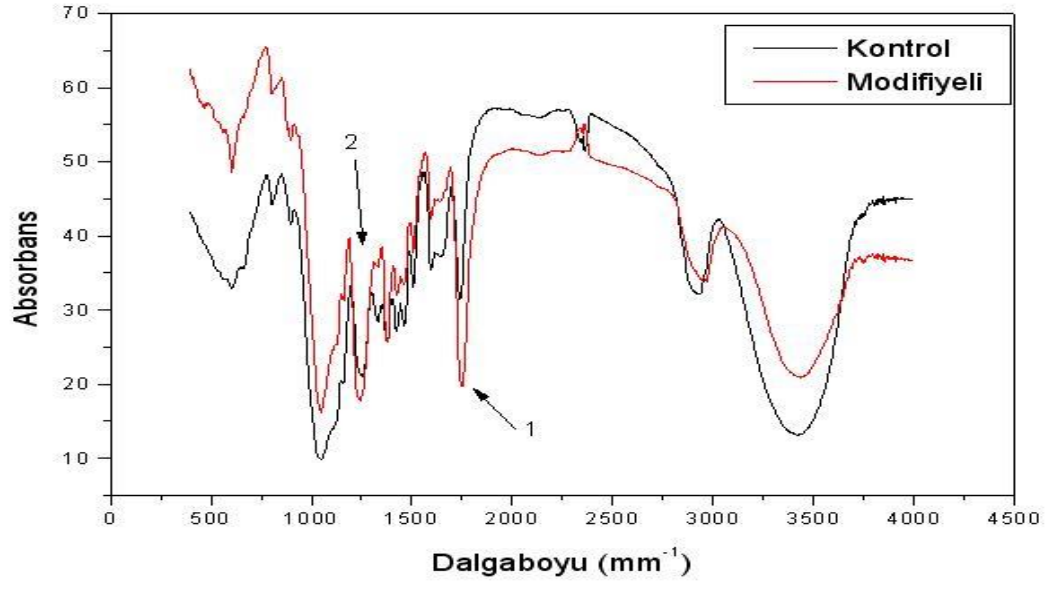
Asetik anhidrit ile akçağaç odunları üzerinde yapılan modifikasyon işleminde meydana gelen reaksiyonun karakterizasyonu FTIR spektra analizi yapılarak ortaya konulmuştur. Modifikasyon örneği ve kontrol örneğinin karşılaştırıldığı FTIR spektrumları Şekil 4.5'te gösterilmektedir.

1 numara ile gösterilen  $1735-1750\text{ cm}^{-1}$  arasında oluşan pikler asetil gruplarının odundaki doymamış gruplarla yapmış olduğu (C=O) ester bağıyla kimyasal bağlanmanın kanıtı niteliğindedir.

2 numara ile gösterilen bölgedeki (C-H) bağları  $1460\text{ cm}^{-1}$  civarındaki pikler ile  $sp^3$  hibritleşmesinden kaynaklanan;

(C-O) bağları ise  $1000-1300\text{ cm}^{-1}$  bölgesindeki piklerin karboksil gruplarından kaynaklanmaktadır.



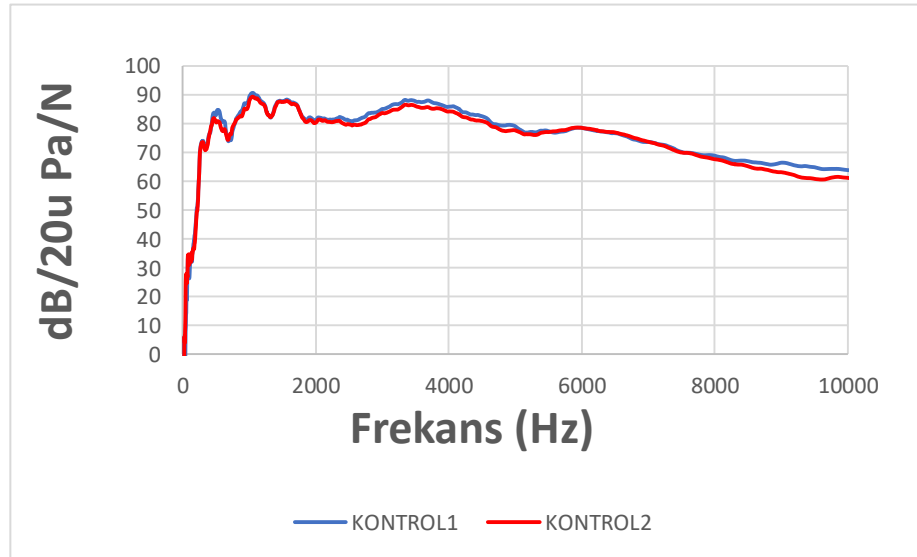


Şekil 4.5: Asetik anhidrit ile kimyasal modifikasyon işlemi öncesi ile sonrası elde edilen FTIR analizi

## 4.6 Akustik Bulgular

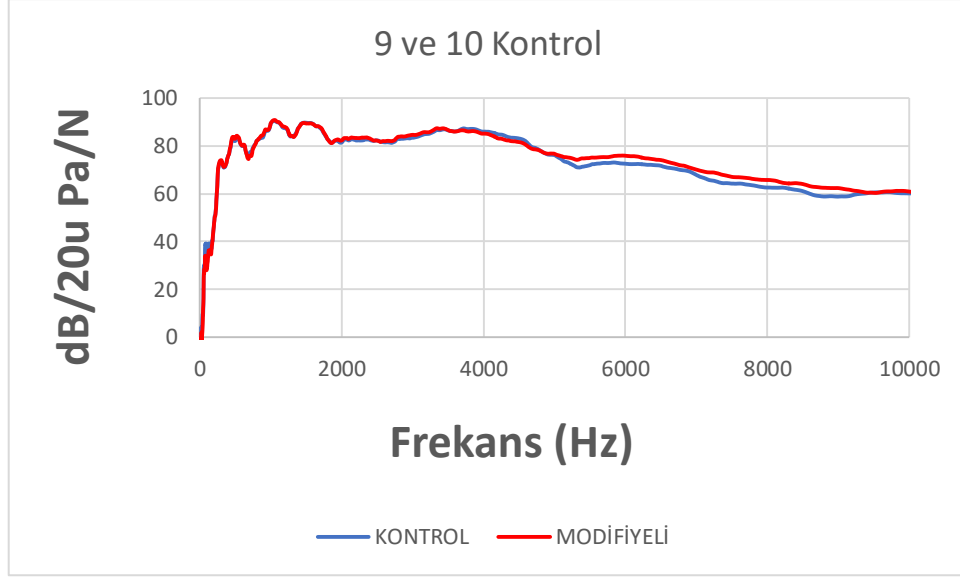
### 4.6.1 Ses Yayınım Analizi Sonuçları

Kontrol örnekleri ile modifikasyonlu örnekler arasında yapılan eşleştirme sonrasında modifikasyonlu örneklere ait ses yayınım testi sonuçları kontrol örnekleriyle karşılaştırılmıştır. Keman üzerinde yapılan köprü değişimleri sırasında, değişim işlemine bağlı olarak fark olup olmadığını görmek açısından kemanın eski köprüsü çıkarılarak yeniden takılmış ve sonuçlar grafik üzerinde gözlemlenmiştir. Aynı köprünün çıkarılıp takılmasıyla frekanslar üzerinde ciddi bir değişim olmadığı sonucuna ulaşılmıştır. Yapılan bu kontrol işleminin grafiği Şekil 4.6'da gösterilmiştir.

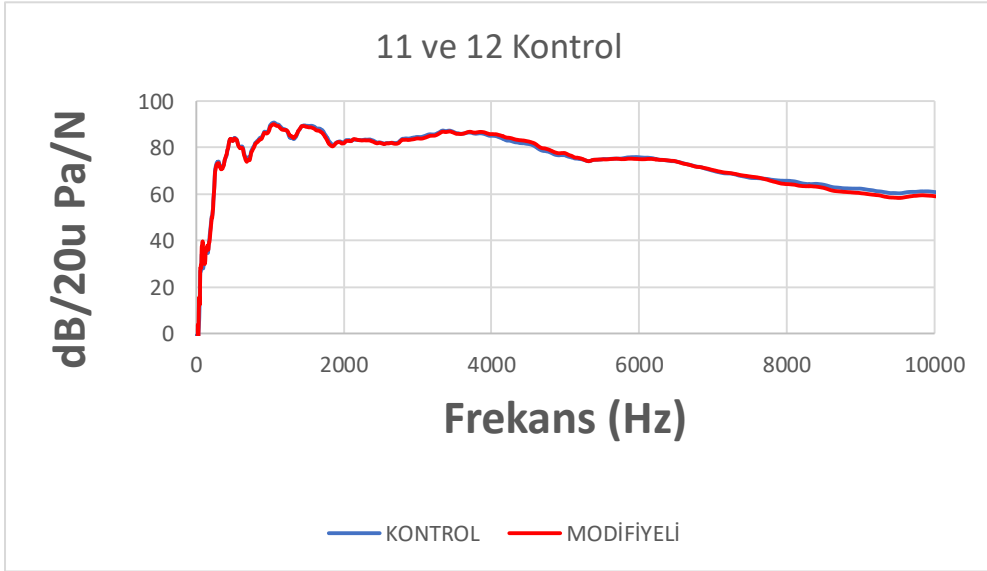


Şekil 4.6: Köprünün kontrol grafiği

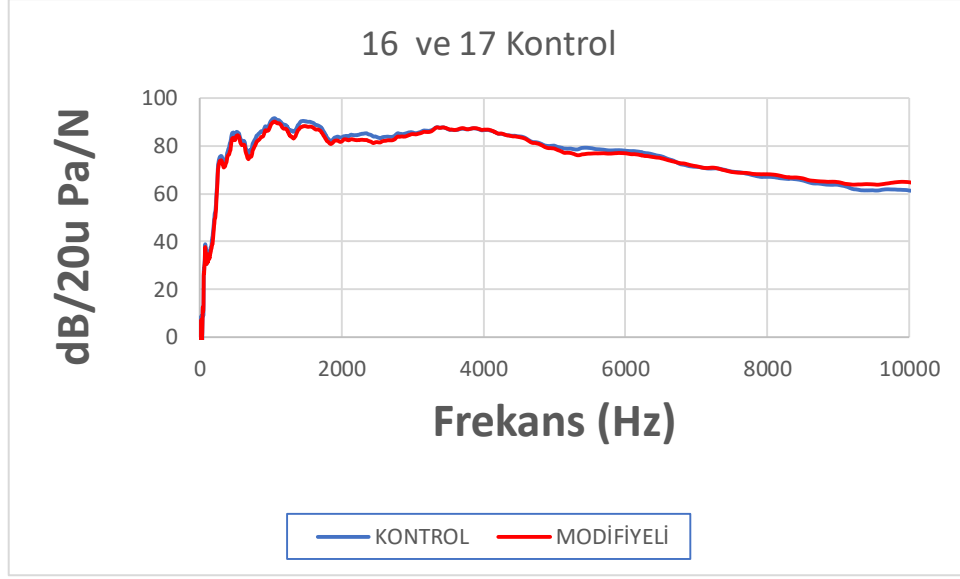
Eşleştirilen köprülere ait ses yayınım analizi karşılaştırmaları modifikasyonlu ve kontrol örneği olarak her grup için tek grafik halinde frekans ve desibel cinsinden verilmiştir. Sonuçlara ait grafikler Şekil 4.7, 4.8, 4.9, 4.10, 4.11 ve 4.12'de gösterilmiştir.



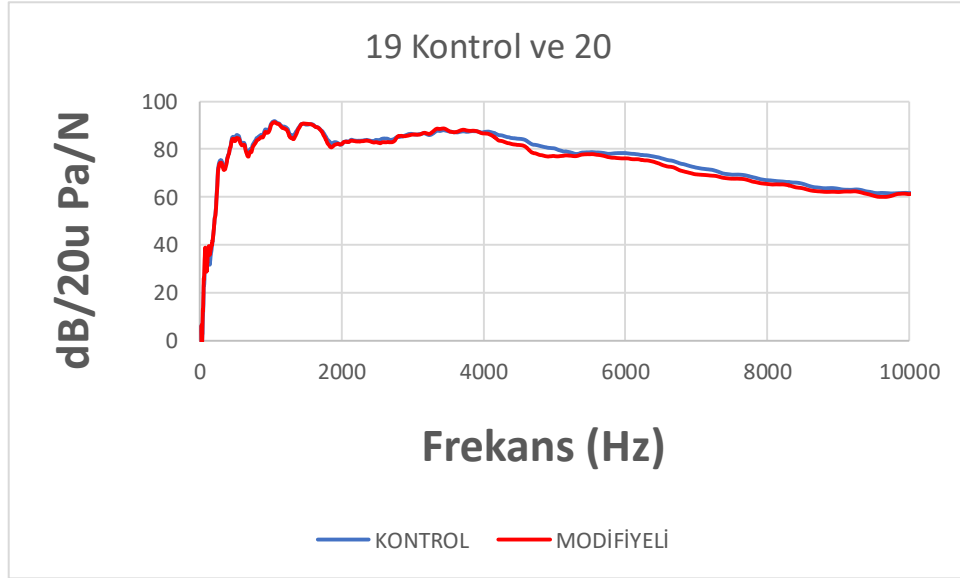
Şekil 4.7: 9 numaralı modifikasyon ve 10 numaralı kontrol örneği arasında FTF analizi



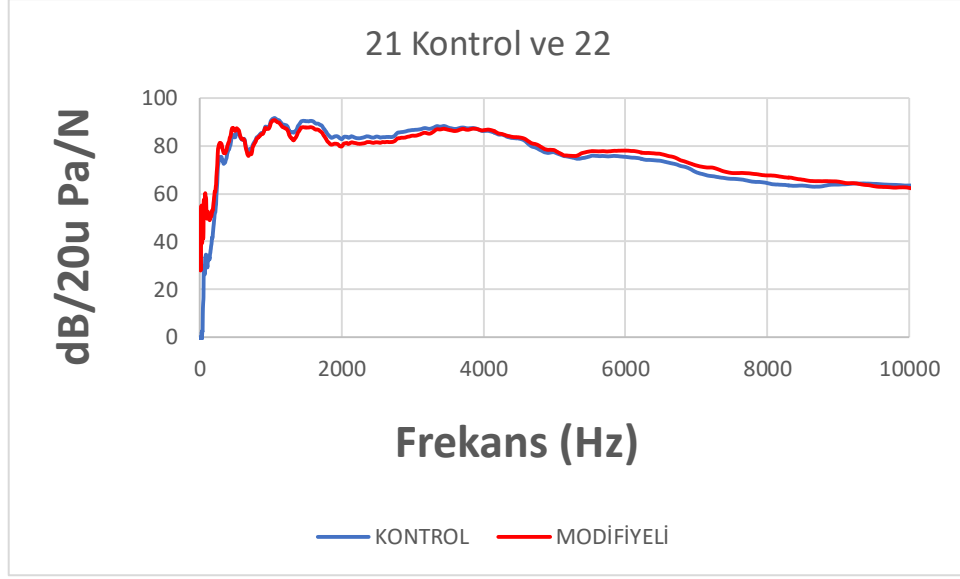
Şekil 4.8: 11 numaralı modifikasyon ve 12 numaralı kontrol örneği arasında FTF analizi



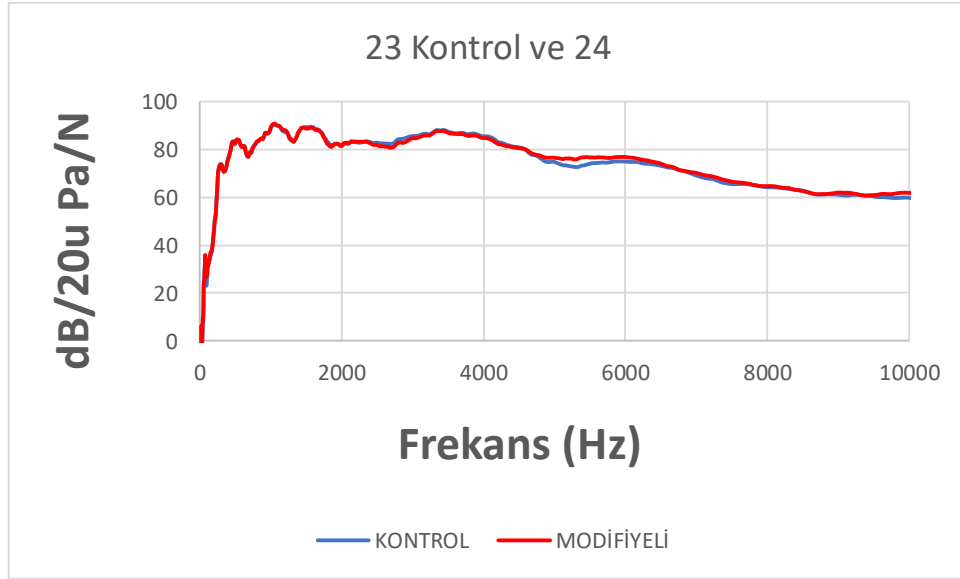
Şekil 4.9: 16 numaralı modifikasyon ve 17 numaralı kontrol örneği arasında FTF analizi



Şekil 4.10: 20 numaralı modifikasyon ve 19 numaralı kontrol örneği arasında FTF analizi



Şekil 4.11: 22 numaralı modifikasyon ve 21 numaralı kontrol örneği arasında FTF analizi



Şekil 4.12: 24 numaralı modifikasyon ve 23 numaralı kontrol örneği arasında FTF analizi

Her köprü değişiminden sonra ölçümler için kontrolleri gerçekleştirilip akortlanan keman; kısa bir süre çalınarak, hem keman köprüsünün sağlıklı şekilde konumlandırıldığından emin olunmuş hem de akustik performansta oluşan tüm farklılıklar dikkate alınarak icracı açısından değerlendirilmiştir.

## Bölüm 5

### Sonuç ve Öneriler

Bu çalışma kapsamında Akçaağaç (*Acer spp.*) odun örneklerine asetik anhidrit kullanılarak ve katalizör olarak C<sub>5</sub>H<sub>5</sub>N (piridin) eşliğinde 0,25, 0,5, 1, 2, 3, 6 saat olmak üzere 6 farklı reaksiyon süresinde kimyasal modifikasyon işlemi gerçekleştirilmiştir. Reaksiyon sonucunda %10,25 ağırlık kazancı (WPG) en yüksek reaksiyon süresi olan 6 saat sonunda elde edilmiştir. %10,25 WPG değerine sahip örneklerin şişmeye karşı etkinlik derecesi (ASE) %70,53 olarak saptanmış ve örneklere boyutsal sabitlik kazandırılmıştır.

Kimyasal modifikasyon sonrası örneklerden keman köprüsü üretimi yapılmış ve üretilen köprüler kullanılarak tek bir keman üzerinde modifikasyonun akustik özelliklere etkisi araştırılmıştır. Modifikasyonlu örnekler ve kontrol örnekleri keman üzerinde değiştirilerek ses yayılım testleri gerçekleştirilmiştir. Testler sonucunda kemanın akustik frekans cevaplarında anlamlı bir değişim görülmemiştir. Ses yayılım analizi sonuçlarına paralel olarak köprülerin değişimi sonrası, icra sırasında elde edilen öznel bir değerlendirme ile de kemanın akustik performansında fark yaratacak değişikliklere rastlanmamıştır. Bu bulgular ışığında benzer akustik performansın korunarak oduna boyutsal sabitlik kazandırılması, çalgılardaki rutubete bağlı deformasyonu engelleyeceği öngörüldüğünden olumlu bir sonuç olarak yorumlanmaktadır.

# Kaynakça

- [1] Aydoğmuş, Ayberk. 2019. “Kimyasal Modifikasyon İşleminin Müzik Aletlerinin Ses Tınısı Üzerine Etkisi” İzmir Katip Çelebi Üniversitesi, İzmir.
- [2] Berkel, Adnan.1970. Ağaç Malzeme Teknolojisi. İstanbul.
- [3] Bucur, Voichita. 2016. *Handbook of Materials for String Musical Instruments*. Cham: Springer International Publishing.
- [4] Değirmenli, Emir. 2018. “Türk Müziđi Çalgılarından ’ud’da Ses Oluşumunun İncelenmesi ve Telli Çalgıların Ses Karakteri Açısından Tasarımlarının Belirlenmesine Dair Yöntem Önerisi.” Gazi Üniversitesi, Ankara.
- [5] Dilworth, John. 1992. *The Cambridge Companion to the Violin*. Vols. 12–2008. edited by Stowell Robin. Cambridge University Press.
- [6] Elie, Benjamin, François Gautier, and Bertrand David. 2014. “Acoustic Signature of Violins Based on Bridge Transfer Mobility Measurements.” *The Journal of the Acoustical Society of America* 136(3):1–3. doi: 10.1121/1.4892762.
- [7] Kolneder, Walter. 1998. *The Amadeus Book of the Violin: Construction, History and Music*. edited by R. G. Pauly.
- [8] Peters, Alan. 1970. *The Technique of Furniture Making*. 4th ed. London.
- [9] Sachs, Curt. 1940. *The History of Musical Instruments*. Vol. 2006. Second. Dover publications.
- [10] Schleske, Martin. 2002. *Empirical Tools in Contemporary Violin Making: Part II. Psychoacoustic Analysis and Use of Acoustical Tools*. Vol. 4. München.
- [11] Woodfield, Ian. 1976. *The Early History of the Viol*. Vol. 103.
- [12] Yurdusever, Yasemin. 2019. “Kemanın Tarihsel Gelişim Süreci ve Romantik Dönem Özelliklerinin Keman Eserlerine Yansıması.” Uludağ Üniversitesi, Bursa.
- [13] Zafer, Güzey. 2000. “Antonio Stradivari’nin Keman Yapımcılığındaki Aşamalar.” İTÜ, İstanbul.
- [14] Bucur, 2006 Acoustics of Wood (Springer Series in Wood Science)
- [15] Johnson, Chris, Cortnell, Roy. 1999. The Art Of Violin Making.
- [16] Fengel, D., & Wegener, G., (1984). Wood, Chemistry, Ultrastructure, Reactions Waster & Grugter 613



- [17] Hill, C. A. S. (2006). *Wood Modification Chemical, Thermal and Other Processes* (John Wiley & Sons)
- [18] Rowell, R. M. (1983). Chemical Modification of Wood For. Prod. Abstr. 6 363–81
- [19] Tarkow, H., Stamm, A. J., & Erickson, E. C. (1953). Acetylated wood
- [20] Rowell, R. M., & Banks, W. B., (1987). Tensile Strength and Toughness of Acetylated Pine And Lime Flakes Br. Polym. J. 19 3–6
- [21] Obataya, E., Furuta, Y., & Gril, J. (2003). Dynamic viscoelastic properties of wood acetylated with acetic anhydride solution of glucose pentaacetate 152–7
- [22] Stamm, A. J., & Tarkow, H., (1946). Dimensional Stabilization of Wood For. Prod. J. 493–505
- [23] Youngquist, J. A., Rowell, R. M., & Krzyslk, A. (1986). Mechanical properties and dimensional stability of acetylated aspen flakeboard \* Holz als Roh - und Werkst. 44 453–7
- [24] Yano, H., Norimoto, M., & Rowell, R. M. (1993). Stabilization of Acoustical Properties of Wooden Musical-Instruments by Acetylation Wood Fiber Sci.
- [25] Çetin, N. S., Özmen, N., & Birinci E. (2011). Acetylation of wood with various catalysts J. Wood Chem. Technol. 31 142–53
- [26] Rowell, R. (2005). *Handbook of Wood Chemistry and Wood Composites*
- [27] Rowell, R., Simonson, R., Hess, S., Plackett, D., Cronshaw, D., & Dunningham, E. (1994). Acetyl Distribution in Acetylated Whole Wood and Reactivity of Isolated Wood Cell-Wall Components To Acetic Anhydride Wood Fiber Sci. 26 11–8
- [28] Rowel, R. M., Lichtenberg, R. S., & Larsson P. (1993). Stability of acetylated wood to environmental changes Wood Fiber Sci.
- [29] Hill, C. A. S. (2006). *Wood modifications: Chemical, Thermal, and other Processes*
- [30] Bongers, H. P., & Beckers, E. (2003). Mechanical properties of acetylated solid wood treated on pilot plant scale European Conference on Wood Modification
- [31] Larsson, P., & Simonson, R., (1994) A study of strength, hardness and deformation of acetylated Scandinavian softwoods Holz als Roh- und Werkst. 83–6
- [32] Li, J. Z., Furuno, T., & Sadanobu, K. (2000). Chemical modification of wood by anhydrides without solvents or catalysts J. Wood Sci. 215–21
- [33] Obataya, E. (2007). Swelling of acetylated wood II : effects of delignification on solvent adsorption of acetylated wood 408–11

- [34] Sander, C., Beckers, E. P. J., Militz, H., & Veenendaal, W. Van. (2003). Analysis of acetylated wood by electron microscopy 37 39–46
- [35] Hill C. A. S., Cetin, N. S., & Ozmen, N. (2000). Potential catalysts for the acetylation of wood *Holzforschung* 54 269–72
- [36] Cetin, N. S., & Ozmen, N. (2001). Dimensional changes in Corsican and Scots pine sapwood due to reaction with crotonic anhydride *Wood Sci. Technol.* 35 257–67
- [37] Özmen, N., & Çetin, N. S. (2002). The reaction of crotonic anhydride with Scots and Corsican pine: Investigation of kinetic profiles and determination of activation energies *Turkish J. Agric. For.* 27 7–13
- [38] Çetin N. S., Gültekin, G., Özmen, N., & Birinci, E. (2009). Propionik Anhidrit Modifikasyonu ile *Eucalyptus grandis* Diri Odununa Boyutsal Sabitlik Kazandırılması *Bartın Orman Fakültesi Dergisi* pp 647–55
- [39] Calegari, L., Gatto, D. A., & Stangerlin, D. M. (2011). Influence of moisture content specific gravity and specimen geometry on the ultrasonic pulse velocity in *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden *WOOD Ciência da Madeira*
- [40] Obataya, E. (1999) Suitability of acetylated woods for clarinet reed *J. Wood Sci.* 45 106–12
- [41] Bucur, V., & Feeney, F. (1992). Attenuation of ultrasound in solid wood 30 76–81
- [42] Yano, H., Norimoto, M., & Rowell, R. M. (1993). Stabilization of Acoustical Properties of Wooden Musical-Instruments by Acetylation *Wood Fiber Sci.* 25 395–403
- [43] Kabir, M. F., Daud, W. M., Khalid, K., & Sidek, H. A. (1998). Effect of Moisture Content and Grain Direction on the Dielectric Properties of Rubber Wood at Low Frequencies *Holzforschung* 54 6–52
- [44] <https://lemaitredemusique.wordpress.com/category/string-instruments-violin-family/>
- [45] <https://www.thestradshop.com/store/thestrad/antonio-stradivari-titian-violin-1715-poster/>
- [46] <https://www.cremonatools.com/poster-guarneri-del-ges-violin-plowden-1735.html>
- [47] <http://www.lutherie.net/care.html>
- [48] <https://www.thestrad.com/protecting-your-stringed-instrument-in-sub-zero-temperatures/4434.article>

# Özgeçmiş

Adı Soyadı: Olgun KURT

E-mail: olgun\_kurt@hotmail.com

Eğitim:

2007–2017 Ege Üniversitesi, Devlet Türk Musiki Konservatuvarı, Lisans

2019–2022 İzmir Kâtip Çelebi Üniversitesi, Orman Endüstri Mühendisliği,  
Yüksek Lisans