

T.C.  
BAHÇEŞEHİR ÜNİVERSİTESİ

**BAĞLAMA GÖVDESİNDE KOMPOZİT ÇİFT KAPAK  
UYGULAMASININ AKUSTİK İNCELEMESİ**

Yüksek Lisans Tezi

**NURŞAH GÜRTEK ÇIKRIKÇIOĞLU**

**İSTANBUL, 2021**



T.C.  
BAHÇEŞEHİR ÜNİVERSİTESİ

LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ  
SES TEKNOLOJİLERİ YÜKSEK LİSANS PROGRAMI

BAĞLAMA GÖVDESİNDE KOMPOZİT ÇİFT  
KAPAK UYGULAMASININ AKUSTİK  
İNCELEMESİ

Yüksek Lisans Tezi

NURŞAH GÜRTEK ÇIKRIKÇIOĞLU

Tez Danışmanı: Dr. CEM ÖMEROĞLU

İSTANBUL, 2021



**BAHÇEŞEHİR ÜNİVERSİTESİ**  
**LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

...../...../.....

**YÜKSEK LİSANS TEZ ONAY FORMU**

<b>Program Adı:</b>	
<b>Öğrencinin Adı Soyadı:</b>	
<b>Tezin Adı:</b>	
<b>Tez Savunma Tarihi:</b>	

Bu tezin Yüksek Lisans tezi olarak gerekli şartları yerine getirmiş olduğu Lisansüstü Eğitim Enstitüsü tarafından onaylanmıştır.

**Doç. Dr. Burak KÜNTAY**  
**Enstitü Müdürü**

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

	<b>Ünvanı, Adı Soyadı</b>	<b>İmza</b>
<b>Tez Danışmanı:</b>	Dr. Cem ÖMEROĞLU	
<b>2. Üye :</b>	Doç. Dr. Yahya Burak TAMER	
<b>3. Üye :</b>	Dr. Öğr. Ü. Gökhan DENEÇ	

## TEŞEKKÜR

Bu çalışmada Türk müziğinde önemli bir yer tutan bağlama çalgısı, çalgının geleneksel formu korunarak “double top” yapım tekniği ile imal edilmiş, sıkça kullanılan geleneksel bağlama ile “Honey Comb” kompozit yapı malzemesi kullanılan yapım tekniği ile oluşan “double top bağlama”, yapılan akustik analizler çerçevesinde yorumlanmıştır.

Öğrencisi olduğum zaman zarfından bu yana, tez aşamasına gelene kadar ve bu çalışmamın hayata geçirilmesi sürecinde aktardığı bilgi ve tecrübeleriyle beraber destek ve katkılarından dolayı danışman hocam Dr. Cem ÖMEROĞLU’na teşekkürlerimi sunarım.

Yüksek Lisans eğitimimde tez aşamasına gelene kadar olan emeklerinden dolayı hocalarım Doç. Dr. Yahya Burak TAMER, Dr. Öğr. Üyesi Gökhan DENEÇ ve Dr. Öğr. Üyesi Cemal Barkın ENGİN’e teşekkür ederim.

Çalışma boyunca paylaştığı üretim tecrübesiyle, yeniliklere açık bir şekilde çalışmalarını sürdürdüğü atölyesini bana açarak emeğini ve bilgisini esirgemeyen Dutar Saz Evi çalgı yapım ustası kıymetli Süleyman ASLAN’a teşekkür ederim.

Double top tekniğinin bağlamada incelenmesi için beni cesaretlendiren ve görüşleriyle destekleyen değerli Ali Kazım AKDAĞ’a teşekkür ederim.

Çalışmanın akustik ölçüm aşamasında bana kapılarını açan Ankara Hacı Bayram Veli Üniversitesi’ne ve akustik ölçümleri gerçekleyebilmem için emeği, bilgisi ve desteğiyle büyük özveride bulunan değerli Dr. Öğr. Üyesi Emir DEĞİRMENLİ’ye teşekkürlerimi sunarım. Ve son olarak hayatımın her alanında olduğu gibi tez çalışmam süresince de yanımda olan sevgili aileme sonsuz teşekkür ederim.

İstanbul, 2021

Nurşah Gürten Çıkrıkçıoğlu

## ÖZET

### BAĞLAMA GÖVDESİNDE KOMPOZİT ÇİFT KAPAK UYGULAMASININ AKUSTİK İNCELEMESİ

Nurşah Gürten Çıkrıkçıoğlu

Ses Teknolojileri Yüksek Lisans Programı

Tez Danışmanı: Dr. Cem Ömeroğlu

Haziran 2021, 170 Sayfa

Telli algıların ses karakterini belirlemede en önemli faktörler, enstrümanın yapısı ve kullanılan malzemelerdir. Telli algıların imalatında kullanılan ağaçların fiziki özelliklerinin her ağaç türünde farklı olması ve çalgılarda ses oluşmasında yeterince bilinmemiş olması hedeflenen sesin elde edilmesi bakımından çalgının tasarımına yönelik zorluklar çıkarmaktadır. Bu çalışmanın temel amacı, bağlama algısını ses üretimi açısından incelemek ve bu bağlamda da telli çalgıların yapısını ses karakteri açısından belirlemek için bir araştırma yöntemi sunmaktır.

Çalışmada öncelikle bağlamanın müzikal özellikleri ele alınmış ve ses dalgası kavramı üzerinden çeşitli kavramlar açıklanmıştır. Daha sonrasında telli çalgılarda ses oluşum süreci incelenmiş ve bağlamanın tel ve gövde titreşimlerine değinilmiştir. Bağlama ailesine de yer verilen bu çalışmada bağlama yapımında kullanılan ağaç türleri de incelenmiştir. Akustik yapı malzemesi olan bal peteğinin kullanım alanları da detaylı bir şekilde irdelenmiştir.

Diğer yandan araştırma sonucunda akustik açıdan elde edilen bulgular belirlenerek bu hususta bir önem belirtmeye çalışmıştır. Bu önem doğrultusunda ise telli çalgıların üretimleri ve kullanımlarına yönelik farklı bakış açısı elde etme ve bu bağlamda öneriler sunulmuştur.

**Anahtar Kelimeler:** Bağlama, algı, Bal Peteği, Kompozit, Akustik.

## ABSTRACT

### ACOUSTIC EXAMINATION OF COMPOSITE DOUBLE COVER APPLICATION IN CONNECTING BODY

Nurşah Gürten Çıkrıkçioğlu

Audio Technologies Master's Program

Thesis Advisor: Dr. Cem Ömeroğlu

June 2021, 170 Pages

The most important factors in determining the sound character of string instruments are the structure of the instrument and the materials used. The fact that the physical characteristics of the trees used in the manufacture of the stringed instruments are different in each tree species and the fact that the sound is not known enough in the sound of the instruments creates difficulties in the design of the instrument in terms of obtaining the targeted sound. The main purpose of this study is to examine the baglama instrument in terms of sound production and, in this context, to present a research method to determine the structure of stringed instruments in terms of vocal character.

First of all, the musical properties of baglama were discussed and various concepts were explained over the concept of sound waves. Later, the sound formation process in stringed instruments was examined and the string and body vibrations of the baglama were mentioned. In this study, which also includes the baglama family, the tree types used in the construction of baglama were also examined. The usage areas of honeycomb, which is an acoustic building material, are also examined in detail.

On the other hand, the findings obtained in terms of acoustics as a result of the research were determined and an importance was tried to be stated in this regard. In line with this importance, different perspectives on the production and use of string instruments and suggestions in this context are presented.

**Keywords:** Baglama, Instrument, Honeycomb, Composite, Acoustic.

## İÇİNDEKİLER

TABLolar	xi
ŞEKİLLER	xii
KISALTMALAR	xvii
SEMBOLLER	xviii
1. GİRİŞ	1
1.1 ÇALIŞMANIN AMACI	4
2. BAĞLAMININ MÜZİKAL AKUSTİĞİ	5
2.1 SES DALGALARI	5
2.1.1 Ses Dalgası Çeşitleri	6
2.1.1.1 İnfrasonik (ses altı) dalgalar	6
2.1.1.2 İşitilebilen ses dalgaları	6
2.1.1.3 Ultrasonik ses dalgaları	7
2.1.2 Ses Dalgalarının Yayılması ve Hızı	7
2.1.2.1 Ses dalgalarının katı ve sıvılardaki yayılımı	7
2.1.2.2 Ses dalgalarının gazlarda yayılması	8
2.1.3 Ses Dalgalarının Enerjisi	11
2.1.4 Ses Dalgalarının Şiddeti	14
2.2 TELLİ ÇALGILARDA SES OLUŞUM SÜRECİNİN İNCELENMESİ	15
2.2.1 Tel Titreşimleri	17
2.2.2 Yüzey (Ses Tablası) Titreşimleri	21
2.2.3 Gövde İçindeki Havanın Titreşimleri	22
2.2.4 Tel ve Gövde Etkileşimi	24
2.2.5 Ses Yayınımı	26
2.3 AKUSTİK AÇIDAN BAĞLAMA	28
3. GELENEKSEL BAĞLAMININ ÖZELLİKLERİ	30
3.1 BAĞLAMININ YAPISI VE BÖLÜMLERİ	30
3.1.1 Göğüs (Ses Tablası, Kapak)	31
3.1.2 Tekne (Ses Kutusu)	31
3.1.3 Sap (Klavye)	33
3.1.4 Burguluk	36

3.1.5 Eşikler.....	36
3.1.6 Ses Deliği (Kafes).....	36
3.1.7 Cila.....	36
3.1.8 Teller.....	37
3.1.9 Perdeler .....	37
3.1.10 Bağlamada Denge ve Oranlar .....	38
3.1.11 Deneysel Çalışma İçin Kullanılacak Geleneksel Bağlamaların Yapımı .....	38
<b>3.2 BAĞLAMA TÜRLERİ .....</b>	<b>76</b>
3.2.1 Tanbura Curası .....	76
3.2.2 Bağlama Curası .....	76
3.2.3 Tanbura.....	77
3.2.4 Bağlama.....	77
3.2.5 Divan Sazı .....	77
3.2.6 Meydan Sazı.....	77
<b>3.3 BAĞLAMA İMALATINDA KULLANILAN AĞAÇLAR .....</b>	<b>78</b>
3.3.1 Teknede Kullanılan Ağaçlar .....	78
3.3.1.1 Yumuşak ağaçlar .....	78
3.3.1.2 Orta sert ağaçlar .....	81
3.3.1.2.1 Akça ağaç (kelebek ağacı).....	81
3.3.1.2.2 Kara ağaç .....	82
3.3.1.2.3 Çınar .....	83
3.3.1.3 Sert ağaçlar.....	84
3.3.1.3.1 Okalptus (bataklık ağacı, sıtma ağacı) .....	84
3.3.1.3.2 Erik.....	85
3.3.1.3.3 Maun .....	85
3.3.1.3.4 Porsuk ağacı .....	86
3.3.1.3.5 Dişbudak .....	87
3.3.1.4 Çok sert ağaçlar .....	88
3.3.1.4.1 Abanoz .....	88
3.3.1.4.2 Pelesenk .....	88
3.3.2 Ses Tablasında Kullanılan Ağaçlar .....	89

3.3.2.1 Ladin .....	89
3.3.2.2 Köknar .....	90
3.3.2.3 Kanada sediri .....	91
<b>4. AKUSTİK YAPI MALZEMESİ OLARAK HONEY COMB.....</b>	<b>92</b>
4.1 HONEY COMB .....	92
4.1.1 Kompozit Malzemeler.....	92
4.1.2 Kompozit Sandviç Yapılar .....	95
4.1.3 Yapıştırma İşlemleri .....	97
4.1.4 Karbon Nanotüpler .....	98
4.1.5 Honey Comb Yapılar .....	100
4.1.5.1 Alt üst katman.....	101
4.1.5.2 Çekirdek .....	102
4.1.5.3 Yapıştırma .....	104
4.2 HONEY COMB YAPILARIN ÜRETİM YÖNTEMLERİ .....	105
4.3 HONEY COMB YAPI MALZEMESİNİN UYGULAMA ALANLARI	107
4.4 HONEY COMB'UN UYGULANDIĞI ÇALGI TÜRLERİ .....	111
<b>5. AKUSTİK ANALİZ.....</b>	<b>119</b>
5.1 AKUSTİK ANALİZ TANIMI.....	119
5.2 AKUSTİK ANALİZ YÖNTEMİ.....	119
5.2.1 Kaynak Filtre Teorisi.....	119
5.2.2 Dijital Sinyal İşleme.....	120
5.2.3 Temel Frekans (F0) .....	121
5.2.4 Pertübasyon Ölçümleri.....	122
5.2.4.1 Frekans pertübasyon ölçümleri.....	122
5.2.4.1.1 Jitter .....	122
5.2.4.1.2 F0'nın standart deviasyonu (stdev F0) .....	122
5.2.4.1.3 Rölatif ortalama pertübasyon (Relative average perturbation, RAP; GHD, VoxMetria, LingWAVES: PPQ) .....	122
5.2.4.2 Amplitüt Pertübasyon Parametreleri.....	123
5.2.4.2.1 Shimmer.....	123
5.2.4.2.2 Amplitüt pertübasyon bölümü.....	123

5.2.4.3 Spektral Parametreler .....	123
5.2.4.3.1 Harmonik /gürültü oranı ( <i>harmonic-to-noise ratio, HNR</i> ).....	123
5.2.4.3.2 Gürültü harmonik oranı ( <i>noise-to-harmonic ratio, NHR</i> ).....	123
5.2.4.3.3 Normalleştirilmiş gürültü enerjisi ( <i>normalized noise energy, NNE</i> ).....	124
<b>6. DENEYSEL ÇALIŞMA .....</b>	<b>125</b>
<b>6.1 GELENEKSEL BAĞLAMALARIN AKUSTİK ANALİZİ.....</b>	<b>125</b>
6.1.1 Geleneksel Bağlamaların Kapak Değişimi ile “Double Top” Bağlamaya Çevrilmesi.....	125
<b>6.2 ÖLÇÜM YÖNTEMLERİ .....</b>	<b>140</b>
6.2.1 Ölçüm Düzenegi .....	141
6.2.1.1 Ölçülen mod frekanslar.....	144
6.2.2 Mobilite Analizi .....	145
6.2.3 Ses Yayınım Analizi .....	146
<b>6.3 ÖLÇÜM GRAFİKLERİ .....</b>	<b>147</b>
6.3.1 Mobilite Analizi Ölçüm Grafikleri .....	148
6.3.1.1 0-3kHz aralığında ses deliği (kafes) açık geleneksel ve kompozit çift kapak bağlamaların mobilite analizi.....	148
6.3.1.2 0-10kHz aralığında ses deliği (kafes) açık geleneksel ve kompozit çift kapak bağlamaların mobilite analizi.....	149
6.3.1.3 0-3kHz aralığında ses deliği (kafes) kapalı geleneksel ve kompozit çift kapak bağlamaların mobilite analizi.....	150
6.3.1.4 0-10kHz aralığında ses deliği (kafes) kapalı geleneksel ve kompozit çift kapak bağlamaların mobilite analizi.....	151
6.3.2 Ses Yayınım Analizi Ölçüm Grafikleri .....	152
6.3.2.1 0-3kHz aralığında ses deliği (kafes) açık geleneksel ve kompozit çift kapak bağlamaların ses yayınım analizi ...	153
6.3.2.2 0-10kHz aralığında ses deliği (kafes) açık geleneksel ve kompozit çift kapak bağlamaların mobilite analizi.....	154

6.3.2.3 0-3kHz aralığında ses deliği (kafes) kapalı geleneksel ve kompozit çift kapak bağlamaların ses yayını analiz... 156	156
6.3.2.4 0-10kHz aralığında ses deliği (kafes) kapalı geleneksel ve kompozit çift kapak bağlamaların ses yayını analiz... 157	157
6.4 DEĞERLENDİRME .....	157
7. SONUÇ .....	160
KAYNAKÇA .....	166



## TABLolar

Tablo 4.1: Kompozit yapısı.....	95
Tablo 4.2: Karbon nanotüplerin önemli özellikleri.....	99
Tablo 4.3: Bal peteği yapıların avantajları.....	103
Tablo 6.1: Mod frekansları.....	158



## ŞEKİLLER

Şekil 2.1: Sıkışma bölgesi .....	9
Şekil 2.2: Gevşeme bölgesi .....	9
Şekil 2.3: Pistonda ilerleyen ses atmaları .....	10
Şekil 2.4: Gitarda ses oluşum şeması .....	17
Şekil 2.5: Gergin bir telde oluşması muhtemel harmonikler ile karın ve düğüm noktaları .....	18
Şekil 2.6: Uyarı bölgesine bağlı olarak telde oluşan harmonikler .....	21
Şekil 2.7: Udun bazı doğal titreşim modlarının doğal frekansları, sönüm değerleri ve mod şekilleri .....	22
Şekil 2.8: Udun gövdesi içindeki havanın sonlu elemanlar metodu ile elde edilmiş ilk altı titreşim modu .....	23
Şekil 2.9: Telli çalgılarda ses deliklerinden kaynaklanan ses yayılımı .....	24
Şekil 2.10: Telin farklı açılarda uyarılması sonucu oluşan sesin zamana göre değişimi .....	25
Şekil 2.11: Udun ses yayılım grafiği .....	26
Şekil 2.12: Kemanda farklı titreşim modlarının açığa bağlı ses yayılımı .....	27
Şekil 2.13: U ve V kesitli tekneler .....	28
Şekil 3.1: Bağlamanın anatomisi .....	30
Şekil 3.2: Birinci dönem bağlama formu .....	32
Şekil 3.3: İkinci dönem bağlama formu .....	32
Şekil 3.4: Üçüncü dönem bağlama formu .....	33
Şekil 3.5: Kırlangıç geçme .....	34
Şekil 3.6: Kurt ağzı .....	34
Şekil 3.7: Bağlamada altın oranlar .....	35
Şekil 3.8: Teknenin üzerindeki sap oyuğu açılacak kısmın kesimi .....	39
Şekil 3.9: Zımparalama işlemi .....	40
Şekil 3.10: Her iki tekne boyutu da aynı (42 cm) .....	41
Şekil 3.11: Tekne genişlik ölçümü görseli .....	42
Şekil 3.12: Tekne derinliği ölçümü görseli .....	43
Şekil 3.13: Tekne derinlik ölçümü .....	44

Şekil 3.14: Törpülenecek kısım işareti.....	45
Şekil 3.15: Teknedeki fazlalığın törpülenmesi .....	46
Şekil 3.16: Her iki teknenin yapıma hazır hale getirilmesi.....	47
Şekil 3.17: Uygun sapların belirlenmesi .....	48
Şekil 3.18: Sap merkezi için ölçüm alınması.....	49
Şekil 3.19: Sap için delik açma işlemi .....	50
Şekil 3.20: Teknede açılan deliğin görseli .....	51
Şekil 3.21: Sapın sabitlemesi için çivi çakılması.....	52
Şekil 3.22: Sapın konumlandırılması için ölçümün alınması .....	53
Şekil 3.23: Sap alıştırması için tekne hazırlanmaya başlaması.....	54
Şekil 3.24: Teknenin sap oyuğu için ölçüm işlemi .....	55
Şekil 3.25: Teknede sap oyuğunun işaretlenmesi .....	56
Şekil 3.26: Teknede sap oyuğunun oluşturulması .....	57
Şekil 3.27: Sap oyuğunun sağ ve soldan açılma işlemi .....	58
Şekil 3.28: Oluşturulan sap oyuğu .....	59
Şekil 3.29: Oyuk bölgenin kabasının alınma işlemi .....	60
Şekil 3.30: Teknede açılan sap oyuğu.....	61
Şekil 3.31: Sap oyuğunun netleşmesi .....	62
Şekil 3.32: Hazır haldeki tekne .....	63
Şekil 3.33: Sap ve tekne alıştırması öncesi gözlem yapılması.....	64
Şekil 3.34: Sapın teknedeki oyuğa göre şekillendirilmesi işlemi .....	65
Şekil 3.35: Sapın teknedeki oyuğa denenmesi.....	66
Şekil 3.36: Sapın teknede oturduğu konumun doğruluğunun ölçülmesi .....	67
Şekil 3.37: Sapın tekneye oturtulması işlemi.....	68
Şekil 3.38: Tekneye iyice oturan sapın yapıştırma aşamasına getirilmesi.....	69
Şekil 3.39: Bağlama kapaklarının takılması için hazır olan bağlamalar.....	70
Şekil 3.40: Kapakların şekillendirilmesi .....	71
Şekil 3.41: Kapağın tartılması.....	72
Şekil 3.42: Kapağın üzerine koyulan rulonun tartılması.....	73
Şekil 3.43: Kapak gramajının bulunması .....	74
Şekil 3.44: Cila ve perde bağlanması için hazır haldeki bağlamalar .....	75
Şekil 3.45: Yapımı tamamlanmış, ölçüme hazır bağlama.....	76

Şekil 4.1: Kompozit malzemelerin kullanım alanları .....	94
Şekil 4.2: Kompozit malzemelerin sınıflandırılması .....	95
Şekil 4.3: Farklı çekirdek yapısına sahip sandviç yapılar .....	96
Şekil 4.4: Grafit tabakanın yuvarlanması sonucu meydana gelen tek cidarlı karbon nanotüp yapısı .....	99
Şekil 4.5: Karbon nanotüp yapıların polimer matrisi içerisinde dağıtılmasında kullanılan yöntemler .....	100
Şekil 4.6: Bal peteği yapının kısımları .....	101
Şekil 4.7: Farklı çekirdek yapıları .....	102
Şekil 4.8: Çekirdek yapısı .....	103
Şekil 4.9: Çekirdek malzemenin üretim yöntemleri .....	106
Şekil 4.10: Kalıba dökme yöntemi ile çekirdek üretimi .....	106
Şekil 4.11: Bal peteği üretim yöntemleri .....	107
Şekil 4.12: Yolcu uçağının dış yapısında kullanılan kompozit yapıların kullanım bölgeleri .....	108
Şekil 4.13: Yolcu uçağının iç yapısında kullanılan kompozit yapıların kullanım bölgeleri .....	108
Şekil 4.14: Bir helikopterde kullanılan kompozit yapıların kullanım bölgeleri .....	109
Şekil 4.15: Türbin kanatlarında kompozit malzeme kullanımı .....	109
Şekil 4.16: Prefabrik yapılarda sandviç kompozit malzeme kullanımı .....	110
Şekil 4.17: Tren vagonlarında kompozit yapı kullanılan bölgeler .....	110
Şekil 4.18: Teknelerde kompozit sandviç kullanım bölgeleri .....	111
Şekil 4.19: Yeni nesil bir yolcu otobüsünde kompozit malzeme kullanım bölgeleri ...	111
Şekil 4.20: Solo nota .....	112
Şekil 4.21: Yapılardaki ses değişimleri .....	112
Şekil 4.22: Bal peteği hoparlör diyagramları .....	113
Şekil 4.23: Lutz ladini .....	115
Şekil 4.24: Lutz ladini .....	115
Şekil 4.25: Laminasyonun bitmiş hali .....	116
Şekil 6.1: Geleneksel bağlamanın kapak söküm işlemi .....	126
Şekil 6.2: Geleneksel bağlamanın kapak söküm işlemi .....	127
Şekil 6.3: Kapak kısmının tekneden ayrılması .....	128

Şekil 6.4: Kapağı sökülmüş teknenin içi.....	129
Şekil 6.5: Kapağı sökülmüş teknenin üstten görünümü.....	130
Şekil 6.6: Kalıba göre yeni kapak kesilmesi .....	132
Şekil 6.7: Kapak eşiğine denk ahşap eklenmesi.....	133
Şekil 6.8: Kapak kesimi ve eşiğe denk ahşap eklenmesi .....	134
Şekil 6.9: Gizli oyuk açılması .....	135
Şekil 6.10: Kapağa yerleştirilecek kompozit nomex honey comb malzemesinin görüntüsü.....	136
Şekil 6.11: Vakumlama işlemi .....	137
Şekil 6.12: Fazlalık kısmın zımparalanması .....	138
Şekil 6.13: Tekne ile kapağın birleştirilmesi.....	139
Şekil 6.14: Cilalanmaya hazır bağlamalar .....	140
Şekil 6.15: Titreşim ve ses ölçüm düzeneği.....	142
Şekil 6.16: Titreşim ve ses ölçüm düzeneğine yakından bakış.....	143
Şekil 6.17: Titreşim ve ses ölçüm düzeneğinde bağlamanın önden görünümü .....	144
Şekil 6.18: Ses yayılım ölçümünün bağlama çalgısı üzerinde uygulanışı (Application of the sound radiation measurement on the bağlama).....	147
Şekil 6.19: Mobilite Analizi, Kırmızı 1 Numaralı Geleneksel Bağlama Ses Deliği Açık, Mavi 1 Numaralı Kompozit Çift Kapak Bağlama Ses Deliği Açık .	148
Şekil 6.20: Mobilite Analizi, Kırmızı 2 Numaralı Geleneksel Bağlama Ses Deliği Açık, Mavi 2 Numaralı Kompozit Çift Kapak Bağlama Ses Deliği Açık .	149
Şekil 6.21: Mobilite Analizi, Kırmızı 1 Numaralı Geleneksel Bağlama Ses Deliği Açık, Mavi 1 Numaralı Kompozit Çift Kapak Bağlama Ses Deliği Açık .	149
Şekil 6.22: Mobilite Analizi, Kırmızı 2 Numaralı Geleneksel Bağlama Ses Deliği Açık, Mavi 2 Numaralı Kompozit Çift Kapak Bağlama Ses Deliği Açık .	150
Şekil 6.23: Mobilite Analizi, Kırmızı 1 Numaralı Geleneksel Bağlama Ses Deliği Kapalı, Mavi 1 Numaralı Kompozit Çift Kapak Bağlama Ses Deliği Kapalı .....	150
Şekil 6.24: Mobilite Analizi, Kırmızı 2 Numaralı Geleneksel Bağlama Ses Deliği Kapalı, Mavi 2 Numaralı Kompozit Çift Kapak Bağlama Ses Deliği Kapalı .....	151

Şekil 6.25: Mobilite Analizi, Kırmızı 1 Numaralı Geleneksel Bağlama Ses Deliği Kapalı, Mavi 1 Numaralı Kompozit Çift Kapak Bağlama Ses Deliği Kapalı .....	151
Şekil 6.26: Mobilite Analizi, Kırmızı 2 Numaralı Geleneksel Bağlama Ses Deliği Kapalı, Mavi 2 Numaralı Kompozit Çift Kapak Bağlama Ses Deliği Kapalı .....	152
Şekil 6.27: Ses Yayınım Analizi, Kırmızı 1 Numaralı Geleneksel Bağlama Ses Deliği Açık, Mavi 1 Numaralı Kompozit Çift Kapak Bağlama Ses Deliği Açık .	153
Şekil 6.28: Ses Yayınım Analizi, Kırmızı 2 Numaralı Geleneksel Bağlama Ses Deliği Açık, Mavi 2 Numaralı Kompozit Çift Kapak Bağlama Ses Deliği Açık .	154
Şekil 6.29: Ses Yayınım Analizi, Kırmızı 1 Numaralı Geleneksel Bağlama Ses Deliği Açık, Mavi 1 Numaralı Kompozit Çift Kapak Bağlama Ses Deliği Açık .	154
Şekil 6.30: Ses Yayınım Analizi, Kırmızı 2 Numaralı Geleneksel Bağlama Ses Deliği Açık, Mavi 2 Numaralı Kompozit Çift Kapak Bağlama Ses Deliği Açık .	155
Şekil 6.31: Ses Yayınım Analizi, Kırmızı 1 Numaralı Geleneksel Bağlama Ses Kapağı Deliği, Mavi 1 Numaralı Kompozit Çift Kapak Bağlama Ses Deliği Kapalı .....	156
Şekil 6.32: Ses Yayınım Analizi, Kırmızı 2 Numaralı Geleneksel Bağlama Ses Deliği Kapalı, Mavi 2 Numaralı Kompozit Çift Kapak Bağlama Ses Deliği Kapalı .....	156
Şekil 6.33: Ses Yayınım Analizi, Kırmızı 1 Numaralı Geleneksel Bağlama Ses Deliği Kapalı, Mavi 1 Numaralı Kompozit Çift Kapak Bağlama Ses Deliği Kapalı .....	157
Şekil 6. 34: Ses Yayınım Analizi, Kırmızı 2 Numaralı Geleneksel Bağlama Ses Deliği Kapalı, Mavi 2 Numaralı Kompozit Çift Kapak Bağlama Ses Deliği Kapalı .....	157

## KISALTMALAR

B&K	:	Bruel& Kjaer
cm.	:	Santimetre
Eş.	:	Eşitlik
Hz.	:	Hertz
MDVP	:	Multi-Dimensional Voice Program
Mt.	:	Metre
RAP	:	Relative Average Perturbation
vb.	:	Ve benzeri
vd.	:	Ve diğerleri
Ve ark.	:	Ve arkadaşları

## SEMBOLLER

Açısal Frekans	:	$\omega$
Dalga boyu	:	$\lambda$
Faz sabiti	:	$\varphi$
Madde yoğunluğu	:	$\rho$
Sıcaklık	:	$T_c$
Young Sabiti	:	$Y$



## 1. GİRİŞ

Müziğin ana unsuru olan çalgılar, müzikal anlamda seslerin kaynağını oluşturmanın yanı sıra bir kültür unsuru niteliğini de taşımaktadırlar. Çalgılar, kullanıldıkları ülkeler, bölgeler veya kıtalarda zaman içerisinde değişim geçirerek bulunduğu bölgenin kültürünü yansıtan bir unsur haline gelmişlerdir. Türk çalgılar da Türklerin hakimiyet kurduğu geniş coğrafyalarda yaygın kullanım alanına sahip olmuş ve oldukça büyük önem verilmiştir. Enstrümanlar, oluşturuldukları çağın müzik anlayışlarına göre birtakım değişikliklere uğramaktadırlar.

Bu nedenle geleneksel enstrümanlarımızın gelecek nesiller için korunması ve geliştirilmesi kültürel bir zorunluluktur. Bu da ancak mevcut çalgıların doğru yöntemlerle test edilmesi, yeniden oluşturulması ve yeni çalgılar için üretim süreçlerinin en iyi duruma getirilmesi ile mümkün olmaktadır.

Çalgıların, ses oluşturma süreçlerinin belirlenmesine yönelik gerçekleştirilen bilimsel çalışmalar çok eski dönemlere tekabül etmektedir. M.Ö 6. Yy. da yaşamış olan Pisagor gergin tellerden elde edilen sesleri ele alan bir çalışma gerçekleştirmiştir. Bu çalışma üzerinden ise insanların ses algılarının matematik bilimi ile bağlantısını belirlemeyi hedeflemektedir. Daha sonrasında ise çalgılar ve teller üzerinde müzikal birçok çalışma ele alan Farabi, Safiyuddin gibi Doğulu bilim adamlarının gerçekleştirdikleri çalışmalar günümüzde bile değerli bilgileri içeren çalışmalardır (Akbaş 2014, s.134).

Enstrümanların akustik özellikleri üzerine gerçekleştirilen çalışmalar yalnızca çalgı imalatı yapan kişiler tarafından gerçekleşmemiştir. Bu bağlama fizik, mühendislik gibi birçok alandan araştırmacı çalgıların akustik özelliklerini incelemiştir. Diğer yandan teknolojik gelişmelerin eşliğinde havacılık ve uzay teknolojisi için de geliştirilen titreşim ölçüm sistemleri de dahil olmak üzere günümüzde çalgıların akustik özelliklerinin belirlenmesi amacıyla kullanılmaktadır.

Çalgıların akustik özellikleri, bilgisayar ortamı üzerinden geliştirilmiş olan çeşitli analiz yöntemleri ile de belirlenmektedir. Enstrümanların akustikleri konusunda en yaygın

kullanım alanına sahip olan analiz yöntemi ise “sonlu elemanlar metodudur.” (Günay 1993).

Çalgılar üzerinden gerçekleştirilen fiziksel ölçümler kapsamında gerek titreşim gerekse akustik özelliklerin belirlenmesine yönelik bilgisayar ortamında gerçekleştirilen analizler oldukça önemli sonuçların elde edilmesini sağlamaktadır. Ayrıca söz konusu ölçümlerde elde edilen bilgilerin anlamlı bir hale getirilmesi için de insanların sesleri nasıl algıladıkları da belirlenmelidir.

Telli çalgılardaki bir akustik sorunun belirlenmesi, bu sorunun temel nedeninin araştırılması ve ortaya çıkmış olan sorunun nasıl giderileceğine dair geliştirilen birçok yöntem bulunmaktadır. Bu yöntemler arasında yukarı bahsedilen sonlu elemanlar metodu en çok önerilen metottur. Bu metodun kullanılması ile mevcut çalgıların akustik özelliklerinin geliştirilmesinin yanı sıra daha önce kullanılmayan yeni çalgıların türlerinden tasarlanacağı düşünülmektedir.

Özetle, bir telli çalgının akustik özelliklerinin belirlenerek incelemeye alınması ve hedeflenen ses özelliklerine sahip olan üretilmesi ile bu yöntemle dair çeşitli önerilerde bulunmak doğru olacaktır:

- a) Çalgıların dinleme testi gibi değerlendirmeler ele alınarak çalgıların ses özelliklerinin belirli bir değerler ile tespit edilmesi gerekmektedir. Diğer yandan nesnel bir ölçüm yöntemi olan ses yayılım analizi de çalgıların ses karakteri arasında bağlantıların kurulması gerekmektedir.
- b) Ele alınacak olan çalgının titreşim özelliklerinin araştırılması ve bu özelliklerin ses yayılım özellikleri bakımından etkileri ele alınmalıdır.
- c) İncelenecek olan enstrümanın malzeme ve imalat özelliklerinin titreşim özelliklerine olan etkileri analiz edilmelidir.

Bu tez çalışmasında kompozit nomex honey comb yapı malzemesi ile yapılan double top rezonans tahtasının bağlama çalgısına akustik bakımdan etkileri ele alınmıştır. Çalışmada araştırma konusu kapsamında telli çalgılar, akustik ve çalgıların hangi ağaçlardan oluştuğuna değinilmektedir.

Bağlama, ülkemizde en yaygın sazlardan biridir. Özellikle halk müziğimizin en önemli enstrümanı olan “Bağlama”, halk ezgilerimizin ve kültürümüzün günümüze ulaşmasına büyük katkı sağlamaktadır. Bağlama, ülkemizin müzik dokusunun ana enstrümanı haline gelmiştir. Bağlama, form olarak kullanımını kolay bir araçtır. Performans sırasında el hareketlerinin serbestliği, notaların gövde üzerindeki yatay ve dikey dizilişinden dolayı sesin genişliği bağlama çok yönlülüğünü verir. Bu zenginlik, bağlama ve bağlama ailesinin müziğimizdeki yerini vazgeçilmez kılmıştır.

Bağlama, yapısı bakımından “armudi gövdeli, gövdeye tutturulmuş bir sap, sapın üzerinde perdeler ve bu yapı üzerine gerilmiş teller” şeklindedir (Akçalı 2012).

Müzik; Sesleri hedeflenen estetik bir yapıda birleştirme sanatıdır. Enstrüman ise müzikal sesleri belirli bir şekil, tını ve kullanım özellikleri ile yeniden üretmek için tasarlanmış bir enstrüman olarak tanımlanır. Çalgı ise, Batı dillerindeki kullanımını ile yazıda meydana gelen değişim ile aynı anlama gelen bir sazdır.

Bu araştırmada ise ülkemizde yaygın olarak kullanılan bir bağlama aletindeki tekne boyutundaki değişiklikleri ve akustik değişiklikleri araştırmak hedeflenmektedir. Bağlama aletleri geleneksel olarak ahşap malzemeden yapılır. Bir enstrümanın bağlanmasını oluşturan tüm parçalar akustiği etkiler. Tekne boyutu bu parçaların akustiğini nasıl etkiler? Farklı büyüklükteki iki tekne arasındaki akustik farklılıklar nelerdir? Bu sorulara cevap bulmak için araştırma ele alınmıştır.

Çalışma sonucunda ölçümlerle akustik farklılıklar belirlenerek bu farklılıklar bilimsel bir bakış açısıyla belirlenmeye çalışılmıştır. Bu nedenle, geleneksel enstrüman demirlememiz için akustik tercihler belirlenirken tekne boyutunun da dikkate alınabileceği anlaşılabileceği varsayılmaktadır.

Halk müziğimizin temel enstrümanı olan bağlama, farklı büyüklükteki teknelerin akustik karşılaştırması ve ardından çalgı üretimine farklı bir bakış açısı getiren hem literatürde hem de uygulamada, tekne boyutunun akustik üzerindeki etkisini göstermek ve geleneksel bilgileri bilimsel bir şekilde değiştirerek yazılı bir kaynak sağlaması açısından önemli olduğu varsayılmaktadır.

## 1.1 ÇALIŞMANIN AMACI

Çalışmanın amacı kompozit nomex honey comb yapı malzemesinin bağlamaya volüm, ses zarfı, yapısal dayanıklılık bakımından katkılarını akustik ölçümler doğrultusunda inceleyerek çalgının akustik problemlerine çözüm olabilecek yeni bir çalgı yapımın malzemesi olarak uygulanabilirliğini test etmektir.



## 2. BAĞLAMININ MÜZİKAL AKUSTİĞİ

### 2.1 SES DALGALARI

Ses dalgaları, mekanik-boyuna dalgalardan meydana gelmektedir. Başka bir deyişle; ortamın oluşmasını sağlayan parçacıklar, titreşim doğrultusunda yayılan dalgaların doğrultusu ile paralel haldedir ve söz konusu bu parçacıklar bu doğrultu üzerinde yoğunluğun ve basıncın oluşmasını sağlarlar. Bu değişikliklerin etkisi ile de ortamda yüksek ve düşük basınç bölgeleri oluşur. Bu bağlamda, ses dalgalarının gaz ortamlarda birer basınç dalgası olduğu ifade edilebilir. Bu ses dalgaları katı, sıvı ve gaz ortamlarda, buldukları ortamın özelliklerine göre değişken bir hızla yayılım göstermektedirler. Moleküler yapıda olmalarından kaynaklandığı için katı ortamdan en hızlı, gaz ortamlardan ise aksine en yavaş hıza sahiplerdir.

Bir kaynaktan çıkarak bir ortamın aracılığı ile kulaklara aktarılan ve beyin içerisinde duyuma neden olan bu titreşimlere ‘ses’ adı verilmektedir. Bir ortamın içerisinde ses olduğunu; sesin kaynağına, bu kaynaktan çıkan titreşimleri aktaracak bir ortam ve o titreşimleri algılamayı sağlayacak bir alıcı yani kulağa gerek duyulmaktadır. Ele alınan bu sesler, müzikal ses ve görüntüler olarak iki gruba ayrılmaktadır. Hacıy (51, s.9) bu durumu şu şekilde açıklamaktadır: “Müzikal sesler, herhangi bir cismin belirli bir süre içerisinde düzenli, sabit ve periyodik olarak titreşim göstermesi ile meydana gelmektedir. Düzenli olmayan ve sabit sayıda olmayan titreşimler gürültünün oluşmasına yol açarlar.”

Sesler, dalga şeklinde bir yayılım gösterdiği için bu dalgaların ana özelliklerine de sahiplerdir (frekans, periyot, dalga boyu ve genlik). Birbirinden farklı iki frekansta bulunan sesler arasında kıyaslama yapıldığında; frekans değeri büyük olana tiz, küçük olana da pes ses adı verilmektedir.

### **2.1.1 Ses Dalgası Çeşitleri**

Üç ayrı grupta ele alınan ses dalgaları çok geniş bir frekans aralığına sahiplerdir. Buradaki üç grup; infrasonik, işitilebilir ve ultrasonik ses dalgalarıdır (Halliday ve Resnick 1992, s. 342-374).

#### **2.1.1.1 İnfrasonik (ses altı) dalgalar**

İnfrasonik ses dalgaları, insanlar tarafından işitilebilir değerlerin altında olan dalgalardır. Dolayısıyla insanlar tarafından bu sesler işitilemez. Deprem dalgaları, infrasonik ses dalgasına örnektir (Halliday ve Resnick 1992, s. 342-374). Diğer yandan fillerin ayağında bulunan alıcılar, kilometrelerce uzakta bulunsalar bile infrasonik sesler aracılığı ile iletişim kurabilirler.

#### **2.1.1.2 İşitilebilen ses dalgaları**

İşitilebilen ses dalgaları, bir canlının, ses kaynağından o canlılara ulaşan seslerin algılanmaya başladığı en alt sınırdır ve bundan daha az algılanamadığı en sınırdaki yer alan frekans değerlerinin arasında bulunan kısma duyum aralığı adı verilmektedir. Bu duyum aralıkları her canlı için farklı aralıktadır. Örneğin insanların duyum aralıkları 20Hz ile 20.000Hz arasındaki frekanstadır (Emnalar 1998; Englert 2010, s. 6; Halliday ve Resnick 1992, s. 342-374 s. 8). 20Hz, duyum alt eşiği; 20.000Hz ise duyum üst eşiği adı verilmektedir ve duyum alt eşiği ile üst eşiği haricindeki sesler insanlar tarafından işitilmez. Bu duyum aralıkları canlı türleri arasında farklılık gösterdiği gibi yaştan yaşa da farklılık göstermektedir. İnsanların en üst duyum eşiği olan 20.000Hz değeri, sadece gençler tarafından işitilebilmektedir (Englert 2010, s. 18). Çünkü insanların yaşlarında ilerleme oldukça kulak yıpranmasına bağlı olarak duyum üst eşiği de 14.000-15.000Hz değerlerine kadar inebilmektedir. Bu nedenle yüksek frekanslı seslerin algılanamamasından dolayı duyum aralığı da daralmaktadır (Wörmke 2012, s. 8).

### 2.1.1.3 Ultrasonik ses dalgaları

Ultrasonik ses dalgaları, insanlar için algılanabilen frekans değerinin üzerinde bulunan ses dalgalarına verilen addır.

Örneğin köpekler yaklaşık 40Hz- 40.000Hz arasındaki sesleri işitebilirler (Englert 2010, s. 18). Francis Galton tarafından üretilen Galton düdüğü köpek eğitimleri için kullanılır ve “16.000Hz ile 22.000Hz” arasında ses üretebilmektedir. Galton düdüğünün üzerinde yer alan hareketli bir vida ile ses frekanslarında değişimler gerçekleştirilebilmektedir. Bu vidanın yardımı ile düdüğün frekansı, insanın duyum eşiğinin üzerinde olacak biçimde ayarlanarak köpek eğitimlerinde kullanılmaktadır.

### 2.1.2 Ses Dalgalarının Yayılması ve Hızı

Ses, mekanik bir yapıda olmasından dolayı yayılım göstermesi için bir ortama, taneciklere gerek duymaktadır. Bu nedenle boşlukta yayılım göstermek, ancak katı, sıvı ve gaz ortamlarda yayılım gösterebilmektedir.

#### 2.1.2.1 Ses dalgalarının katı ve sıvılardaki yayılımı

Göz önünde bulundurulan ses dalgaları katı ve sıvı ortamda hem enine hem de boylamasına yayılırken, gazlı ortamdaki moleküller arasında çekici bir kuvvet olmadığı için yalnızca uzunlamasına yönde yayılırlar (Zeren 1995, s. 2). Katılarda ve sıvılarda ses dalgalarının hızı, ortamın esnekliğine ve ataletine göre değişmektedir.

Katı ortamda sesin hızı ( $\vartheta$ )

$$\vartheta = \sqrt{\frac{y}{p}} \text{ Eşitliği ile} \quad (2.1)$$

Sıvılarda ise

$$v = \sqrt{\frac{B}{\rho}} \text{ Eşitliği ile} \quad (2.2)$$

Şeklinde hesaplanmaktadır.

Burada belirtilen:

“ $Y$ ; young sabiti”

“ $B$ ; bulk sabiti, cismin esnekliğinin hacim modülü (bulk modulus of elasticity)”

“ $\rho$ ; ise maddenin yoğunluğu” manasını taşımaktadır.

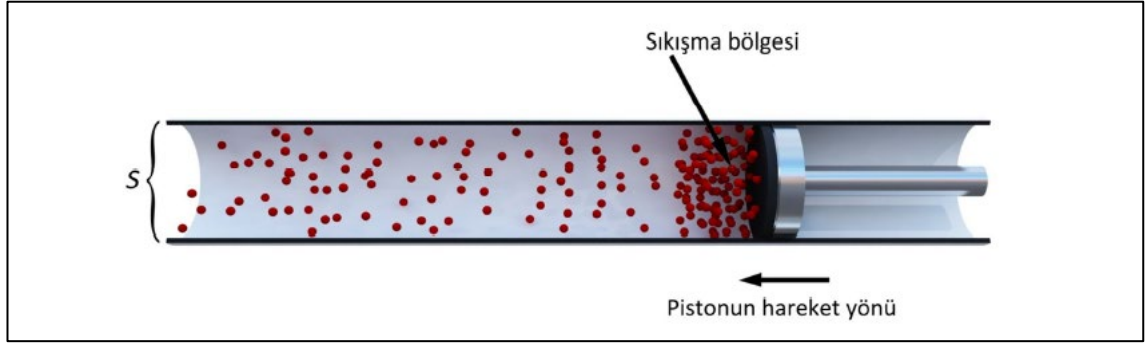
Ayrıca  $y$  ve  $b$  değerleri de ortamdaki esnekliği belirten ölçüdür. Bu değerlerin büyüklüğü, ortam esnekliğinin az olduğunu göstermektedir. Ortamdaki esneklik olduğu zaman dalgalar daha hızlı yayım gösterirler. Esnekliğe göre daha az ortamlar katı ortamlar olmasından dolayı, katı ortamlardaki ses daha hızlı şekilde ilerler. Hacim modülü kavramı ise çeşitli maddeler için farklı farklı değerleri alabilen sabit sayıları belirten kavramdır. Buna örnek olarak ise: alüminyumun hacim modülü  $7 \cdot 10^{10} \text{ N/m}^2$ , bakırın  $14 \cdot 10^{10} \text{ N/m}^2$ , suyun  $0,21 \cdot 10^{10} \text{ N/m}^2$  verilebilmektedir (Serway 2002, s. 373).

### 2.1.2.2 Ses dalgalarının gazlarda yayılması

Ses, bir gaz ortamında hareket ederken, molekülleri ileri geri titreştirerek tek boyutta boylamasına dalgalar halinde hareket eder. Gazlardaki ses yayılımı, dalgaların sudaki hareketine benzemektedir. Bununla birlikte, su dalgaları suyun iki boyutlu yüzeyi üzerinde dairesel bir hareketle yayılırken, ses dalgaları üç boyutlu doğaları nedeniyle küresel dalgalar halinde yayılır.

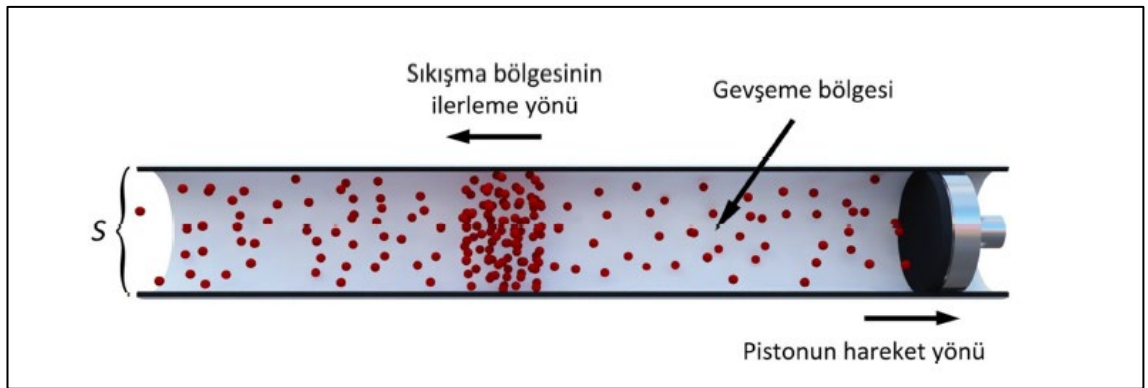
Küresel dalgalarda üretilen dalga cepheleri, bir nokta kaynaktan uzaktaki bir düzlem şeklinde olduğundan, bu tür dalgalara “düzlem dalgaları” denir (Keller, 1995, s. 336). Bir ses dalgası yayılırken bahsettiğimiz üç ortamdan da geçebilmektedir. Böylece ortam değişikliği yapan dalgaların; Yönü, dalga boyu ve hızı değişebilir. Örneğin, gerilmiş bir telin yaydığı ses, önce telde kayma dalgaları olarak ve sonra havada uzunlamasına dalgalar halinde yayılım gösterirler.

**Şekil 2.1: Sıkışma bölgesi**



Şekil 2.1’de de görüldüğü üzere kesit alanı  $S$  olan bir tarafı açık ve uzun olan tüpün bir diğer uç kısmında ise hareket eden bir piston yer almaktadır. Burada incelenen tüpün açık uçlu halde bulunması, yansımalara karşı bir engelleyici olması açısından tercih söz konusudur. Şekildeki piston hızlıca sola doğru itilip sabit kalırsa, pistonun ön tarafında yer alan gaz molekülleri sıkışmaktadır. Bu kısma sıkışma bölgesi adı verilmektedir. Bu durumda sıkışma bölgesinin basıncı ile yoğunluğu, başlangıçtaki duruma kıyasla artış gösterir. Pistonun yaratmış olduğu etki ile hız kazanan yüksek basınçlı sıkışma bölgesindeki moleküller, daha soldaki moleküllere çarpar ve onların sıkışmasına da yol açmış olur. Böylece oluşturulan atma, tüpün açık uç kısmına doğru hareket eder (Bir ortamda oluşan tek bir dalgaya, atma adı verilmektedir).

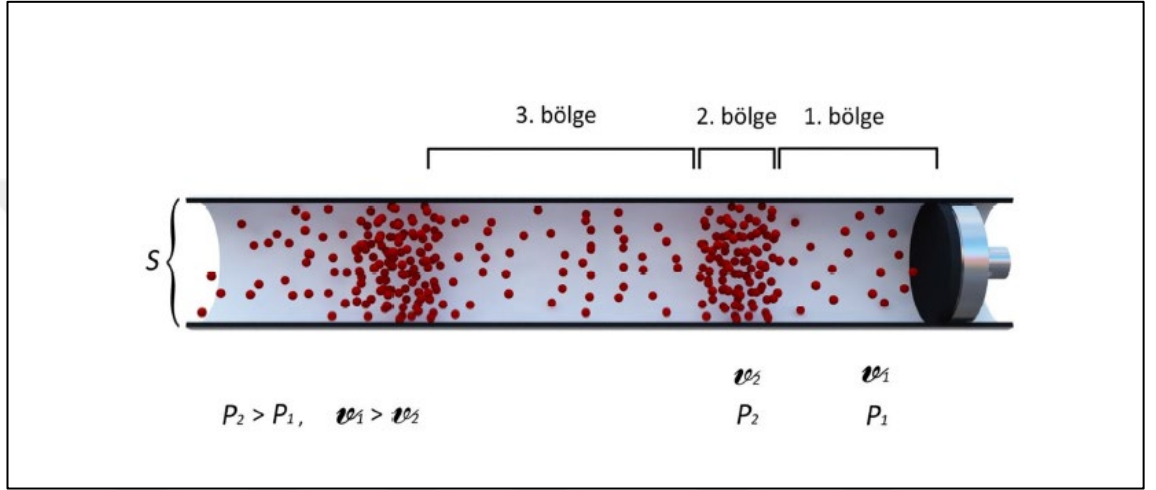
**Şekil 2.2: Gevşeme bölgesi**



Yukarıdaki duruma benzer olarak verilen bu şekildeki gibi piston hızlıca geri çekildiğinde, pistonun hemen önünde yer alan gaz moleküllerinde genleşme meydana gelmektedir. Bu bölgeye de gevşeme bölgesi adı verilmektedir. Bu bölgenin başlangıç durumuna kıyasla basınç ve yoğunlukta azalma göstermektedir. Buradaki alçak basınç

bölgeleri, yüksek basınç bölgeleri gibi, uç kısmına doğru hareket eder. Böylece; Piston düzenli aralıklarla ileri geri hareket ederse, boru içinde hareket eden yüksek ve alçak basınç bölgeleri oluşur. Sesi bu sistemden duymak için, pistonun periyodik olarak saniyede en az 20 kez ileri geri hareket etmesi gerekir. Bunun nedeni ise insan duyum alt eşiğinin 20Hz olmasıdır.

**Şekil 2.3: Pistonda ilerleyen ses atmaları**



Yukarıdaki şekilde bir boyutta ilerleme gösteren ses atmaları karşımıza çıkmaktadır. Birinci ve üçüncü bölgelerde sistem dengeli şekildedir. İkinci bölgede, sağdan bir atış yapılır.  $P_1$  denge bölgelerindeki etkin basınç olduğunda ve  $P_2$  sıkıştırma bölgesinde olduğunda,  $P_2 > P_1$  olduğu görülebilir.

Sıkıştırma bölgesindeki herhangi bir hava molekülünün hızı, denge bölgesindekinden daha düşüktür. Çünkü sıkıştırma bölgesindeki basınç farkı partiküllerin daha yavaş hareket etmesine ( $v_2$ ) neden olur.

Birim alandaki kuvvet, basınç olarak adlandırılır (Keller, 1995, s. 369). Nesne üzerindeki basınç  $\Delta P$  kadar değişirse, vücut hacmini  $\Delta V$  değiştirir. Hacim  $\Delta V$ 'deki değişimin başlangıç hacmine ( $V_{ilk}$ ) oranı hacimsel deformasyon olarak adlandırılır. Basınç değişiminin  $P$ 'ye eşit hacimsel gerinime bölünmesi, nesnenin ne kadar sıkıştırıldığının bir ölçüsü olan o nesnenin hacim modülünü ( $B$ ) verir (Halliday, Resnick ve Walker 2001, s. 356).

$$B = - \frac{\Delta p}{\Delta V/V \text{ ilk}} \quad (2.3)$$

(Eksi işareti, basınç ve hacimle ters orantılı olduğu için kullanılır.)

Ses dalgalarının gaz ortamlardaki hızı, ortam esnekliği ve eylemsizliği dışında ortamdaki sıcaklığa da bağıllık göstermektedir. Havada yayılım gösteren bir ses dalgasının, ortam sıcaklığına bağlı olarak değişen hızı ( $\vartheta$ ):

$$\vartheta = (331\text{m/s}) \sqrt{1 + \frac{T_c}{273^\circ\text{C}}} \quad (2.4)$$

Şeklindedir (Serway 2002, s. 374).

Eş. 2.8’de yer alan 331m/s, sesin 0°C deki hızıdır.  $T_c$ , sıcaklığın celsius ölçeğindeki değeridir. Ortam sıcaklığı ( $T_c$ ) arttıkça, değer radikal bir şekilde arttıkça ses hızı da artar. Sonuç olarak; sıcak ortamlarda ses daha hızlı yayılır.

Eş. 2.8 kullanarak, farklı sıcaklıklarda ses hızını hesaplayabilirsiniz. Örneğin, 20C ses hızı 343 m / s’dir.

Havada yayılım gösteren ses dalgalarının ortam esnekliğine ve eylemsizliğine bağlı olarak değişen hızı Eş. 2.6 da yer alan formül ile hesaplanır.

### 2.1.3 Ses Dalgalarının Enerjisi

Bir sinüs dalgasının genel dalga fonksiyonu:

$$y = A \sin(kx - \omega t + \varphi) \quad (2.5)$$

Şeklinde olup, burada:

“A: genliği”

“k: açısal dalga sayısını”

“ $\omega$ : açısal frekansı”

“ $\varphi$ : ise faz sabitini ifade etmektedir” (Halliday, Resick ve Walker 2001, s. 376).

Eş. 2.9’deki faz sabiti  $\varphi = \frac{\pi}{2}$  alındığında

$$\sin(kx - \omega t + \frac{\pi}{2}) = \sin(kx - \omega t)\cos\frac{\pi}{2} + \cos(kx - \omega t)\sin\frac{\pi}{2}$$

ve

$\sin\frac{\pi}{2} = 1$  ve  $\cos\frac{\pi}{2} = 0$  olduğundan

$\sin(kx - \omega t + \frac{\pi}{2}) = \cos(kx - \omega t)$  yazılabilir ve dalga denklemi:

$$y = A\cos(kx - \omega t) \quad (2.6)$$

Ses dalgasının enerjisini yazmak için Eş. 2.10’da yer alan fonksiyonun türevinin alınması ve dalga hızının ( $\vartheta$ ) bulunmasına ihtiyaç vardır.

$$\vartheta = \frac{dy}{dt} = \frac{d}{dt}(A\cos(kx - \omega t))$$

$\vartheta = A(-\omega) \cdot -\sin(kx - \omega t)$  ve buradan dalganın hızı:

$$\vartheta = \omega A \sin(kx - \omega t) \quad (2.7)$$

Olarak hesaplanır.

Kinetik enerji ( $E_k$ ) eşitliğinde:

$$E_k = \frac{1}{2} m \vartheta^2 \quad (2.8)$$

Yer alan hız değeri ( $\vartheta$ ) yerine Eş. 2.11'deki hız ifadesi yazıldığında;

$$E_k = \frac{1}{2} m \vartheta^2 = \frac{1}{2} m \omega A \sin(kx - \omega t)^2$$

Sıkıştırılmış bölgedeki havanın kinetik enerjisi:

$$E_k = \frac{1}{2} m (\omega A)^2 \sin^2 kx \quad (2.9)$$

Şeklinde bulunur (Serway, 2002, s. 492).

Kesit alanı  $S$  olan tüpün içinde hareket eden herhangi bir sıkıştırılmış bölgenin:

kütlesi  $m$ , yoğunluğu  $\rho$  ve uzunluğu  $\ell$  olarak alındığında  $m$  için:

$$m = V(\text{hava kütlesinin hacmi}). \rho$$

$$m = (S \cdot \ell) \cdot \rho \quad (2.10)$$

olarak yazılabilir. Bu ifade Eş. 2.13'te yerine yazıldığında, sıkışma bölgesinin kinetik enerjisi:

$$E_k = \frac{1}{2} \rho \cdot S \cdot \ell (\omega A)^2 \sin^2 kx \quad (2.11)$$

İki sıkıştırma bölgesi veya iki gevşeme bölgesi arasında kalan uzunluk ise dalga boyu ile eşit şekildedir. Bir dalga boyu mesafesi üzerinden aktarılan toplam kinetik enerji:

$$E_{\text{toplam}} = E_{\text{kinetik}} = E_{\text{potansiyel}} = \frac{1}{4} \rho S (\omega A)^2 \lambda$$

şeklinde verilir.

$E_{\text{kinetik}} = E_{\text{potansiyel}}$  olduğu için

$$E_{\text{kinetik}}=E_{\text{potansiyel}} = \frac{1}{2} \rho S(\omega A)^2 \lambda$$

$$= \frac{1}{2} \rho S(\omega A)^2 \lambda \quad (2.12)$$

Olarak yazılır.

#### 2.1.4 Ses Dalgalarının Şiddeti

Bir ses kaynağı tarafından yayılan bir boyuttaki dalgalar, dalga yayılma yönüne dik enine kesit alanından (S) bir saniye içinde hareket eden akustik enerji miktarı veya ses şiddeti adı verilmektedir. Bir başka deyişle, birim alana iletilen gücü ses şiddeti olarak da tanımlayabiliriz (Halliday ve Resnick 1992, s. 343). Buradaki şiddetin sembolü ise “*I*” harfi ile gösterilir.

Eş. 2.12’de gösterilen  $E_k$  değeri, bir periyotluk sürede hava moleküllerine iletilen enerji miktarını belirtmektedir. Bir saniyede iletilen enerji ise Eş. 2.12’nin periyoda bölünmesi ile bulunmaktadır.

$$\left[ \frac{1}{2} \rho S(\omega A)^2 \lambda \right] \div T = \frac{1}{2} \rho S(\omega A)^2 \left( \frac{\lambda}{T} \right)$$

Olarak yazıldığında  $\left( \frac{\lambda}{T} \right)$  ifadesi sesin hızına ( $v$ ) eşit olduğu için (Bkz. Eş. 2.3)

Enerji aktarım hızı:

$$\frac{1}{2} \rho S(\omega A)^2$$

Olarak ifade eder.

Ses yoğunluğu, bir saniyede kesit alandan geçen enerji olarak tanımlandığında, ses yoğunluğu, enerji aktarım hızı kesit alanı (S) ile bölüldüğünde tanımlanır. Yani, ses yoğunluğu açısından:

$$I = \left[ \frac{1}{2} \rho S v (\omega A)^2 \right] \div S$$

$$I = \frac{1}{2} \rho v (\omega A)^2 \quad (2.13)$$

eşitliği verilebilir.

Bu denklemden ses şiddeti (I); Ortamın ( $\rho$ ) yoğunluğunun ses hızı ( $v$ ), genlik (A) ve açısal frekansın ( $\omega$ ) karesi ile doğru orantılı şekilde bulunduğu gözlenmektedir.

Sisteme aktarılan enerji, Eşitlik 2.13'te belirtildiği gibi, genliğin karesiyle doğru orantılıdır. Bu noktada ise belirtilen enerjinin az ya da çok olması yalnızca genliğe etki etmektedir. Genliğin veya aktarılan enerjinin frekansla hiçbir ilgisi bulunmamaktadır. Frekans ve periyot, sistemle alakalı parametreleri ifade eder ve sistemde değişim olmadıkça bunlarda da değişim meydana gelmez.

Sürtünme bulunan ortamlar sisteme aktarılan enerjide zamanla azalma meydana gelmektedir. Bu enerjinin azalması, genliğin küçülmesine yani, ses şiddetinde azalmaya yol açmaktadır. Sistem değişmediğinden dolayı ses, aynı frekansta titreşimini sürdürür.

Daha önce belirttiğimiz gibi ses dalgaları üç boyutlu olduğu için küresel dalgalar olarak yayılım gösterirler. Bu küresel dalgalar kaynaktan uzaklaştıkça, kesit alanı arttığından dolayı kesit alanından geçen akustik enerji miktarında da azalma meydana gelecektir. Bu enerjinin azalması dolayısıyla da dalganın şiddetinde azalma oluşacaktır. Ses şiddetinin kaynaktan uzaklaştıkça azalmasının nedeni bundan kaynaklanmaktadır.

## 2.2 TELLİ ÇALGILARDA SES OLUŞUM SÜRECİNİN İNCELENMESİ

Çalgı yapımı, icrası ve müzik teknolojileri gibi birçok alanda, çalgıların nasıl ses oluşturduklarının bilinmesi önemli bir konudur. Dolayısıyla bu konuda birçok araştırma mevcuttur. Bu araştırmaların bir kısmı fiziksel deneylere dayanırken bir kısmı da çalgı sesinin algılanmasını temel alan “psikoakustik” çalışmaları kapsamaktadır.

Enstrümanlardaki ses oluşumunun fiziksel özellikleri ve fizyolojik etkilerinin daha iyi şekilde algılanması, yapım alanını yakından alakadar etmektedir. Çünkü istenilen ses özelliklerine sahip bir çalgının üretilmesi, bu sürecin ne kadar iyi algılandığı ile ilişkilidir. Eğer yapımcı ses oluşumu ile ilgili yeteri kadar bilgi sahibi ise, kullanılacak materyali ve tasarımı daha iyi şekilde belirleyerek üretim aşamalarını kontrol altına alabilecektir. Ters bir durumda ise yalnızca deneme yanılma yolu ile belirlediği bir üretim şekli, riskleri bulunan bir süreç olacaktır.

Enstrümandan elde edilen sesi belirleyen etkenlerden birisi de icradır. Çalgının icra edilme şekli, çalgının ses karakterini doğrudan etkileyen bir unsurdur. Üretiminin bu konuda kontrol sahibi olabilmesi için, çalgıdan ses oluşumunun fiziksel temellerinin daha iyi şekilde anlaşılması önemlidir.

Enstrüman seslerinin en iyi biçimde kaydedilmesi de sanatsal açıdan bu sürecin önem belirten aşamalarındandır. Özellikle enstrümanların kaydı sırasında mikrofon seçimi ve doğru şekilde konumlandırılması, ses oluşum karakterlerinin bilinmesi ile daha kontrollü olarak gerçekleşmektedir.

Telli çalgılarda ses oluşumu; tel, gövde ve çalgıyı çevreleyen hava başta olmak üzere birçok alt sistemin etkileşime girmesi ile oluşmaktadır. Çalgıyı kullanan ve tel etkileşimi sonucunda telde meydana gelen titreşimler, eşik ile her yönde gövdeye iletilen mekanik kuvvetleri meydana getirir. Çalgının gövdesi bu kuvvetlere karşı verdiği titreşim cevabı (titreşim davranışı) sonucunda ise ses oluşumu gerçekleşmektedir (Elie ve Gautier 2014, s. 1).

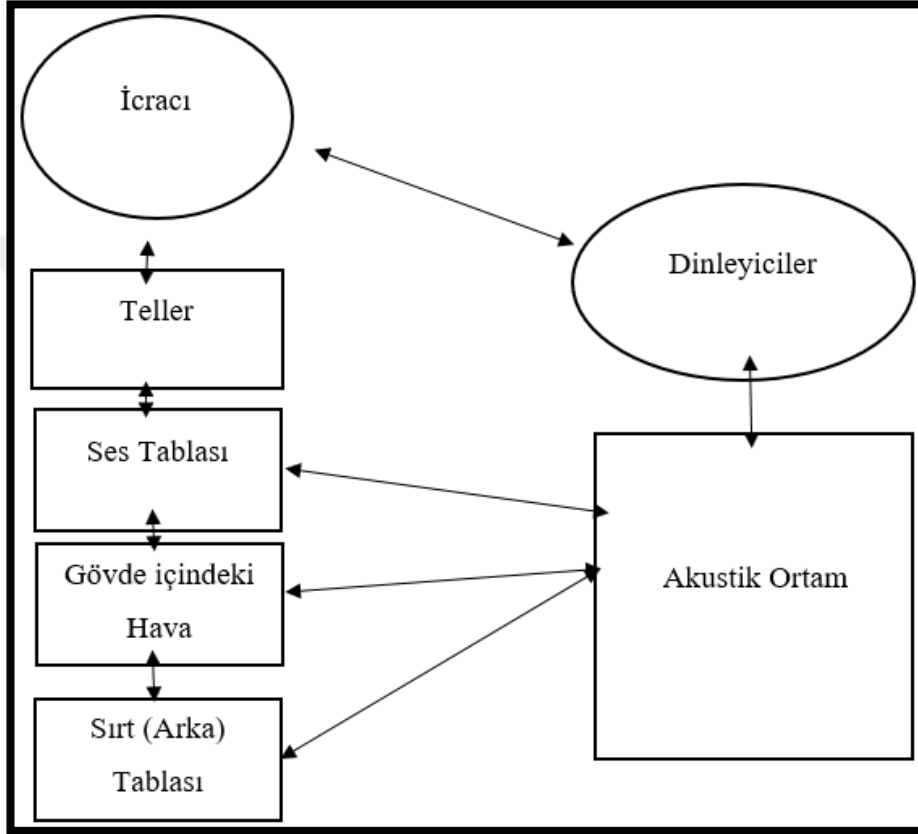
Bu sürece daha yakından ve detaylı bakıldığında, Wright (1996) tarafından hazırlanan Şekil 3.4'te verilen şematik diyagram göze çarpmaktadır. Gitardaki ses oluşumunu belirten diyagramda, icracı, çalgının bölümleri, akustik ortam ve dinleyiciler arasındaki etkileşim görülmektedir. Ayrıca diyagram, müzikal akustik çalışmalarının kapsamlılığını belirtmektedir. Buna göre;

- a) “Tel titreşimleri ile bu titreşimlerin ses tablasına, gövde içindeki havaya ve gövdeye aktarılması”,

- b) “Titreşim yapan gövde parçalarının ses yayılım karakterinin belirlenmesi”,
- c) “Oluşan sesin dinleyiciler tarafından algılanması ve ortamın akustik etkileri”,

Bu sıralama bu süreç içerisinde dikkat edilmesi ve incelenmesi gereken konulardır.

**Şekil 2.4: Gıtarıda ses oluşum şeması**



*Kaynak: Wright 1996, s. 15*

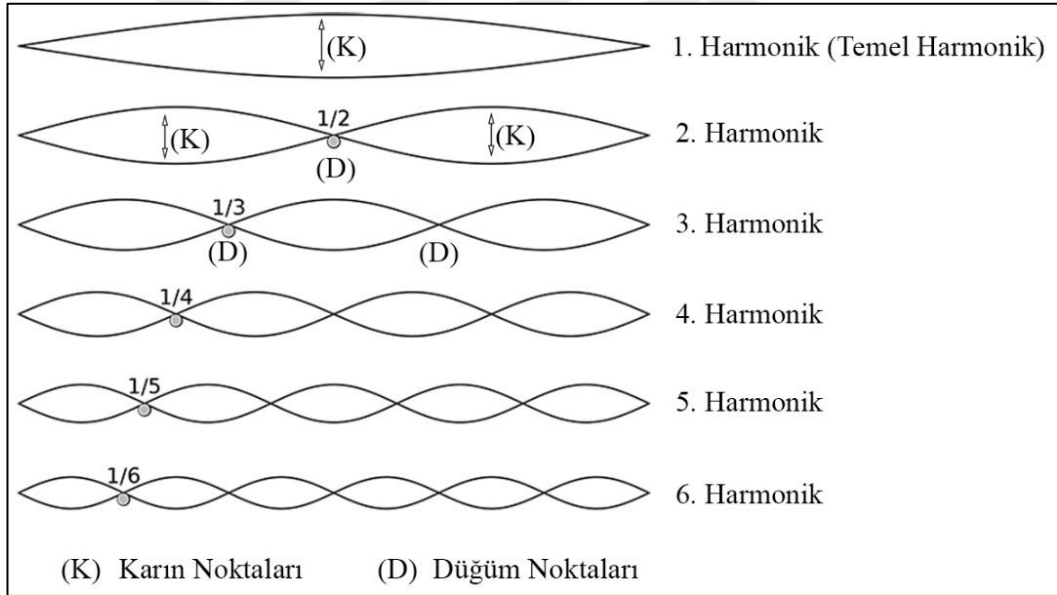
### 2.2.1 Tel Titreşimleri

Gergin bir şekildeki telin belirli bir noktadan uyarıldığı zaman oluşturduğu dalgalar, bu noktadan iki yana doğru harekete başlar ve telin sabitlendiği eşik noktalarından yansıma yaparak üst üste binerler. Bu hareketle çok hızlı şekilde gerçekleşir ve yansıyan dalgaların yapıcı ve yıkıcı girişimine bağlı olarak duran dalgalar oluşmaktadır. Bu dalgaların hareketsiz görülen kısımları “düğüm noktası” (node), bu noktaların ortasındaki hareketli bölge ise “karın noktası” (antinode) şeklinde adlandırılmaktadır (Zeren 2007, s. 32,163).

Şekil 2.5'te gergin haldeki telde oluşma olasılığı olan duran dalgalar ile düğüm ve karın noktalarına yer verilmektedir. Telin bağlı bulunduğu kenar noktaları hareketsiz nokta olarak görüldüğünden dolayı, buralarda sadece düğüm noktasına sahip olan dalgalar oluştuğu gözlemlenmektedir. Buradaki en düşük frekansa sahip duran dalga temel dalga (fundamental) veya birinci harmonik olarak adlandırılmaktadır. Diğerlerine de harmonikler veya üst sesler adı verilmektedir.

Üst ses kavramları daha genel bir kavram olduğu için harmonik ifadesi yalnızca temel ses frekansının tam sayı katları şeklinde meydana gelen seslere verilen özel bir addır (Berg ve Stork 2005, s. 75,76). Bir başka deyişle, temel frekans  $f$  olursa bu sesin harmoniklerin frekansları sırasıyla  $2f, 3f, 4f, 5f, \dots$  olarak sürmektedir.

**Şekil 2.5: Gergin bir telde oluşması muhtemel harmonikler ile karın ve düğüm noktaları**



İdeal bir tel uyarıldığında oluşan temel sesin frekansının; tel gerilimi, lineer özkütle ve tel uzunluğu ile olan ilişki Eşitlik 2.14'de yer almaktadır.

$$f_1 = \frac{1}{2L} \sqrt{\frac{T}{\rho L}} \quad (2.14)$$

Burada  $f$  frekansı,  $L$  tel boyunu,  $T$  gerilimi ve  $\rho L$  ise telin liner özkütlesini simgelemektedir. Ayrıca  $T/\rho L$ ,  $c$  ile simgelenen faz hızını belirtmektedir. Görüldüğü üzere telin temel frekansı, tel boyu ve lineer özkütlesiyle ters orantılı; tel gerilimi ile doğru orantılıdır.

Bir tel uyarıldığı zaman yalnızca temel ses değil tüm harmonikler uyarılmaktadır. Diğer harmonikler ise frekansını bulmak için ise, temel frekansın tam sayılı katları alınmaktadır. Ancak gerçek telde harmoniklerin frekanslarına tam sayılı ilişkiden kaymalar bulunduğundan,  $n$ . Harmoniğin frekansının hesaplanması için sadece  $n.f$  çarpımı yeterli olmamakta, Eşitlik 2.15 ve Eşitlik 2.16'deki gibi bir düzeltme gerekmektedir (Perry, 2014 s. 7,8).

$$f_n = n f_1 \left[ 1\beta + \beta_2 + \frac{n^2 \pi^2}{8} \beta_2 \right] \quad (2.15)$$

$$\beta = \frac{a^2}{L} \sqrt{\frac{\pi E}{T}} \quad (2.16)$$

Burada  $a$  telin yarıçapını,  $T$  gerilimi ve  $E$  ise young modülünü ifade etmektedir. Eşitlik 2.14 ele alındığında, düşük frekanslı temel ses sahibi perdeler için telin lineer kütlesinde artma olması gereklidir. Bunun enstrümanlarda kullanılan misina tellerinin çaplarında artış yaparak elde etmek mümkündür. Fakat bu durumda Eşitli 2.3'te gösterildiği gibi harmonik sapma, telin yarıçapının karesi ile orantılı olmasından dolayı artış gösterecektir. Bu durumun önlenmesi için telin kütlesi belirli bir noktadan sonra çap artışı ile değil metal sargı tekniği ile gerçekleştirilmektedir. Böylelikle düşük frekanstaki sesler dahi daha küçük çaplı teller ile oluşturulur ve çalgıdaki harmonik sapma da azalış olacaktır.

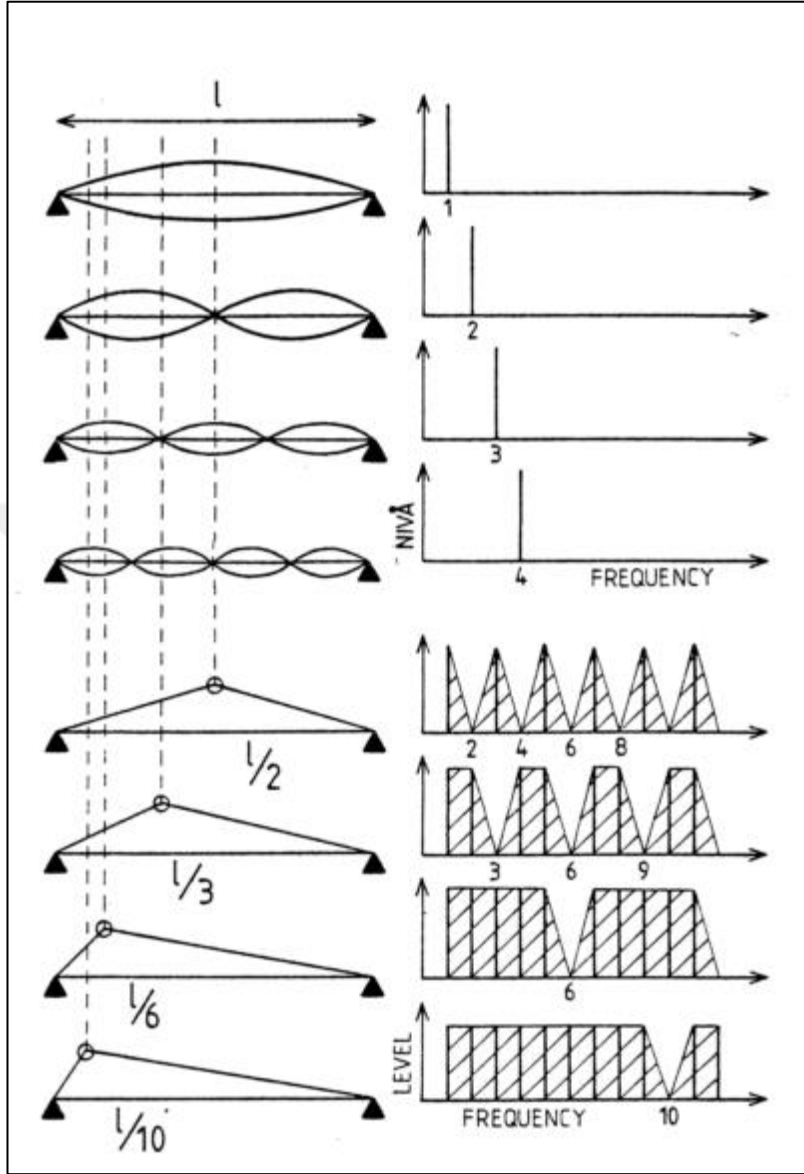
Çalgı tınısını belirleyen önemli bir unsur da telin hangi bölgeden uyarıldığıdır. Çeşitli bölgelerden uyarılan tellerde farklı titreşim setleri meydana gelmektedir. Örneğin ortadan uyarılan bir telde temel ses ve tek harmoniklerde artma söz konusuysen, kenarlara doğru gidildikçe üst harmoniklerde artış gözlenecektir. Böylece ortaya yakın uyarılan telden oluşturulan ses, temel frekansın baskın olduğu daha bas karakterli duyulmaktayken,

kenarlara gidildiği zaman artan üst harmonikler sebebiyle daha keskin ve tiz sesler işitilmektedir (Sethares 2005, s. 22).

Aşağıda verilen şekil, Jansson tarafından 1983'te geliştirilmiş olan farklı tel harmoniklerinin uyarılmasının etkilerini göstermektedir. Bu şekilde dört farklı bölgeden uyarılan telin titreşim şekilleri belirtilmektedir. Öncelikle telin tam ortasından, daha sonra da eşiğe yakın üçte birlik bölümden, daha sonra da altıda birlik ve onda birlik bölümlerden uyarıldığı belirtilmektedir.

Aşağıdaki şemaya göz atıldığında, icrasının telde meydana gelen harmoniklere ne derece etkili bir müdahalede bulunabildiği belirtilmiştir. Burada eğer bölgesi titreşim modunun düğüm noktasına denk gelirse o harmonik meydana gelmemektedir. Ters bir durumda, uyarı bölgesi ilgili modun karın bölgesine denk gelirse, ilgili harmonik güçlü bir şekilde harekete geçmektedir. Bu bağlamda tel tam orta kısımdan uyarıldığında, burayı düğüm noktası alan çift sayılı harmonikler meydana gelmemektedir. Altıda birinden uyarıldığı zaman ise burayı düğüm noktası alan altıncı harmonik dışındaki modlar oldukça rahat şekilde görülmektedir.

Şekil 2.6: Uyarı bölgesine bağlı olarak telde oluşan harmonikler



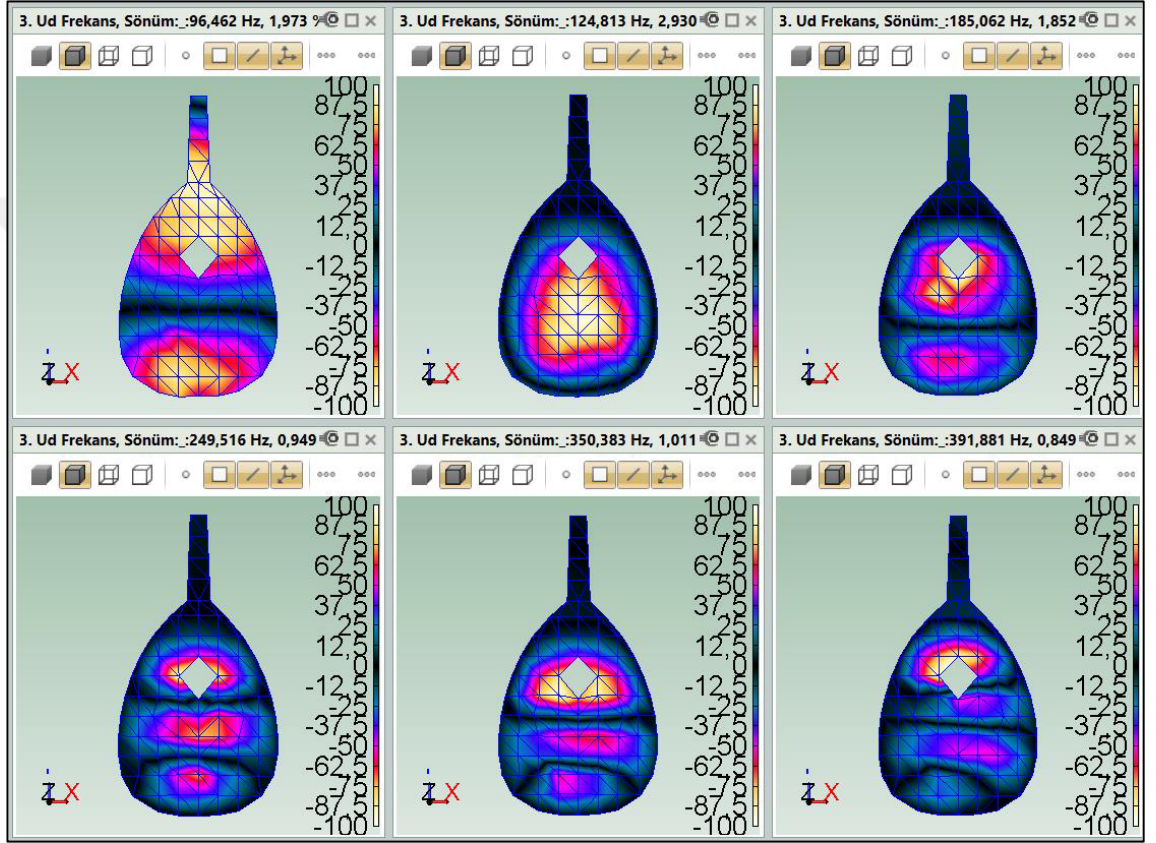
Kaynak: Jansson 1983, s. 14-15

### 2.2.2 Yüzey (Ses Tablası) Titreşimleri

Ses tablası, çalgılardan yayılan seslerin çoğunluğunu oluşturmaktadır. Bu özelliği ise onu gövdenin en önemli bölümü haline getirmektedir. Çalgının diğer bölümleri olan; sırt tablası, tekne ve gövde içerisinde hava da çalgı sesine katkı gösteren bölümlerdir (Roberts 2015, s. 21).

Telli çalgılardaki ses tablalarında, farklı birçok frekans değerinde doğal titreşim modları bulunmaktadır. Söz konusu bu modlar doğal frekansları, sönüm değerleri ve bu modların şekilleri tabla yapımı esnasında kullanılmaktadır. Ayrıca mod şekilleri, kullanılan malzemenin fiziki özellikleri ve tablanın tasarımına göre belirlenir.

**Şekil 2.7: Udun bazı doğal titreşim modlarının doğal frekansları, sönüm değerleri ve mod şekilleri**

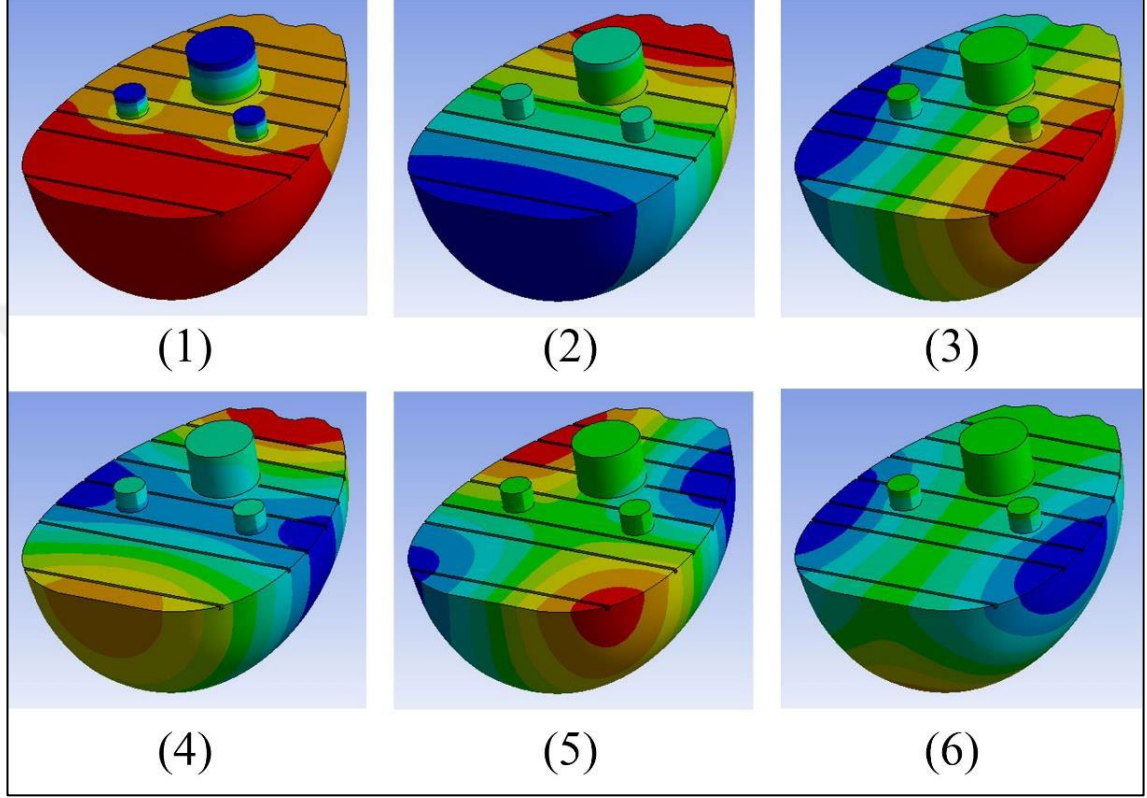


### 2.2.3 Gövde İçindeki Havanın Titreşimleri

Telli çalgılar, içinde kapalı hava hacmi bulundurmaktadırlar ve ses kutusu olarak adlandırılmaktadırlar. Genellikle ses deliği ile dış ortam ile bağlantısı olan bu bölümlerin çok sayıda hava rezonansları bulunmaktadır. Bunlar arasındaki en düşük frekanslısına “Helmholtz” adı verilmektedir. Bu modların, çalgı sesinin bas tepkisine etkisi oldukça büyüktür. “Helmholtz rezonansının” oluşması için ses deliğine ihtiyaç bulunmaktadır. Çünkü diğer üst frekanslı hava modları, ses deliği olmadan da oluşabilmektedir. Aşağıda verilen şekilde ise ud gövdesinde yer alan havanın “sonlu elemanlar” yöntemi ile

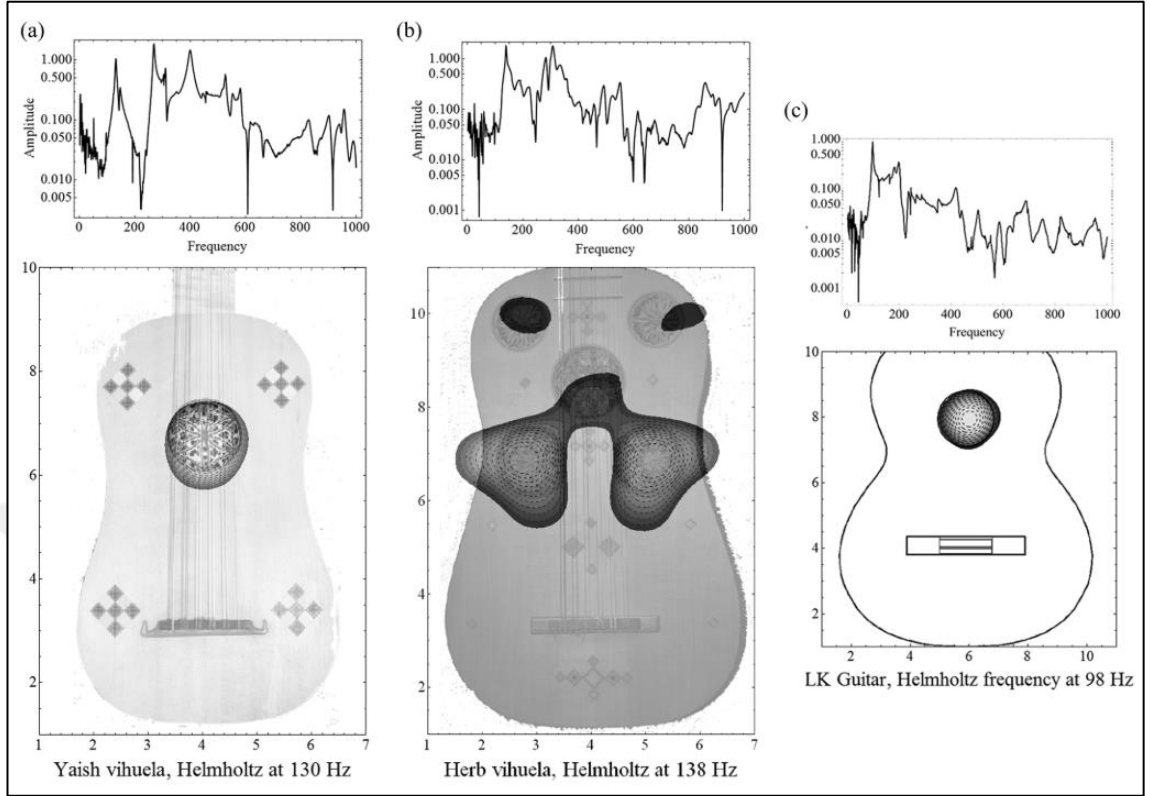
oluşturulmuş titreşim modları verilmektedir. Aşağıdaki şekilden ilki Helmholtz, diğerleri yüksek frekanslı modlar bulunmaktadır.

**Şekil 2.8: Udun gövdesi içindeki havanın sonlu elemanlar metodu ile elde edilmiş ilk altı titreşim modu**



Bazı çalgılarda bir adet ses deliği yer alırken bazılarında ise ses deliği fazla sayıda olabilmektedir. Bader (2012) ses deliklerinin sayı ve yeri üzerinde yaptığı bir araştırmasında gitar ve iki farklı vihuela çalgısını incelemiştir. Bu vihuelaların birinde bir ses deliği bulunurken diğerinde beş ses deliği bulunmaktadır. Araştırma sonrasında Bader, ses deliğinin sayısının ve yerinin oldukça önemli olduğu sonucuna varmıştır. Bu bağlamda, beş ses deliği olanın ses yayılımı frekans aralığı, bir ses deliği olana göre daha geniş olduğu görülmüştür. Bunun yanı sıra, ses deliğinin merkeze yakın şekilde konumlanması da ses yayılımını arttırmaktadır. Ayrıca çalışmasında, udda da yer alan kafeslerin, ses yayılımı değişiminde önemli bir etkene sahip değil, yalnızca doğal frekans değerleri üzerinde etkili olduğu sonucuna varılmıştır.

**Şekil 2.9: Telli çalgılarda ses deliklerinden kaynaklanan ses yayılımı**



*Kaynak: Bader 2012, s. 827.*

#### 2.2.4 Tel ve Gövde Etkileşimi

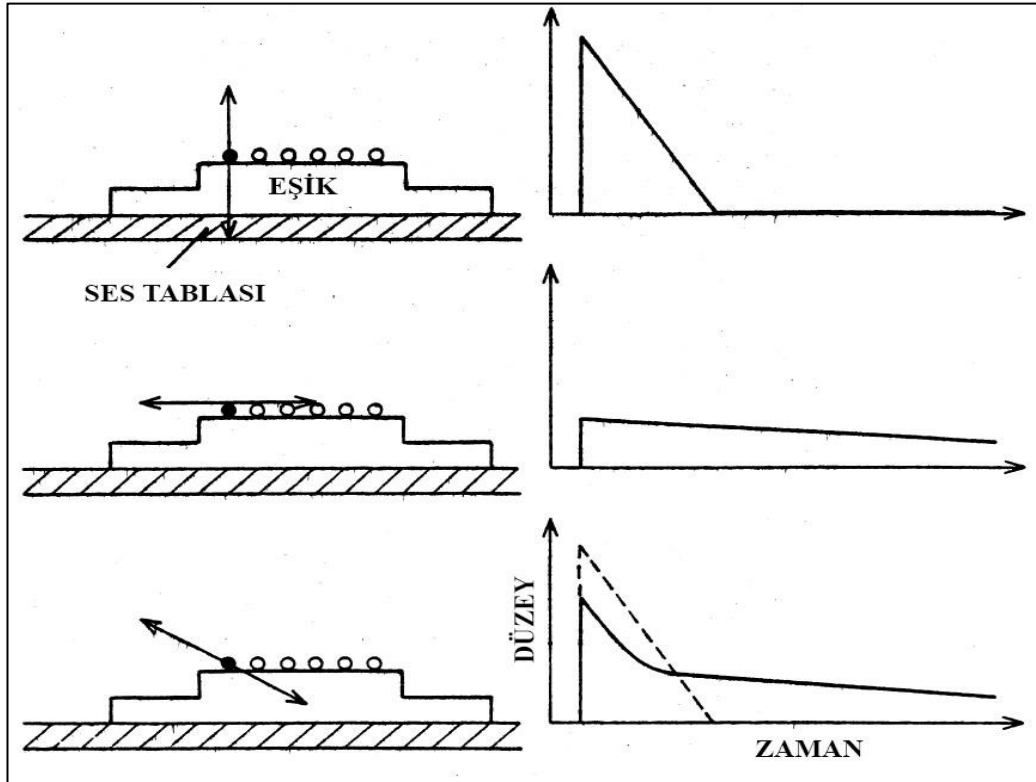
Telli çalgılar, mekanik olarak iki titreşim sisteminden oluşmaktadır bunlar: tel ve gövdedir. Tel, çevresini kapsayan havada belirli bir derece basınç değişimi yapmasına rağmen, iyi bir süs üretici olarak kabul edilmez. Bunun sebebi, telin boyutları oluşan ses dalga boylarından küçük olmasıdır. Dolayısıyla tek başına yeterli düzeyde ses üretimi yapamaz. Buna göre telden daha yüksek şekilde ses alabilmek için, bütün telli çalgılarda tel, eşik aracılığı ile ses tablasına bağlanmıştır. Bunun sonucunda telde meydana bazı titreşimler, eşik ile birlikte ses tablası, gövde ve gövdenin içerisindeki havaya ulaşmaktadır. Bu bölümlerin titreşiminden meydana gelen ses de rahatça algılanabilmektedir. Ayrıca ton olarak da değişmiş bir biçimde dinleyici tarafından algılanabilmektedir (Traube 2004, s. 14-15).

Tel titreşimleri ilk önce ses tablasını uyarmaktadır. Böylece ses tablası, ses oluşumu bakımından çalgının en önemli bölümüdür. Bu durumu ispat için ünlü gitar

yapımcılarından biri olan Antoni de Torres, ağaç kullanmak yerine mukavva kullanarak hazırladığı bir gövdeye geleneksel bir ses tablası takmıştır. Gövdeye uygun olmayan malzeme kullanılmış olsa da gitardan oluşan ses son derece başarılı şekilde oluşmuştur. Böylelikle ses tablasının ses oluşumuna olan etkisinin önemi kanıtlanmıştır.

Tel ve gövdenin etkileşiminin bilinirliği, icracı için de son derece önemlidir. Örnek olarak, tele vuruş açısının değişmesi, ses karakterini direkt olarak etkilemektedir. Aşağıda verilen şekilde görüleceği üzere, vuruş ses tablasına dik şekilde yapıldığı durumda tel ve gövde arasındaki etkileşim çok güçlü şekilde olacaktır. Bunun sonucu olarak da meydana gelen ses gür ancak kısa olacaktır. Bunun tam tersi durumda, ses tablasına yatay şekilde tele vurulduğu durumda, ses zayıf ancak uzun süreli olacaktır. Genellikle icra sırasında tel, ses tablasına ne tam dikey ne de tam yatay şekilde uyarılmakta, bu ikisinin arasında bir açı tercih edilmektedir. Böylece elde edilen ses hem güçlü hem de uzun olmaktadır (Jansson 1983, s. 17). Ancak eser içerisinde gerekli etkiyi vermek için bu açı icracı tarafından değiştirilebilmektedir.

**Şekil 2.10: Telin farklı açılarda uyarılması sonucu oluşan sesin zamana göre değişimi**

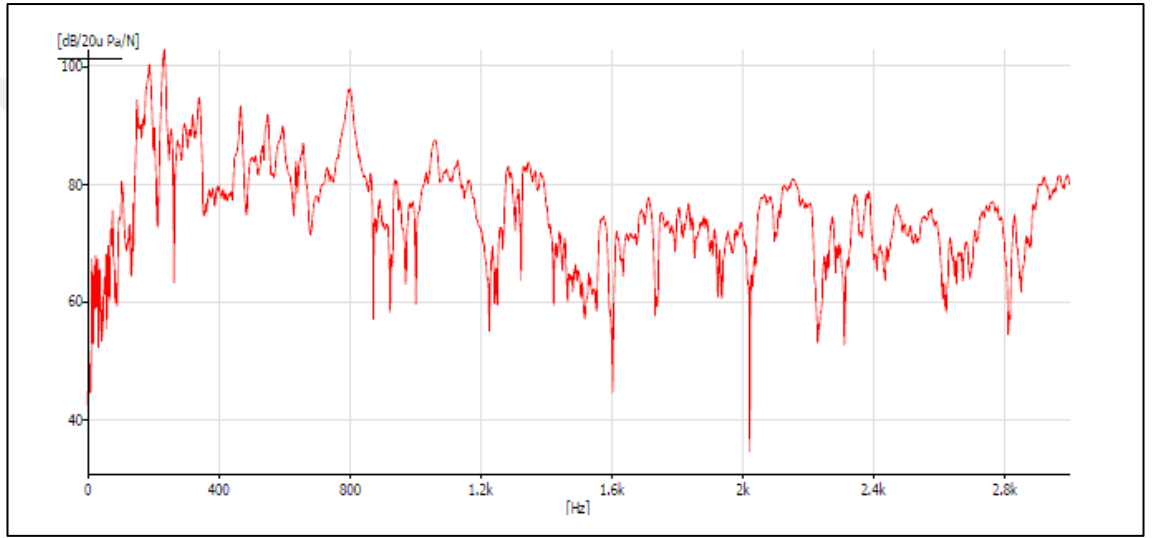


Kaynak: Jansson, 1983, s. 17

### 2.2.5 Ses Yayınımı

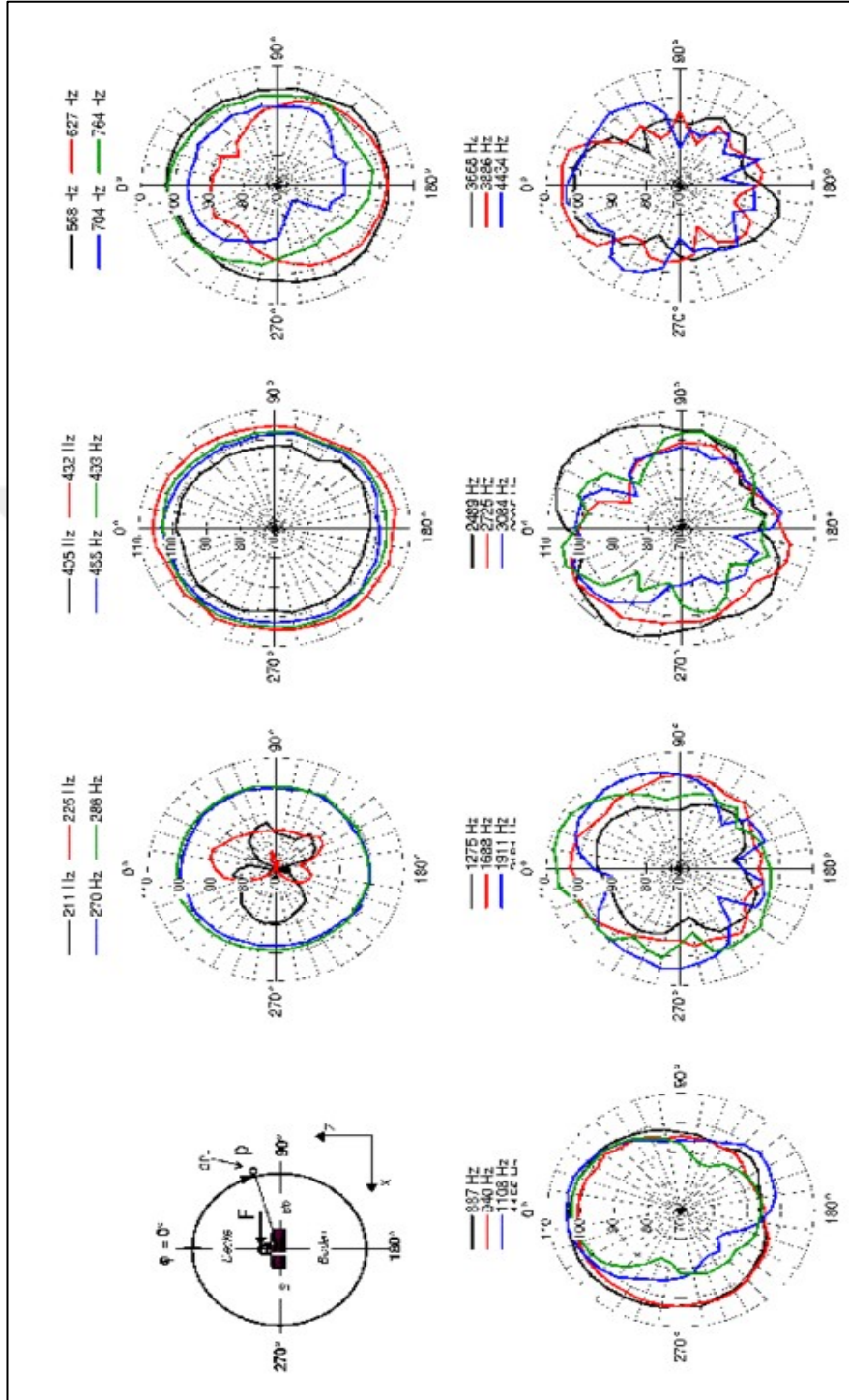
Telli çalgılarda, telde başlayan titreşimler, çalgıların daha geniş yüzeylerine aktarılmakta, bu yüzeylerin titreşimi ise havada basınç dalgaları üreterek ses oluşumunu gerçekleştirmektedir. Bu sebeple, çalgılarda titreşimlerin sese dönüşümü, detaylı şekilde inceleme yapılması gereken bir husustur. Çalgıların ses yayması grafiklerinin elde edilmesi, çalgının ses karakteri ile ilgili önemli bilgiler sağlamaktadır.

**Şekil 2.11: Udun ses yayınım grafiği**



Telli çalgıların ses yayınımları çeşitli frekanslarda farklılık göstermektedir. Genel olarak düşük frekanslarda çalgıdan her yöne eşit miktarda bir ses yayınımlı gerçekleşirken, özellikle frekans değerleri yükseldikçe bu eşitli bozulmakta, bazı açılara yönelim daha belirgin olmaya başlamaktadır. Aşağıdaki şekilde farklı titreşim modlarının, açığa göre farklı düzeyde ses yayınımlı gerçekleştirdikleri durumlara yer verilmektedir.

Şekil 2.12: Kemanda farklı titreşim modlarının açığa bağlı ses yayını



Kaynak: Schleske, 2002b, s. 44.

### 2.3 AKUSTİK AÇIDAN BAĞLAMA

Köken bakımından Antik Yunancaya dayanan akustik kelimesi, ses bilimi anlamına gelmektedir. Akustik, ses oluşumu ve iletişime dair her konuyu incelemektedir. Müzik akustiği ise; “tellerin titreşimini”, “çalgıları”, “vurularak titreştirilen gereçlerin fiziksel özelliklerini”, “perdeleri”, “ses aralıklarını”, “ses dizilerini”, “tonalite” gibi konuları incelemektedir. Bağlamanın akustik olarak üç önemli bölümü bulunmaktadır. Bu üç bölüm; “tekne”, “göğüs” ve “alt eşiktir.” Bağlamada rezonans, tezenenin tellere vurması sonucu tellerin tınlatması ile oluşmaktadır. Bu tınlayan teller alt eşik aracılığı ile ses tahtasını, o ise tekneyi tınlatmaktadır. Bu hareket, teknenin tınlamasından sonra geriye dönerek teknenin ses tahtasını tınlatması, ses tahtasının da telleri tınlatmasının sonucunda bir döngüye girmektedir. Bağlamada ses, akustik elemanlar arasında iki şekilde yayılım göstermektedir: “ağaçtan ağaca” ve “havadan ağaca” şeklinde. Burada en güçlü ve önemli olan ağaçtan ağaca olan yayılımdır. Genel olarak bağlamalar arkadan U ve V kesitli olmak üzere iki tekne şeklindedir (<http://acoustics.mersin.edu.tr>, s. 32).

**Şekil 2.13: U ve V kesitli tekneler**



*Kaynak: sazadair.com 2006.*

U şeklinde kesiti olan tekneler genel olarak daha dolgun ve bas karakterli yapıdadır. V kesitli tekneler ise tiz karakterli bir sese sahiptir. Bağlamaların tekneleri bir bakıma rezonatör görevi görmektedir. Teknede tiz sesler, ses tahtası ile yarı derinlik arasında, bas sesler ise teknenin sırt ve dip kısmında tınlar. Dolayısıyla V şeklinde kesite sahip olan teknelerdeki gibi sırt ve dip kalınlığı çok ince teknelerde baslar koftur. Teknedeki

yanaklar hafifçe içeri doğru içeri kıvrık şekilde olması sesin tınısal olarak güçlenmesini sağlamaktadır. Profilden bakıldığı zaman “yarım armut” şekline benzeyen bağlama formunun yarım daire olmaması gerekmektedir. Profilden, dolgun sırt ve boyun kesiti akustik açıdan ölü bölgelerdir. Ses odaklanması yalnızca form, ağız genişliği ve derinliğin kombinasyonu ile sağlanmaktadır. Fazla olan derinlik sesin içeride kalmasına, az olan derinlik ise önde ya da dışarda tınlamasına neden olmaktadır. Tekne kalınlığı yanaklarda 3 mm’den az olmamalıdır. Bu kalınlık sırt ve dipte en fazla 3,5 mm, ses deliği çevresinde 5 mm ölçülerinde olmalıdır. Ses tahtasındaki her bölüm aynı şekilde tınlamaz. En rahat ve fazla tınlayan kısım bir ortada, bir insan eli büyüklüğündedir. Bir ses tahtasının yanal ve doğrusal olmak üzere iki bombe olmalıdır. Bu bombeler, gözle ve cetvel aracılığı ile görülebilmektedir. Tahta kalınlığı küçük boylarda en ince yerde 3 mm’den az, en kalın yerde 5 mm’den kalın olmamalıdır. Orta ve büyük boy bağlamalarda bu ölçülere 1-1,5 mm eklenmelidir (muzikaletleritamir.com).

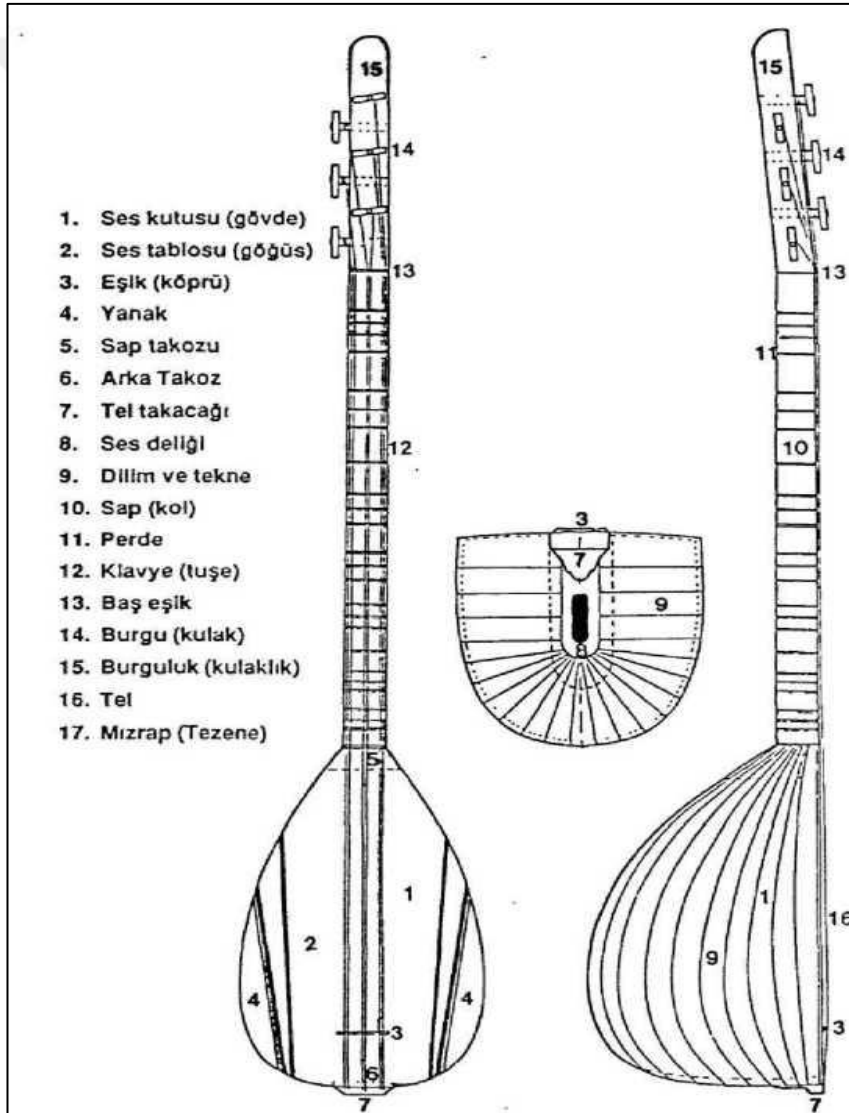
Alt eşik için yumuşak ya da sert ağaçlar kullanılabilir. Bu tercih bağlamanın bas-tiz dengesindeki zaafllara göre yapılmalıdır. Çok parlak ve tizleri baskın olan çalgılarda yumuşak ağaç basları çalmak için yardımcıdır. Ayrıca boğuk tonları açmak için de ser eşik kullanılabilir. Alt eşğin üstte sert, altta yumuşak ağaç kullanılarak iki katlı olarak da yapılabilir. Bu tip eşik de basları açıcı özelliindedir. Eşğin tellerin alt kısmına gelmeyen bölümlerini oymak, iç sürtünmenin azalması açısından oldukça faydalıdır. Diğer yandan tellerin bastığı ağız kısmının ve eşik tabanının geniş şekilde olması basları, dar olması da tizleri desteklemektedir. Bağlamada kullanılan cila her çalgıda olduğu gibi oldukça önemlidir. Golamak cila ve selülozik vernik kullanılarak, sap dışında herhangi bir bölgede polyester kullanılmaması gerekir.

### 3. GELENEKSEL BAĞLAMANNIN ÖZELLİKLERİ

#### 3.1 BAĞLAMANNIN YAPISI VE BÖLÜMLERİ

Bağlama; “tekne”, “sap” ve “göğüs” bölümleri olmak üzere üç bölümden oluşmaktadır. Bağlamanın genel formunu oluşturan diğer öğeler ise üst eşik, alt eşik, tel takacağı, burgular ve perdelerdir.

Şekil 3.1: Bağlamanın anatomisi



Kaynak: Açın 1994, s. 100.

Tellerin titreşimleri, köprü ile göğse ulaşır. Göğüsteki titreşimler de tekneye gelerek şekillenir ve bağlamanın arka kısmında bulunan delikten ve göğsünden dışarı çıkmaktadır.

Sesin rengi ve tınısı için kullanılan ağaçların türü, sertliği ve form özellikleri oldukça önemlidir.

### **3.1.1 Göğüs (Ses Tablası, Kapak)**

Göğüs kısmı, bağlamanın ses ürettiği kısımdır. Göğüste kullanılan ağaçların ortalama 3,5-4 mm arasında kalınlığı olması gerekir.

“Ladin ya da göknar ağacından yapılır. Ağacın kuru, düz ve liflerinin yüzeye dik gelmesine dikkat edilir” (Ekim 2002, s. 86).

### **3.1.2 Tekne (Ses Kutusu)**

Bağlamanın teknesi, oyma ve dilimli olarak iki türlü oluşturulur.

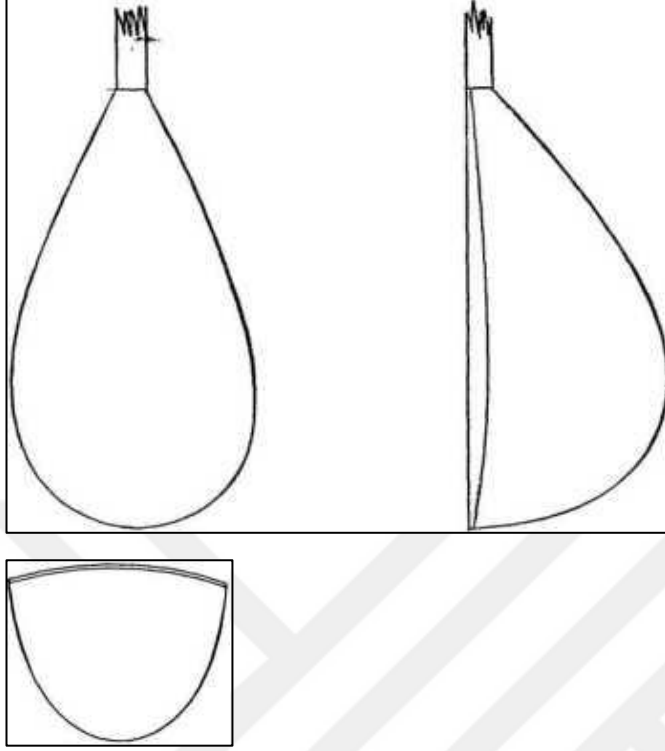
“Yapacağımız büyüklükteki tekneye uygun büyüklükteki kurumamış tomruktan ölçülere göre kesilerek ana malzeme elde edilir. Bu tekneler dut, kestane, karaağaç ve gürgenden yapılmaktadır” (Ekim 2002, s. 85).

Dilimli tekneler, dilim şeklinde kesilerek ağaç parçalarının takozları ile yapıştırılır. Daha sonra bir kalıp yardımı ile şekil verilmektedir.

*Kullanabileceğimiz ağaçlar orta sert ve sert ağaçların düzgün lifli ve budaksız kısımlarından seçilir. Kullanabileceğimiz ağaçlar vengi, maun, akçaağaç, pelesenk, abanoz, padok, gürgen...vs dir. Ağaçlar sertlik derecesine göre kalınlık olarak 4-5 mm. Kesilir (Ekim 2002, s. 84).*

Bağlamada kullanılan tekne formu da önemlidir. İlk dönemlerde yapılan oyma bağlamaların form boyu uzun, eni ve derinliği ise daha küçüktür.

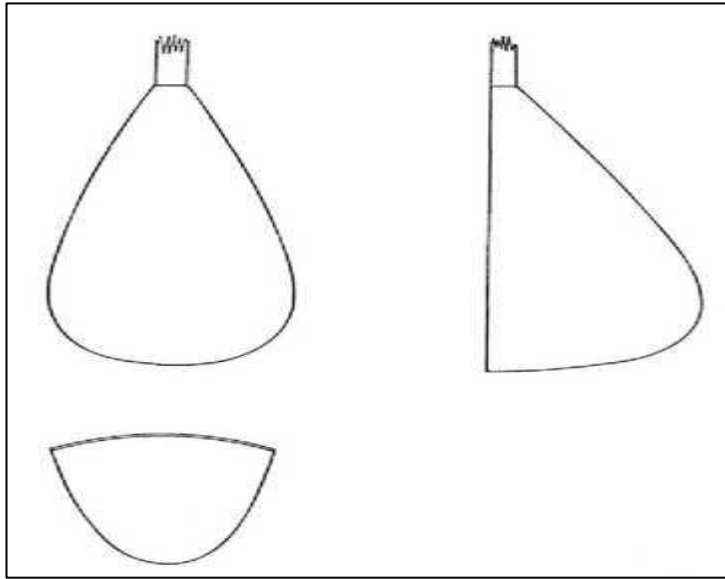
**Şekil 3.2: Birinci dönem bağlama formu**



*Kaynak: Açın 1994, s. 147.*

Bağlamanın daha sonraki dönemlerde eni ve derinliği artmıştır.

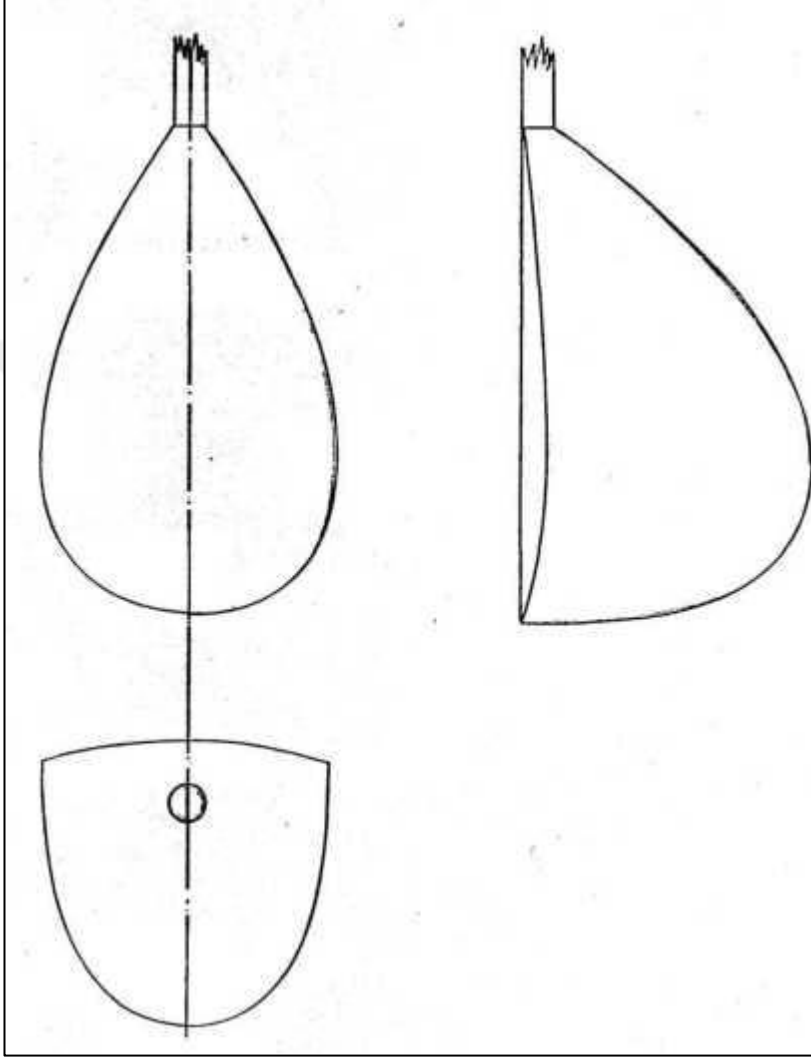
**Şekil 3.3: İkinci dönem bağlama formu**



*Kaynak: Açın 1998, s. 148.*

Günümüzde ise damla modeli adı verilen, derinliği ve eni daha büyük olan bağlamalar kullanılır.

### Şekil 3.4. Üçüncü dönem bağlama formu



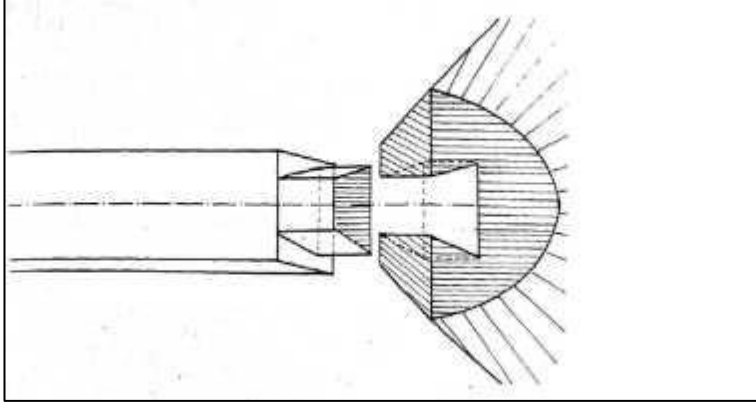
*Kaynak: Açın 1998, s. 149.*

### 3.1.3 Sap (Klavye)

Bağlamanın sapı için gürgen, akgürgen, akçaağaç gibi sert ağaç türleri kullanılır. Genellikle eni 3-4 mm, kalınlık olarak 2,5-3 cm, boy uzunluğu ise bağlama türüne göre değişiklik göstermektedir.

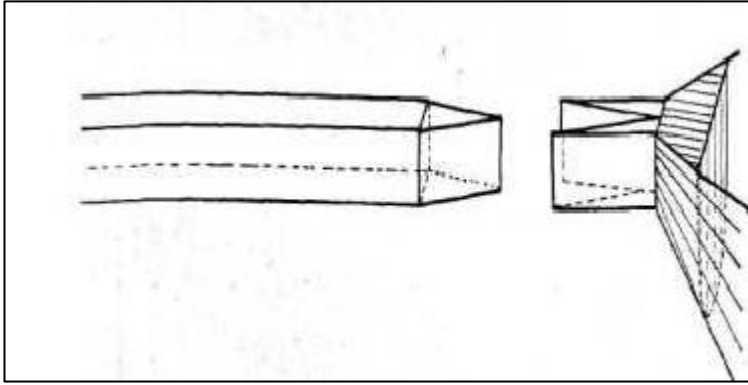
“Sapın gövdeye montesi ise iki şekilde yapılmaktadır: Birincisi kırlangıç geçme, ikincisi kurt ağzı sap takma yöntemleridir” (Demir 1996, s. 11).

**Şekil 3.5: Kırlangıç geçme**



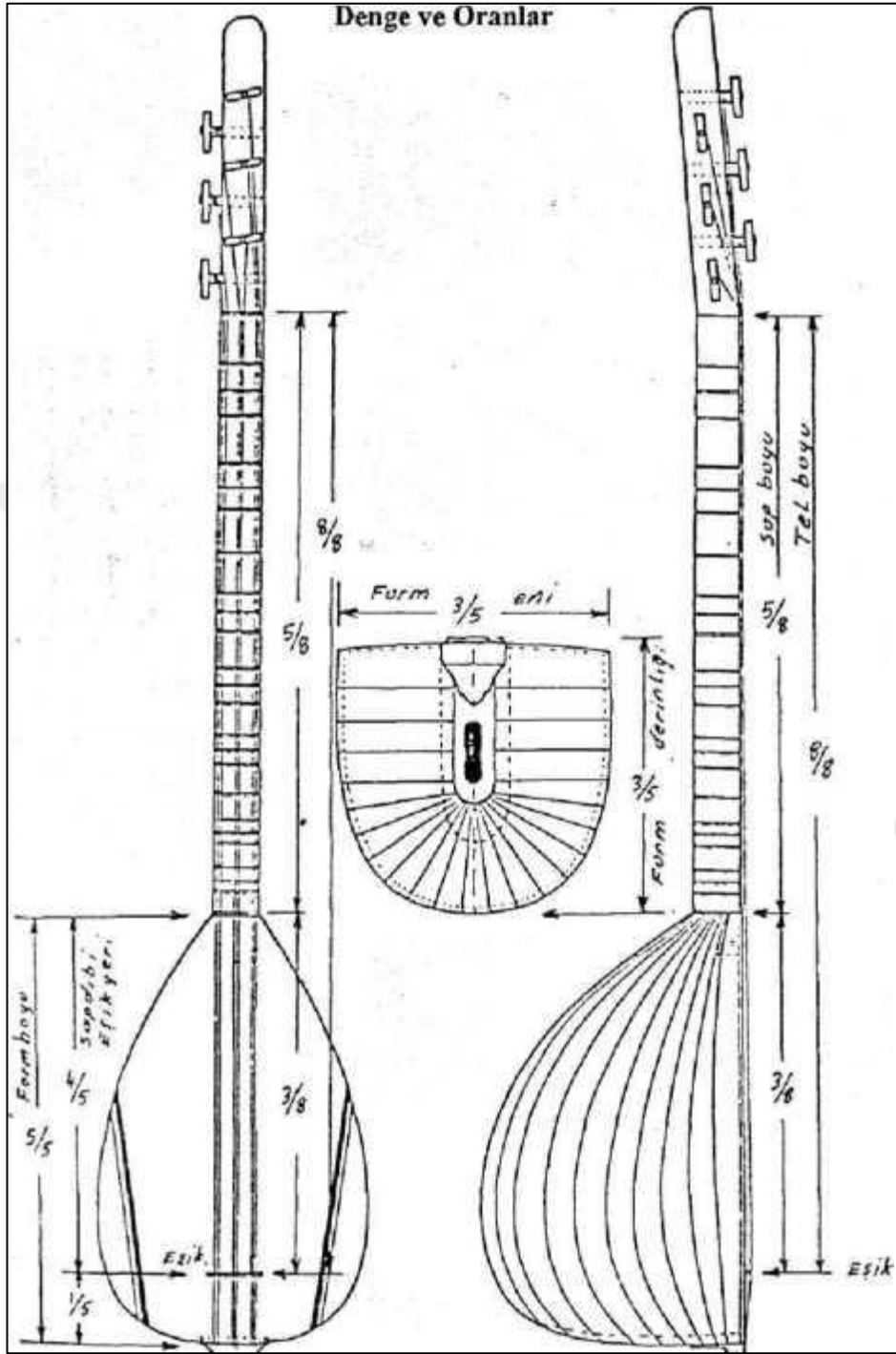
*Kaynak: Demir 1996, s. 11*

**Şekil 3.6: Kurt ağızı**



*Kaynak: Demir 1996, s. 12*

Şekil 3.7: Bağlamada altın oranlar



Kaynak: Açın 1994, s. 99.

### **3.1.4 Burguluk**

Burguluk, sapa yaklaşık 10-15 derecelik bir açıyla, kurt ağzı ya da kırlangıç geçme adı verilen teknikle yerleştirilmektedir. Burguluklara yandan 3, üstten 4 delik açılarak burguluklar buraya yerleştirilir.

Bağlamanın sapında kullanılan ağaç türü burguluk için kullanılan ağaç türü aynıdır. Burgular, gül, pelesenk, abanoz, gürgen gibi çeşitli sert ağaçlardan yapılmaktadır.

### **3.1.5 Eşikler**

Bağlamanın eşikleri, üst, orta ve alt eşik olmak üzere üç ayrı bölümdedir. Tellerin kapak ve sapla olan teması kesilerek yükseltme yapılır, orta eşik, tellerin titreşim yolu ile ses üretmesi ile sesi kapağa yoğunlaştırılmış biçimde ulaştırmaktadır. Sert ağaç türünden oluşturulur. Ancak genel olarak akçaağaç kullanılmaktadır. Bu da ağacın sert olması ve tınıyı en iyi şekilde iletmesinden kaynaklanmaktadır. Akçaağaç dışında, dişbudak, abanoz, pelesenk ve fındık ağaçları da kullanılmaktadır.

### **3.1.6 Ses Deliği (Kafes)**

Ses deliği, bağlamanın tekne kısmında, alt ya da üst bölümlerine açılan, çeşitli imalatlarda kapak kısmına da açılabilen dairesel deliğe verilen addı. Bu delik, teknede yansıyan sesin dışarı çıkması için kullanılır.

### **3.1.7 Cila**

Bağlamanın cila ve vernik özellikleri de ses tınısının oluşması için oldukça önemlidir. Eski bağlamalarda gomalak adı verilen bir cila tekniği kullanılırdı. Şimdilerde ise selülozik vernik tekniği ve bunun yanı sıra polyester vernik tekniği kullanılmaktadır. Bu vernikler bağlamayı fiziki hasarlardan korumaktadır. Diğer yandan estetik anlamda da bağlamaya güzel görünüm sunmaktadır.

- a) İspirtolu Vernik: “Doğal ve yapay reçinelerin, ispiro ve benzeri sıvılarda eritilmesi ile hazırlanır. Eritici sıvı buharlaşır ve geriye saydam bir tabaka kalır” (Şanıvar 1978, s. 183).
- b) Selülozik Vernik: “Selülozik vernik, uçucu olmayan yani katman yapan gereçlerle, uçucu olan inceltici sıvılardan oluşur. Verniğin katman yapan kısmı nitroselüloz reçineler ve yumuşatıcılardan oluşur. İnceltici sıvılar vernik sürüldükten sonra uçar. Geriye katman kalır” (Şanıvar 1978, s. 184).
- c) Polyester Vernik:

*İki elemanlı bir verniktir. Birinci elemanı doymamış reçinenin stiroil adlı sıvıdaki eriyiğidir. İkinci elemanı sertleştirici adı verilen organik bir peroksittir. Meydana getirdiği kalın vernik katmanı mekanik ve kimyasal etkilere karşı olağanüstü dayanıklıdır (Şanıvar 1978, s. 206).*

Polyester vernik son dönemlerde en çok kullanılan vernik tekniklerinden biridir.

### **3.1.8 Teller**

Bağlama tellerinin yapı ve boyutları, bağlamanın boyutuna göre farklılık göstermektedir.

Genel anlamda iyi tip tel kullanılır; bas sesleri elde edebilmek için sırma tel ve orta, tiz sesleri elde edebilmek için çelik teller kullanılmaktadır.

Sırma teller, bir çelik tel üzerine sarılmış olan ipek ve onun üzerinde sarılı olan çinko, gümüş ve altın gibi madenlerden meydana gelen sargı tellerinden oluşmaktadır. Çelik teller de magnezyum, çinko, alüminyum gibi madenlerle oluşturulan çelik tellere denmektedir. Bağlama telinin kaliteli olması, bağlamanın tınısını belirlemede oldukça önemli bir rol oynamaktadır.

### **3.1.9 Perdeler**

Perdeler, misinadan üretilir ve ispiro veya su bazlı siyah renk boya ile boyanmaktadır. Klasik bağlama ailesinin perde taksimatlarına göre bağlanmaktadır.

### **3.1.10 Bağlamada Denge ve Oranlar**

Bağlama aile üzerinde yapılan çeşitli araştırmalar ile sap, tekne ve perdelerin oranlarının standart şekle geldiği sonucuna varılmıştır. Bu bağlamda ortaya çıkan oranlara “bağlama altın oranlar” adı verilmektedir.

Bağlamanın tel boyu 8 birim olduğunda sap boyu  $5/8$  birim olmalıdır. Köprü ile boğaz perdesi arasındaki uzaklık  $3/8$  olarak hesaplanır. Form boyu 5 birim olduğunda ise alt eşik mesafesi  $1/5$  olmaktadır (Kınık 2011, s.220).

### **3.1.11 Deneysel Çalışma İçin Kullanılacak Geleneksel Bağlamaların Yapımı**

Tasarlanan bağlamanın tekne ve sap kısmında maun ağacı, göğüs kısmında ise Kanada sediri kullanılmıştır. Öncelikle bağlama tekneleri yapıla hazırlanmıştır.

Bunun için teknenin boyutu 42 cm olarak seçilmiş ve yapım için hazırlanmıştır. Bu aşamada ilk olarak seçilen teknelerin sap oyuğu kısmı kesilmiştir.

**Şekil 3.8: Teknenin üzerindeki sap oyuğu açılacak kısmın kesimi**



Şekil 3.9: Zımparalama işlemi



Daha sonra tekneler zımparalanarak temizlenmesi gerçekleştirilmiştir.

**Şekil 3.10: Her iki tekne boyutu da aynı (42 cm)**



Ayrıca ilk bağlamanın tekne genişliği 24,5 cm, derinliği 25 cm olup ikinci bağlamanın tekne genişliği 24,5 cm, derinliği ise 25,5 cm olarak ayarlanmıştır.

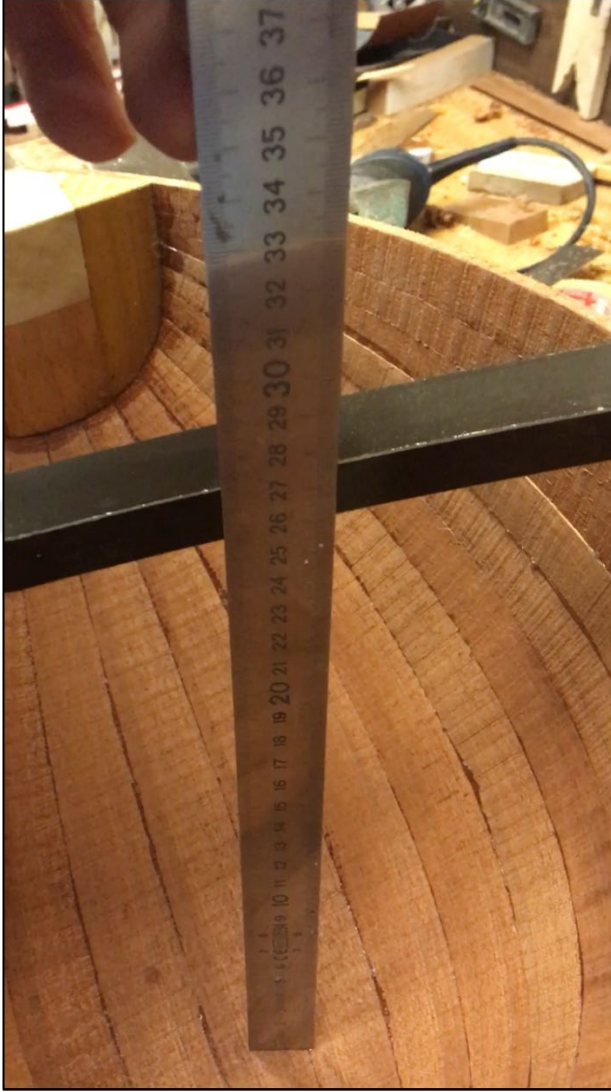
Şekil 3.11: Tekne genişlik ölçümü görseli



**Şekil 3.12: Tekne derinliği ölçümü görseli**



**Şekil 3.13: Tekne derinlik ölçümü**



Daha sonra derinliklerin eşitlenmesi için 0,5 cm fazla olan teknedeki fazlalık törpülenmiş ve eşitlenmiştir.

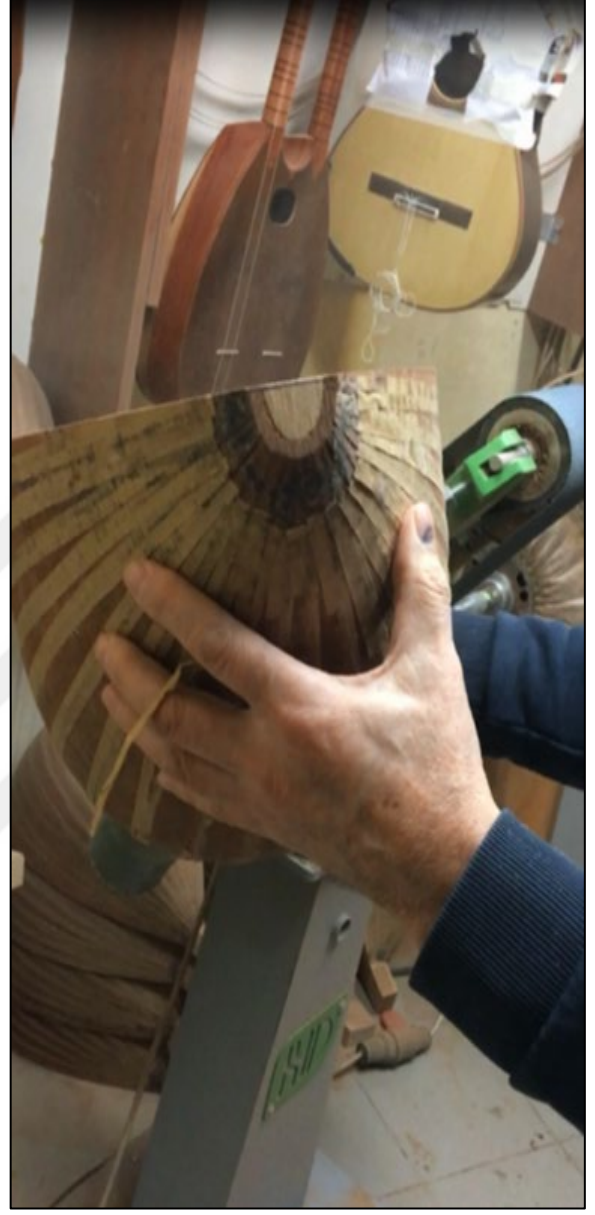
**Şekil 3.14: Törpülenecek kısım işareti**



Şekil 3.15: Teknedeki fazlalığın törpülenmesi



(a)



(b)

**Şekil 3.16: Her iki teknenin yapıma hazır hale getirilmesi**



Bu işlemlerden sonra tekneler yapıma hazır hale getirilerek ikinci aşamaya geçilmiştir. Bu aşamada ise sap oyuğunun açılması ve sapın tekneye alıştırılması gerçekleştirilmiştir.

**Şekil 3.17: Uygun sapların belirlenmesi**



Bu aşamada ilk olarak bağlamanın teknelerine uygun olan saplar belirlenmiştir.

**Şekil 3.18: Sap merkezi için ölçüm alınması**



Sap merkezinin yerleştirilmesi için bağlama teknesinden ölçüm alınmıştır.

**Şekil 3.19: Sap için delik açma işlemi**



Ölçüm alındıktan sonra bağlama teknesinde sapın yerleştirileceği bölgeye delik açılmıştır.

**Şekil 3.20: Teknede açılan deliğin görseli**



**Şekil 3.21: Sapın sabitlenmesi için çivi çakılması**



Tekne sapının sabitlenmesi için teknede belirlenen yere daha sonra sökülmek üzere çivi çakılma işlemi gerçekleştirilmiştir.

**Şekil 3.22: Sapın konumlandırılması için ölçümün alınması**



Bağlama teknesine sapın alıştırılmasından önce sapın hangi noktaya konumlandırılacağını belirlemek ve sapın merkezde olması için teknenin en-boy ölçümü alınmıştır. Ayrıca teknenin sağ ve solundan eşit şekilde 9'ar cm bırakılmıştır.

**Şekil 3.23: Sap alıştırması için tekne hazırlanmaya başlaması**



Şekil 3.24: Teknenin sap oyuğu için ölçüm işlemi



**Şekil 3.25: Teknede sap oyuğunun işaretlenmesi**



Bağlama teknesinde sap oyuğunun işaretlenmesi işlemi gerçekleştirilmiştir.

**Şekil 3.26: Teknede sap oyuğunun oluşturulması**



**Şekil 3.27: Sap oyuğunun sağ ve soldan açılma işlemi**



Her iki taraftan da eşit şekil pay bırakılarak sap oyuğu açılmıştır.

Şekil 3.28: Oluşturulan sap oyuğu



Şekil 3.29: Oyuk bölgenin kabasının alınma işlemi



**Şekil 3.30: Teknede açılan sap oyuğu**



**Şekil 3.31: Sap oyuğunun netleşmesi**



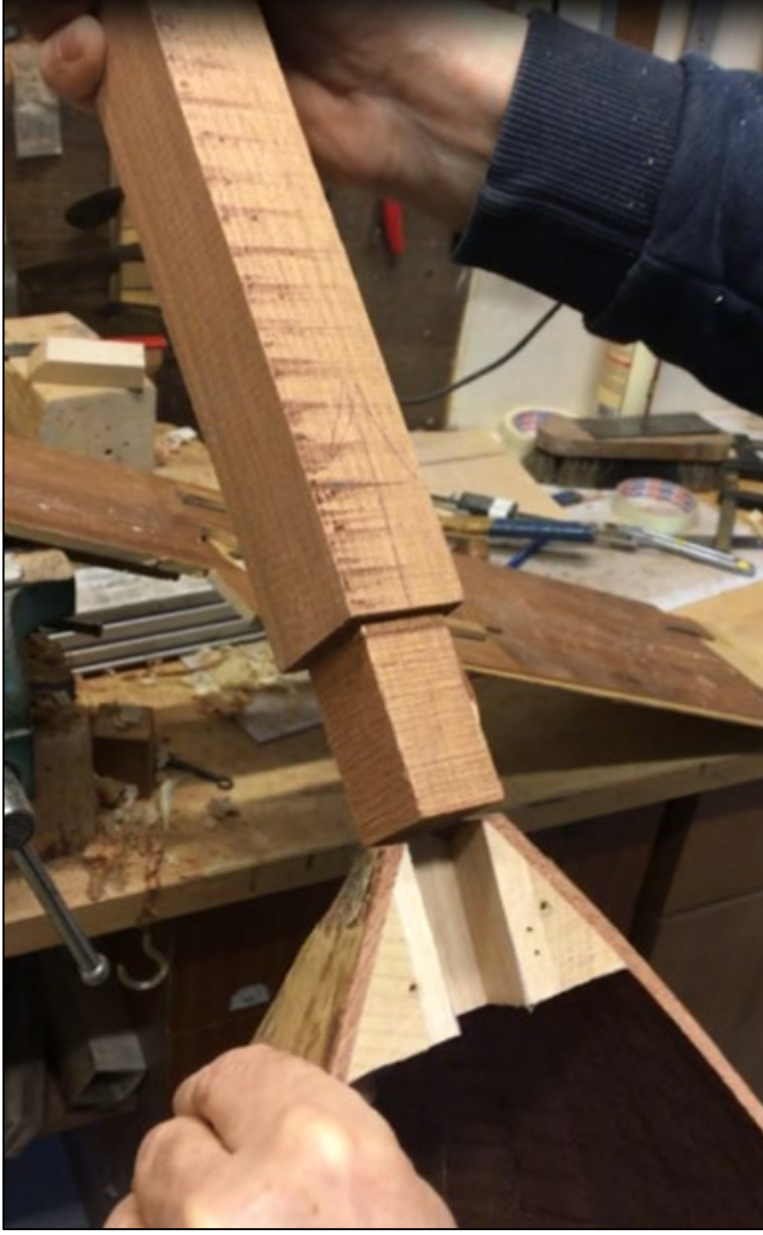
Sap oyuğu iyice temizlenerek net bir hale getirilmiştir.

**Şekil 3.32: Hazır haldeki tekne**



Sap alışdırılması tekne için tamamen hazır bir duruma getirilmiştir.

**Şekil 3.33: Sap ve tekne alıştırması öncesi gözlem yapılması**



Sap ve teknenin sap alıştırması işleminden önce ikisi de gözlemlenmiştir.

**Şekil 3.34: Sapın teknedeki oyuğa göre şekillendirilmesi işlemi**



Şekil 3.35: Sapın teknedeki oyuğa denenmesi



Sap öncelikle teknedeki oyuk kısma denenmiştir.

**Şekil 3.36: Sapın teknede oturduğu konumun doğruluğunun ölçülmesi**



Şekil 3.37: Sapın tekneye oturtulması işlemi



**Şekil 3.38: Tekneye iyice oturan sapın yapıştırma aşamasına getirilmesi**



**Şekil 3.39: Bağlama kapaklarının takılması için hazır olan bağlamalar**



**Şekil 3.40: Kapakların şekillendirilmesi**



**Şekil 3.41: Kapağın tartılması**



(a)

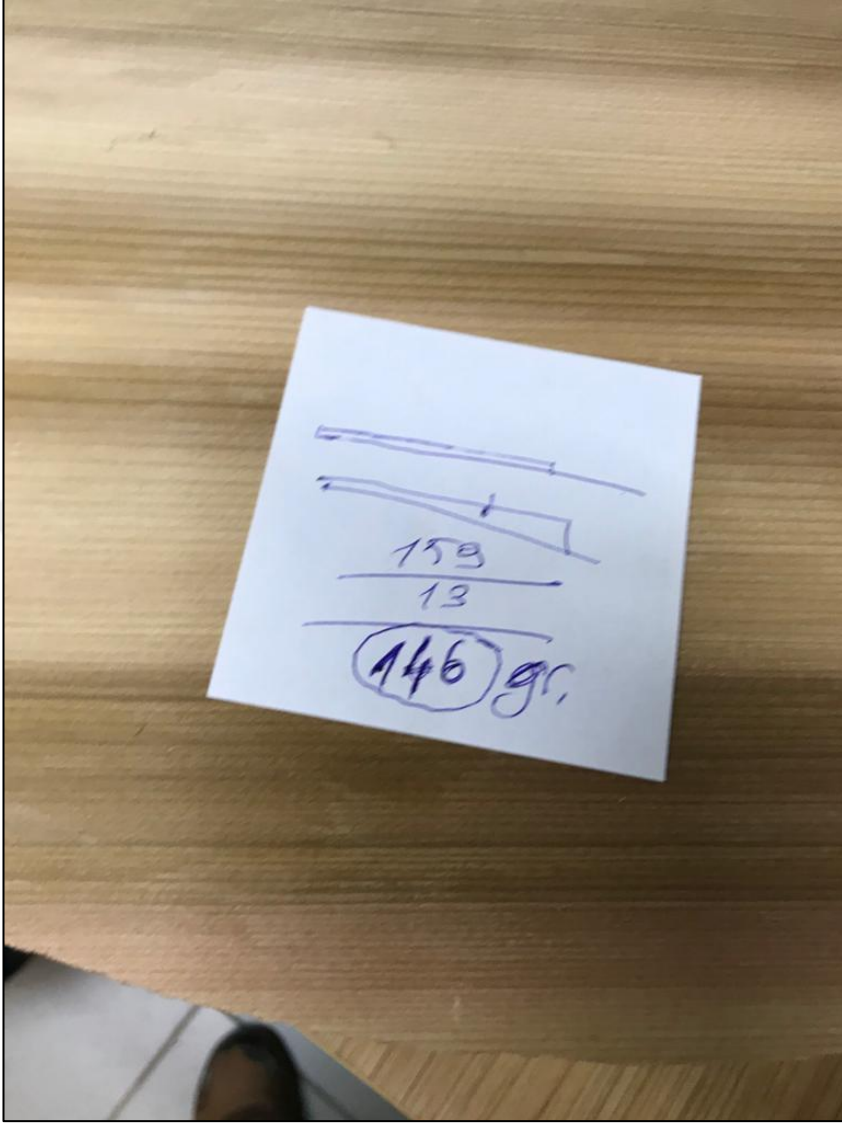
(b)

Bu işlemde kapak ve rulo 159 gram olarak ölçülmüştür.

**Şekil 3.42: Kapağın üzerine koyulan rulonun tartılması**



Şekil 3.43: Kapak gramajının bulunması



159-13=146 gr kapak kullanılmıştır.

**Şekil 3.44: Cila ve perde bağlanması için hazır haldeki bağlamalar**



**Şekil 3.45: Yapımı tamamlanmış, ölçüme hazır bağlama**



### **3.2 BAĞLAMA TÜRLERİ**

Bağlama ailesi içerisindeki çalgılar, boyutlarına göre altı sınıf içerisinde toplanmaktadır. Bunlar şu şekildedir:

- a) Tanbura Curası
- b) Bağlama Curası
- c) Tanbura
- d) Bağlama
- e) Divan Sazı
- f) Meydan Sazı

#### **3.2.1 Tanbura Curası**

Tanbura curası, bağlama ailesi içerisindeki en küçük çalgıdır.

“Form boyu 22.5 cm., sap boyu 30 cm., tel boyu 48 cm., form eni ve derinliği 13.5 cm.dir”  
(Açın 1998, s. 15).

#### **3.2.2 Bağlama Curası**

Bağlama curası ise, tanbura curasından büyük ancak bağlama ve tanburadan küçük boyuttadır. Genel olarak hareketli ezgilerin çalışması için kullanılmaktadır. Geleneksel Türk halk müziği korolarında tercih edilen bir çalgıdır.

“Form boyu 26.5 cm., sap boyu 35 cm., tel boyu 56 cm., form eni ve derinliği 15.5 cm. dir” (Açın 1998, s. 15).

### **3.2.3 Tanbura**

Tanbura, bağlamadan biraz daha küçük olan çalgıdır. Genelde re ya da do sesine akort edilmektedir. Kullanım kolaylığı bakımından en çok tercih edilen bağlamadır.

“Divan sesinden bir oktav, bağlamadan ise dört ses tizdir. Form boyu 38 cm., sap boyu 50 cm., tel boyu 80 cm., form eni ve derinliği 28 cm’dir” (Açın 1998, s. 15).

### **3.2.4 Bağlama**

Bağlama ailesinin temel sazı olan bağlama, La sesine göre akort edilmektedir.

“Form boyu 42 cm., sap boyu 55 cm., tel boyu 88 cm., form eni ve derinliği 25 cm’dir.” (Açın 1998, s. 14)

“Meydan sazından bir oktav, divan sazından ise beş ses tizdir” (Beydüz 1998, s. 16).

### **3.2.5 Divan Sazı**

Divan sazı ise, meydan sazından daha küçüktür.

“Meydan sazından 4 ses daha tizdir. Form boyu 49 cm., sap boyu 65 cm., tel boyu 104 cm., form eni ve derinliği 31.5 cm’dir” (Açın 1998, s.14).

### **3.2.6 Meydan Sazı**

Bağlama ailesinin en büyük çalgısıdır. Ses türü davudidir. Genel kullanım alanı meydanlar olduğu için bu isme sahip olduğu düşünölmektedir.

“La sesine akort edilir. Form boyu 52.5 cm., sap boyu 70 cm., tel boyu 112 cm., form eni ve derinliği 31.5 cm’dir” (Açın 1998, s. 14)

“Kalın ses verdiğinden yas havalarında ve açışlarda (bir nevi taksim) kullanılmaktadır.

“Açık havada sesin daha fazla çıkması için büyütülmüş olduğu söylenirse de günümüzde hiç kullanılmamaktadır” (Demirsipahi 1975, s. 172).

### **3.3 BAĞLAMA İMALATINDA KULLANILAN AĞAÇLAR**

#### **3.3.1 Teknede Kullanılan Ağaçlar**

Teknede kullanılan ağaçlar; yumuşak ağaçlar, orta sert ağaçlar, sert ağaçlar, çok sert ağaçlar olmak üzere 4'e ayrılmaktadır.

##### **3.3.1.1 Yumuşak ağaçlar**

Ardıç: Dünyada genel olarak, kuzey yarım kürede bulunmaktadır. Kuzey Amerika'dan Alaska'ya kadar olan geniş bir coğrafyada yaygındır. Bunun yanında Orta Amerika ve bütün Avrupa'da Kuzey ve Doğu Afrika ve ön Asya'da da bolca bulunmaktadır. Ülkemizde ana türleri bulunmamakla birlikte yüksek bölgelerde çeşitlerine rastlanmaktadır.

Ardıç ağacının 60'a yakın türü bulunmaktadır. Bu türlerden bazıları şu şekildedir:

- a) adi ardıç
- b) bodur ardıç
- c) sedir ardıcı
- d) sert yapraklı ardıç
- e) kurşun kalem ardıcı

Dikili durumda boyu 30 metreye kadar uzayabilmektedir ancak bu boy uzunluğu türlerine göre de değişiklik göstermektedir. Kış aylarında kabuklu yapıdadır. Kabuk rengi kızıl kahve ve gri kahverengidir. Ardıç ağacı iğne yapraklıdır. Kızıl renk grubu ağaç türleri arasına girmektedir. Göbek odunlu bir ağaç türüdür. Yıllık halkaları çok belirgin yapıdadır ve kesin olarak ayrılmaktadır. Reçinesi çok azdır. Dayanıklı bir ağaç türü

olmasının yanı sıra bu dayanıklılık yetiştiği ortama göre değişiklik göstermektedir. Çok yumuşak bir yapıda ve kokusu ise çok güzeldir. Kolayca işlenerek parlak renkte bir görünüş elde edilir.

Kestane: Daha önceden Kuzey Afrika kıtasında yetişen kestane ağacı, Avrupa'nın sıcak ve ılıman bölgelerine doğru yayılmıştır. Türkiye'de ise Marmara ve Ege Bölgelerinde dağınık şekilde yetişmektedir. Kestane ağacının 10 kadar türü bulunmaktadır. Bu türlerden bazıları şu şekildedir:

- a) Anadolu Kestanesi
- b) Avrupa Kestanesi
- c) Amerikan Kestanesi
- d) Japon Kestanesi

Kestane ağacının dikili durumda 4-5 metre boylarına ulaşabilmektedir. Ormanlarda yetişen türleri ise 40 metreye kadar uzamaktadır ve çapları da 50-70 cm'dir. Genç yaşlarında yeşil renkte, zamanla ise kül rengini almaktadır. Kısa saplı yaprakları bulunmaktadır ve bu sapsız mızrak şeklindedir. Araç gereç yapımı için kullanılan türü sarı renk grubuna giren ağaçtır. Reçine kanalları bulunmaz ve fiziki olarak orta ağırlıktadır. Hava koşullarına göre dayanıklılığı farklılık göstermektedir. Kokusu asidiktir. Yumuşak yapıdadır ve kolayca işlenmektedir ve işlendiğinde parlak bir görünüş elde edilir. Uzun lifli bir yapıdadır.

Ihlamur: Daha çok ülkemizin Doğu Karadeniz kıyılarında yetişmektedir. Ormandan çok park gibi yerlerde bulunmaktadır. Kafkas ihlamurlarına Anadolu'nun çeşitli bölgelerinde ve özellikle de Kuzey Anadolu, Batı Anadolu, Kaz Dağları, Kuşadası ve Antalya'da görülmektedir. Ihlamur ağacının yaklaşık olarak 30'a yakın türü bulunmaktadır. Bu türlerden bazıları şu şekildedir:

- a) Gümüş Ihlamur
- b) Büyük Yapraklı Ihlamur
- c) Yaz Ihlamuru
- d) Küçük Yapraklı Ihlamur

- e) Kış İhlamuru
- f) Kafkas İhlamuru

Dikili durumda boyu 30-40 metreye kadar ulaşmaktadır. Dalları sıktır ve geniş taş görünüşlüdür. Genç ağaçta koyu gri renk ve kabukludur. Yaprak yapısı düzdür ve yaprak boyutları değişim gösterebilmektedir. Yaprakların üst kısmı koyu yeşil, alt kısmı gümüştür. Sarı renk ağaç türü grubuna girmektedir. Olgun odunlu ıhlamur ağacının bazılarının öz çürüklükler görülebilmektedir. Ağaç damarları canlı ve belirli değildir. Gözenekleri çok sayıda ve dağınık şekildedir. Çap kesitte gözenekte, gözenekler ufak olduğundan dolayı gözle görülmemektedirler. Ancak öz ve damar kesitlerinde ince çizgiler göze çarpar. Ağaç hafif bir yapıdadır. Yumuşak yapıda bir ağaç türü olmasına rağmen çok dayanıklıdır. Nemli ortamlarda kolayca çürür. Mekanik etkilere karşı da dayanıklılık seviyesi ortadır. Kendine özgün güzel bir kokusu vardır. Biçme ve rendeleme işlemi çok kolaydır.

Kızılağaç: bu ağaç türü, bütün Avrupa ormanlarında, Baltık ülkelerinde ve Amerika'ya yaygın olan bir türdür. Ülkemizde ise Karadeniz bölgesinde genellikle dere yataklarında, Belgrad ormanı, İzmit bataklık ormanı, Bolu, Ayancık ve Zonguldak'ta bolca görülmektedir.

Kızılağacın 30'a yakın türü bulunmaktadır. Bunlardan bazıları şu şekildedir:

- a) Adi Kızılağaç
- b) Sakallı Kızılağaç
- c) Yürek Yapraklı Kızılağaç
- d) Doğu Kızılağacı

Dikili durumda 30 metreye kadar boy alabilmektedir. Gövdesi düzgün biçimdedir. Yaprak biçimi yumurta şeklinde ya da elips şeklinde olabilmektedir. Alt kısımlarında kahverengi sık tüyler vardır. Ağaç genç yaşlarında yeşil, kahverengindeyken yaşlandıkça siyah kahverengine dönmektedir. Ayrıca yaşlandıkça kabuğu da kırıışıklaşır. Kızıl grup ağaç türlerine aittir. Renk kırmızımsı beyaz ile açık kırmızı kahverengidir. Gelişi güzel

dağılan öz ışınları, koyu renktedir ve gözle görülebilmektedir. Kırmızımsı taban üzerinde daha koyu renktedir.

Dağınık gözenekli yapıdadır ancak gözenekleri gözle görülemeyecek kadar da küçük yapıdadır. Kızılağaç hafif bir ağaçtır. Hava şartlarından kolayca etkilenmektedir. Açık havada dayanıksız durumdadır ancak kapalı ve kuru ortamlarda ise oldukça dayanıklıdır. Ayrıca tamamen su içinde kaldığında da üstün dayanma özelliği bulunur. Yaş şekilde işlendiğinde oldukça güzel bir kokusu bulunur. Ağaç kurudukça bu koku kaybolmaktadır. Kırılgan yapıdadır ve işlenmesi çok kolaydır.

### **3.3.1.2 Orta sert ağaçlar**

#### **3.3.1.2.1 Akçaağaç (kelebek ağacı)**

Akçaağaç türü, Asya, Avrupa, Kuzey Amerika ve Kuzey Afrika'da yetişmektedir. Ülkemizde de hemen hemen her ormanlık alanda dağınık şekilde bulunmaktadır. Akçaağacın başlıca türleri şu şekildedir: Dağ Akçaağacı, Ova Akçaağacı.

Akçaağaç, geniş taç görünüşü ile 10-30-40 metre boylarında 2-3 metre çap alabilen, dolgun ve gövdeli bir ağaç türüdür. Gövde yapısı genellikle düz olmaktadır. Akçaağaç türlerine göre kabukları da farklılık göstermektedir. Dağ Akçaağaçlarında kabuklar önce düz, yaş aldıkça benekli bir hale gelmektedir. Diğer yandan bu ağaç basit yapraklıdır. Çeşitli türlerinde ise yaprak altından beyaz bir süt de çıkmaktadır.

Beyaz renk grubu içerisinde yer alan akçaağacın tüm kesitleri beyaz renktedir. Diğer yandan bu ağaç dolgun odunludur. Dış odunu ise daha esnek ve dirençli yapıdadır. Ağacın özünün çürümesi ise kolaydır. Bakıra çalan yeşil ve kahverengi bir görünüşü bulunmaktadır. Ağacın belirgin olan yıl halkaları ise sıktır ve sonbahar halkası ise ilkbahar halkasına kıyasla daha biraz esmer haldedir.

Ağacın her kesitinde çokça göz ile görülebilen öz ışınlar bulunmaktadır. Normal ışık ile beraber sıra sıra kendisini belirginleştirmektedir. Diğer yandan keskin kenarlı ince

çizgiler yıl halkalarını birbirinden ayırmaktadır. Akçaağaç için karışık damarlar önemli bir özellik olarak belirlenmemiştir. Dolayısıyla da gözenekleri dağınık şekildedir.

Çeşitli türleri ağır olan söz konusu bu ağacın genellikle ağırlığı orta düzeydedir. Bu bağlamda özgül ağırlığı 0,65-0,73 arasında farklılık göstermektedir. Ayrıca esnek bir yapıya sahip olmasının yanı sıra kuru ortamlarda dayanıklı nemli ortamlarda ise dayanıksız bir ağaçtır. Belirli bir kokusu olmamakla beraber böcek tarafından kolay şekilde yıkılabilmektedir. Akçaağacın genellikle yüksek yerlerde bulunanları sık ve sert yapıdadır. Ancak bahsi geçen bu sertlik onun işlenmesine bir etki etmemektedir. Kolayca yarılıp işlenir.

### **3.3.1.2.2 Karaağaç**

Genellikle dünyada Orta ve Batı Avrupa, Asya ve Kuzey Amerika'da bulunmaktadır. Ülkemizde ise Karadeniz bölgelerinde yer alan serbest ormanlarda yer almaktadır. Bazı bölgelerde dağınık şekilde de bulunabilmektedir. 150'den fazla türü bulunan bu ağacın ülkemizde yetişen başlıca türleri ise Ova Karaağacı, Dağ Karaağacı, Hercai Karaağacıdır.

Karaağacın dikili haldeki yapısı 40 metre Karar uzayabilmektedir. Ayrıca ağaç düzgün bir gövde yapısına sahiptir. Ağacın çapı 2mt civarında büyüme gösterebilmektedir. Geniş yapraklı ve ince kabukludur. Dişli ve kısa saplı yaprakları bulunur. Ağacın üst yüzeyleri koyu yeşil pürüzlü, alt yüzeyleri ise tüylüdür. Ağacın meyveleri 1-2 cm uzunluğa sahip olan kapçık meyvedir. Karaağaç, kahverengi ağaç grubuna mensuptur. Dolayısıyla rengi açık ve koyu kahverengi durumundadır. Göbek odunlu olan karaağaçta göbek odunu kahve, yalancı odunu yeşil ve beyaz renktedir. Yıl halkaları ise tüm kesitlerinde belirgin halde bulunmaktadır. Sonbahar halkası koyu, ilk bahar halkası da açık kahverengidir.

Ağacın öz ışınları öz kesitinde parlak şekilde, açık kahve ve kısa şerit ve benekler halinde bulunur. Çok canlı damarları bulunan ağacın damarları kare ve belirgin haldedir. Çember gözenekli ve karaağaçta gözenekleri ilkbahar halkasında büyük çaplı halkalar şeklinde çıplak gözle görülmektedir.

Karaağaç diğer çeşitlerine göre hafif ya da orta ağırlığa sahiptir. Ağacın özgül ağırlığı 0,66 ve 0,70 arasında farklılık göstermektedir. Kuru bölgelerde, nemli ve tamamen su içerisinde az bulunur. Ancak ağaç yaş haldeyken çatlar ve ağacın çapı oldukça elverişlidir. Diğer yandan kuru ortamlar ve sürekli olarak su içerisinde meşe ağacı gibi esnek bir yapıda yetişir. Ağacın kendisine has bir kokusu bulunmaktadır ve sertlik olarak da orta düzeydedir. Son olarak ise karaağaç, karışık elyafli halde olmasından dolayı gözenekleri kireç, silis ve organik maddeler içermektedir. Bundan dolayı da ağacın işlenmesi zordur.

### **3.3.1.2.3 Çınar**

Alanya ve Fenike civarında Kavak adı ile bilinmektedir. Genel olarak dünyada Güney Avrupa, Batı Asya ve Himalaya ormanları içerisinde yetişmektedir. Ülkemizde ise kurak bölgeler haricinde neredeyse her bölgede yer almaktadır. Özellikle de dere ve nehir yataklarında, yol kenarlarında gölge ağacı olarak bulunmaktadır. Çınar ağacının başlıca türleri şu şekildedir:

- a) Doğa Çınarı
- b) Amerikan Çınarı
- c) Akçaağaç Yapraklı Çınar

Ağacın boyun uzun çapı da geniştir. Geniş taç bir görüşüne sahiptir. Boyu 40 metreye kadar uzayabilmekte; çapı ise 5 metre kadar olabilmektedir. Kabukları benekli, açık gri ve yeşil gri renktedir. Yaşlı gövdesinde kabuk üstü pullar bulunur. Yaprakları geniş ve basit şekildedir. Kızıl renk ağaç grubuna mensuptur. Çünkü genellikle rengi kırmızı ve kahverengidir. Göbek odunlu bir ağaç türüdür ve göbek odunu kırmızı kahverengi, yalancı odun rengi ise açık renktedir. Yıl halkalarının belirginliği azdır. Ağacın öz ışınları ise tüm kesitlerinde görülebilmektedir. Öz kesitte pulcuklar, çap kesitte ince çizgiler şeklindedir. Ağacın damarları belirgin şekilde olmamakla beraber gözenekleri ise dağınık halde ve gözle görülmemektedir. Çınar ağacı hafif bir ağaç türüdür. Ağacın özgül ağırlığı diğer çeşitlerine göre 0,50-0,60 arasında farklılık göstermektedir. Dayanıksızdır çabuk çatlamaktadır. Nemli hava ve böcekler doğrultusunda da kolay şekilde yıkılabilmektedir.

Mekanik direnci ise darbelere karşı orta düzeydedir. Ağacın kendisine özgü bir kokusu vardır.

### 3.3.1.3 Sert ağaçlar

#### 3.3.1.3.1 *Okalıptus (bataklık ağacı, sıtma ağacı)*

Okalıptüs ağacı, güney yarımkürede 10-42 arz derecelerinde Avusturalya, Tazmanya, Gine ve Büyük okyanus adalarında oldukça çok yetişen ağaç türüdür. Ülkemizde 1885 yılında süs ağacı olarak gelmiş olan bu ağaç daha sonrasında Adana ve Antalya çevresinde daha geniş alanda yetiştirilmeye başlanmıştır. 5000'den fazla türü bulunan bu ağacın en yaygın olanları şu şekildedir: E. Rostrata. E. Globulus, E. Roubust. E. Viminalis.

Ülkemizde ısıнын -5C'den aşağı düşmeyen ve bol şekilde yağış alan güney batı bölgesinde Rostrata ve E. Globulus türleri bulunmaktadır. Ağacın boyu ortalama 60 metreye kadar uzamakta ve çapı da 60 cm kadar büyümektedir. Kavak ağacına benzer şekilde düzgün gövde yapısına sahiptir ve piramit taçlı bir ağaç türüdür. Kabuğu benekli yapıda ve açık kırmızı ve gümüş renktedir. Ayrıca kabukları çok defa don olayı ile dökülür ve yerleri boz beyaz benekler şeklinde kalmaktadır. Kendine özgü bir meyveye sahip olan bu çiçek yılın her mevsiminde çiçek açmaktadır.

Bunların yanı sıra kırmızı renk ağaç grubuna mensuplardır. Ağacın rengi önce açık renkte sonrasında ise koyu kızıl ve kahverengi hale dönüşmektedir. Ağacın göbek odunu kırmızı ve kahverengi renkte, yalancı odunu ise önce beyaz daha sonra açık kül renktir. Ayrıca yıl halkaları ise belirgin değildir. Öz ışınları gözle görülemeyecek şekilde küçük ve uçları sivridir. Damarları da belirsiz halde ve homojen şekildedir. Gözle görülmeyecek kadar küçük gözenekleri dağınık halde bulunmaktadır.

Ağacın türlerine göre ağırlıkları farklılık göstermektedir. Ancak özgül ağırlığı genellikle 0,54-0,84 arasındadır. Yaş haldeyken çok çalışır ve iyice kurutulmadan kullanımı zordur. Özellikle göbek odunu çok fazla taneli bir ağaçtır. Bu nedenle hava koşullarına, böceklerle ve mantarlara karşı da oldukça dayanıklı yapıdadır. Kokusu asidiktir. Kesildiğinde

oldukça yumuşak yapıda ancak zamanla sert bir halde gelmektedir. Odun damarları bazı maden tuzları, kireç ve kumla dolu olmasından dolayı da işlenmesi oldukça zordur.

### **3.3.1.3.2 Erik**

Erik, dünyanın her yerinde ılıman bölgelerde, özellikle orta ve güney Avrupa'da ve Asya'da on ülkede bulunur. Bağlar ve orman bahçelerinde bolca yetiştiği için Türkiye'nin hemen her yerinde. Erik bir meyve ağacıdır. Çoğu tür aşılardan kaynaklanır. Bu türler birbirinden özellikle farklı değildir.

Dağınık bir taç görünümündedir. Büyümediğinde, yan dalları rastgele uzar. Düz bir kabuğa sahiptir. Ten rengi morumsu siyahtır. Çok yaşlı ağaçlar, kabuğun sterilize edildiğini gösterir. Düz ve tek yapraklıdır. Yapraklar küçük, pürüzlü ve yuvarlaktır. Adlarıyla bilinen türlere göre farklı renk ve tatlarda meyvelere sahiptir.

Renk olarak kahverengi renk ağaç grubuna mensuptur. Kırmızı kahve veya menekşe moru rengindedir. Göbek odunludur ve bu kısım kırmızı kahve ya da mordur ayrıca yalancı odun rengi ise sarı renktedir. Yıl halkaları sakı yapılı ve ince şekildedir. Aralarında çok fazla renk farklılığı olmamakla beraber halkalar oldukça belirgin haldedir. Öz ışınları, öz kesitte açık renkte enine doğru uzanan benekler halindedir.

Kırmızımsı kahverengi veya mor zemin üzerinde kiraz çürüklüğü karelerini gösteren damarlar vardır. Yaygın gözenekliliğe sahiptir. Gözenekler ilkbahar halkasında bol ve büyük, sonbahar halkasında ise seyrek ve küçüktür. Diğer yandan ağır bir ağaçtır ve özgül ağırlığı ise 0,80-0,90 arasında bulunmaktadır. Kuru bölgelerde az çalışmaktadır. Farklı hava koşullarından kolay şekilde etkilenir ve çatlayabilir. Yalnızca kuru ortamlarda dayanıklılık göstermektedir. Mekanik etkilere karşı da direnci yüksektir. Ağaç kendine has bir kokuya sahiptir. Zor yarılr ve işlenmesi de zordur.

### **3.3.1.3.3 Maun**

Maun ağacı sıcak iklim ağacı özelliği taşımaktadır. Dünyada genellikle Afrika, Hindistan, Orta ve Güney Amerika, Meksika, Jamaika, Guatemala, Nikaragua, Filipinler, İspanya

ve Avusturya’da yetişmektedir. Ülkemizde yetişmemektedir. Maun ağacı yetiştiği bölgelere göre ismi farklılık göstermekte ancak maun adı ortak bir addir. Çok sayıda türü bulunmaktadır. Bunların arasında yaygın olan türleri; Afrika maunu, Amerika maunu, Hindistan Maunu, Akaju, Kırmızı Maun, Sarı Maun, Piramit Maun, Saten Maunu gibidir.

Gövdesi düzgün, geniş taçlı ve çok yapraklı bir ağaç türüdür. Ayrıca 30 metreye kadar boy almakta ve 100 cm çapa ulaşabilmektedir. Kendine has kozalak meyvelidir. Renk olarak kızıl renk grubuna mensup bir ağaçtır. Ancak renk türü diğerlerine göre farklıdır. Genellikle kızıl ve kahverengi renktedir. Göbek odunludur ve bunlar kızıl kahverengi renktedir. Ayrıca yalancı odunu da bu rengin biraz açığıdır.

#### **3.3.1.3.4 Porsuk ağacı**

Dünyada genellikle Avrupa, Hindistan, Çin, Japonya ve Amerika’nın batı kesimlerinde yetişmektedir. Ülkemizde ise genellikle doğu kesimde, Karadeniz bölgelerinde yetişmektedir. Porsuk ağacının yaygın türleri ise şu şekildedir: Adi Porsuk, Toreya, Yalancı Porsuk, Çekirdekli Porsuk, Yapraklı Porsuk.

Bir ağaç veya büyük bir çalı şeklinde bulunur. Sürüngenler vücut boyunca düzensiz olarak bulunur. Yoğun bir dal ve yuvarlak bir taç ile yirmi metre yüksekliğe kadar büyüyebilir. Düz bir kabuğa sahiptir. Ten rengi kırmızımsı kahverengidir. Kış yaprakları geliştirmeyen düz iğne yapraklı yapraklara sahiptir. Yaprakların uçları sivri uçlu ve alt kenarları daha hafiftir. 4-5 mm. Kırmızı kapaklı uzun, oval ve elastik meyveler. Kırmızı gruba giriyor. Renk sarımsı kırmızıdan kırmızımsı siyaha kadar değişir. Bir porsukta çekirdek koyu kahverengidir, kırmızıdan mavi-siyaha ve sözde odun sarımsı beyazdır.

Koyu ve çok dar büyüme halkaları yoğun, homojendir ve birbirinden keskin sınırlarla ayrılır. Çok sayıda çekirdek ışınları olmasına rağmen çıplak gözle görülemeyecek kadar küçüktürler. Kırmızımsı tabanda daha koyu çizgiler var. Reçine kanalı yoktur ve ince oturma yapısı nedeniyle çok ağırdır. Özgül ağırlığı 0,72-0,80’dir. Malzeme olarak farklı hava şartlarında, ısı ve nemde iyi çalışmaz. Çeşitli hava koşullarına, çeşitli parazitlere ve mantarlara karşı çok dayanıklıdır. Mekanik gerilime dayanıklıdır. Belirli bir kokusu yoktur. Kozalaklı ağaçların en sert ve en dirençli olduğunu söyleyebiliriz. Kullanımı çok

kolay. İşlem gören yüzey pürüzsüz ve parlak bir görünüm verir. Kolayca çatlar. Çok esnektir ve böcekler tarafından kolaylıkla saldırıya uğrar. Mekanik gerilime karşı mükemmel dirence sahiptir. Belirli bir kokusu yoktur. Oldukça zor. Herhangi bir yünle kolayca işlenir. Homojen bir yapıya sahiptir. Daha az esnek ve kırılmandır.

### **3.3.1.3.5 Dişbudak**

Dişbudak ağacının Alanya civarında bilinen adı Akça ağaçtır. Genellikle Ön Asya, Avrupa ve Kuzey Amerika'da yetişmektedir. Türkiye'nin neredeyse her bölgesinde yetişmektedir. 65'e yakın farklı türü bulunmaktadır. Bu türler arasında Türkiye'de yetişen türleri şu şekildedir: Dalgalı dişbudak, Çiçekli dişbudak, Zeytin dişbudak, Adi dişbudak.

Geniş bir taç ve birçok yaprağı vardır. Pürüzsüz gövdesi 30-40 metre uzunluğa ve 1 metre çapa ulaşabilir. Gri veya açık gri steril kabuğa sahiptir. 5-10 cm uzunluğunda bir dizi küçük taneler halinde toplanmış bir grup yaprağı vardır. Bu, 20-22 m uzunluğunda örgülü bir sarkaçtır.

Beyaz, sarımsı beyaz veya kremdir. Beyaz ağaç grubuna aittir. Olgun odunsu bir ağaçtır. Öz genellikle altmış yaşından sonra ortaya çıkar. Çekirdek rengi koyu gri veya koyu, çapı olarak, yay halkaları hafif ve sonbahar halkaları daha koyudur. Halkalar birbirinden kolaylıkla ayrılır. Çekirdek kırımlar, çekirdek ve kesit çapı belirtilmemiştir. Damarlar, enine kesitte bol mat çizgiler veya noktalar olarak görülebilir. Çok belirgin ve keskin damarları vardır. Yuvarlak gözenekli dişbudak gözenekleri ilkbahar ağacında çok sayıda ve geniştir ve sonbahar ağacında daha az sıklıkta ve dardır.

Ağır ağaç grubuna ait külün özgül ağırlığı 0.70-0.80'dir. Hem kuru hem de nemli ortamlarda çok az şekil değiştiren ve daha az çalışan bir ağaçtır. Kuru ortamlarda çok güçlü, nemli ortamlarda orta, dış mekanlarda daha az kararlıdır. Sürtünme direnci çok yüksektir. Zararlı böcekleri öldürmek kolay değildir. Belirli bir kokusu yoktur. Uzun lifleri sayesinde esnektir. Pürüzsüz bir dokuya sahip olan dişlerin ahşabının çalışması ve parçalanması kolaydır.

### 3.3.1.4 Çok sert ağaçlar

#### 3.3.1.4.1 Abanoz

Abanoz, tropikal bölgelerde yetişen sıcak bir iklim ağacıdır. En iyi türler Doğu Hindistan, Madagaskar, Seylan ve Mauritius ormanlarında bulunur. Bu bölgelerin dışında abanoz denen ama gerçek abanoz olmayan ağaçlar da vardır. Türkiye’de yetişmiyor. Birçok türü var. Dünya ağaç pazarında türüne göre değil, büyüyen bölgelerine göre adlandırılır. Bombay abanoz, Madagaskar abanozu, Seylan abanozu, Makassar abanozu, Corominadel.

Dar bir tacı, kısa boylu ve ince bir vücudu vardır. Gövdesi düz veya dalgalıdır. Genellikle gövde çapı 15 cm yukarıdır. Sadece 60 cm Seylan abanozu çapa kadar çıkabilir. Doz kabuklu deniz ürünüdür. Deri ince fakat mantarlıdır. İri ve tek yapraklıdır. Yaprakların şekli ovaldir. Yenilebilir eşsiz bir meyveye sahiptir.

Bu ağaç, siyah gruptaki ağaçlardan biridir. Gerçek abanozda temel renk siyahtır. Bazı türlerin yeşil üzerinde siyah veya koyu kahverengi çizgiler vardır. Bu, çekirdekli bir ağaçtır.

İnce ve çok yoğun yıllık halkalar belirsizdir. Esans ışınları gözle görülmez. Özellikle türüne göre ağır veya çok ağır bir ağaçtır. Özgül ağırlığı 0,91 ila 1,05 arasındadır. Hem kuru hem de nemli ortamlarda kusursuz çalışır. Çeşitli hava koşullarına ve böcek kontrolüne karşı oldukça dayanıklıdır. Gül gibi güzel bir kokusu vardır. Zor olmasına rağmen kullanımı kolaydır. Ovulan yüzey parlaklık katar. Kolayca çatlar.

#### 3.3.1.4.2 Pelesenk

Genellikle Brezilya. ABD, Afrika, Hindistan, Jacaranda ve Rio’da yetişmektedir. Türkiye’de yetiştirilmemektedir. Pelesenk ağacının belirli bir adı olmadığı gibi bu isim tropikal bölgelerde yetişen çeşitli ağaçlara verilen isimdir. Bulunduğu bölgelere göre ise ismi farklılık göstermektedir. Bu isimlerden bazıları şu şekildedir: “Jakaranda pelesengi, Doğu Hindistan pelesengi, Brezilya padugu, Rio pelesengi, mavi abanoz.”

20 metreye kadar büyüyen türleri, çoğunlukla geniş taçlı ağaçlardır. 25-60 cm arası çap yapar. Koyu gri veya gri renkler de düz bir cilde sahiptir. Grup yapaktır. Yapraklar uzun bir damarla kaplıdır. Eşsiz meyvelere sahiptir.

Gerçek durum yapısı: kahverengi ağaç gruplarına aittir. Renk tonu türe göre değişmekle birlikte, çoğu kahverengidir ve siyah noktalar vardır. Bu, çekirdekli bir ağaçtır. Çekirdek kahverengi veya menekşe kahverengidir ve sözde sarı sarıdır. İnce yıllık halkası ve çok yoğun bir yapısı vardır. İlk ve sonbahar dokuları arasındaki renk ve sertlik farkı şüphelidir. Esans ışınları bulanıktır. Bu damarda çok zengin damarlar verir. Kahverengi üzerine süslemeli. Aşınmış gözenekli ahşaptır.

Ağır bir ağaç türüdür; özgül ağırlığı genellikle 0,80-0,90 arasında farklılık gösterebilmektedir. Çok çalışır ve bu nedenle de kuvvetli kurutma yapılmadan kullanılamaz. Her türlü hava koşulunda yüksek dayanıklılığa sahiptir. Mekanik direnci yüksektir. İşlendiğinde hoş bir koku verir. Yaralandığında, ona giden yollar solunum sistemini tahriş eder. Çok sert bir yapısı vardır. Zor yarılma, kırılma ve kırılma malzeme işlemede zorluklar yaratır. Kaplamaları kırılma olduğu için hızla parçalanabilirler.

### **3.3.2 Ses Tablasında Kullanılan Ağaçlar**

#### **3.3.2.1 Ladin**

Genellikle daha yüksek rakımlarda yetiştiği için halk arasında “Doruk” adı ile de bilinmektedir. Kuzey ve Orta Avrupa’nın dağlık bölgelerinde, Orta Sibirya, ABD, Çin ve Japonya’da bulunur. Türkiye’de ise genellikle, dağlık kıyı bölgelerinde bir ormanın içinde yer almaktadır. Nemli ortamlarda çok çabuk büyür. Çok fazla güneşe gereksinim duymamaktadır. Ladin ağacının yaygın türleri şu şekildedir: Şark Ladini, Avrupa Ladini, Mavi Ladin, Barı Ladini. Ayrıca Ladin ağacı 40-50 metre kadar uzayabilen bir ağaç türüdür. Gövdesinin çağı genellikle 2 metreyi bulmaktadır. Başta çok yavaş büyürken sonrasında büyümesi hızlanır. Yaprakları iğneli yapıda ve dış aylarında yapraklarını dökmemektedir.

Sarı grup ağaçlara girer. Renk kamış sarı veya pembe-beyazdır. Olgun odunsu bir ağaçtır. Çap, eşdeğer bir enine kesit görünümü verir. Yıllık halkalar tüm bölümlerde tanımlanmıştır. Halkalar arasında hafif bir sertlik farkı vardır. Esans ışınları bulanıktır. Parlak bir yüzey verir. İlk bahar ağacı, sarı-kahverengi veya sarı-pembe düşme halkası çizgilerini gösterir. Gözeneksiz bir ağaçtır. Küçük ve az sayıda reçine kanalı vardır. Bu kanallar nokta kesit çapına sahiptir ve değerleri itibariyle şeritli bir görünüme sahiptir. Ayrıca ağırlık olarak hafif bir ağaç türüdür. Özgül ağırlığı 0,40-0,50 arasında farklılık göstermektedir. Nemli ortamlarda çok çalışır ve çatlamaktadır.

Mekanik açıdan her anlamda orta düzeydedir. Nem ve böceklere karşılık dayanıklılığı azdır. Kokusu reçineye benzemektedir. Çok yumuşak yapıda bir ağaç türüdür. Yıl halkaları arasında sertlik farklılığı azdır. Ayrıca işlenmesi kolaydır.

### **3.3.2.2 Köknar**

Ülkemizde genellikle Balıkesir, Edremit ve Denizli civarlarında Andız adı ile bilinen köknar, Toros dağlarında Beyaz Can adı ile bilinmektedir. Özellikle verimli topraklar üzerinde yetişmektedir. Nemli ve serin bölgelerin kayalık halde bulunmayan kısımları, köknar ağacının yetişmesi için oldukça elverişli bölgelerdir. Avrupa'nın güney kesimlerinde, Yunanistan, İspanya, Amerika'nın California bölgesinde sık rastlanan bir ağaç türüdür.

Köknar ağacının başlıca türleri şu şekildedir: Doğu Karadeniz Köknarı, Batı Karadeniz Köknarı, Toros köknarı, Avrupa Köknarı, Kokulu Köknar, Kefalonya Köknarı, İspanya Köknarıdır.

Köknar ağacı genellikle 50 metre civarında boy ve 100-120 cm civarında çapa sahip olabilmektedir. Gövdesi koniktir. Ormanlar içerisinde açık boz kabuk rengiyle diğer iğne yapraklı ağaçlar arasından ayrılmaktadır. Kabukları düz halde ve açık boz renge sahiptir. Yaprakları iğnelidir ve genellikle de yapraklarının altında iki adet çizgi yer almaktadır. Yeşil iğne yapraklarının uç kısımları ise çatallı haldedir. Köknar ağacının meyvesi genellikle yukarıya bakan kozalaklardır.

Kökнар ağacı sarı renk ağaç grubu içerisinde yer almaktadır. Sarı beyaz ya da açık kirli sarı renge sahiptir. Odunları ise olgun şekildedir. Yeni kesilmiş hali ile çap kesitinde göbek odununa benzeyen bir durum görüldüğünde ağaç kurduğunda bu farklılık ortadan kalkmaktadır. Ağacın yıl halkaları keskin sınırlar ile birbirinden ayrılmıştır. Sonbahar halkası kahverengi ya da mora çalan bir kahvedir. Ayrıca ilkbahar halkası ise açık sarı renktedir. Ağacın öz ışınları oldukça küçük olmasından dolayı çıplak gözle görülmez.

Diğer yandan hafif bir ağaç olan köknarın özgül ağırlığı 0,40'tır. Farklı hava koşullarına göre şekil değiştirmesi azdır. Dayanıklılığı da az olan bu ağacın nemli ortamlarda dayanıklılığı daha da azalmaktadır.

### **3.3.2.3 Kanada sediri**

Kanada Sediri iğne yapraklı ağaçlar grubuna mensup bir ağaç türüdür. Genellikle de Ud, lavta, klasik ve Flamenko gitar ve bağlama gibi çalgıların tablasında kullanılmak için tercih edilen yumuşak bir yapıya sahip olan ağaçtır. Ladin kadar sert ve elastik değildir. Ancak ladinden daha sağlam ve sorunsuzdur. Kolay çalışmaz ve şeklini bozamaz. İçeriğindeki reçine miktarının az olması dolayısıyla zaman içerisinde sağlam bir iyileşme görülmesi oldukça nadir bir durumdur. Kanada sediri değişen hava koşullarından oldukça az şekilde etkilenmektedir. Sıcak renklidir, tane yapar ve net bir sese sahiptir. Kırmızımsı kahverengiden çikolataya kadar değişen renkleri bulunmaktadır. Renk çeşitlerine göre sınıflandırılır. Kanada sediri kaplı bir enstrümana sahip olduğunuzda, ilk başta duyduğunuz ses muhtemelen yıllarca aynı kalacaktır ve değişimi oldukça az olacaktır. Tonalitesine baktığımızda taze, melankolik ve karmaşık bir sesi bulunmaktadır. Güçlü ve karmaşık tonlarda üretim yapmaktadır. Kokusu oldukça hoş olan bu ağacın genellikle yetişti bölgeler Kanada ve Amerika Birleşik Devletleridir. Kanada sedirinin özgül ağırlığı 0,35dir.

## 4. AKUSTİK YAPI MALZEMESİ OLARAK HONEY COMB

### 4.1 HONEY COMB

Bu başlık altında kompozit malzemeler, kompozit sandviç yapılar, yapıştırma işlemi, karbon nanotüpler, honey comb yapılar ele alınmıştır.

#### 4.1.1 Kompozit Malzemeler

Geçmişte ahşap, demir ve toprak gibi temel malzemeler insanların ihtiyaçlarını karşılayabiliyordu ancak günümüzde nüfusun artması ve teknolojinin gelişmesiyle birlikte kullanıcıların ve üreticilerin gereksinimleri ve malzemelere yönelik beklentiler değişmiştir.

Günümüzde tasarımda hafiflik, enerji emilimi, ses yalıtımı, ısı yalıtımı, maliyet, ağırlık-mukavemet oranı gibi pek çok faktör dikkate alınmaktadır. İnsanlar tek bir malzeme kullanmak yerine onları karıştırarak mevcut malzemelerden farklı malzemeler elde etmeye çalıştılar. Bu durum ise kompozit malzemelerin ortaya çıkmasına neden olmuştur.

Kompozit malzemeler genel olarak farklı şekillerde en az iki veya daha fazla bileşenden ve / veya birbiri içinde çözünmeyen kimyasal bileşenlerden oluşabilen malzemeler olarak tanımlanır. Metalürjik olarak ise birden fazla faz oluşturan bir malzeme olarak tanımlanabilir.

Kompozit malzemeler için ilk kullanım alanları, doğal olarak oluşan malzemelerle etkileşim halindedir. Eski zamanlardan beri insanlar, kırılğan malzemelere hayvansal veya bitkisel lifler ekleyerek bu kırılğanlığı ortadan kaldırmaya çalıştılar. Örneğin; Hammadde üretiminde çamura saman, dal ve sarmaşık sapı gibi liflerin eklenmesi, malzemelerin üretim ve kullanımındaki mukavemeti artırmaktadır (Yiğit 2010).

Kompozit malzeme üretiminde;

- a) Sıkıştırma, darbe, eğilme, çekme dayanımı,

- b) Akustik iletkenlik,
- c) Ses emilimi,
- d) Yorulma mukavemeti,
- e) Aşınma direnci,
- f) Korozyon direnci,
- g) kırılma tokluğu,
- h) Yüksek sıcaklıklara dayanıklı,
- i) Isıl direnç veya ısı iletkenlik,
- j) Elektrik direnci veya elektriksel iletkenlik,
- k) Kilo,
- l) Sertlik,
- m) Estetik gibi özelliklerden her birinin ya da birden fazla özelliğinin geliştirilmesi hedeflenmektedir (Yiğit 2010).

Kompozit malzemeleri kullanmaya karar vermeden önce aşağıdaki avantaj ve dezavantajları bilmeniz ve uygun seçimi yapmanız gerekmektedir:

- a) Titreşimi emme özelliğine sahiptirler.
- b) Çok yüksek akma noktasına sahiptirler.
- c) Aşındırıcı etkilere izin vermezler.
- d) Kırılmaya bağlı uzama, metalik malzemelerinkinden daha yüksektir.
- e) Yorulma mukavemeti mevcut malzemelerinkinden daha yüksektir.
- f) Çatlak yayılma hızı azalmıştır.
- g) Kalıcı boyama mümkündür.
- h) Termal direnç sağlanabilir.
- i) Kilo tasarrufu sağlar,

Dezavantajları:

- a) Pişirmeden (kaynatmadan) kullanılamazlar. Bazı atış teknikleri zaman alıcıdır.
- b) Kompozit malzemeler, yük tipine bağlı olarak farklı mekanik özelliklere sahiptir. Aynı kompozit malzemeler için kesme, sıkıştırma, eğilme, çekme ve sıyırılma

mukavemeti değerleri farklıdır. Elyaf yönündeki esneklik modülü, elyafa dik olan elastisite modülünden daha büyüktür.

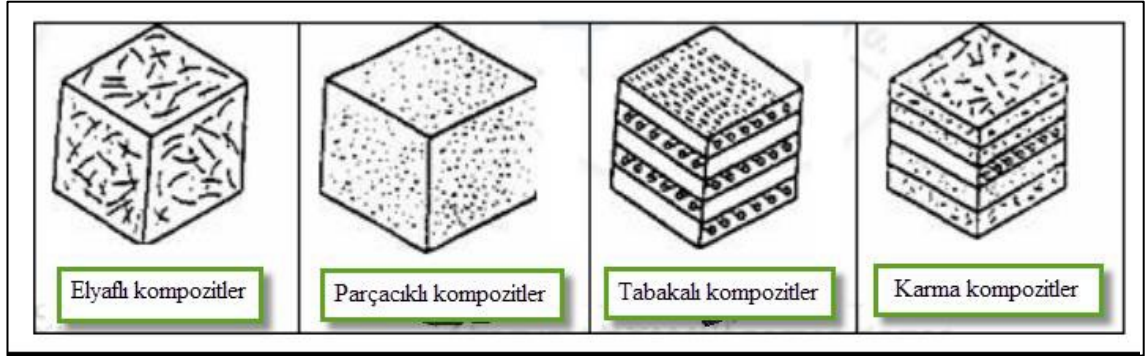
- c) Üretim yöntemleri pahalıdır ve zaman alıcıdır.
- d) Kompozitlerde imalat sırasında yapıda kalan hava partikülleri malzemenin yorulma özelliklerini azaltır.
- e) Kompozit yapının kalitesi üretim teknolojisine bağlıdır, standart bir kalite yoktur.
- f) Malzemelerin sınırlı bir raf ömrü vardır. Bazı kompozitler soğutma ile saklanır.
- g) Onarım için kompozit malzemeler temiz ve kuru olmalıdır. Bu çok iyi bir beceri ve dikkat gerektirir.
- h) Delme ve kesme sırasında elyafın ayrılmasına neden olur.
- i) Hava kabarcıkları ve nem, kompozit yapıların direnç özelliklerini düşürmektedir (Arıcasoy 2006).

Kompozit malzemeler bahsi geçen özellikleri ile havacılık, uzay, otomotiv, roket sanayi, Savunma sanayi, deniz ve demiryolları araçları, sağlık, spor, inşaat, enerji ve ev dekorasyonu olmak üzere birçok alanda kullanım alanına sahiptir.

#### Şekil 4.1: Kompozit malzemelerin kullanım alanları



## Şekil 4.2: Kompozit malzemelerin sınıflandırılması



Kaynak: Bolat 2011.

**Tablo 4.1: Kompozit yapısı**

Matris Malzemeler	Takviye Elemanları	Kompozit Yapının Şekli
Polimerler	Lifler	Tabakalar
Metaller	Granül	Kaplamalar
Seramikler	Whiskers	Film-Folyo
	Pudra	Bal
	Yonga	Filaman Sarılmış Yapılar

Kaynak: Kaya 2009.

### 4.1.2 Kompozit Sandviç Yapılar

Genellikle iki sert yüzey arasında yer alan hafif çekirdekli yapı malzemelerin yüzey kısımlarına yapıştırıcı ile birleştirilerek oluşturulan sandviç yapılar, petek ve köpük olmak üzere iki farklı çekirdek yapıdadır. Sandviç kompozitlerin içinde yer alan malzeme ve özellikleri de çok geniş bir alanda kullanıma sahiptirler.

Bu yapıların ilk kullanımları II. Dünya Savaşı sırasında havacılık uygulamalarında. “Havilland Mosquito” isimli ilk askeri uçağın gövde ve kanatları için balsa ağacından yapılmıştır (Aktay ve ark. 2008).

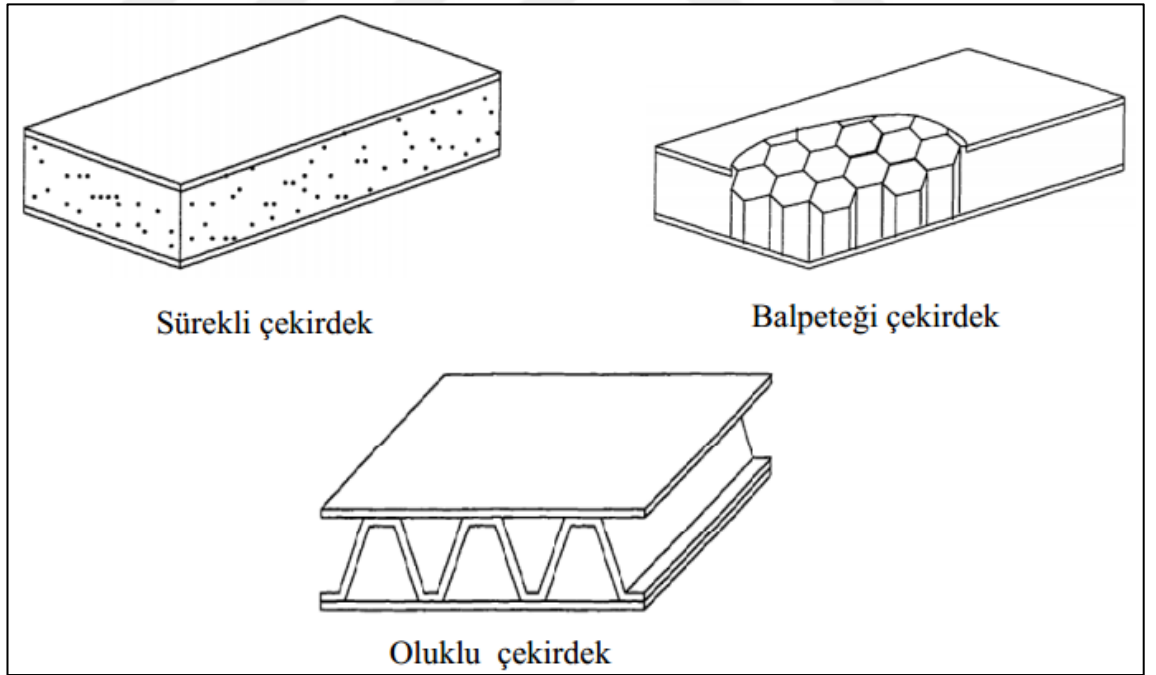
Geçmişten bugüne kadar uzay, inşaat, astronomi, havacılık, denizcilik, spor malzemeleri, raylı sistemler, mobilya gibi alanlarda kompozit sandviç yapılara olan ilgi artmış ve giderek artan bir ilgi ile kullanılmaya devam etmektedir. Bu alanlarda kullanılmak üzere mekanik özelliklerin belirlenmesi ve bu mekanik özellikler için gerekli koşulların yerine getirilmesi için çok sayıda çalışma (deneysel ve sayısal analiz) yapılmaktadır.

Bu yapılarda alt üst katman ince ancak dayanıklı bir yapıda bulunurken, çekirdek malzemenin mukavemet değeri düşük ve hafif durumdadır. Dolayısıyla meydana getirilen yeni yapı daha dayanıklı ve hafif şekildedir.

Diğer yandan bu yapıların en önemli özellikleri eğme rijitliğidir. Çekirdek malzemelerde kayma gerilmelerine karşı olarak dirençli bu yapıya sahipken, yüzeylerin arasında bulunan mesafede korunur, yeni malzemenin rijitliğini artırır ve yüzeylerini sürekli olarak destekleyen bir yapıda bulunur. Bu durumla beraber yapı, yüksek eğme rijitliği ve burulmaya sahip olmaktadır (Başdemir ve Elibol 2012).

Çok katmanlı yapıların üretiminde çelik, bakır, alüminyum, fiberglas, özel plastik vb. malzemeler kullanılmaktadır. Ana malzeme olarak kâğıt, alüminyum, köpük, balsa, ahşap vb. malzemeler kullanılmaktadır. Aşağıda yer verilen şekilde farklı sandviç yapılar gösterilmektedir.

**Şekil 4.3: Farklı çekirdek yapısına sahip sandviç yapılar**



*Kaynak: Bolat 2011.*

### 4.1.3 Yapıştırma İşlemleri

Sandviç yapıların yapıştırıcı ile birleştirilme işlemi yöntemi çok sayıda endüstri uygulamasında kullanılan bir yöntemdir (Akkus ve ark. 2014).

Mevcut birleştirme yöntemlerine kıyasla bu işlemin kullanım kolaylığı, düşük maliyet ve kullanım kolaylığı nedeniyle kompozit yapıları birleştirirken birleştirme işlemlerinin kullanımını artmıştır. Kimyanın gelişmesi nedeniyle hafifliğin, sağlamlığın ve güvenilirliğin önemli olduğu hava taşımacılığında yapışkan bağlantılar giderek daha fazla ele alınmaktadır. Yapıştırma işlemleri aynı zamanda kompozit malzemelerdeki hasarı onarmak için de kullanılır çünkü bunlar stres konsantrasyonlarını ortadan kaldırırlar, aşındırıcı değildirler ve uzun ömürlüdürler (Turan ve Kaman 2010).

Sandviç yapılarda yapıştırma yönteminin avantajları ve dezavantajları şu şekildedir (İşcan ve ark. 2009);

Avantajları:

- a) Gerilmelerin dağılımı tek tiptir,
- b) Daha fazla kaldırma kapasitesi sağlar,
- c) İnce ve kalın malzemeleri birleştirmeyi sağlar,
- d) Aynı veya farklı malzemeleri birleştirmeyi sağlar,
- e) Tekrarlayan yükleme ve yorulma direnci,
- f) Düzgün yüzey ile yavaşma imkânı sağlar,
- g) Dış ortamdan izolasyon sağlar,
- h) Çok sayıda teknoloji alanında kolay kullanım sağlar,
- i) Elektrik ve ısı iletkenliğine karşı dayanıklıdır,
- j) Dış etkenlerden gelecek olan darbe ve meydana gelen titreşimi engeller,
- k) Dayanıklılık ve ağırlık oranı yüksektir,
- l) Diğer yöntemlere göre kolay ve düşük maliyetlidir,
- m) Sık geçme bağlantılarında dayanıklılık sağlamaktadır,
- n) Yumuşak ve sert şekildeki iki ayrı parçanın hasar almadan birleşmesini sağlar,
- o) Sızdırmaz özelliği bulunur,

- p) Mevcut birleştirme yöntemlerine göre hafiftir,
- q) Kaynak, cıvata ve perçinle birleşmesinde oluşan yüzeysel hasarlarının yapıştırıcıyla birleşmesini sağlar,
- r) Yapışma alanında meydana gelen gerilme dağılımının düzgün şekilde olmasını sağlar,
- s) Talaşlı üretim maliyetinin azalmasını ve kaliteli bir ürün meydana getirilmesini sağlamaktadır.

Dezavantajları:

- a) Yüzeylerin hazırlama ve temizliğine gerek duyulur,
- b) Yapıştırıcının mekanik niteliklerinin sıcaklık ve zamana göre değişim göstermesi,
- c) Soyma ve darbelere karşı dayanıklılığı düşüktür,
- d) Yapıştırıcının özellikleri ile verilerde eksikliklerin olması,
- e) Yapıştırma bağlantısının az ömürlü olması ve çalışma ortamlarından etkilenmesi,
- f) Metal yapıştırıcıların belirli bir geçiş sıcaklığının bulunmasıdır. Bu sıcaklık değerleri haricinde dayanıklılıkta azalma gerçekleşmektedir.

Bunların yanı sıra özel uygulamalar için de birçok türde yapıştırıcı bulunur. Bunlar, viskozite, kullanım, sertleşme hızı, sıcaklık aralığı, renk ve hedefte bulunan dayanıklılık bakımından birbirlerinden farklılık göstermektedir.

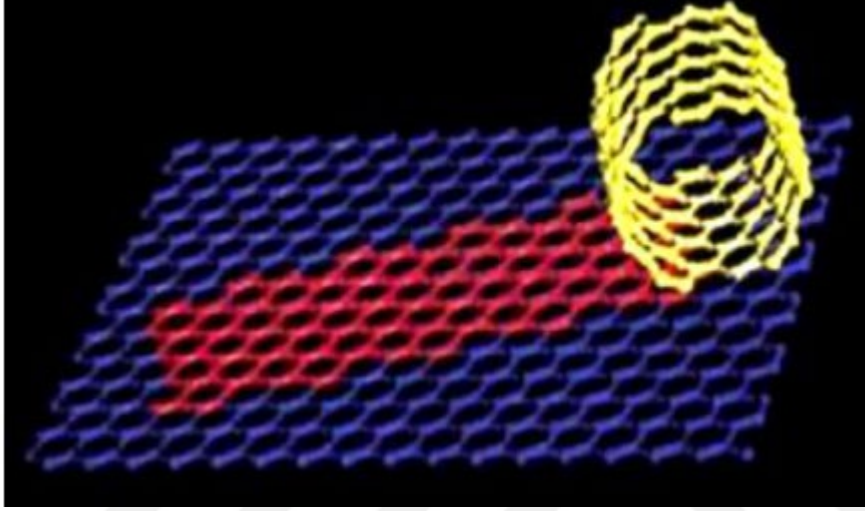
#### 4.1.4 Karbon Nanotüpler

Karbon nanotüplerin yapıları, yukarıdaki şekilde belirtildiği üzere tüp şekline gelecek biçimde yuvarlak bir grafen levha şeklinde olabilmektedir. Grafit C-C  $sp^2$  bağları bulunur. Burada bahsi geçen bağlar, elmas maddesinde de bulunan C-C  $sp^3$  bağlardan daha güçlü bir yapıdadır. Çünkü bu bağların boyları kısadır. Ancak grafit tabakalar arasında diğerlerine göre daha çok zayıf olan Van Der Wals bağları, grafit tabakaların birbirleri üzerinden kolayca kaymasını sağlar.

Bu bağlamda literatüre bakıldığında cidar sayılarına göre üç çeşit karbon nanotüp olduğu görülmektedir. Tek cidarlı karbon nanotüpler, iki ve çok cidarlıdır. Tek cidarlı karbon nanotüpler, çok cidarlılara göre daha dayanıklı yapıdadır. Yalnızca bir grafit tabakasının

yuvarlak hale getirilmesi ile meydana getirilmektedirler. Çok cidarlılar ise iç içe geçmiş durumda eş merkezli tüplerdir ve bu tüplerin birbirleri içerisinde kayma ihtimalleri dayanıklılığı düşürmektedir (Eskizeybek 2012). Ancak, tutunma yüzeylerini de artırmaktadır.

**Şekil 4.4: Grafit tabakanın yuvarlanması sonucu meydana gelen tek cidarlı karbon nanotüp yapısı**



*Kaynak:* Eskizeybek 2012.

Karbon nanotüpler, dayanıklı, yüksek termal iletkenlik ve elektriksel iletkenlik yapıdadırlar. Boy ve çap oranları büyüktür. Karbon nanotüplerin özellikleri çap, boy, yönelme, yüzey özellikleri ile bağlantılıdır (Eskizeybek 2012).

**Tablo 4.2: Karbon nanotüplerin önemli özellikleri**

Özellikler	Karbon nanotüpler	Yorumlar
Elastisite modülü	270 GPa-1 Tpa	En güçlü çelikten 10-100 kat daha fazladır.
Çekme dayanımı	11-63 Gpa	Yüksek dayanımlı çelikten 150-900 kat daha fazladır.
Termal iletkenlik	2000 W/(mK)	Elmasta iki kat fazladır.
Maksimum akım yoğunluğu	10 A/m <sup>2</sup>	Bakır tellerden 1000 kat daha fazladır.
Boy/çap oranı	2000	

*Kaynak:* Eskizeybek, 2012

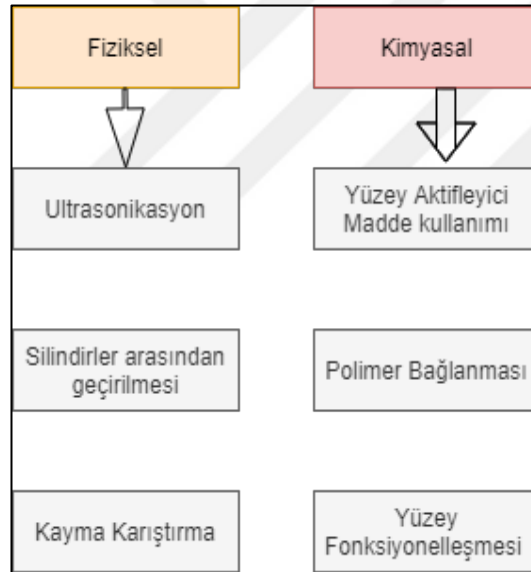
Karbon nanotüplerin üretiminde en çok kullanılan yöntemler şu şekildedir:

- a) “Ark-deşarj yöntemi”
- b) “Lazer buharlaştırma yöntemi
- c) “Kimyasal buhar yoğunlaştırma (CVD) yöntemi”

Sıralanan yöntemlerin çoğu vakum altında ya da birtakım gaz ortamlarında kullanılmaktadır. İlk büyük miktarda karbon nanotüplerin üretimi, ark deşarj yöntemiyle yapılmıştır. Ayrıca günümüzde hala daha karbon nanotüplerin üretiminde kullanılan birincil yöntemdir (Eskizybek 2012).

Karbon nanotüplerin polimer matrisi içerisinde dağıtımını esnasında ele alınan diğer fiziksel ve kimyasal teknikler ise aşağıda yer alan şekilde gösterilmektedir.

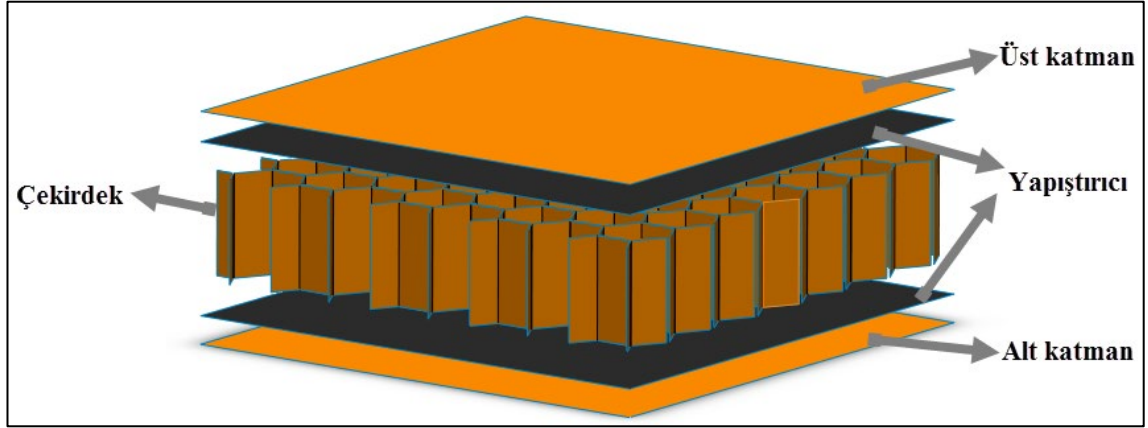
**Şekil 4.5: Karbon nanotüp yapılarının polimer matrisi içerisinde dağıtılmasında kullanılan yöntemler**



#### 4.1.5 Honey Comb Yapılar

Alt ve üst katmanlar arasındaki taban yapısının bir yapıştırıcı ile bağlanmasıyla bal peteği yapıları oluşturulmaktadır. Bal peteği yapısını meydana getiren kısımlar aşağıda yer alan şekilde gösterilmektedir.

**Şekil 4.6: Bal peteği yapının kısımları**



Malzemenin kullanılacağı koşullar ve ortam, kullanılacak malzemenin özelliklerini belirleyen kriterlerdir. Bu kriterler arasında; yorgunluk, sünme, sıcaklık, ortam, korozyon, sertlik, güç, hafiflik, insan hatası ve maliyet yer almaktadır. Ancak uçakta ağırlık en önemli konu olduğu için bal peteği yapılar gibi hafif yapılara ihtiyaç duyulmaktadır (Pehlivanoğlu 2005).

Bu yapıların ağırlık/mukavemet oranlarının önemli olduğu durumlarda kullanılmaktadır. Diğer yandan çarpışmalarda enerjinin absorbe edilmesinde de kullanılmaktadır. Bu duruma örnek olarak yüksek hızlı trenlerin önlerinde ve otomobillerin de şaselerinde kullanılmakta olan bal peteği yapıların olası kazalarda gelecek olan darbeleri absorbe ederek yaşam hücresinin oluşmasını sağlarlar ve araçların içerisindeki kişilerin hayatlarının korunmasını sağlayarak yaralanmaların en aza indirilmesini sağlamaktadır.

Eksenleri ve açıklıkları her zaman yatay olarak hizalanır. Altıgen çekirdek tasarımı, en küçük yüzey alanında en geniş kapsama alanı sağlar. Diğer bir deyişle, yüzeyin malzemelerle temas halinde olduğu yerlerde levhalarla temas yüzeyleri küçük olmasına rağmen kapladığı alan geniştir. Bu bağlamda ise altıgen yapı ile az malzeme kullanımı sağlanarak hedeflenen kafes yapısı elde edilmektedir (Yiğit 2010).

#### **4.1.5.1 Alt üst katman**

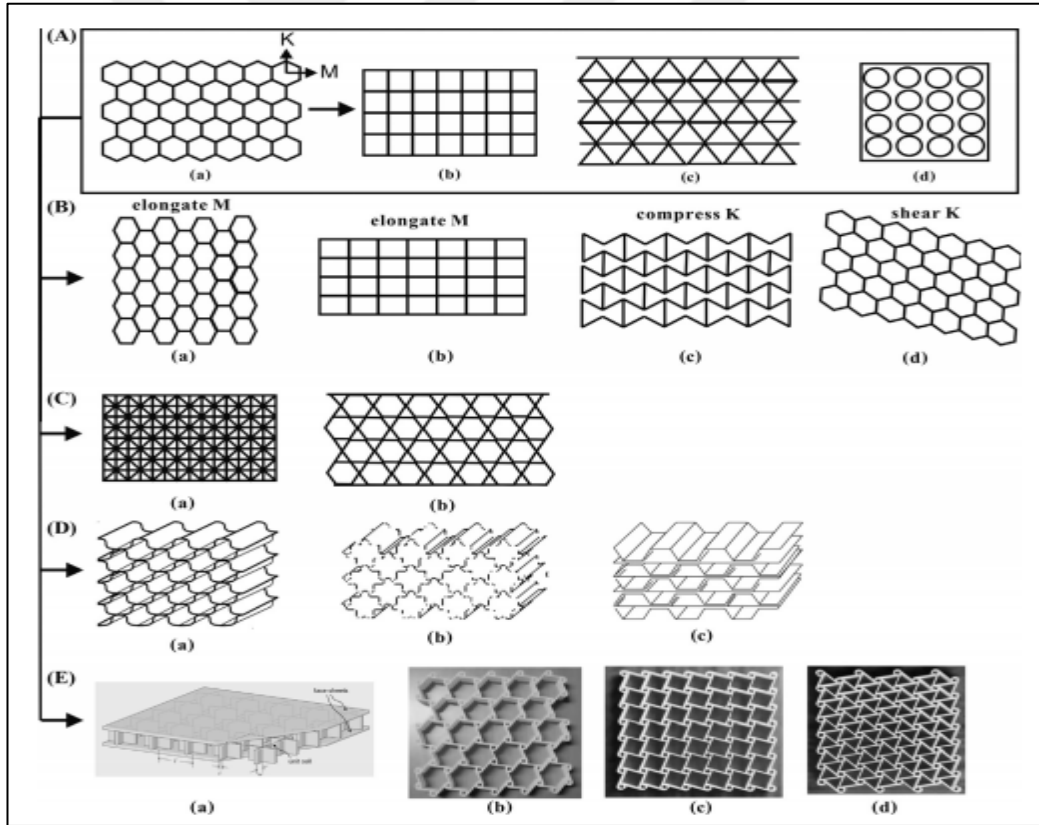
Alt ve üst katmanların asıl görevi eğilme ve kesilmeye karşı direnç sağlamaktır. Alt ve üst tabaka alüminyum çelik, paslanmaz çelik, karbon / epoksi, fiberglas / epoksi, aramid

/ epoksi, kontrplak, kâğıt gibi yapılardan oluşmaktadır. Tipik olarak araştırma, alt ve üst katmanları kullanır. Farklı yüzeylerinde ise farklı genişleme katsayılarına sahip olacağından, yapılarında yüzeylerinde bozulmalara neden olmaktadır.

#### 4.1.5.2 Çekirdek

Genellikle günümüzde çok çeşitli çekirdek yapıları ele alınmaktadır. Bal peteği yapılarda temel mekanik davranışları karşılayan kısım çekirdektir. Bu yapılardaki çekirdekler çeşitli yapılarda içi boş, dolu, farklı malzemelerden farklı birleştirme teknikleri ile beraber oluşturulmaktadır. Aşağıda yer verilen şekilde farklı çekirdek yapıları gösterilmektedir.

Şekil 4.7: Farklı çekirdek yapıları

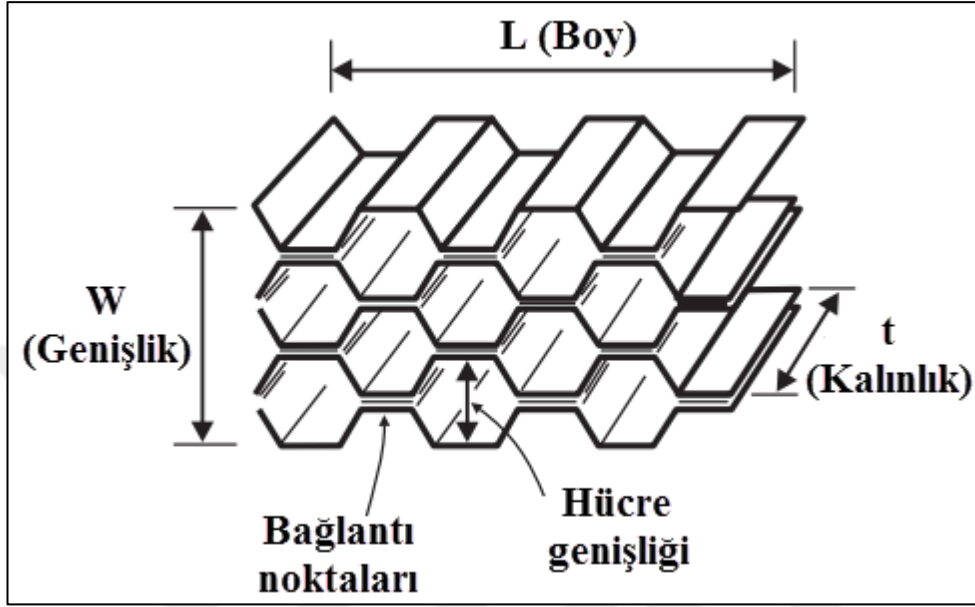


Kaynak: Zhang ve ark. 2014

Bal peteği yapılarda çekirdek genelde altıgen şeklinde üretilmektedir. Bağlantı noktalarına yapıştırıcı aracılığı ile çekirdeği meydana getiren parçalar birbirlerine bağlantı sağlamaktadır. Bal peteği sandviç yapıların kullanılması genellikle çekirdek

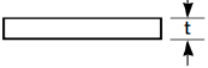

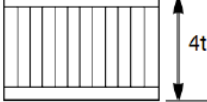
malzemelerin alt üst yüzeylerine yapıştırılması ile yaygın bir kullanım alanına sahip olmuştur.

**Şekil 4.8: Çekirdek yapı**



Bu yapıların eğme rijitli, dayanıklılık ve ağırlıklarında meydana gelen değişimler aşağıda yer verilen çizelge üzerinden detaylı olarak görülmektedir. Alt ve üst tabakalar sabit şekilde olup çekirdek yükseklikleri arttığında eğme rijitliği ve dayanıklılıkta da artış meydana gelmektedir. Ağırlıkların artması da çok az değişimin tasarım esnasında hafiflik avantajı sağlaması dolayısıyla önemli bir olgudur.

**Tablo 4.3: Bal peteği yapıların avantajları**

	Katı malzeme 	Çekirdek kalınlığı t 	Çekirdek kalınlığı 3t 
Eğme rijitliği	100	700 (7 kat daha rijit)	3700 (37 kat daha rijit)
Basma mukavemeti	100	350 (3,5 kat daha dayanıklı)	925 (9,25 kat daha dayanıklı)
Ağırlık	100	103 (%3 ağırlık artışı)	106 (%6 ağırlık artışı)

Kaynak: Hexcel 1999.

Çekirdek yapıdaki birim alana düşen hücre sayısı, bağlantı kalınlığında artış meydana geldikçe çekirdek yapısında da eğme, basma, soyma, darbe ve kesme kuvvetlerine karşılık dayanıklılık artış gösterecektir. Çekirdek yapıların kesme gerilmelerine olan davranışları ise zayıf durumdadır. Kemse gerilmesine dayanıklılık hücre sayısı ve alt üst katmanlar değişim geçirerek artış meydana getirilmektedir.

#### 4.1.5.3 Yapıştırma

Bu yapıların birleştirilme aşaması genel olarak; “nitril fenolik, vinil fenolik, epoksi, üretan, poliimid ve polyamid” ile gerçekleştirilmektedir. Ancak en genel kullanımı ise epoksilerdir. Bu kullanımın avantaj ve dezavantajları ise şu şekildedir:

Avantajlar:

- a) Kopmaya karşı dayanıklılığı yüksektir.
- b) Elyaf yapılar ile yüksek bağ dayanıklılığı sağlamaktadır.
- c) Aşınmaya karşı dirençlidir.
- d) Madde uçucu olmamasının yanı sıra kimyasal yapısında bozulma gerçekleşmez.
- e) Çevre koşullarının kötü olmasına karşılık dirençlidir.
- f) Yüksek ve düşük çalışma sıcaklıklarında sertleşebilmektedir.
- g) Sertleşme esnasında kendisini çekme sorunu yaşanmaz.

Dezavantajlar:

- a) Polyester ile kıyaslandığında sertleşmesi de ön plana alınarak maliyeti daha yüksektir.
- b) Polyestere göre daha yüksek viskoziteye sahiptir.

Epoksi reçinelerin kullanım amaçları genellikle şu şekildedir (Taşyürek, 2014):

- a) Genel yapıştırıcılarıdır.
- b) Sert Köpüklere sahiplerdir.
- c) Koruyucu ve süs kaplamalıdır
- d) Kaymaz kapmalar, konserve ve fiçi kaplamaları,

- e) Petrol Sondaj kumlu yüzeyleri katılaştırabilme
- f) Endüstriyel Kaplamalar,
- g) Çimento ve harçlarda bağlayıcılık
- h) Fiber eklere sahip plastikler

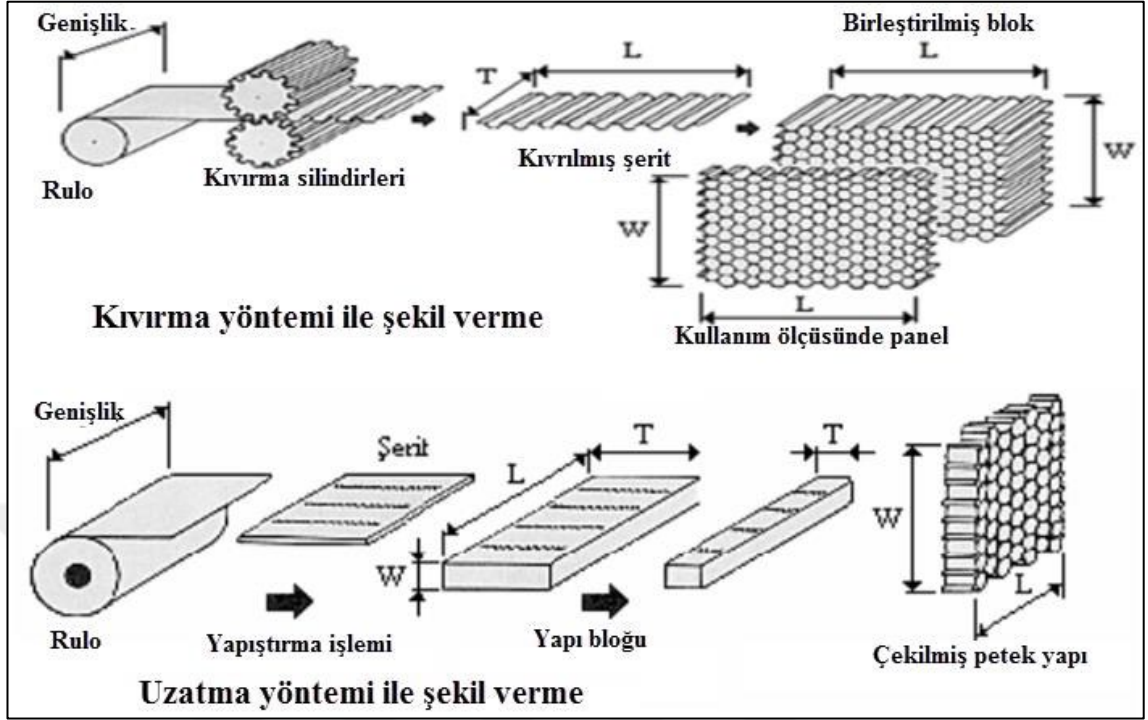
Bal peteği yapılarda çekirdek, yüzeylerdeki tabakalar arasında yer alan yapıştırıcı, her iki unsuru kuvvetli şekilde birbirine bağlar ve tüm olarak hareket etmesine olanak sağlar. Sonuç olarak ise yüksek burulma ve eğme dayanımının elde edilmesini sağlamaktadır.

Peteklerin birleştirilmesi esnasında kullanılan yapıştırıcıların seçilmesi, sertleşme hızı, viskozite, renk, sıcaklık aralığı ve amaçlanan dayanıklılık değerleri tercih edilmektedir.

#### **4.2 HONEY COMB YAPILARIN ÜRETİM YÖNTEMLERİ**

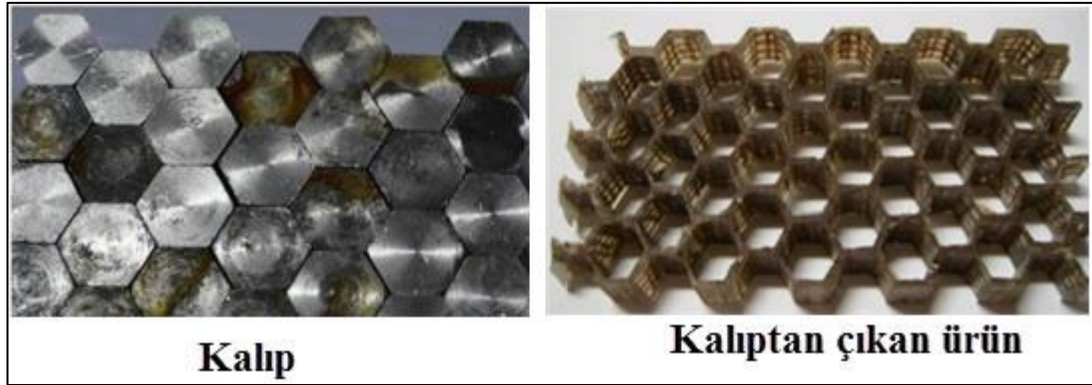
Metal petek yapılar genellikle bükülerek veya gerilerek yapılır. Kıvrırma yönteminde şerit plakalar istenilen derecede katlanır ve düğümlere yapıştırıcı uygulanarak üst üste istiflenerek oluşturulur. Esnetme yönteminde rulo şeklinde öz malzemeye tutkal sürülerek, rulo malzemenin üst üste istiflenmesi ve ardından kesilerek istenilen kalınlığa kadar gerilmesi ile oluşturulmaktadır. Üretimin sonucunda malzemedeki artı kalan yapıştırıcı ya da çapak gibi malzemeler kullanılmadan önce temizlenmesi yapılmalıdır.

Şekil 4.9: Çekirdek malzemenin üretim yöntemleri



Kaynak: Hexcel 1999.

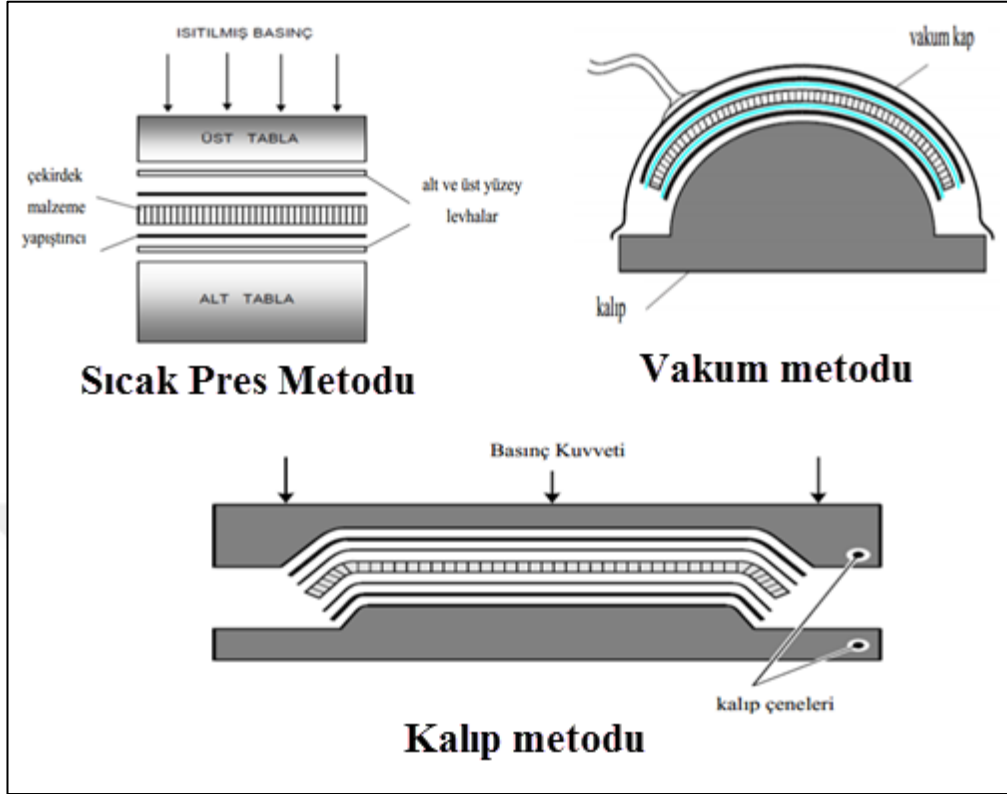
Şekil 4.10: Kalıba dökme yöntemi ile çekirdek üretimi



Kaynak: Stocchi ve ark. 2014.

Bal peteği kompozit malzemelerin üretiminde üç üretim yöntemi vardır: sıcak presleme yöntemi, vakum yöntemi ve kalıplama yöntemi.

**Şekil 4.11: Bal peteği üretim yöntemleri**



Kaynak: Hexcel 2000.

### 4.3 HONEY COMB YAPI MALZEMESİNİN UYGULAMA ALANLARI

Sandviç kompozitlere olan talep her geçen gün artmaktadır. Havacılık ve uzay endüstrisinde hafif ve dayanıklı yapıların kullanılması önemlidir. Tipik olarak, zemin kaplamaları, çamurluklar ve helikopteri, helikopter rotoru gibi parçalar çok katmanlı kompozit yapılardan oluşur. Petek yapılar bu yapılarda kullanılmasının yanı sıra enerji emilimi, radyo dalgalarından korunma, güneş panelleri ve uydu hava redresörleri için kullanılmaktadır. Ayrıca geniş uygulamalara sahiptir.

İlk uçağın arkasında, bir mantar çekirdek de dahil olmak üzere fiberglas takviyeli paneller kullanıldı. 1960'larda bal peteği tasarımları yaygınlaşmaya başladı. O yıllarda özellikle İngilizler ve daha sonra Amerikalılar tarafından grafit elyaf takviyelerinin geliştirilmesi bal peteği yapıların kullanımını hızlandırmıştır. 1970'li yıllarda bal peteği yapıların kullanımı özellikle askeri havacılıkta yaygınlaştı. F-111 uçağının yatay imparatorluğu, F-

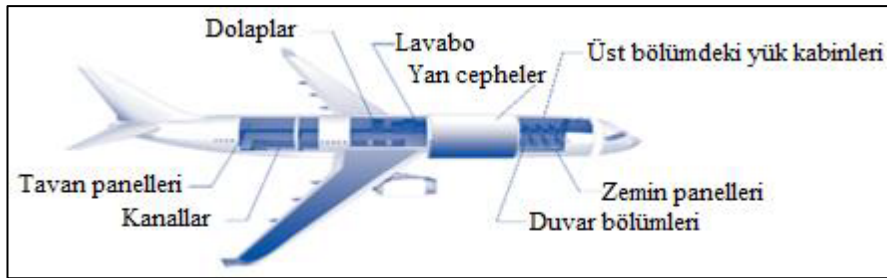
4 uçağının dikey imparatorluğu ve F-15 uçağının yatay ve dikey impenajı bal peteği yapısına sahiptir.

1970'lerin ortalarında grafit epoksi esas olarak bal peteği yapılarında kullanılmaya başlandı. Bir F-16 uçağının tüm kuyruk yüzeyleri, kanatlar ve gövdedeki diğer kontrol yüzeyleri ve bir F/A-18 uçağının kanat ve kanatları, petek yapısının örnek gösterilmektedir (Hoskin ve Baker 1986). Aşağıda yer verilen şekillerden de görüldüğü üzere bir uçağın burun, ön-arka kanat, gövde ve motor olarak ayrılmasında ele alınan malzemelerin genelinde sandviç yapıli malzemeler ele alınmıştır.

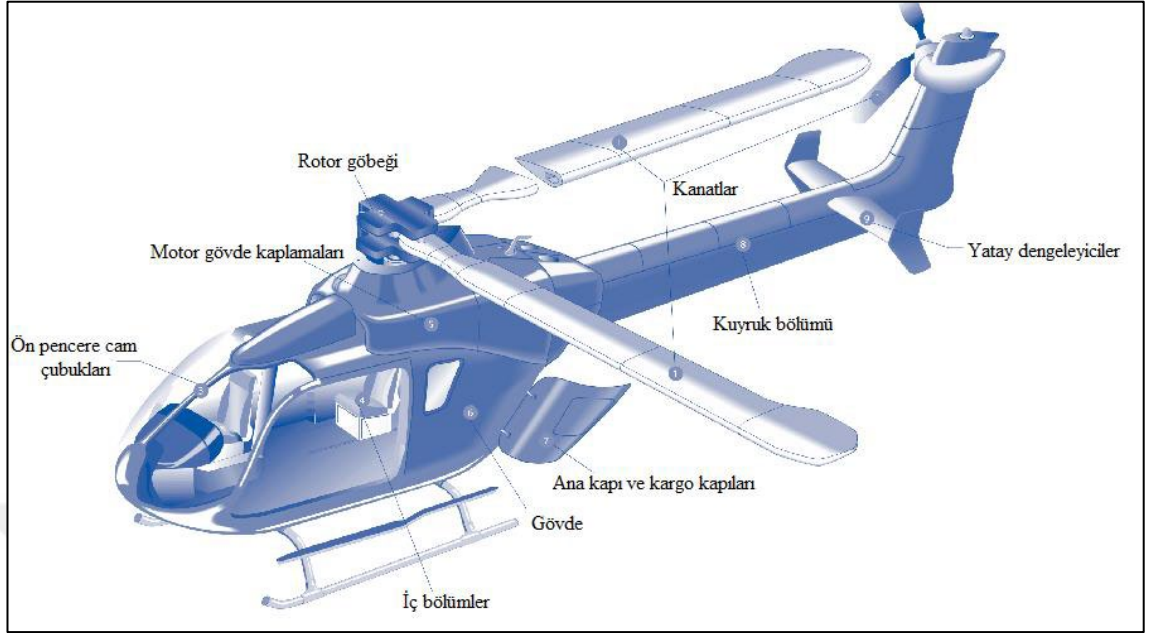
**Şekil 4.12: Yolcu uçağının dış yapısında kullanılan kompozit yapıların kullanım bölgeleri**



**Şekil 4.13: Yolcu uçağının iç yapısında kullanılan kompozit yapıların kullanım bölgeleri**

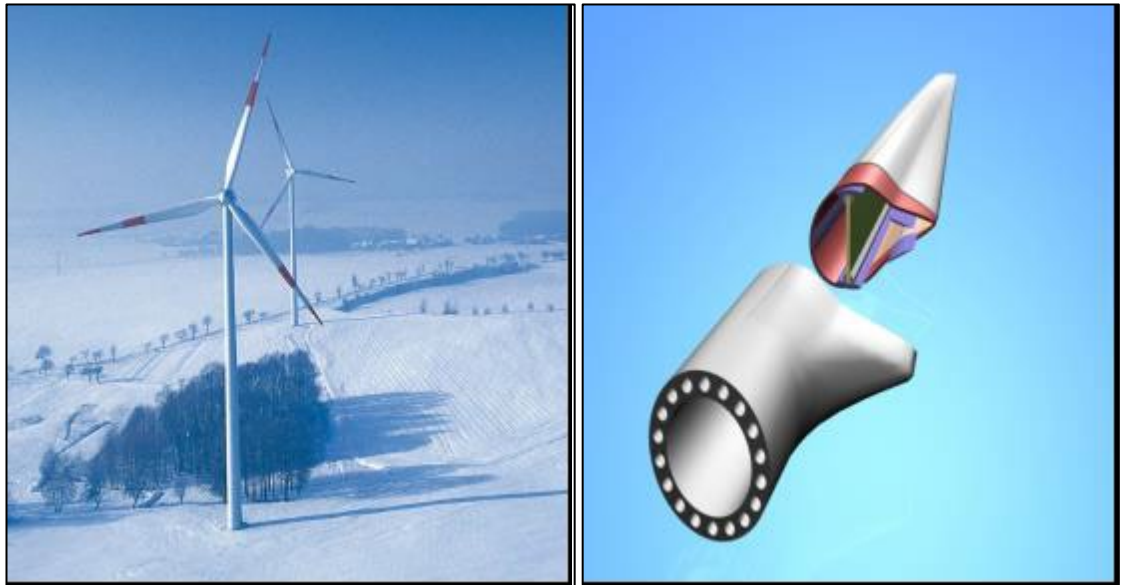


**Şekil 4.14: Bir helikopterde kullanılan kompozit yapıların kullanım bölgeleri**



Son yıllarda bal peteği yapılar, otomobillerin çatı ve üstyapısının birçok yerinde, spor ekipmanlarında, rüzgâr türbini pervanelerinde ve birçok alet ve ekipmanın imalatında yaygın olarak kullanılmaktadır.

**Şekil 4.15: Türbin kanatlarında kompozit malzeme kullanımı**



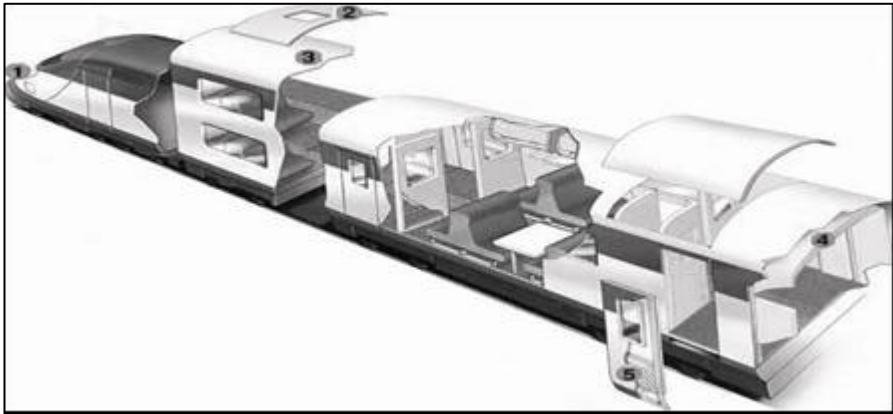
Yapı ve inşaat sektöründe ise sandviç yapıların kullanılması giderek artış göstermektedir.

**Şekil 4.16: Prefabrik yapılarda sandviç kompozit malzeme kullanımı**



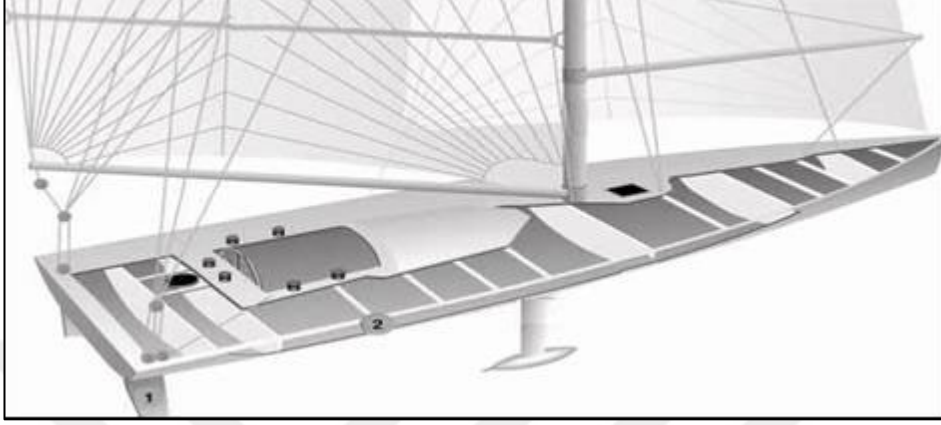
Sandviç kompozitler, maliyeti ve ağırlığı azaltmak için tren yapılarında giderek daha fazla kullanılmaktadır. Şasinin ağırlığının azaltılması enerji tasarrufu sağlar ve araçların daha hızlı olmasına katkıda bulunur. Ek olarak, trenlerdeki malzemelerin yüksek sertliği nedeniyle, şasiyi desteklemeye gerek kalmaz, bu da yolcu taşıma alanını artırır.

**Şekil 4.17: Tren vagonlarında kompozit yapı kullanılan bölgeler**

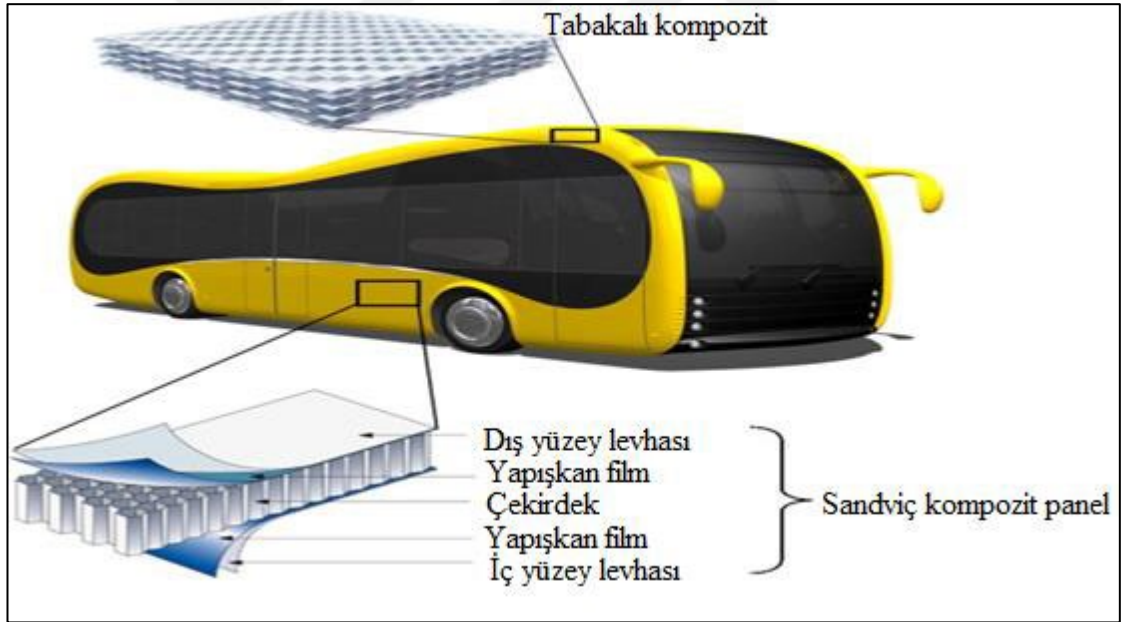


Denizcilik alanında da tekne üretimi esnasında bu yöntemlerin kullanılması, teknelerin mekanik olarak dayanıklılığının artışı sağlamaktadır.

**Şekil 4.18: Teknelerde kompozit sandviç kullanım bölgeleri**



**Şekil 4.19: Yeni nesil bir yolcu otobüsünde kompozit malzeme kullanım bölgeleri**



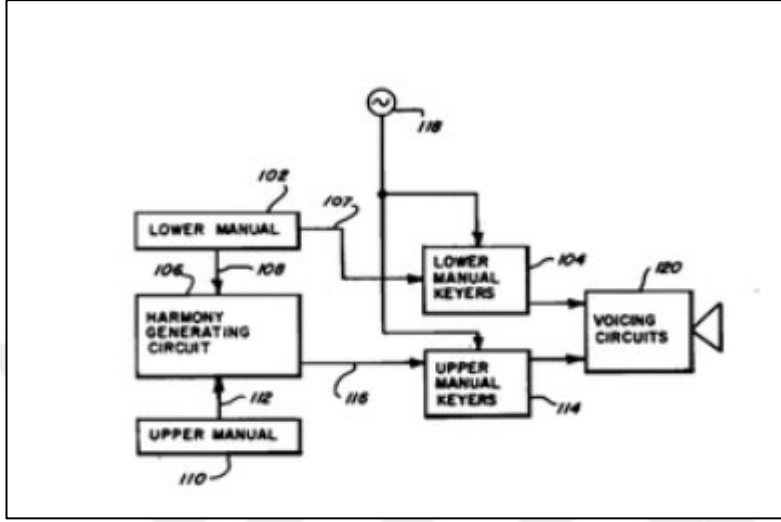
*Kaynak: Shin, 2008.*

#### **4.4 HONEY COMB'UN UYGULANDIĞI ÇALGI TÜRLERİ**

Solo notanın üzerinde yer alan armoni notaları, muhtemelen armoni notalarının solo notayı maskeleyişini önlemek ve böylece müzikal ton kombinasyonundaki

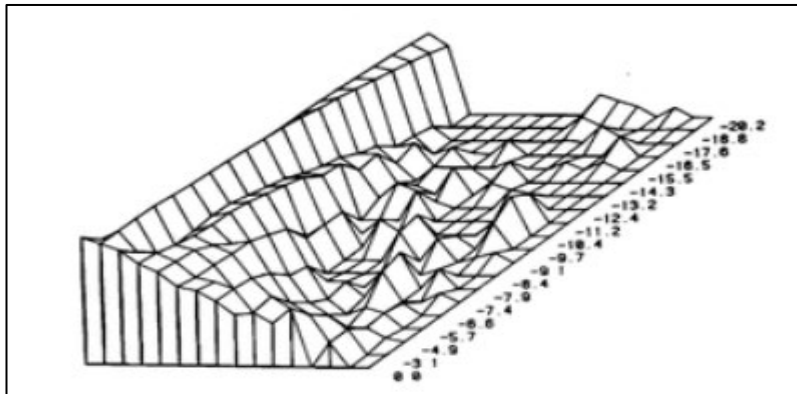
performansını güvence altına almak için solo notadan nispeten daha düşük bir genlikte üretilir.

**Şekil 4.20: Solo nota**



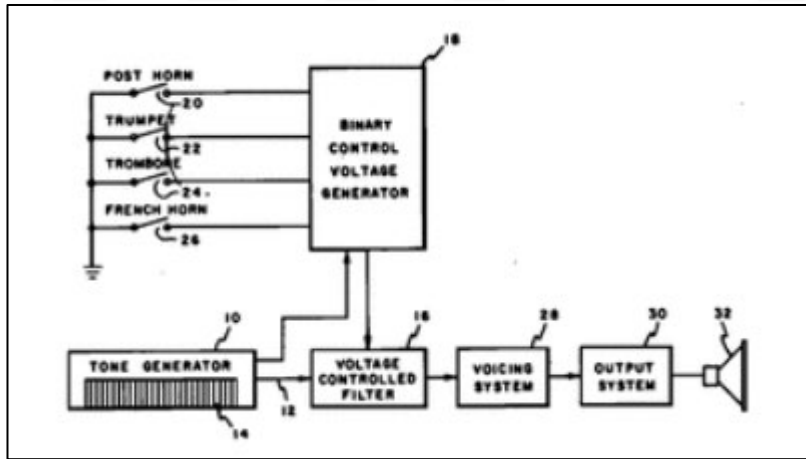
Bu patent, müzik tonunun bir döngüsünün dalga biçiminin, zaman eksenini boyunca eşit aralıklarla yerleştirilmiş bir dizi noktanın genliklerini belirterek tanımlandığı türden dijital elektronik müzik aletlerine ilişkindir. Karşılık gelen veri sözcüğü, istenen üretilen tonun frekansı ile orantılı bir tekrar oranında dijitalden analoğa dönüştürücüye sıralı olarak aktarılır. Bu patent devrelerinde, ses spektrumunu ses yüksekliği kontrol sinyallerine yanıt olarak değiştirmek için sağlanmıştır; bu, daha düşük genlikli tonlardan daha rahatsız edici harmonik içerikli daha büyük genlikli tonların üretilmesine neden olur. Devre, ayrıca zamanın bir fonksiyonu olarak spektrumunu değiştirmek için sağlanmıştır.

**Şekil 4.21: Yapılardaki ses değişimleri**



Bu elektronik çamur sentezleyicide ton sinyalleri, bir darbe genişliği modülasyonlu dizinin görev döngüsündeki değişikliklere yanıt olarak önceden belirlenmiş bir aralıkta kontrol edilebilen bir Cut off frekansına sahip, voltaj kontrollü bir keskin kesme, düşük geçişli filtre devresine uygulanır. Darbeler ve kesme frekansının üzerinde hızlı bir yuvarlanma hızına sahiptir. Kesme frekansının hassas kontrolü, frekans etamininin etkili direncini değiştirerek elde edilir; dirençler, bu tür dirençlerden bir veya daha fazlasını sitenin içine ve dışına değiştirerek elde edilir. Filtreye uygulanan darbelerin genişliği, bir ikili ağırlığa göre bir voltaj artışı eklendiğinde bir referans voltajı oluşturularak kontrol edilir. İkili kodlanmış bilgi ile tanımlanan bir organ uyanmasına karşılık gelen ayrık voltaj seviyesinin toplamı d referans voltajı, genişliği rampa voltajının toplam voltaj ile kesişiminin bir fonksiyonu olan dikdörtgen bir darbe üretmek için bir karşılaştırıcıdaki bir nwtooth voltajı ile karşılaştırılır. SUM voltajını seçilen bir sese göre dijital artışlarla değiştirerek, darbelerin genişliği değiştirilir ve filtreye sağlanan bu tüyler, filtrenin kesme frekansını hassas bir şekilde kontrol ederek ses sinyalini oldukça taklit eden bir ses sinyali üretir.

**Şekil 4.22: Bal peteği hoparlör diyagramları**



Son zamanlarda, hoparlör diyaframları için “bal peteği” veya lamine hücresel yapıların kullanımına olan ilgi yeniden canlandı. Kâğıt, yüksek frekanslı rezonansların bastırılması için sönümlenme katmanları içeren böyle bir yapıyı açıklar.

Başka türlü geleneksel bir hoparlör manyetik devresinde, histerezis, üst plaka ve kutup pleoe özel ince kristalli ferromanyetik taneciklerden oluşan bir katman dahil edilerek doğrusallaştırmaktadır.

“Kompozit” veya sandviç top gitarlar olarak da adlandırılan Double Top gitarlar öncülüğünü Alman Luthiers Gernot Wagner ve Mathias Damman yapmıştır. Başlangıçta Gernot, laminasyonlarında ana malzeme olarak Nomex’i kullanırken, Mathias çekirdek olarak ahşapla deneyler yapmıştır. Ancak 90’lı yılların ortalarında her ikisi de çekirdek malzemesi için ahşap yerine Nomex kullanılmaktaydı. Nomex kullanılarak daha hafif bir ağırlık elde edilebilir, ancak birçok luthier ana malzeme olarak balsa ağacını kullanılır.

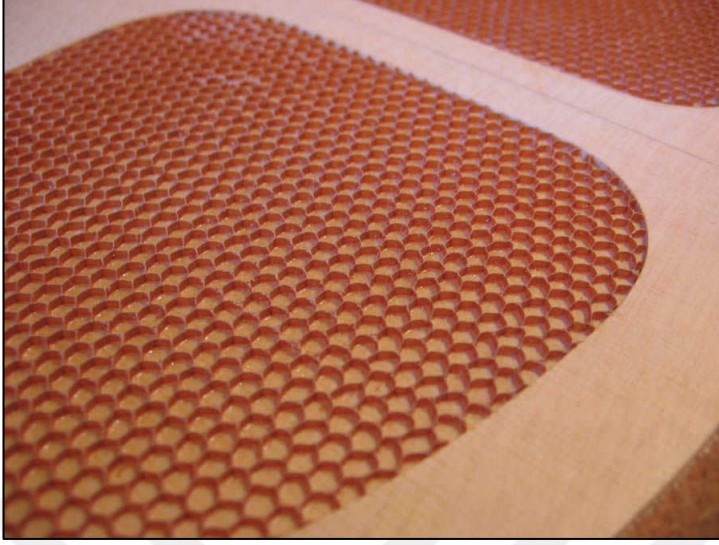
Dominelli Double tops, bir Nomex çekirdeği kullanır. İlk olarak havacılık endüstrisi için geliştirilen bal peteği modelinde üretilen bir kevlar polimeri olan Nomex, iki ladin, sedir veya bu iki odunun bir kombinasyonu arasına sıkıştırılır.

Nomex, çalışmak için oldukça harika bir malzemedir. Artık çok daha yüksek sertlik / ağırlık oranına sahip ses tahtaları oluşturabilmektedir. Ancak kafes destekli bir ses tahtasından farklı olarak, çift tepe oldukça kalın kalır ve bu nedenle akustik olarak daha çok geleneksel bir katı üst gitar gibi davranır. Çiftli üstlerin çok geleneksel bir sesi vardır diğer bazı modern klasiklerde duymuş olabileceğiniz gibi nazal veya boomy sesi değildir.

Nomex’in bir diğer avantajı da ahşabın aksine insan yapımı bir malzeme olmasıdır. Bu, gitardan gitara kadar seste tutarlılığın sağlanmasına yardımcı olmaktadır. Masif ahşap üst kısımlar ile ses tutarlılığı sağlamak, ahşap ne kadar dikkatli olunursa olunsun daha zordur.

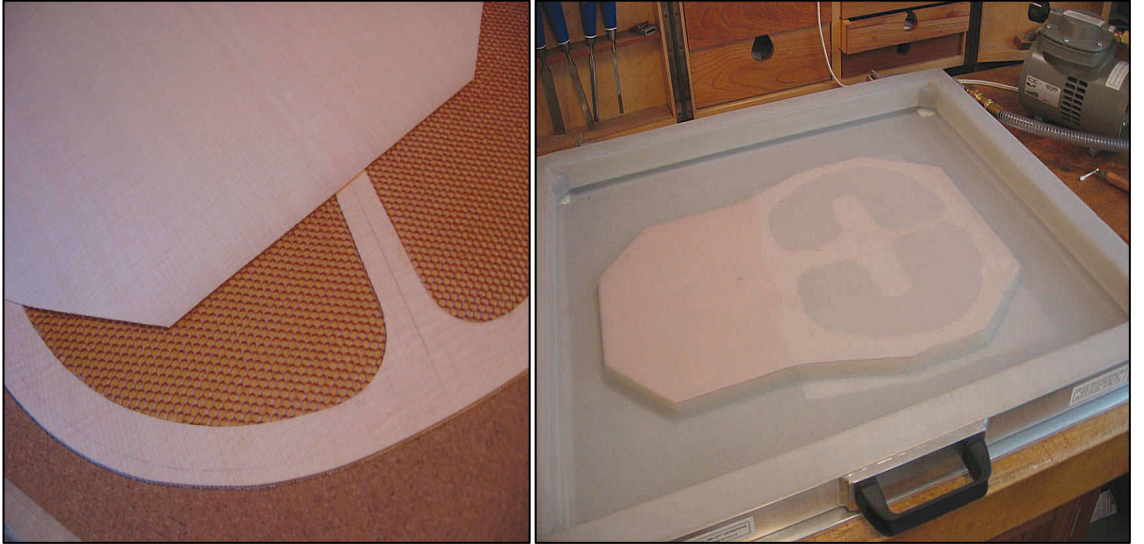
Popüler yanlış kanıların aksine (genellikle bunu yapmayan luthiers tarafından yapılan kötü baskıların bir sonucu) çift üstler çok dayanıklıdır. Malzemeler üzerinde kapsamlı testler yaptım ve nomex çift başlıklar, geleneksel bir katı üst gitara kıyasla çatlamaya karşı son derece dirençlidir. Nomex, havacılık endüstrisinde onlarca yıldır kullanılan sağlam ve güvenilir bir malzemedir.

**Şekil 4.23: Lutz ladini**



Bu görüntü, ses tablasına yerleştirilmiş nomex'i, bu durumda hafifliği ve sertliği nedeniyle seçilen ana sınıf lutz ladini göstermektedir. Su bazlı yapıştırıcılar, ince ahşap kabuklarının anında patates cipsi gibi kıvrılmasına neden olacağı için kullanılamaz. Epoksi veya poliüretan burada tercih edilen yapıştırıcılardır.

**Şekil 4.24: Lutz ladini**



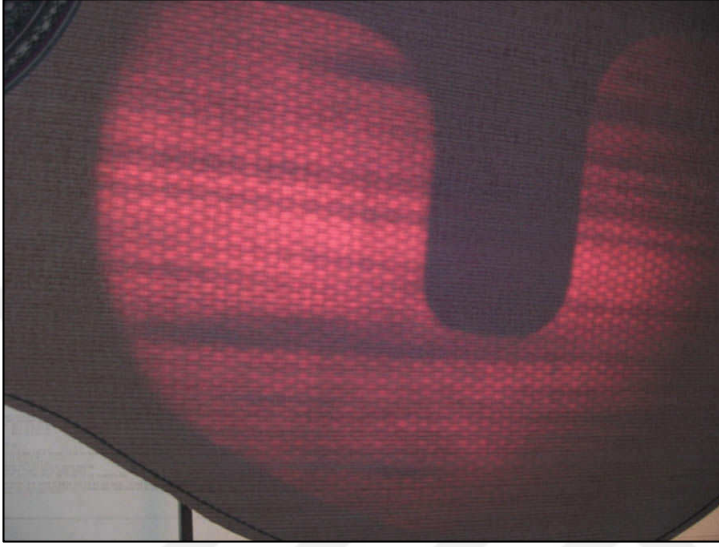
(a)

(b)

Burada gösterilen ikinci kaplama, ilk laminasyona yapıştırılacaktır. Gitarın nasıl ses çıkarmasını istediğime bağlı olarak her iki katman için de ladin veya sedir kullanılabilir.

Laminasyonlar, burada gösterildiği gibi bir vakumlu preste yapıştırılır. Bu baskı makinesi benim için özel olarak üretildi ve bir neopren membran ve 3/8 "kalınlığında bir alüminyum plakaya sahip. Harika bir iş çıkarmasının yanı sıra hızlı ve kullanıcı dostudur.

#### Şekil 4.25: Laminasyonun bitmiş hali



Bu görüntü bitmiş laminasyonu göstermektedir. Bu resmi ses tahtasından parlayan 100 watt'lık bir ışıkla çektim. Normal gün ışığı altında, bitmiş gitarda nomex görünmeyecektir. Sonuç, artık desteklemeye ve daha sonra montaja hazır olan daha sert, daha hafif bir ses tablasıdır.

Double Top yapı, iki çok ince ses panosu arasına sıkıştırılmış bir bal peteği elyafını birleştiren nispeten yeni bir tekniktir. Ağırlığı önemli ölçüde azaltır ancak gerekli sertliği korur. Sonuç, büyük bir dinamik aralık açan çok duyarlı ve güçlü enstrümanlardır. Gitarlar harika bir düzgünlük ve ayrılıkla mükemmel bir projeksiyon ve sürekliliğe sahiptir. Ton renkleri ve dolgunluk da oldukça iyidir. Fan destek sistemindeki bir varyasyonla, geleneksel gitarlara nasıl davrandığıma benzer şekilde çift üstleri desteklemektedir. Bu, geleneksel bir tonalite duygusuna sahip bir gitar gibi ses çıkarmalarını sağlar. Elbette iki ses tahtası gereklidir, bu nedenle karakterlerini birleştirmek için ladin ve sediri eşleştirme seçeneği çok heyecan vericidir.

- a) Hint gül ağacı arka ve yanlar
- b) Kırmızı sedir, Engleman ladin ses tahtası

- c) Orta Amerika sediri veya maun boyunlu, terlik ayak yapılı
- d) Abanoz perde tahtası
- e) Gül ağacı veya Abanoz köprüsü
- f) Masif ahşap kıvrılma ve ciltleme
- g) Telafi edilmiş somun ve eyer, kemik
- h) Irving Sloane
- i) Fransız cilası
- j) TKL sert kılıf

Double Top, kelimenin tam anlamıyla çift kapak anlamına gelir. Gitar durumunda, çift ön panelli gitar göze çarpmaktadır. Luthier'in yapımcılarının çoğu, gitarın yankılanan ön panosunun tüm gitar bileşenlerinin en önemlisi olduğu gibi aynıdır. Aslında enstrümanın sesini temel bir şekilde etkiler. Çift üst rezonans panelli gitar, yeni konser deneyimi için alan yaratmaktadır.

Bir gitarın Çift Tepesi, gitar müzik enstrümanı için oldukça özel bir tasarım çözümdür. Tek bir ince ahşap plakadan ortak konstrüksiyonda üretilen gitarın rezonant ön paneli, çift üst konstrüksiyon sırasında gemine edilir. Sonuç, benzersiz bir gitar sesi rezonansı ve benzersiz bir müzik tonudur. Çift tepeli gitarın kesinlikle tekil bir gitar sesi vardır.

#### Çift üst gitarın yapımı

Double Top'ın temel fikri, iki ince yankılanan ahşap tabakadan oluşan bir gitarın üst (ya da ön taraf) panosudur- çoğunlukla ince Amerikan kırmızı sediri veya ladin plakaları. Bu iki tabaka arasına bal peteği adı verilen ince ızgara yapıştırılmıştır. Yüzeyde bu ızgara size ince bir bal peteğini hatırlatıyor. İnanılmaz derecede güçlü ve hafif, neredeyse bir esinti gibi. Rezonant bir delikten çıkan benzersiz gitar tonu, sadece kendisi gibi çift ön panoyu değil, aynı zamanda iki üst pano arasına yapıştırılan bu ince ızgarayı da oluşturmaktadır.

Aslında çift tepe gitarın içi boştur. Bu “sandviç” yapısı sayesinde hem hafif hem de yeterince güçlü bir ön gitar panosu bulunur. Her şeyden önce benzersiz bir titreşim yaratır. Temelde birinci sınıf hammaddeler kullanılmaktadır. Bir gitarın ön masası için hangi

malzemenin uygun olduğunu ve bal peteğinde netin uygun olduğunun doğru bir Şekilde değerlendirilmesi gerekmektedir.



## 5. AKUSTİK ANALİZ

### 5.1 AKUSTİK ANALİZ TANIMI

Herhangi bir sesin kaynağından meydana gelen ses dalgalarının ölçüm ve analiz sürecine akustik analiz adı verilmektedir. Bu analiz, müzikal seslerin analiz edilmesinde de oldukça sık tercih edilen bir yöntemdir. Özellikle de enstrümanlar üzerinde uygulanan birtakım akustik analizlerle enstrümanların tını ve ses kaliteleri hakkında önemli bilgilere ulaşılmasını sağlamaktadır.

Söz konusu akustik analizin enstrümanlar üzerinde uygulanma şekilleri oldukça çeşitlidir. Enstrümandan elde edilen seslerin zaman içerisinde gerçekleşen değişimi ya da frekans analizi de incelenen konular arasında yer almaktadır.

Algısal değerlendirmeler her kişide farklılık göstermesi, aynı kişi tarafından farklı zamanlar içerisinde gerçekleştirilen değerlendirmelerde de farkların olması dolayısıyla objektif ses değerlendirme yöntemlerine yönelik yöntemlerde de artış yaşanmıştır. Akustik çalışmalar canlı veya kayıt altına alınmış sesler kullanılarak yapıldığından dolayı girişimsel işlem olarak nitelendirilemezler. Akustik analizin uygulama ve değerlendirme süreçleri bakımından kaynak filtre teorisi ve dijital sinyal işleme prensipleri konusunda da yeterli düzeyde bilgi sahibi olmak gerekmektedir.

Seslerin akustik özelliklerinin belirlenmesi için kullanılan programlar: MDVP, Dr. Speech, Praat, LingWAVES, SpeechTool, VoxMetria ve TF32'dir.

### 5.2 AKUSTİK ANALİZ YÖNTEMİ

#### 5.2.1 Kaynak Filtre Teorisi

Fant için insanların konuşma sesler, ses kıvrımları seviyesinde meydana gelen sesin kaynak ses yolu ile filtrelenmesiyle belirlenmektedir (Kılıç ve Okur 2001, s. 152). Bu bağlamda konuşma sesi, kıvrımları düzeyinde meydana gelen kaynak sesin ses yolunda

filtrelenmesiyle meydana gelmektedir. Filtrelemeden sonra “glotis seviyesinde” meydana gelen ham sesin bazı frekans noktalarının şiddetini de yükseltmektedir. Bu duruma ise formant adı verilmektedir. Formantlar; frekans, bant genişliği ve amplitüt gibi üç özelliğe sahiptir. Bunlar ise; konuşma sesi, temel frekans ve harmoniklerden meydana gelen rezonan ses, ses yolunun farklı bölgelerden geçen havaların sürtünmesiyle meydana gelen gürültü sesi, farklı bölgelerde kapanmanın yaşanması sonucunda artış gösteren basıncın patlamayla serbest kalmasından sonra oluşan patlama sesidir (Aronson ve Bless 2012).

### 5.2.2 Dijital Sinyal İşleme

Akustik analiz yöntemleri bilgisayar temelli yöntemlerdir. Analog bir sesin dijital ortama aktarılması için ses ara yüzü olarak adlandırılan analog dönüştürücüye gerek duyulmaktadır. Bu aktarma işlemi ise dört aşamadan meydana gelmektedir; Filtreleme, örnekleme, niceleme ve kodlama. Filtreleme işlemi, akustik enerjinin eşitlenme işlemidir. Örnekleme ise belirli zamanlar ile ayrı ölçümlerin alınması işlemidir. Niceleme işlemi, akustik sinyalin amplitüt değerlerini ayı üniteler olarak çevirme işlemidir. Bu işlemde dijital ortama çevrilen sinyalin örnekleme hızı ve bit çözünürlük hızı ne kadar yüksek olursa sinyal kalitesi de o derece yükselmektedir. Fakat çoğu akustik analiz programında seste bir işlem gerçekleşmesi için örnekleme hızını “44100 Hz”, çözünürlüğünün ise “16 bit” olması gerekmektedir. Son olarak kodlama işlemi ise örnekleme ve niceleme işlemiyle belirlenen değerlerin sıralanarak bilgisayar tarafından okunabilecek dosyaya dönüştürülme işlemidir (Aronson ve Bless 2012).

İlk olarak Nyquist’in belirttiği kural çerçevesinde akustik sinyalin geçerli bir dijital karşılığının oluşturulabilmesi için en yüksek frekansın iki kat kadar örnekleme hızı ve ilgilenen en yüksek frekans üzerinde bütün sinyalin örnekleme öncesi filtrelenmesi analiz dışında kalmalıdır (Aronson ve Bless, 2012).

Ulusal Ses ve Konuşma Merkezi tarafından 1995’te yayınlanan pertübasyon analizlerinin nasıl gerçekleştirildiği ve yorumlamaların nasıl yapıldığına dair bilgiler veren bildiriye, akustik dalga formlarının analizden evvel görsel olarak inspekte edilmesi konusunda dikkat edilmesi gerektiğini belirtir ve akustik sinyallerin kalitatif değişikliklerin doğasına göre oranlamaları bulunmaktadır. Akustik ses analiziyle ilgili çeşitli kılavuzlarda en

düşük örnekleme hızının 20 kHz ve en düşük niceleme hızının da 16 bit olduğu görülmektedir ve nitekim önerilen değerler de bunlardır (Aronson ve Bless 2012).

“Ulusal Ses ve Konuşma Merkezinin” “periodisite ve kalitatif” değişimlerine göre üç farklı sinyalin olduğu tanımlanmıştır. Buna göre birinci tip sinyaller kalitatif değişikliklerin bulunmadığı periyodik sinyallerdir ve pertürbasyon indeksleri kullanılarak değerlendirilmesi gerçekleştirilir. İkinci tip sinyaller de kalite bozukluğu ve ileri düzey frekans ve şiddet pertürbasyonu gösteren seslerdir. Ses boyu temel frekanslarda sabitlik olmadığından dolayı analiz etmek için uygun olmayıp niteliksel değerlendirmeyi ele alan görsel veriler üzerinden de değerlendirilmesi yapılabilmektedir. Son olarak üçüncü tip sinyaller ise “irregular ve aperiodyk” olmalarından dolayı en iyi algısal değerlendirmelerle analizi gerçekleştirilebilir.

### 5.2.3 Temel Frekans (F0)

Temel frekans, ses kıvrımlarının saniyede meydana gelen açılıp kapanma döngü sayısına verilen addır. Bu, ses kalınlığı ve inceliğini bildirmektedir. Diğer yandan bu değer, perde algısında ilk unsurdur. Döngü/saniye şeklinde ölçülen bu değer Hz olarak ifade edilir. Genellikle ergenlik öncesi erkek ve kızlarda 220-240Hz düzeyinde bulunurken erişkinlerde ise erkeklerde 100-150 Hz; kadınlarda 150-250Hz civarındadır.

Frekans değiştirilmesi ses kıvrımlarındaki gerginlik, kütle ve subglottik basıncı değiştirerek, larenksi eleve ve 121 epreşe ederek elde edilir. Ses kıvrımlarındaki gerginlik ve kütleinin değiştirilmesi “tiroaritenoit kas, interaritenoit kas ve krikoaritenoit kas” etkisiyle sağlanmaktadır. Gerilim ne kadar yüksek ve uzunluk ne kadar kısa olursa, frekans o kadar yüksek olur. Gerilimle doğru orantılıdır ve frekansla ters orantılıdır. Kütledeki iki kat artış, F0’da yaklaşık 5,6 semiton azalmaya neden olur.

Subglottik boşlukta 1 cm su ile basınç değişimi Frekanstaki 3-6Hz değişimle doğru orantılıdır. Bu durumda belli bir gerilimle iki elimiz arasında sıkışan kâğıt üzerine üflerken çıkan sesin sert üflendiğinde incelendiğini deneysel olarak görülmektedir.

## 5.2.4 Pertübasyon Ölçümleri

### 5.2.4.1 Frekans pertübasyon ölçümleri

Pertübasyon ölçümleri, ses tellerinin titreşimdeki titreşimlerini ifade eder. Rahatsızlıkları ölçmek için en az 100 periyot gereklidir. Bozulma ölçümü F0 değeri 100Hz olan bir kişinin sesine yapılacak ise en az 1 saniyelik ses kaydı gereklidir.

#### 5.2.4.1.1 Jitter

Jitter, periyotlar arasındaki değişimi gösteren bir parametredir. Bu, bir sonraki döngünün frekansına göre titreşim döngüsü frekansının değişkenliğidir. Mutlak jitter, analiz edilen sesin her periyodu ile kendisinden sonraki periyot arasındaki farkın mutlak değeridir ve F0'a bağlı olarak değişir. Yüzde Jitter, F0 ile varyasyon eksikliğinden kaçınmak için mutlak seğirmeyi ortalama süreye bölerek elde edilir. Jitter, ses tellerinin düzensizliğini yansıtır ve aynı zamanda frekans bozukluğu olarak da adlandırılır. Normal değeri %1'in altındadır.

#### 5.2.4.1.2 F0'ın standart deviasyonu (stdev F0)

Bir konuşma sırasında, frekans değişikliği, iletilen mesaja ve kullanılan kelimelere göre görülebilir. F0'ın bu değişkenliği, yarı tonlarla standart sapma olarak ifade edilir. Cinsiyete bakılmaksızın sıklıkta beklenen değişiklik ortalama iki ila dört semitondur. Fluktuasyon belirten ses perdesine sahip özellikle nörolojik hastalıklara sahip olan kişilerde bu stdev f0 artmaktadır.

#### 5.2.4.1.3 Rölatif ortalama pertübasyon (Relative average perturbation, RAP; GHD, VoxMetria, LingWAVES: PPQ)

Herhangi bir periyodun kendisinden sonra gelen periyot ile arasındaki fark yerine ardışık üç periyodun ortalamasıyla bu üç periyodun ortasında bulunan periyot arasında farkı belirtmektedir. Ses tremoruna ya da kişinin sesini aynı perde üzerinde tutamamasından dolayı değişikliklerin Jitter değerlerini etkilemesini sonlandırmak için bu yöntem tercih edilmektedir.

#### **5.2.4.2 Amplitüt Pertürbasyon Parametreleri**

Amplitüt Pertürbasyon Parametreleri ise frekans pertürbasyonundaki gibi ses sinyallerinin oldukça kısa bir süreli amplitüt değişimlerini belirtmektedir.

##### **5.2.4.2.1 Shimmer**

Mutlak Shimmer veya yüzde shimmer şeklinde adlandırılır. Mutlak shimmer, her döngüde genlikte bir değişikliği gösterir. Kısa aralıklarla ses dalgasının genliklerindeki göreceli değişimi gösterir. Titreme yüzdesi, her dönem ile sonraki dönem arasındaki yoğunluk farkının ortalama mutlak değerinin dönemin ortalama yoğunluğuna bölünmesi ile elde edilir, normal değeri %3'ten azdır.

##### **5.2.4.2.2 Amplitüt Pertürbasyon Bölümü**

Bu, ses yoğunluğundaki artışları veya azalmaları istemli olsun veya olmasın ortadan kaldırmak için Jitter ölçümlerinde olduğu gibi düzeltmeler uygulayarak gerçekleştirilir.

#### **5.2.4.3 Spektral Parametreler**

Spektral parametreler ise ses spektrumunda bulunan F0 değerinin katlarından meydana gelen harmonikler haricinde gürültü sesleriyle ilgilidir.

##### **5.2.4.3.1 Harmonik /gürültü oranı (harmonic-to-noise ratio, HNR)**

F0 ve katları onları harmoniklerin toplam enerjisinin gürültü enerjisi ile orantılıdır. Bunun birimi ise dB şeklinde ifade edilir. "Praat ve Dr. Speech Vocal Assessment" ile hesaplanması sağlanmaktadır.

##### **5.2.4.3.2 Gürültü harmonik oranı (noise-to-harmonic ratio, NHR)**

Gürültü Harmonik oranı ise HNR parametresinin modifiye edilmesiyle sağlanmaktadır. Bunun değeri de HNR'nin yanı sıra seste bulunan gürültü miktarıyla doğru orantılıdır.

#### **5.2.4.3.3 Normalleştirilmiş gürültü enerjisi (normalized noise energy, NNE)**

Normalleştirilmiş gürültü enerjisi, harmonik enerjiden toplam enerjinin çıkarılması ile hesaplanmaktadır. Değeri – dir ve birimi ise dB'dir. Gürültüdeki miktarda artış yaşandıkça değeri de yükselir ve 0'a doğru yaklaşmaktadır.



## 6. DENEYSEL ÇALIŞMA

Telli çalgılar, müzikal seslerin en önemli kaynakların biri olmakla beraber birçok farklı şekilde farklı malzeme yapılarından faydalanarak üretilmelerine karşılık ses oluşumlarının birbirlerine önemli ölçüde benzeyen aletlerdir. Her telli çalgının oluşumunda harmonik titreşim kaynağı olan gergin tellerin kullanımı da söz konusudur. Ek olarak bu tellerden oluşan titreşimlerin birer sese dönüştüğü gövdelerinde de hafif malzemeler kullanılmaktadır. Fakat bütün müzikal aletlerdeki gibi telli çalgılar da basit bir ses kaynağı olarak ele almak yanlış bir durumdur. Zira telli çalgılar ait oldukları kültür ve müziğin türüne göre sahip olunması gereken ses aralığı, şiddet, uzama süresi, çalım rahatlığı ve tını gibi titreşim ve ses özellikleri bulunmaktadır. Bahsi geçen bu özellikler önemli oranda çalgıların gövdeleri tarafından şekil almaktadır. Özellikle de üretildikleri malzeme ve tasarım özellikleri bağlamında belirlenmiş olan gövdenin serbest titreşimleri, ses oluşum süreci içerisinde önemli aktif bir roledir. Dolayısıyla genellikle modal analiz yöntemleri ile çalgıların serbest titreşimlerinin ses oluşuma katkılarını inceleyen birçok çalışma yapılmıştır (Değirmenli 2019).

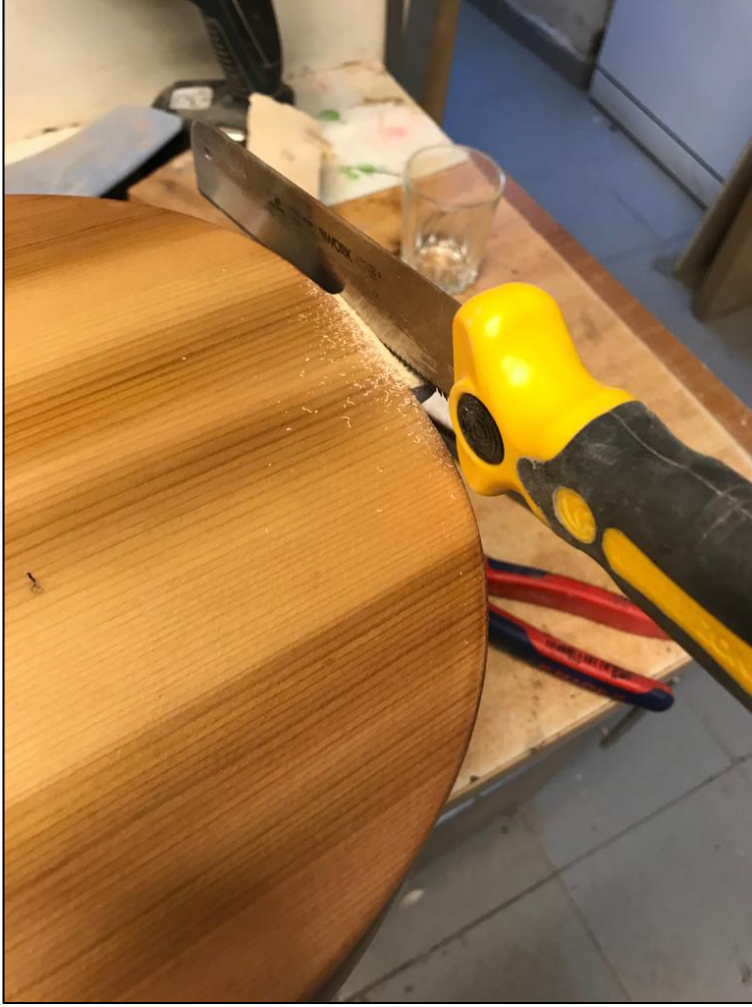
### 6.1 GELENEKSEL BAĞLAMALARIN AKUSTİK ANALİZİ

Bu başlık altında geleneksel bağlamaların akustik analizi ele alınmıştır.

#### 6.1.1 Geleneksel Bağlamaların Kapak Değişimi ile “Double Top” Bağlamaya Çevrilmesi

Öncelikle ölçüm işlemleri tamamlanan geleneksel bağlamaların kapak söküm işlemleri gerçekleştirilmiştir. Bu işleme yönelik görseller aşağıda sırası ile verilmektedir.

**Şekil 6.1: Geleneksel bağlamanın kapak söküm işlemi**



**Şekil 6.2: Geleneksel bağlamanın kapak söküm işlemi**



**Şekil 6.3: Kapak kısmının tekneden ayrılması**



Şekil 6.4: Kapağı sökülmüş teknenin içi



**Şekil 6.5: Kapağı sökülmüş teknenin üstten görünümü**



Bu işlemten sonra kapak söküm işlemi tamamlanmıştır. Bu işlemten sonraki adımda, elde edilen bağlamalara kompozit nomex honey comb (bal peteği) malzemeler eklenmiştir.

Kapakta kullanılan ağaç türü geleneksel bağlamalar ve bağlamaların kapaklarında kullanılan ağaç türü olan Kanada sediridir.

Bağlama kapaklarına kompozit malzeme eklenebilmesi için 2 katlı sandviç kapak yapılmıştır. Yapılan bu kapağın her iki parçasının da mm cinsinden kalınlıkları ve içine oyuk açıları kompozit malzeme eklenen kapağın alt parçasının ölçümleri şu şekildedir:

- a) ÜST KAT 1,5mm
- b) ALT KAT 3,5mm (1,5mm'i Nomex ve nomex, açılan gizli oyuğun içinde, 2 mm'i ahşap kapak)

Nomex içeren kapaklarda toplam kalınlık 5 mmd'dir. Ayrıca eşik bölgesinde Nomex kullanılmamıştır. Çünkü eşiğin alt kısmında ağaç kullanılması gerekmektedir. Yapılan her iki bağlamada da ölçüm değerleri eşit şekildedir.

#### *Nomexin kapağa yerleştirilmesi*

Öncelikle kapak için bir kalıp hazırlanmıştır. Hazırlanan kalıba göre üst kat 1,5 mm, alt kat ise 3,5 mm olmak üzere iki katlı sandviç için bağlama kapakları kesilmiştir. Bu işlemden sonra alt kata bir gizli oyuk açılmıştır ve açılan bu oyuk yerine 1,5 mm Nomex yerleştirilmesi yapılmıştır.

Nomex'i yapıştırmak için kullanılan tutkal sadece Nomex'in uç kısımlarında kullanılmıştır. Oda olarak adlandırılan boşluklu bal peteği yapısını sağlayan kısımlara, deliklere tutkal değmemiştir. Tutkal sürülen nomex gizli oyuk bölmesine yerleştirilmiştir. Bu parça özel bir yöntem ile vakum torbasına yerleştirilmiş ve ardından da vakumlanmıştır. Sonrasında vakumlanan parça çıkarılmıştır. Nomex'in gizli oyuktan dışarıda kalan fazlalık kısımları ise zımparalanarak kapak pürüzsüzleştirilmiştir. Sonrasında ise bu parça yeniden vakumlanmıştır. Böylece vakumlama işlemi iki kez uygulanmıştır. Söz konusu bu işleme yönelik görseller aşağıda verilmektedir.

**Şekil 6.6: Kalıba göre yeni kapak kesilmesi**



Öncelikle belirlenen kalıba göre yeni bir kapak kesim işlemi yapılmıştır.

**Şekil 6.7: Kapak eşiğine denk ahşap eklenmesi**



**Şekil 6.8: Kapak kesimi ve eşige denk ahşap eklenmesi**

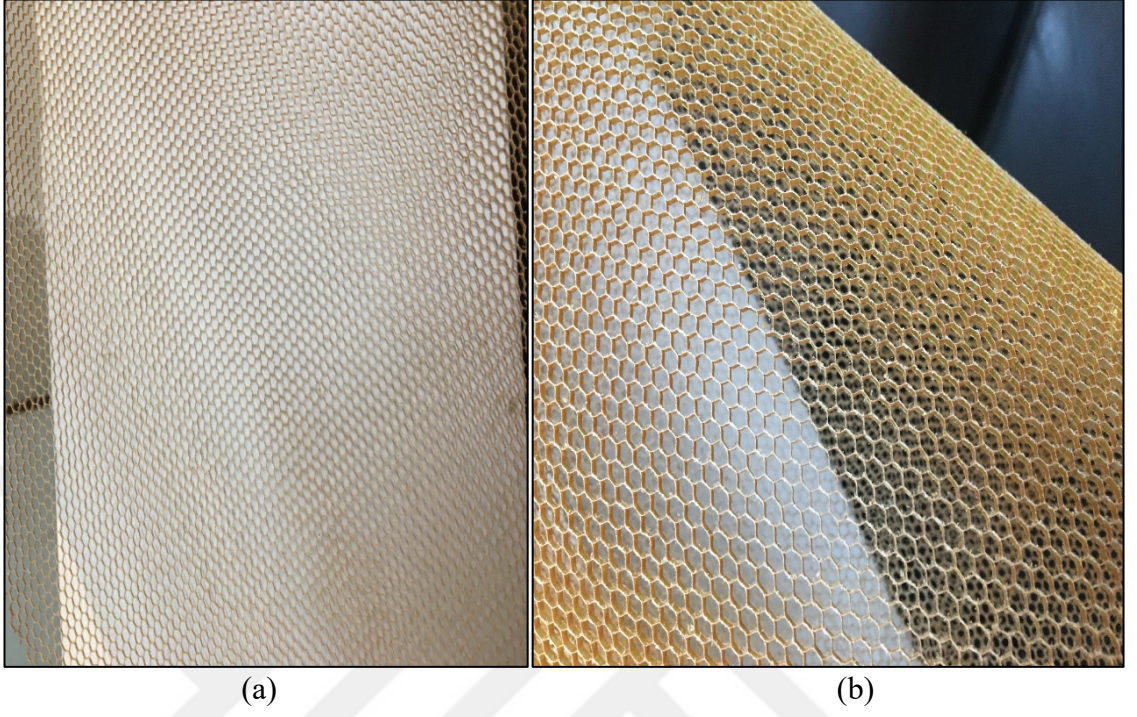


**Şekil 6.9: Gizli oyuk açılması**



Kalınlığı 3,5 mm olan alt kata nomex yerleştirmek için gizli bir oyuk açılma işlemi gerçekleştirilmiştir. Görselde belirtilen çizimde görünen boşluk yaklaşık 1 cm genişliğe sahiptir. Ayrıca o kısımda kompozit yapı kullanılmamıştır.

**Şekil 6.10: Kapağa yerleştirilecek kompozit nomex honey comb malzemesinin görüntüsü**



**Şekil 6.11: Vakumlama işlemi**



Tutkallanan kompozit nomex honey comb'un vakum torbasına yerleştirilerek vakumlama işlemi gerçekleştirilmiştir.

**Şekil 6.12: Fazlalık kısmın zımparalanması**



Yukarıda da belirtildiği üzere nomex'in gizli oyuktan dışarıda kalan fazla kısmı zımparalanarak pürüzsüzleştirilmiştir. Daha sonrasında da ise tekrar vakumlama işlemi yapılmıştır.

**Şekil 6.13: Tekne ile kapağın birleştirilmesi**



Vakumlama işleminin ardından kompozit malzeme kullanılan kapağın, nomexsiz olan kapağı sökülerek tekne ile birleştirilmiştir.

**Şekil 6.14: Cilalanmaya hazır bağlamalar**



Yapıştırma işlemlerinin ardından Double Top bağlamalar cilalanmaya hazırlanmıştır.

## **6.2 ÖLÇÜM YÖNTEMLERİ**

Çalgıların akustik araştırmalarını da kapsayan müzikal akustik, ülkemizde gelişmekte olan bir alandır. Özellikle ölçüm ve analiz imkanlarının artırılması üzerine yapılan çalışmalar bu anlamda önem arz etmektedir.

Akustik analiz, herhangi bir ses kaynağı tarafından oluşturulan ses dalgalarının ölçüm ve analiz sürecidir. Müzikal seslerin analizinde de sıklıkla kullanılmaktadır. Özellikle

Çalgılar üzerinde uygulanan çeşitli akustik analizler ile çalgıların tını ve ses kalitesi hakkında önemli bilgiler elde edilmesini sağlamaktadır.

Akustik analiz, algılar üzerinde farklı şekillerde uygulanabilir. algıdan elde edilen sesin zamana bağlı değişimi veya frekans analizi en çok incelenen konulardandır.

Çalgıların akustik analizlerinde genellikle mobilite ve ses yayılımı analizi teknikleri tercih edilmektedir.

Bu amaçla çalışmanın bu bölümünde ilk olarak, çalgıların titreşim ve ses ölümlerinin yapılmasına yönelik tasarlanıp üretilmiş olan bir ölüm düzeneği tanıtılmıştır. Ardından çalışmada kullanılan titreşim ve ses analizleri ile bu analizlerin ölümü yapılan geleneksel ve ses tablası nomex ile lamine edilmiş çift kapak (double top) bağlamalarda ortaya çıkardığı sonuç verilmiştir.

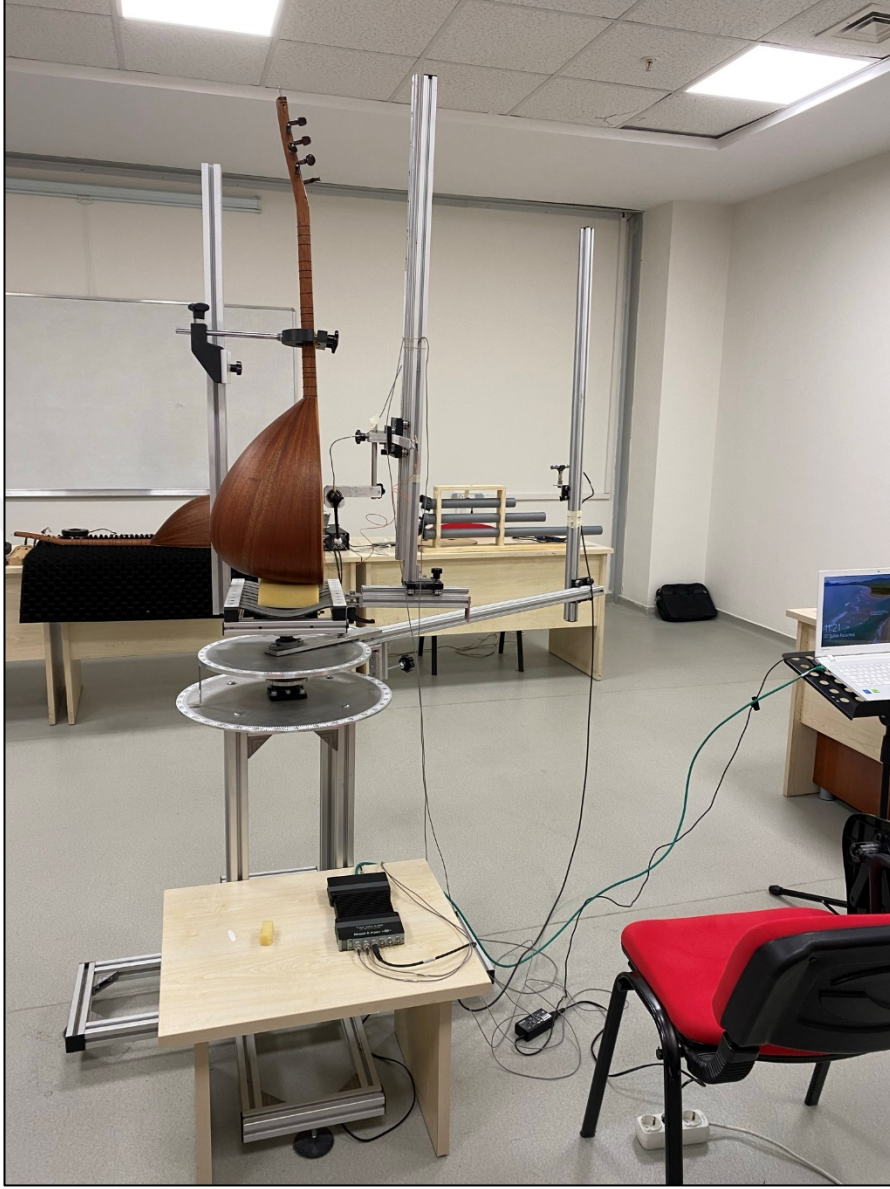
### **6.2.1 lm Düzeneği**

Bu çalışmada, ebatları ve yapımında kullanılan malzemeler aynı olan iki adet geleneksel ve iki adet kompozit çift kapak bağlamaya telli algılarının akustik özelliklerinin araştırılması amacıyla kullanılan titreşim ve ses analiz yöntemlerinden olan mobilite analizi ve ses yayılımı analizi uygulanmıştır.

İlk önce iki adet geleneksel bağlama ses deliği açık ve kapalı şekilde ivme ve ses yayılımı analizine tabii tutulmuş, ardından iki adet kompozit çift kapak bağlamanın ses deliği açık ve kapalı olacak şekilde ivme ve ses yayılımı analizi yapılmıştır.

Analiz sürecinde B&K (Bruel& Kjaer) firmasının 6 kanallı 3050-A-060 veri toplama modülü ve Pulse Access yazılımı kullanılmıştır. Ayrıca yine sensor olarak aynı firmanın B&K 4189-A-021 mikrofon ve n yükselticisi tercih edilmiştir. lmler 0-10 kHz arasında yapılmıştır.

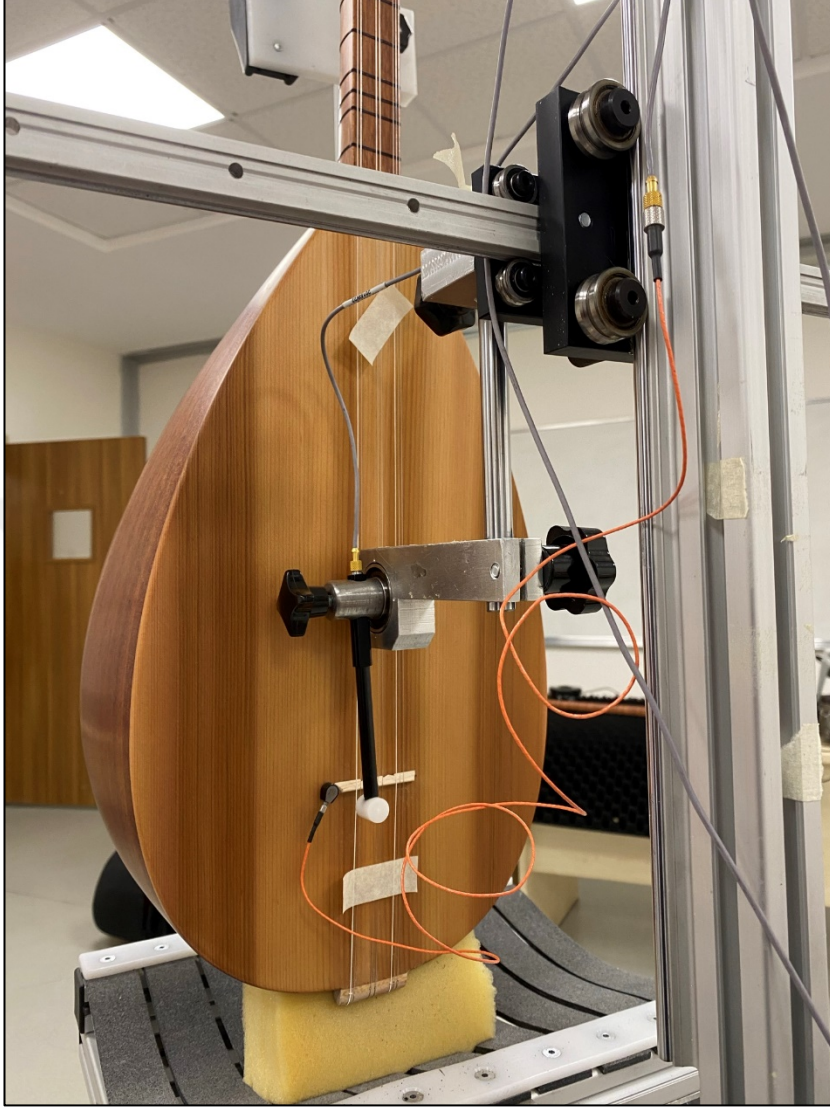
**Şekil 6.15: Titreşim ve ses ölçüm düzeneği**



**Şekil 6.16: Titreşim ve ses ölçüm düzeneğine yakından bakış**



**Şekil 6.17: Titreşim ve ses ölçüm düzeneğinde bağlamamın önden görünümü**



### **6.2.1.1 Ölçülen mod frekanslar**

Bağlamaların mod frekansları sırası ile şu şekilde ölçülmüştür:

- a) Geleneksel Bağlama: 85 Hz, 239 Hz, 290 Hz, 337 Hz, 480 Hz, 567 Hz
- b) Geleneksel Bağlama: 95 Hz, 239 Hz, 290 Hz, 337 Hz, 489 Hz, 571 Hz

Birinci mod olarak adlandırılan modun, kapağın komple çalıştığı mod olduğu söylenebilir. Bu mod, ses oluşumunda oldukça önemlidir. Bu moddaki artış, enstrümandaki ses algısında önemli bir değişime sebep olmaktadır.

## 6.2.2 Mobilite Analizi

Çalgıların akustik analizlerinde genellikle mobilite ve ses yayılım analizi tekniklerinin tercih edildiği ölçüm yöntemlerinde belirtilmiştir.

Bu tekniklerden mobilite (mobility) analizi, yapının uyarıcı kuvvete gösterdiği titreşim cevabının hız cinsinden tanımlanmasıdır. Çalgı akustiğinde bu ölçüm genellikle çalgıların eşik noktasından uygulanmaktadır. Uyarının yapıldığı ve cevabın ölçüldüğü nokta birbirine ve tellerin bağlı oldukları noktaya mümkün olduğunca yakın seçilmelidir. Böylece tel ile gövde arasındaki enerji aktarımı hakkında önemli bilgiler elde edilebilmektedir.

Mobilite analizinde, çalgı çekiçle eşikten vurularak uyarılır ve eşığe vurulan noktadan ivmeölçer ile ölçüm yapılarak sonuç elde edilir.

Mobilite testi sayesinde enstrümana hangi frekansta kaç Newton değerinde bir kuvvet uygulandığı ve enstrümanın uygulanan bu kuvvete karşılık gelen frekans değerine nasıl cevap verdiği anlaşılır. Mobilite testinden elde edilen sonuçlara göre enstrüman verilen titreşimi alıp destekliyor mu; vermiş olduğumuz kuvveti olduğu gibi mi iletiyor ya da o kuvveti sönmümlüyor mu sorularına cevaplar alınır.

Mobilite ölçüm sürecinde yapıya uygulanan kuvvet ile oluşan tepki aynı noktadan ölçülerek frekans tepki fonksiyonları elde edilir.

Çalgıdan elde edilen titreşim cevabı, ivme değil hız cinsinden hesaplanmaktadır. Bu süreçte tel gerilimi ölçüm sonuçlarını etkileyebileceği için, çalgının telleri olması gereken akorduna getirilmiştir. Ancak tel kaynaklı titreşimlerin ölçümleri etkilememesi için bir parça bant yardımıyla tüm teller susturulmuştur.

Bu aşamada, B&K 8204 minyatür darbe çekici, 6 kanallı B&K 3050-A-060 veri toplama modülü, B&K 4517 minyatür ivme ölçer ve B&K 7781-N6 Pulse Access FFT analiz yazılımı kullanılmıştır. Ayrıca ivme ölçerden elde edilen ivme değeri, FFT programı tarafından hıza çevrilmiştir. Mobilite ölçümden elde edilen FTF grafikleri ölçüm

sonuçlarında paylaşılmıştır. Burada yatay eksen frekansı, düşey eksen birim kuvvet başına oluşan hız değerinin büyüklüğünü vermektedir.

### 6.2.3 Ses Yayınım Analizi

Bir diğer yöntem olan ses yayınım analizinde ise çalgı etrafında 360 derece dönmek suretiyle yine çekiçle eşikten vurularak uyarılır, elde edilen ses, mikrofon yardımıyla ölçülerek analizi yapılır. Böylece çalgının doğal titreşimlerinin ses üzerindeki katkı oranları elde edilir. Bir başka deyişle, ses yayınım analizinde, ivme analizinden elde edilen titreşimlerin ne kadarının nasıl sese dönüştüğünü gözlemlenir.

Bu aşamada da B&K 8204 minyatür darbe çekici, 6 kanallı B&K 3050-A-060 veri toplama modülü, B&K 4189-A-021 Mikrofon, B&K 4517 minyatür ivme ölçer ve B&K 7781-N6 Pulse Access FFT analiz yazılımı kullanılmıştır.

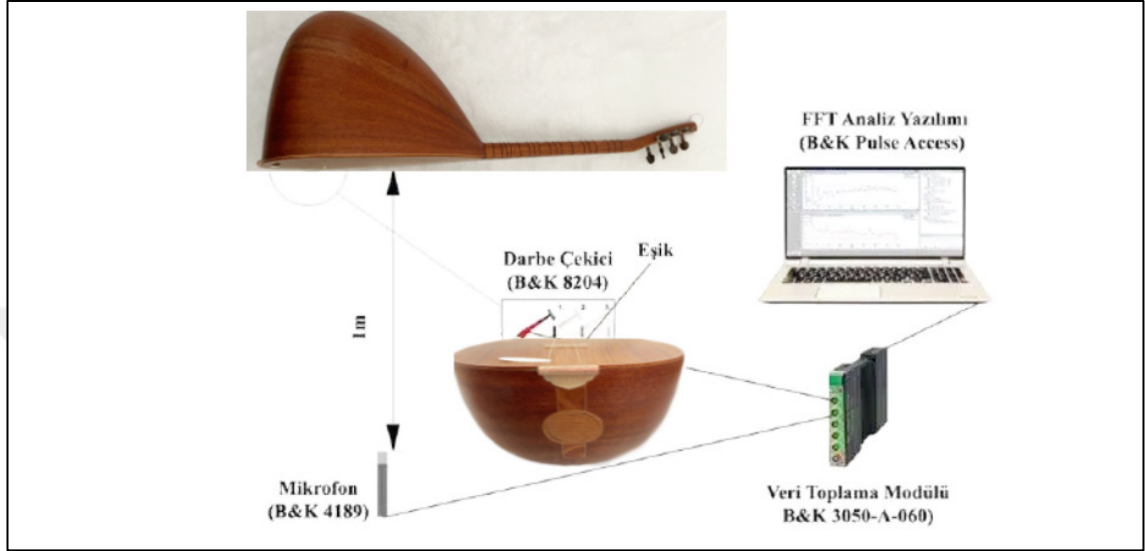
Herhangi bir frekansta ciddi oranda bir titreşim ölçüldüğünü fakat o frekansta ses çıkmadığını varsayalım. Titreşim meydana geldiğinde ses oluşumunun beklenmesi olası ancak eğer ölçülen mod frekansı ters fazda çalışıyorsa, ses oluşumu gerçekleşmez. İşte bu gibi durumlarda da ses yayınım analizi sayesinde meydana gelmiş bir titreşimin sese ne ölçüde dönüştüğünü gözlemlemek mümkündür.

Ses yayınım analizi, çalgının titreşim modlarının hangilerinin ne düzeyde ses oluşumuna katkı sağladıklarının anlaşılması açısından oldukça önemli bir test tekniğidir. Ölçüm sonuçları frekans tepki fonksiyonları şeklinde elde edilmektedir. Bu analizde çalgı eşik bölgesinden darbe çekici ile uyarılmakta ve oluşan ses mikrofon (B&K 4189-A-021 mikrofon ve ön yükselticisi) ile ölçülmektedir. Bu teknikle elde edilen FTF sonuçları kullanılarak, birim kuvvet başına oluşan ses basıncını, frekansın bir fonksiyonu olarak elde etmek mümkündür.

Laboratuvar ortamında uyarıyı darbe çekici ile yaparak çok hassas ölçümler yapmak mümkün olmaktadır. Ancak atölye ortamında da taşınabilir bir bilgisayar veya cep telefonu kullanarak akustik analizler yapmak mümkündür. Bu analiz, geleneksel olarak

çalgı yapımcılarının ağaç malzemelere veya çalgının bölümlerine vurarak çıkan sesi dinlemeleriyle oldukça benzerdir.

**Şekil 6.18: Ses yayılım ölçümünün bağlama çalgısı üzerinde uygulaması (Application of the sound radiation measurement on the 147 bağlama)**



### 6.3 ÖLÇÜM GRAFİKLERİ

Çalışmanın bu aşamasında geleneksel ve double top bağlamalara ses deliği açık ve ses deliği kapalı halde yapılan mobilite ve ses yayılım analizinden elde edilen grafiklerin, kolayca gözlemlenebilmesi adına ilk önce 0-3k aralığı, daha sonra aynı grafiklerin ölçümün tamamını kapsayan 0-10kHz aralığı paylaşılmıştır.

Belirtilen frekans aralıkları için paylaşılan grafiklerde, her başlık için sırası ile önce bir numaralı geleneksel ve kompozit çift kapak bağlamalara, daha sonra ise iki numaralı geleneksel ve kompozit çift kapak bağlamalara ses deliği açık ve ses deliği kapalı halde yapılan analizlere ait gözlemlenen sonuçlar verilmiştir.

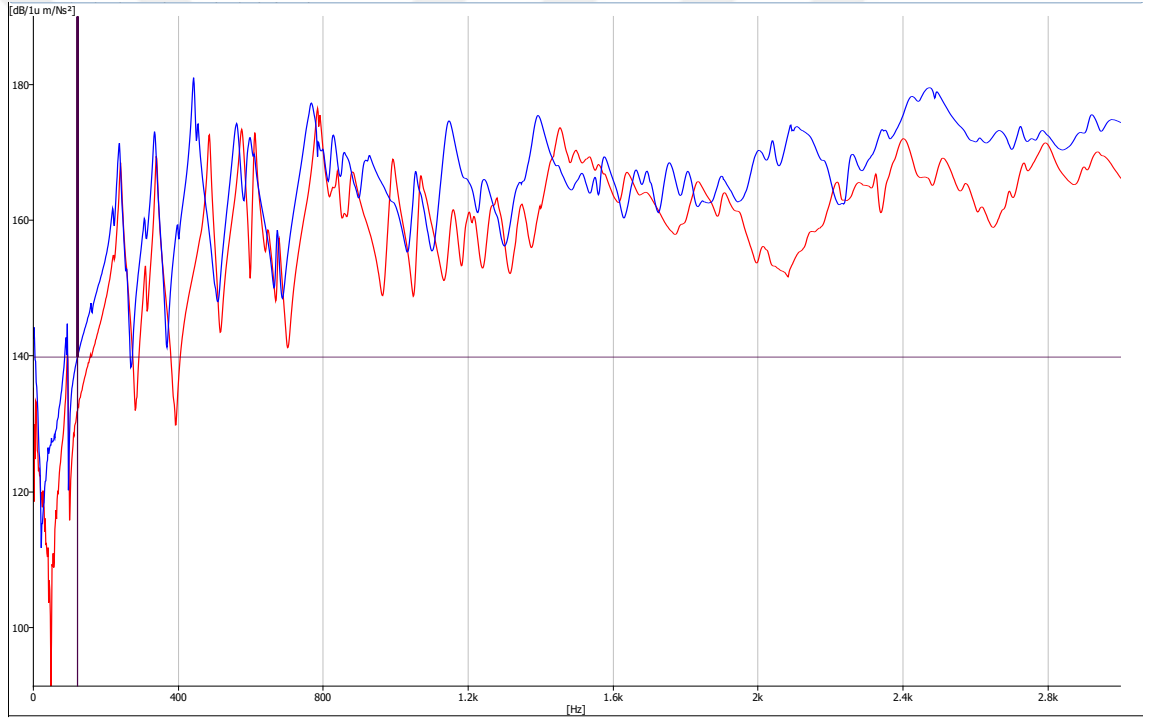
Grafiklerin hepsinde kırmızı renk geleneksel bağlamaya, mavi renk ise kompozit çift kapak bağlamaya ait gözlemlenen sonuçları ifade etmektedir.

### 6.3.1 Mobilite Analizi Ölçüm Grafikleri

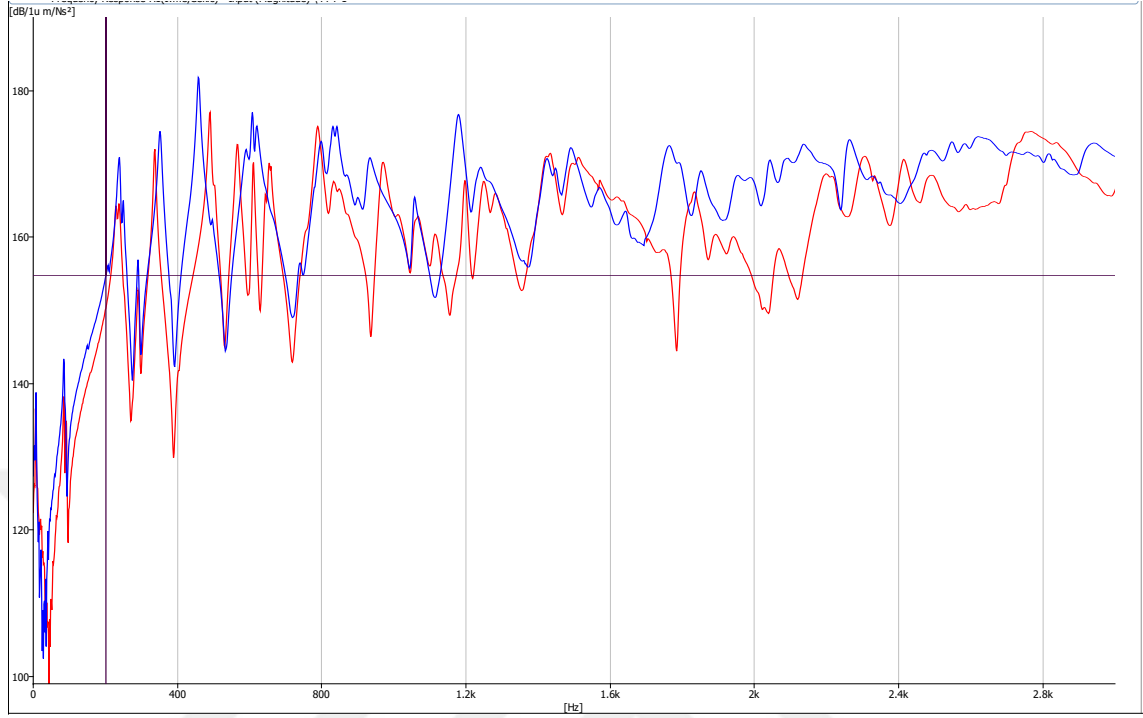
Çalışmanın bu aşamasında elde edilen grafiklerde, kırmızı çizgi geleneksel bağlamayı, mavi çizgi ise double top bağlamayı ifade etmektedir. Grafiğin yatay eksenini frekansı, dikey eksenini ise birim kuvvet başına oluşan hız değerinin dB cinsinden büyüklüğünü göstermektedir.

#### 6.3.1.1 0-3kHz aralığında ses deliği (kafes) açık geleneksel ve kompozit çift kapak bağlamaların mobilite analizi

**Şekil 6.19: Mobilite Analizi, Kırmızı 1 Numaralı Geleneksel Bağlama Ses Deliği Açık, Mavi 1 Numaralı Kompozit Çift Kapak Bağlama Ses Deliği Açık**

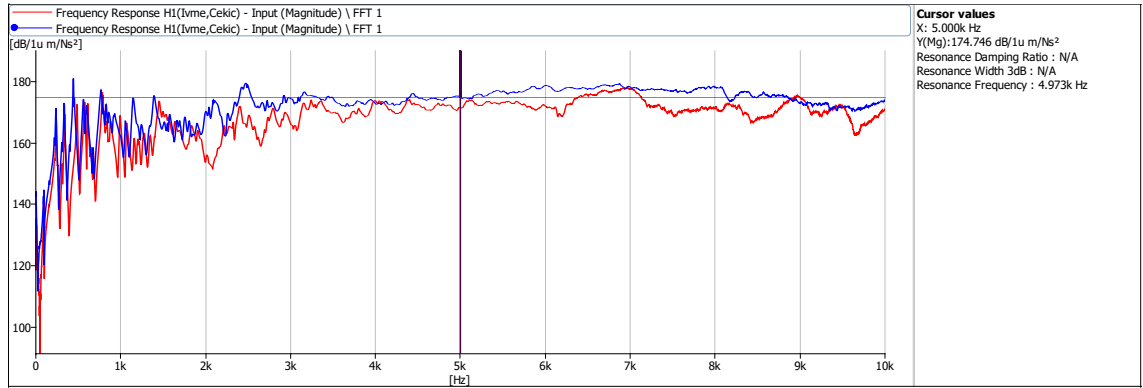


**Şekil 6.20: Mobilite Analizi, Kırmızı 2 Numaralı Geleneksel Bağlama Ses Deliği Açık, Mavi 2 Numaralı Kompozit Çift Kapak Bağlama Ses Deliği Açık**

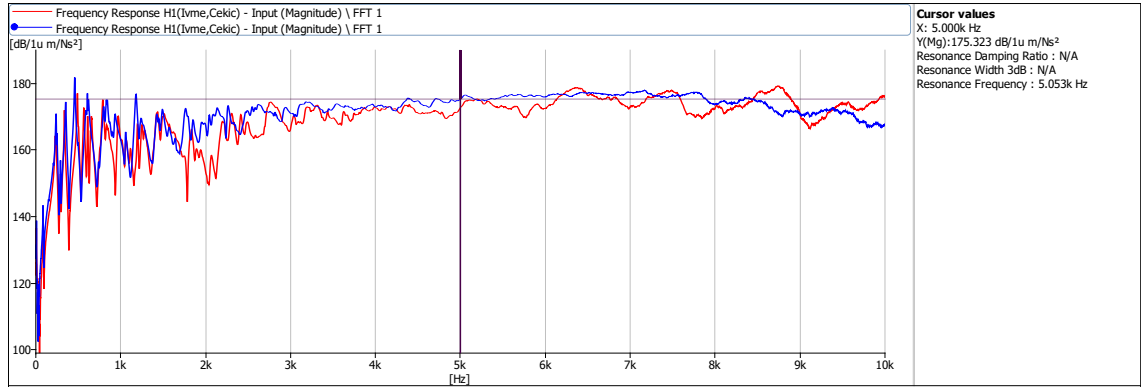


### 6.3.1.2 0-10kHz aralığında ses deliği (kafes) açık geleneksel ve kompozit çift kapak bağlamaların mobilite analizi

**Şekil 6.21: Mobilite Analizi, Kırmızı 1 Numaralı Geleneksel Bağlama Ses Deliği Açık, Mavi 1 Numaralı Kompozit Çift Kapak Bağlama Ses Deliği Açık**



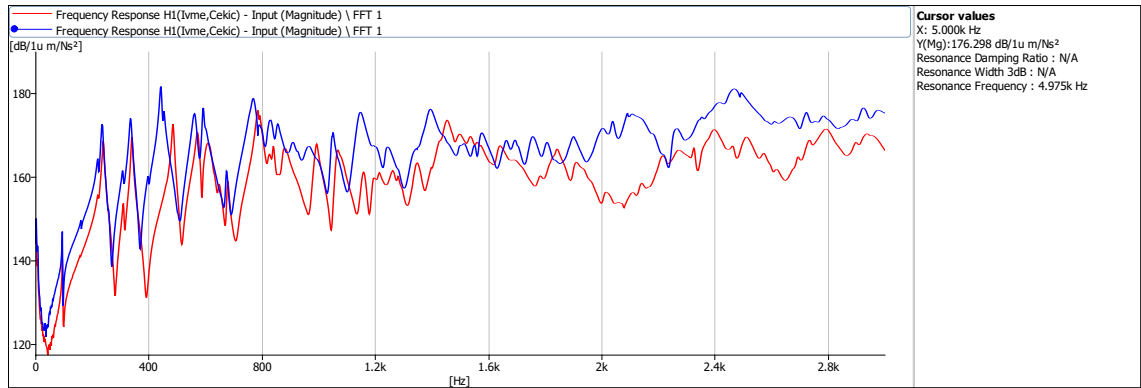
**Şekil 6.22: Mobilite Analizi, Kırmızı 2 Numaralı Geleneksel Bağlama Ses Deliği Açık, Mavi 2 Numaralı Kompozit Çift Kapak Bağlama Ses Deliği Açık**



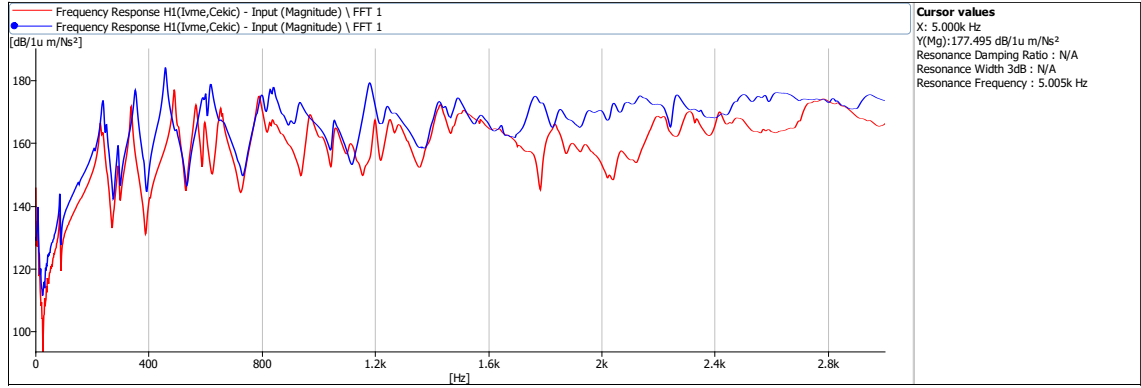
Ses deliği açık şekilde mobilite analizi yapılan geleneksel (single kapaklı) ve kompozit çift kapak (double top) her iki bağlamada da frekans sahası boyunca mod frekansların düştüğü ancak frekanstaki modal aktivitenin yükseldiği gözlemlenmiştir. Özellikle single kapaklı 1 ve 2 no'lu bağlamada sırasıyla 5. Mod olan 442Hz ve 589Hz frekansının, double top kapakta her iki bağlama için de 442Hz değerini verdiği grafiklerden gözlemlenebilmektedir. Grafikler incelendiğinde, bu sistemin her modu aktif etmekle beraber özellikle 5.modu daha belirgin bir şekilde aktive ettiğini söylemek mümkün olacaktır.

### 6.3.1.3 0-3kHz aralığında ses deliği (kafes) kapalı geleneksel ve kompozit çift kapak bağlamaların mobilite analizi

**Şekil 6.23: Mobilite Analizi, Kırmızı 1 Numaralı Geleneksel Bağlama Ses Deliği Kapalı, Mavi 1 Numaralı Kompozit Çift Kapak Bağlama Ses Deliği Kapalı**

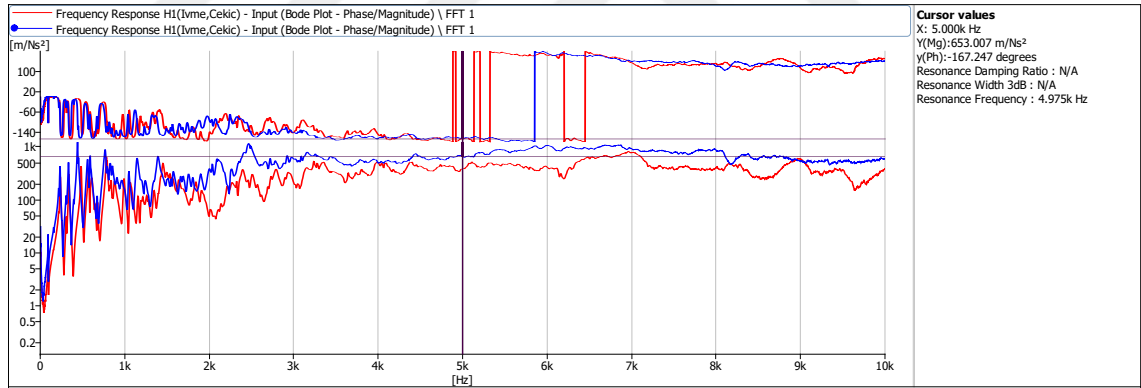


**Şekil 6.24: Mobilite Analizi, Kırmızı 2 Numaralı Geleneksel Bağlama Ses Deliği Kapalı, Mavi 2 Numaralı Kompozit Çift Kapak Bağlama Ses Deliği Kapalı**

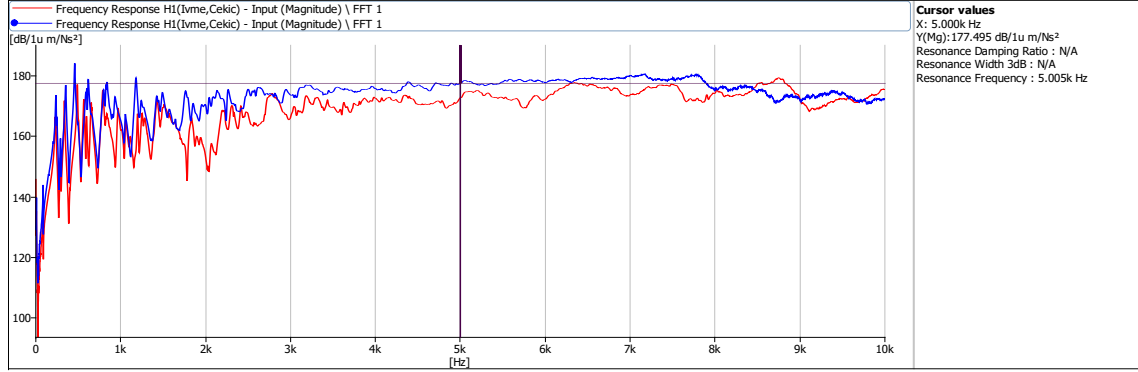


### 6.3.1.4 0-10kHz aralığında ses deliği (kafes) kapalı geleneksel ve kompozit çift kapak bağlamaların mobilite analizi

**Şekil 6.25: Mobilite Analizi, Kırmızı 1 Numaralı Geleneksel Bağlama Ses Deliği Kapalı, Mavi 1 Numaralı Kompozit Çift Kapak Bağlama Ses Deliği Kapalı**



**Şekil 6.26: Mobilite Analizi, Kırmızı 2 Numaralı Geleneksel Bağlama Ses Deliği Kapalı, Mavi 2 Numaralı Kompozit Çift Kapak Bağlama Ses Deliği Kapalı**



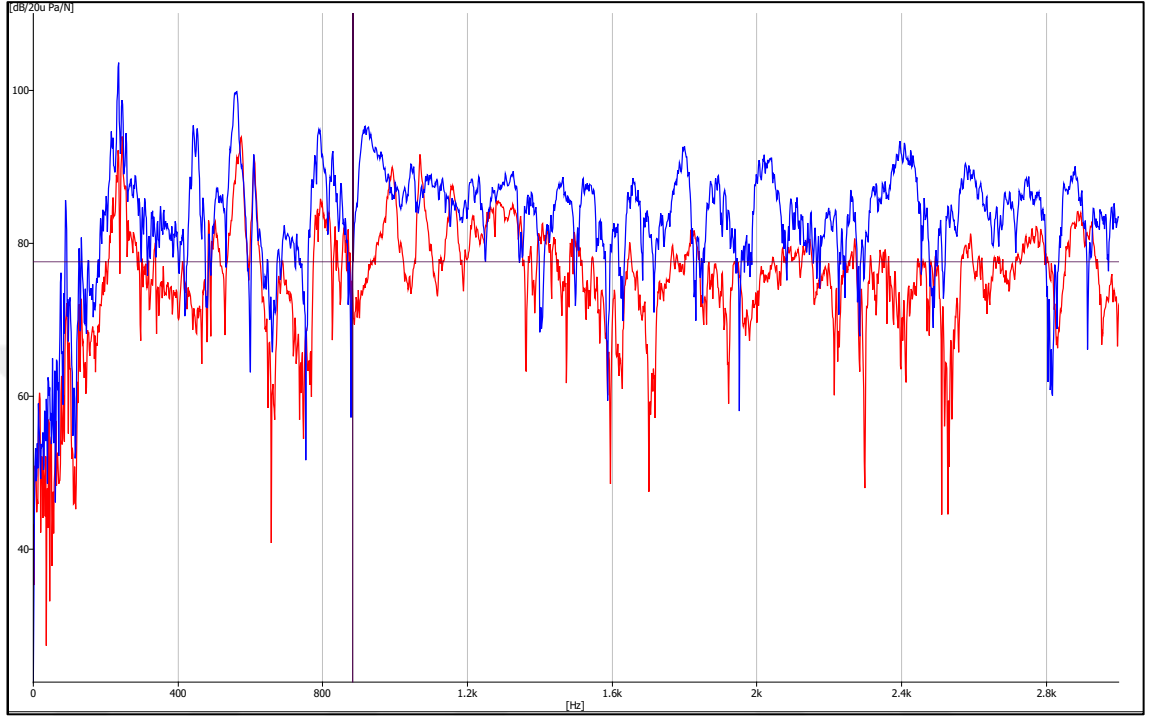
Ses deliği kapalı şekilde yapılan mobilite analizinde de tıpkı ses deliği açık şekilde yapılan mobilite analizinde olduğu gibi, kompozit çift kapak uygulamasının, geleneksel bağlamalara nisbeten frekans sahası boyunca modal aktiviteyi yükselttiği ancak özellikle 5. modda frekans değerini düşürürken aktivitesini yükselterek ciddi bir genlik değeri verdiği söylenebilir.

### 6.3.2 Ses Yayınım Analizi Ölçüm Grafikleri

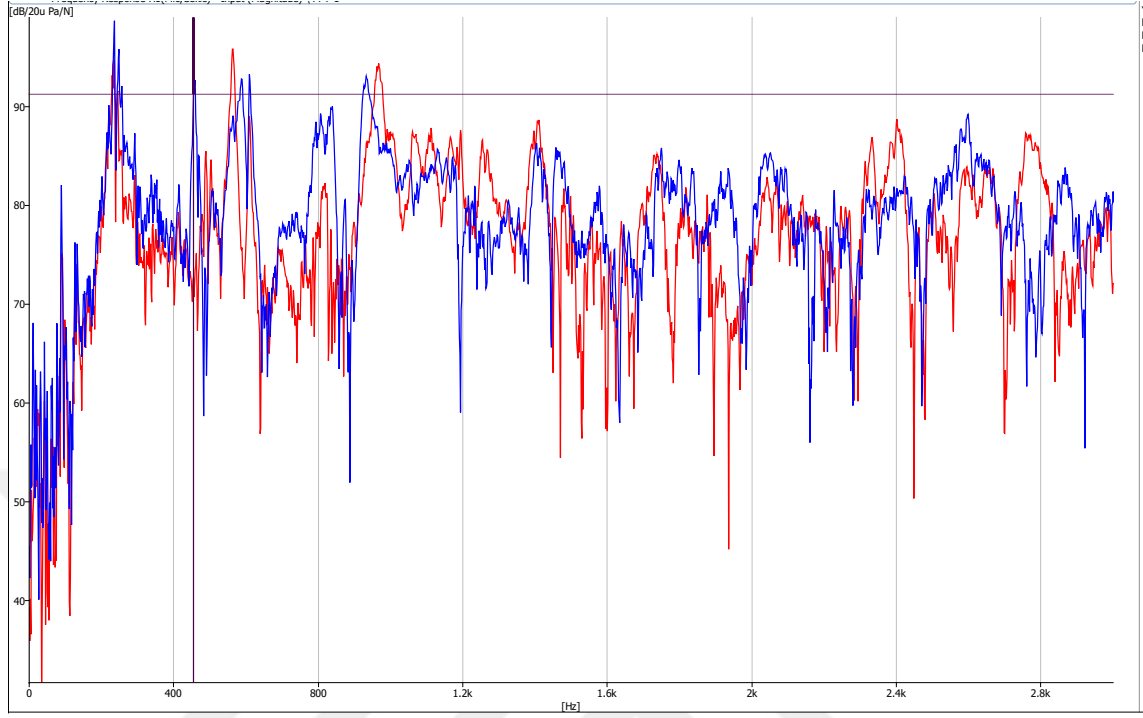
Çalışmanın bu aşamasında verilen grafiklerde yatay eksen frekansı, dikey eksen ise birim kuvvet başına elde edilen titreşimin ne düzeyde sese dönüştüğünü dB cinsinden ifade eder.

### 6.3.2.1 0-3kHz aralığında ses deliği (kafes) açık geleneksel ve kompozit çift kapak bağlamaların ses yayılım analizi

**Şekil 6.27: Ses Yayılım Analizi, Kırmızı 1 Numaralı Geleneksel Bağlama Ses Deliği Açık, Mavi 1 Numaralı Kompozit Çift Kapak Bağlama Ses Deliği Açık**

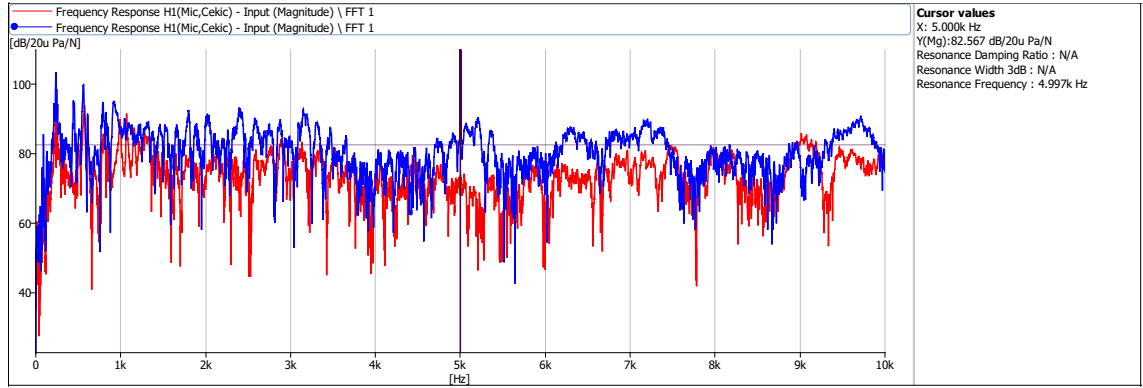


**Şekil 6.28: Ses Yayınım Analizi, Kırmızı 2 Numaralı Geleneksel Bağlama Ses Deliği Açık, Mavi 2 Numaralı Kompozit Çift Kapak Bağlama Ses Deliği Açık**

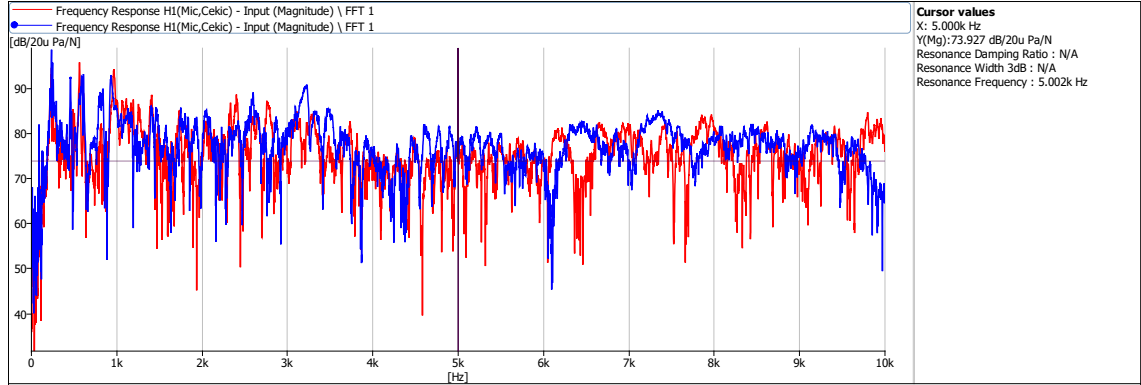


### 6.3.2.2 0-10kHz aralığında ses deliği (kafes) açık geleneksel ve kompozit çift kapak bağlamaların mobilite analizi

**Şekil 6.29: Ses Yayınım Analizi, Kırmızı 1 Numaralı Geleneksel Bağlama Ses Deliği Açık, Mavi 1 Numaralı Kompozit Çift Kapak Bağlama Ses Deliği Açık**



**Şekil 6.30: Ses Yayınım Analizi, Kırmızı 2 Numaralı Geleneksel Bağlama Ses Deliği Açık, Mavi 2 Numaralı Kompozit Çift Kapak Bağlama Ses Deliği Açık**

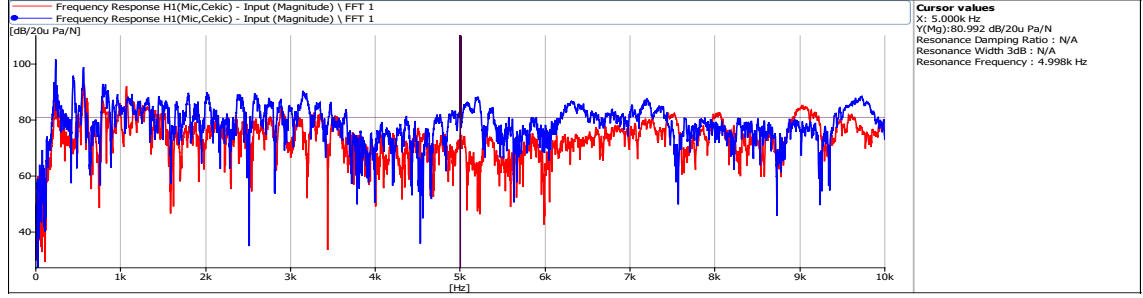


Ses deliği açık şekilde yapılan ses yayılım analizi grafikleri incelendiğinde, her iki bağlama için de kompozit çift kapağın (double top), single kapağa nisbeten frekans sahası boyunca oluşan sesin şiddetini yükselttiğini söylemek mümkün olacaktır. Bu sayede mobilite analizinde gözlemlenen mevcut titreşimin enstrümanlarda ne şekilde sese dönüştüğü, enstrümanların bu titreşimlere nasıl cevap verdiği görülebilir.

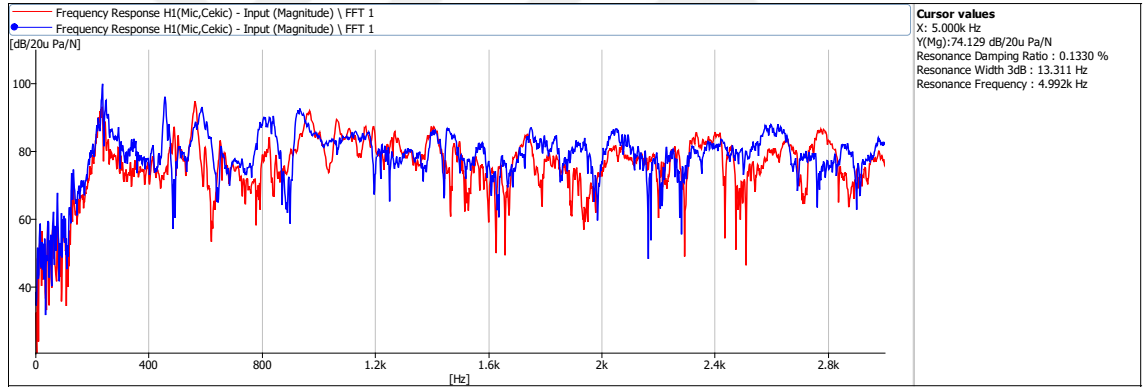
Burada 2 numaralı bağlamaların grafiğinin, 1 numaralı bağlamalar kadar açık olmadığı gözlemlenebilir çünkü 1 numaralı bağlamaların grafikleri incelendiğinde frekans sahası boyunca tüm değerlerde ciddi bir yükseliş söz konusu idi. Burada bazı modlarda geleneksel bağlamanın değerlerinin de yüksek olduğu görünmekte ancak özellikle 5.modda geleneksel bağlama neredeyse hiç iyi bir ses üretemezken, kompozit çift kapak uygulanan bağlamadaki ilgili modda ciddi bir yükseliş olduğu görülmektedir.

### 6.3.2.3 0-3kHz aralığında ses deliği (kafes) kapalı geleneksel ve kompozit çift kapak bağlamaların ses yayılım analizi

**Şekil 6.31: Ses Yayılım Analizi, Kırmızı 1 Numaralı Geleneksel Bağlama Ses Kapağı Deliği, Mavi 1 Numaralı Kompozit Çift Kapak Bağlama Ses Deliği Kapalı**

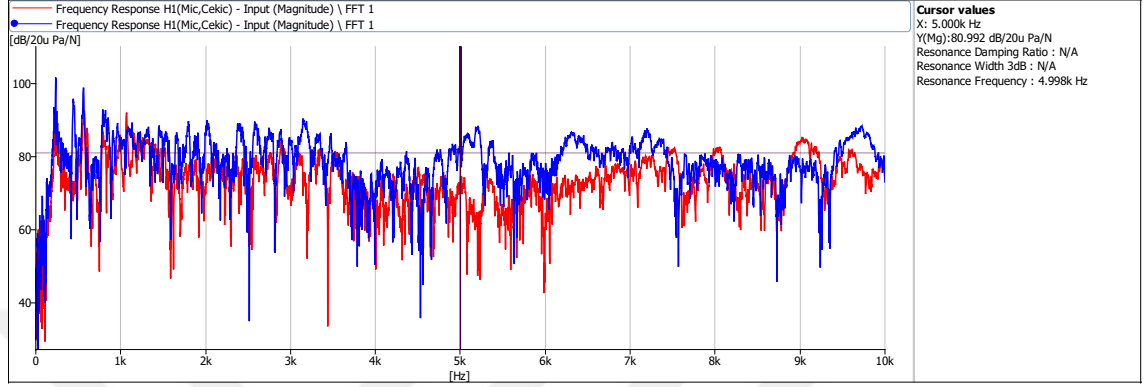


**Şekil 6.32: Ses Yayılım Analizi, Kırmızı 2 Numaralı Geleneksel Bağlama Ses Deliği Kapalı, Mavi 2 Numaralı Kompozit Çift Kapak Bağlama Ses Deliği Kapalı**

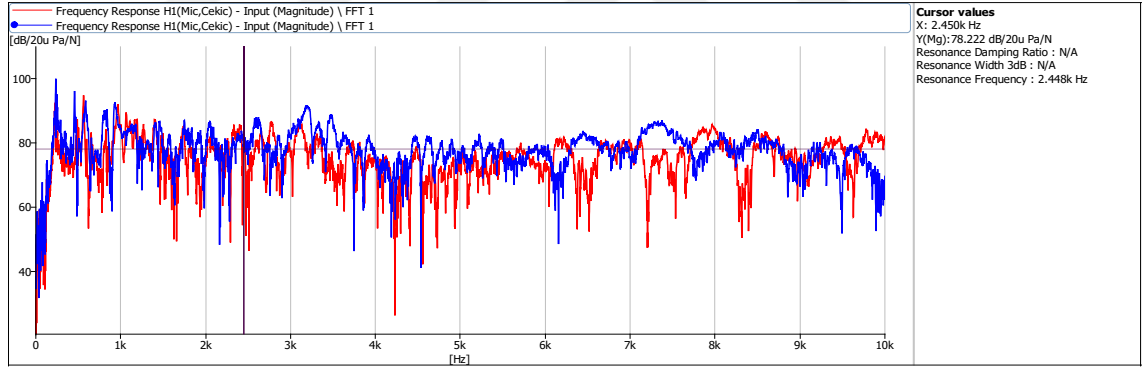


### 6.3.2.4 0-10kHz aralığında ses deliği (kafes) kapalı geleneksel ve kompozit çift kapak bağlamaların ses yayını analiz

**Şekil 6.33: Ses Yayını Analizi, Kırmızı 1 Numaralı Geleneksel Bağlama Ses Deliği Kapalı, Mavi 1 Numaralı Kompozit Çift Kapak Bağlama Ses Deliği Kapalı**



**Şekil 6.34: Ses Yayını Analizi, Kırmızı 2 Numaralı Geleneksel Bağlama Ses Deliği Kapalı, Mavi 2 Numaralı Kompozit Çift Kapak Bağlama Ses Deliği Kapalı**



Ses deliği kapalı halde yapılan ses yayını analizi grafiklerinden de yine ses kapağı açık halde yapılan ses yayını analizlerinde olduğu gibi double top kapağın, single kapağa oranla frekans sahası boyunca ses oluşumunu yükselttiği sonucuna varılabilir.

## 6.4 DEĞERLENDİRME

Bu çalışmada, telli çalgıların akustik özelliklerinin belirlenmesinde kullanılan ölçüm yöntemlerinden mobilite ve ses yayını analizi, geleneksel (single kapak) ve double top (çift katlı sandviç kapak) bağlamalar üzerinde uygulanmıştır.

Yapılan çalışmada, mobilite ve ses yayılım analizi tercih edilmiş, böylece bu yöntemler ile çalgılar üzerinde tekrar eden akustik deneylerin, insan faktörü (ıcracı) tarafından etkiye uğramadan, objektif bir şekilde yapılabileceği ve çalgının genel ses karakteriyle ilgili güvenilir veriler elde edilebileceği de gösterilmiştir.

Yapılan ölçümlerin sonuç grafikleri görsel olarak verilmiş, bağlama çalgısına uygulanan kompozit çift kapak (double top) tekniğinin geleneksel bağlama ile kompozit çift kapak bağlama çalgılarında titreşim ve ses oluşumu üzerindeki etkisi saptanmıştır.

Tüm akustik ölçümler bağlamaların ses deliği açık ve ses deliği kapalı hali ile yapılmıştır. Geleneksel bağlamanın bölümlerinin söz edildiği başlık altında bulunan 3.1.6. no'lu Ses Deliği başlığında da belirtildiği üzere ses deliği (kafes), teknede yansıyan sesin dışarı çıkması için kullanılır. Yapılan ölçümlerde verilen titreşim neticesinde oluşan sesin yansımada ne düzeyde fark olabileceğini gözlemlemek adına kafes açık ve kapalı şekilde ölçümler gerçekleştirilmiş, her iki şekilde de sesin yükseldiğini gösteren sonuçlar grafiklerle ortaya konmuştur.

Aşağıdaki tabloda 1 ve 2 numaralı geleneksel ve kompozit çift kapaklı bağlamaların mobilite ve ses yayılım analizleri kapsamında ölçülen mod frekansları verilmiştir. Tablo genel hatlarıyla incelendiğinde, kompozit çift kapak uygulamasının çeşitli frekanslarda oluşturduğu etki gözlemlenebilir.

**Tablo 6.1: Mod frekansları**

<b>MOD FREKANS</b> <b>BAĞLAMA</b>	<b>1. MOD (Hz)</b>	<b>2. MOD (Hz)</b>	<b>3. MOD (Hz)</b>	<b>4. MOD (Hz)</b>	<b>5. MOD (Hz)</b>	<b>6. MOD (Hz)</b>
<b>1 numaralı Geleneksel Bağlama</b>	85	239	290	337	480	567
<b>1 numaralı Kompozit Çift Kapaklı Bağlama</b>	93	237,5	280	334	442	560
<b>2 numaralı Geleneksel Bağlama</b>	95	239	290	337	489	571
<b>2 numaralı Kompozit Çift Kapaklı Bağlama</b>	84	239	289	350	459	589

Bu bölümde elde edilen bulgular incelendiğinde, mobilite analizi ile ses yayını analiz sonuçları arasında önemli benzerlikler görülmüştür. Özellikle karşılaştırma grafiklerinde, her iki analize ait eğrilerde aynı frekanslarda benzer tepe noktaları (pikler) göze çarpmaktadır. Bazı frekans değerlerinde ses oluşumu pik yapmakta ve diğer titreşim frekansına kadar herhangi bir düşüş olmadan devam etmektedir.

Ayrıca dikkat çeken diğer bir husus da kimi zaman grafikteki eğrilerin yer değiştirmesidir. Yani bazı frekans değerlerinde çalgı, göreceli olarak daha az titreşimle daha çok ses üretmekte, bazı frekans değerlerinde ise yüksek titreşim görülmesine rağmen daha az ses üretmektedir. Ölçümü yapılan kompozit çift kapak (double top) bağlamanın beşinci mod frekansında daha belirgin bir şekilde gözlemlendiği gibi, frekansının düşmesine rağmen ilgili modun aktivitesinin yükselişi bu şekilde açıklanabilir.

Bu çalışmada iki adet geleneksel bağlama ilk önce mobilite ve ses yayını analizine tabii tutulmuş, ardından bu iki geleneksel bağlama ile bire bir aynı iki adet kompozit çift kapak bağlama yapılmış bu bağlamalar da mobilite ve ses yayını analizine tabii tutulmuştur. Elde edilen sonuçlar paylaşılmış, kompozit çift kapak uygulamasının bağlama çalgısına olumlu akustik etkiler kattığı görülmüştür.

Bu çalışmada bağlamalar için kullanılan ağaç türleri maun ile Kanada Sediri olup, bağlamalar 42 cm tekne boyuna sahiptir. Elbette kompozit çift kapak uygulaması bu çalışmadan farklı ağaç türlerinden, farklı ebatlarda bağlamalarda da denenerek bu analiz yöntemleri ile ölçümler yapıldığında benzer sonucu almak mümkün olabilir.

Kompozit çift kapak ile imal edilen bağlamalar, kompozit malzemenin yapısal bileşenleri dolayısıyla ahşaba nispeten daha dayanıklı olmakla beraber bu tekniğin, bağlama çalgısına uygulanışı gereği kapakta açılan oyuktan bir miktar ahşabın çıkarılıp açılan boşluğa bal peteği yapısında kompozit malzeme yerleştirildiği için çalgıya hafiflik kattığını da söylemek mümkün olacaktır.

Yapılan bu çalışma, bağlama çalgısının gövdesinde kompozit çift kapak uygulamasını gözlemlemek, bu şekilde imal edilen enstrümanı icra etmek isteyenlere fikir ve rehber niteliğinde olabilecektir.

## 7. SONUÇ

Ses deliği açık şekilde mobilite analizi yapılan geleneksel (single kapaklı) ve kompozit çift kapak (double top) her iki bağlamada da frekans sahası boyunca mod frekansların düştüğü ancak frekanstaki modal aktivitenin yükseldiği sonucuna varılmaktadır.

Özellikle single kapaklı 1 ve 2 no'lu bağlamada sırasıyla 5. Mod olan 480Hz ve 489Hz frekansının, double top kapakta her iki bağlama için de yakın frekans değerlerinde olmakla beraber sırası ile 442Hz ve 459Hz değerlerini verdiği, deney grafiklerinden gözlemlenebilmektedir. Grafikler incelendiğinde, bu sistemin her modu aktif etmekle beraber özellikle 5.modu daha belirgin bir şekilde aktive ettiği anlaşılmaktadır.

Ses deliği açık şekilde geleneksel ve kompozit çift kapak bağlamaya yapılan mobilite analizinden, kompozit çift kapak uygulamasının geleneksel bağlamaya göre enstrümandaki titreşim oluşumunu daha fazla desteklediği sonucuna varılabilir.

Ses deliği kapalı şekilde yapılan mobilite analizinden de tıpkı ses deliği açık şekilde yapılan mobilite analizinde olduğu gibi, kompozit çift kapak uygulamasının eklendiği bağlamalarda geleneksel bağlamalara nispeten frekans sahası boyunca modal aktiviteyi yükselttiği ancak özellikle yine 5.modda frekans değerini düşürürken, ilgili frekansın aktivitesini yükselterek ciddi bir genlik değeri verdiği için, titreşim oluşumunu daha fazla desteklediği sonucuna varmak mümkündür.

Ses deliği açık şekilde yapılan ses yayılım analizi grafiklerinden ise her iki bağlama için de kompozit çift kapağın (double top), single kapağa nisbeten frekans sahası boyunca oluşan sesin şiddetini yükselttiği sonucu elde edilmiştir.

Bu sayede mobilite analizinde gözlemlenen mevcut titreşimin enstrümanlarda ne derece sese dönüştüğü, enstrümanların bu titreşimlere nasıl cevap verdiği de anlaşılmış, ses deliği açık şekilde yapılan ses yayılım analizinden elde edilen sonucun, ses oluşumundan evvel gerekli olan titreşimler düşünüldüğünde, ses deliği açık şekilde yapılan mobilite analizini desteklediği görülmüştür.

Ses deliği açık şekilde yapılan ses yayını analizlerinde, 2 numaralı bağlamaların grafiğinin, 1 numaralı bağlamalar kadar açık olmadığı gözlemlenerek, bunun da 1 numaralı bağlamaların grafikleri incelendiğinde frekans sahası boyunca tüm değerlerde ciddi bir yükseliş söz konusu iken 2 numaralı bağlamalardan elde edilen grafikteki değerlerin geleneksele nispeten 1 numaralı bağlamaların karşılaştırmasında görüldüğü kadar yükselme olmamasından anlaşılabilceği, ancak yine de her iki bağlamadan da kompozit çift kapaklı olanın, geleneksel bağlamaya göre ses oluşumunu daha fazla desteklediği sonucuna varılmaktadır.

Ses deliği açık şekilde yapılan ses yayını analizinde bazı modlarda geleneksel bağlamaların değerlerinin de yüksek olduğu görünmekte ancak özellikle 5.modda geleneksel bağlama neredeyse hiç iyi bir ses üretmezken, kompozit çift kapak uygulanan bağlamadaki ilgili modda ciddi bir yükseliş olduğu gözlemlendiğinden, kompozit çift kapak uygulamasının geleneksele (single kapak) göre özellikle beşinci moddaki ses oluşumunu ciddi anlamda desteklemekle beraber frekans sahası boyunca da ses oluşumuna artı yönde destek verdiği sonucuna varılabilir.

Ses deliği kapalı halde yapılan ses yayını analizi grafiklerinden de yine ses kapağı açık halde yapılan ses yayını analizlerinin grafiklerinde olduğu gibi kompozit çift kapağın (double top), single kapağa (geleneksel) oranla frekans sahası boyunca daha yüksek değerlerde salındığı, dolayısıyla uygulandığı bağlamaların yapısına ses oluşumunu destekleyici yönde etki ettiği sonucuna varılabilir.

Ses deliği açık ve ses deliği kapalı şekilde gerçekleştirilen mobilite ve ses yayını analizlerinde 1 ve 2 numaralı geleneksel (single kapak) ve kompozit çift kapak (double top) bağlamalara ait ölçülen yaklaşık mod frekanslarına göre sonuçları şu şekilde yorumlamak mümkün olacaktır:

1 numaralı geleneksel bağlamada 85Hz ölçülen mod, 1 numaralı kompozit çift kapaklı bağlamada biraz daha yükselmiş ve 93Hz civarında kalmıştır. Frekans değeri çok az yükselmekle beraber, ilgili moda ait modal aktivitenin de yükseldiği sonucu görülmüştür.

1 numaralı geleneksel bağlamada 239Hz olarak ölçülen ikinci mod, 1 numaralı kompozit çift kapaklı bağlamada 237,5Hz civarına gelerek biraz daha düşmüştür. Ancak bu modda da frekans değeri düşse de modal aktivitenin yükselmesi durumunun korunduğu sonucuna varılmıştır.

1 numaralı geleneksel bağlamada 290Hz olarak ölçülen ve hemen hemen 293,7Hz frekans değerindeki Re notasına tekabül eden üçüncü mod, 1 numaralı kompozit çift kapaklı bağlamada 280Hz olarak ölçülmüş, frekans değeri düşmesine rağmen ilgili modun aktivitesinin yükseldiği gözlemlenmiştir.

1 numaralı geleneksel bağlamada 337Hz ölçülen, 329,6Hz frekans değerindeki Mi ve 349,2Hz frekans değerine sahip Fa notalarına yakın olan dördüncü mod, 1 numaralı kompozit çift kapaklı bağlamada Mi notasına daha çok yaklaşmakla beraber 334Hz civarına çekilmiş, dolayısıyla frekansın değeri çok az düşerek alt frekanslara yaklaşırsa da yine modal aktivitenin yükseldiği görülmüştür.

1 numaralı geleneksel bağlamada 480Hz ölçülen ve 493Hz frekans değerine sahip Si notasına yakın olan beşinci mod, 1 numaralı kompozit çift kapaklı bağlamada 442 Hz olarak ölçülerek, frekans değeri 440Hz'e karşılık gelen La notasına yaklaşmış, bu modda da tıpkı diğer modlarda olduğu gibi frekans değerinin daha alt frekans değerlerine yaklaştığı, dolayısıyla enstrüman tonunun pestleşebileceği ama modal aktivitenin arttığı, ayrıca önceki modlara ek olarak en ciddi değişimin beşinci modda olduğu sonucuna varılmıştır.

1 numaralı geleneksel bağlamada 567Hz olarak ölçülen altıncı mod, 1 numaralı kompozit çift kapaklı bağlamada yaklaşık 560Hz görülmüş, frekans değeri düşmesine rağmen ilgili mod aktivitesinin yine de yükseldiği anlaşılmıştır.

Sözü edilen bu frekans değişimleri ve değişimlerin ilgili modlardaki frekansı düşürmesine rağmen modal aktiviteleri yükseltmesi durumunun, ölçümün gerçekleştirildiği 0-10kHz frekans sahası boyunca sürdüğü sonucuna ulaşmak mümkündür.

Yukarıda 1 numaralı geleneksel ve kompozit çift kapaklı bağlamalar için detaylandırılan karşılaştırmalı mobilite ve ses yayılım analizi sonuçlarının yorumu, ölçülen mod frekansları belirtilen 2 numaralı geleneksel ve kompozit çift kapaklı bağlamalar için de aynı şekilde yapılır; 2 numaralı geleneksel bağlamada 95Hz olarak ölçülen birinci modun, 2 numaralı kompozit çift kapaklı bağlamada 84Hz civarına düştüğü, büyük bir fark olmamakla beraber yine de düşen frekans değerinin sesi daha alt frekanslara çektiği ancak ilgili mod aktivitesini yükselttiği sonucuna varılabilir.

2 numaralı geleneksel bağlamada 239Hz olarak ölçülen ikinci modun, 2 numaralı kompozit çift kapaklı bağlamada da kendini korumakla beraber yine 239Hz değerinde kaldığı, frekans frekans değerinde değişme gözlenmese de modal aktivitenin yükseldiği sonucu görülmüştür.

2 numaralı geleneksel bağlamada 290Hz olarak ölçülen ve 293,7Hz frekans değerindeki Re notasına yakın olan üçüncü modun, 2 numaralı kompozit çift kapaklı bağlamada yaklaşık 289Hz olarak ölçülüp, neredeyse değerini koruduğu sonucu elde edilmiştir. 1 numaralı geleneksel ve 1 numaralı kompozit çift kapaklı bağlamada da bu moddaki değerlerin benzer olması göz önüne alınır, bu çalışmadaki kompozit çift kapak uygulamasının, Re notasına tekabül eden frekans değerleri civarı için çok büyük bir değişime yol açmadığı ancak yine de modal aktiviteye olumlu etkilerde bulunduğu, dolayısıyla enstrümandaki titreşim ve ses oluşumunda olumlu etki yarattığı sonucuna varmak mümkündür.

2 numaralı geleneksel bağlamada 337Hz olarak ölçülen ve 329,6Hz değerindeki Mi notasına yakın olan dördüncü modun, 2 numaralı kompozit çift kapaklı bağlamada yaklaşık 350Hz ölçülerek, frekans değeri 349,2Hz olan Fa notasına yaklaştığı görülmüştür. Frekans değerinin yükseldiği gözlemlenen dördüncü modda da kompozit çift kapaklı bağlamanın da ilgili frekansında modal aktivitesinin geleneksele göre daha yüksek olduğu sonucuna varılmıştır.

2 numaralı geleneksel bağlamada 489Hz olarak ölçülen ve frekans değeri 493Hz olan Si notasına yakın beşinci modun frekans değeri, 2 numaralı kompozit çift kapaklı bağlamada da tıpkı 1 numaralı kompozit çift kapaklı bağlamada ölçülen 442Hz'e yakın bir değer

olan 459Hz olarak ölçülerek, 440Hz frekans değerine sahip La notasının yakınlarında kaldığı, ilgili moddaki frekans değerindeki değişimler sebebiyle notaların da değişime gittiği, frekans değerlerinin geleneksel bağlamaya nispeten düşmesine rağmen modal aktivitenin ise ciddi anlamda yükseldiği, dolayısıyla 1 numaralı bağlamalarda olduğu gibi 2 numaralı bağlamaların karşılaştırmalı sonucunda da kompozit çift kapak uygulamasının frekans değerini düşürmesine rağmen ses oluşumu yükselttiği durumunun en çok beşinci modda etkisini belli ettiği sonucuna varılmıştır.

2 numaralı geleneksel bağlamada 571Hz olarak ölçülen altıncı modun, 2 numaralı kompozit çift kapaklı bağlamada yaklaşık 589Hz ölçüldüğü, bu moddaki frekans değerinin ise çok az yükseldiği ama modal aktivitenin yine de geleneksel bağlamaya nispeten yüksek olduğu sonucu elde edilmiştir.

2 numaralı geleneksel ve kompozit çift kapaklı bağlamalar için de sözü edilen bu frekans değişimleri ve değişimlerin ilgili modlardaki frekansı yer yer yükseltmekle beraber çoğunlukla düşürmesine rağmen modal aktiviteleri yükseltmesi durumunun, ölçümün gerçekleştirildiği 0-10 kHz frekans sahası boyunca sürdüğü sonucuna ulaşmak mümkündür.

Bu çalışmada bağlama çalgısına uygulanan kompozit çift kapak, enstrümanın kapağını hafifletmiş ve kapaktaki bu hafifleme, enstrümandan alınacak temiz ses oranını yükseltmiş, kapağın rahat aktive olmasını sağlamıştır. Çalışmadan alınan sonuçlar kapsamında, frekans değerinin yükselip düşmesinin, ilgili frekanstaki modal aktiviteyi etkilemediğini, modların kapağın gerginliği ve ağırlığına göre çalışmakla beraber, mod frekans değerinin değişmesinin enstrümana tonal karakter açısından etki gösterdiğini söylemek mümkündür.

İki adet geleneksel (single kapak) ve iki adet kompozit çift kapak (double top) bağlamaya, sırası ile ses delikleri açık ve ses delikleri kapalı şekilde yapılan mobilite ve ses yayılım analizlerinin her birinden elde edilen sonuçlardan da yola çıkarak, kompozit çift kapak uygulamasının, geleneksel bağlamaya göre bağlama çalgısına titreşim ve akabinde ses oluşumunu olumlu yönde destekleyici etkiler kattığı, dolayısıyla bu çalışmada kompozit çift kapak oluşturmak için kullanılan, bal peteği olarak isimlendirilen bu kompozit

materyalin bağlama çalgısında uygulanabilirliği ve bu uygulanabilirlikten doğabilecek sonucun da enstrümanın akustiğine olumlu yönde etki ettiği sonucuna varılmıştır.

Bir başka değişle, bağlama çalgısında denenmek üzere uygulanmış, iki adet geleneksel bağlama ve iki adet kompozit çift kapaklı bağlamanın ses deliği açık ve ses deliği kapalı şekilde yapılan mobilite ve ses yayılım analizlerinin tümünden, kompozit çift kapak uygulamasının frekans değerini düşürse de frekans sahası boyunca modal aktiviteleri yükselterek göz ardı edilemeyecek kadar ciddi anlamda genlik değerleri verdiği için enstrümanın titreşim ve titreşimlerin gerçekleştireceği ses oluşumunu desteklediği sonucuna varıldığını söylemek mümkün olacaktır.

Aynı zamanda kompozit malzemelerin en az iki veya daha fazla bileşenden oluşarak, yapı gereği kompozit olmayan malzemelere göre daha dayanıklı olmasından dolayı, kompozit çift kapak (double top) uygulamasının, geleneksel (single kapak) bağlamaya göre enstrümanı olası darbelere karşı konacak mukavemetin beraberinde yapısal dayanıklılık açısından da olumlu yönde desteklediği sonucuna da varılabilir.

Bu çalışmada karşılaştırmalı yapılan sonuçlar çerçevesinde, bağlamada kompozit çift kapak uygulaması için kullanılan kompozit bal peteği materyalinin bağlama çalgısı için tercih edilebilir bir çalgı yapım malzemesi olarak değerlendirilebileceği, enstrümanın esas formundan sapmamakla beraber bağlamanın ses tablasına uygulanan çift katlı sandviç yapının enstrümanın akustiğini ve yapısını olumlu yönde etkilediği ve bu çalışmadan elde edilen sonuçlara göre kompozit çift kapak uygulamasının gerek enstrüman akustiğine, gerek enstrüman yapısına artıları olup dolayısıyla bağlama gövdesi için uygulanabilirliğine dair bu çalışmada kullanılan metotlar dahilinde incelenecek hususlara da fikir niteliğinde olabileceği sonucuna varılmıştır.

## KAYNAKÇA

### *Kitaplar*

- Berg, R.E. & Stork, D.G., 2005. *The physics of sound*. San Francisco: Pearson Education Inc.
- Emnalar, A., 1998. *Tüm yönleriyle Türk Halk Müziği ve nazariyatı*. İzmir: Ege Üniversitesi Basımevi.
- Englert, S., 2010. *Physik und Musik, Lehrstuhl für Physik und Ihre Didaktik*. Julius - Maximilians Universität Würzburg.
- Günay, D., 1993. *Mühendisler için sonlu elemanlar metodunun temelleri*. Sakarya: Sakarya Üniversitesi Yayınları.
- Halliday, D. & Resnick, R., 1992. *Fiziğin temelleri*. C. Yalçın (Çev.), Ankara: Arkadaş Yayınevi.
- Halliday, D., Resnick, R. & Walker, J., 2001. *Fundamentals of physics*. USA: John Wiley & Sons, Inc.
- Hexcel, C., 1999. *HexWeb honeycomb attributes and properties*.
- Hexcel, C., 2000. *Hex Webtm honeycomb sandwich design technology*.
- Hoskin, B.C. & Baker, A.A., 1986. *Composite materials for aircraft structures*. Orlando, USA: American Institute of Astronautics Inc.
- Keller, F.J., Gettys, W.E. & Skove, M.J., 1995. *Fizik, 1.Cilt*. Akyüz, R.Ö., Gülmez, E., Karaoğlu, B., Nergiz, S., Tepehan, G. (Çev.), İstanbul: Literatür Yayıncılık.
- Serway, R.A. & Beichner, R.J., 2002. *Fen ve Mühendislik İçin Fizik 1*. Çolakoğlu, K. (Çev.), Ankara: Palme Yayıncılık.
- Sethares, W.A., 2005. *Tuning, timbre, spectrum, scale (Vol. 2)*. USA: Springer.
- Zeren, A., 2007. *Müzik fiziği*. İstanbul: Pan Yayıncılık.

### *Sürekli Yayınlar*

- Akbaş, H., 2014. XX. yüzyıl harezmi makam müziğinde terminoloji sorunları. *Rast Müzikoloji Dergisi*. **2** (1), ss. 128-146.
- Aktay, L., Johnson, A.F. ve Kröplin, B.H., 2008, Numerical modelling of honeycomb core crush behaviour. *Engineering Fracture Mechanics*. **75** (9), pp. 2616-2630.
- Elie, B. & Gautier, F., 2014. Acoustic signature of violins based on bridge transfer mobility measurements. *Journal of the Acoustical Society of America*. **136** (3)
- Kınık, M., 2011. Türk Halk Müziği çalgı topluluklarının yapılanması ve bağlama. *Erciyes Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*. **1** (30), ss. 211-234.
- Pehlivanoğlu, Y.V., 2005. Havacılıkta kullanılan petek yapılar. *Havacılık ve Uzay Teknolojileri Dergisi*. **2** (2), ss. 37-41.
- Shin K.B., Lee, J.Y. & Cho S.H., 2008. An experimental study of low-velocity impact responses of sandwich panels for Korean low floor bus. *Composite Structures*. **84** (3), pp. 228-240.
- Stocchi, A., Colabella, L., Cisilino, A. & Alvarez, V., 2014. Manufacturing and testing of a sandwich panel honeycomb core reinforced with natural-fiber fabrics. *Materials and Design*. **55**, pp. 394-403.
- Turan, K. ve Kaman, M.O., 2010. Tek tesirli yapıştırma bağlantılarında ilerlemeli hasar analizi. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*. **16** (3), ss. 315-323.
- Zhang, X., Zhang, H. ve Wen, Z., 2014. Experimental and numerical studies on the crush resistance of aluminum honeycombs with various cell configurations. *International Journal of Impact Engineering*. **66**, pp. 48-59.

## ***Diğer Yayınlar***

- Akçalı, C., 2012. Bağlama metotlarının çeşitli değişkenler açısından incelenmesi. *Yüksek Lisans Tezi*. Kırıkkale: Kırıkkale Üniversitesi.
- Akkuş, H., Ekrem, M., Karabulut, S.E., Duzcukoglu, H., Sahin, Ö.S. ve Avcı, A., 2014. Impact behavior of mwcnt reinforced epoxy adhesive bonded joints made with aluminium, *15th International Materials Symposium (IMSP)*, Denizli, Türkiye, pp. 742-748.
- Arıcasoy, O., 2006. Kompozit sektör raporu. *İstanbul Ticaret Odası*.
- Başdemir, C. ve Elibol, M., 2012. Sandviç kompozit plakalarda sonlu elemanlar yöntemiyle gerilme analizi. *Bitirme Projesi*. İzmir: Dokuz Eylül Üniversitesi.
- Bolat, F.Ç., 2011. Bal peteği sandviç kompozit yapıların dinamik analizi. *Yüksek Lisans Tezi*. Erzurum: Atatürk Üniversitesi.
- Değirmenli, E., 2019. Telli çalgılarda titreşim modlarının ses oluşumu üzerindeki etkileri. *13. Ulusal Akustik Kongresi ve Sergisi*.
- Eskizeybek, V., 2012. Yüzeylerine kimyasal olarak karbon nanotüpler bağlanmış örgü cam fiber/epoksi nanokompozitlerin üretimi ve tabakalar arası kırılma davranışının incelenmesi. *Doktora Tezi*. Konya: Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- İşcan, B., Adin, H. ve Turgut, A., 2009. Yapıştırıcı malzeme ile birleştirilmiş Z tipi bağlantılarda bindirme mesafesinin etkisi. *5. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu (IATS'09)*.
- Jansson, E.V., 1983. Function, Construction and Quality of The Guitar. *Paper presented at the Royal Swedish Academy of Music Stockholm*.
- Kaya, R., 2009. Petek yapılı özgün bir kompozit panel üretimi ve bazı mekanik davranışlarının incelenmesi. *Yüksek Lisans Tezi*. Kayseri: Erciyes Üniversitesi.
- Perry, I., 2014. Sound radiation measurements on guitars and other stringed musical instruments. *Doctoral Thesis*. England: Cardiff University.
- Taşyürek, M., 2014. Yüzey çatlaklı ve çatlaksız  $\pm 55^\circ$  filaman sarım CNT takviyeli CTP kompozit boruların mekanik özelliklerinin ve iç basınç etkisi altındaki yorulma davranışının araştırılması. *Doktora Tezi*. Konya: Selçuk Üniversitesi.
- Wörmke, S., 2012. *Übertragung von sprache und musik, technische fakultät christian albrechts-universität zu kiel, lehrstuhl für netzwerk- und systemtheorie*, [online]

<http://www.tf.unikel.de/de/dateien/studium/informationen-fuer-schueler-undlehrer/unterrichtsmaterial-zu-sprache-und-musik> [03.06.2021]

Wright, H., 1996. The acoustics and psychoacoustics of the guitar. *Unpublished Doctoral Thesis*. Cardif: University of Wales.

*Yapısal ve Akustik Açından Bağlama*. 2020. <https://muzikaletleritampir.com/blog/f/yapısal-ve-akustik-açından-bağlama> [04.06.2021]

Yiğit, A., 2010. Petek yapılı sandviç yapıların dinamik özelliklerinin incelenmesi. *Yüksek Lisans Tezi*. Erzurum: Atatürk Üniversitesi



