

İZMİR KÂTİP ÇELEBİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

KİMYASAL MODİFİKASYON İŞLEMİNİN MÜZİK ALETLERİNİN
SES TINISI ÜZERİNE ETKİSİ

YÜKSEK LİSANS
Ayberk AYDOĞMUŞ

ORMAN ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ

HAZİRAN 2019

İZMİR KATİP ÇELEBİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

KİMYASAL MODİFİKASYON İŞLEMİNİN MÜZİK ALETLERİNİN
SES TINISI ÜZERİNE ETKİSİ

YÜKSEK LİSANS

Ayberk AYDOĞMUŞ
(Y160223002)

Orman Endüstri Mühendisliği Ana Bilim Dalı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Nihat Sami ÇETİN

Haziran 2019

İKÇÜ, Fen Bilimleri Enstitüsünün Y160223002 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi Ayberk AYDOĞMUŞ ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “KİMYASAL MODİFİKASYON İŞLEMİNİN MÜZİK ALETLERİNİN SES TINISI ÜZERİNE ETKİSİ” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı :

Prof. Dr. Nihat Sami ÇETİN
İzmir Kâtip Çelebi Üniversitesi

.....

Jüri Üyeleri :

Doç. Dr. Ali Maruf ALASKAN
Ege Üniversitesi

.....

Dr. Öğretim Üyesi Vedat ÇAVUŞ
İzmir Kâtip Çelebi Üniversitesi

.....

Teslim Tarihi : 26.07.2019
Savunma Tarihi : 25.06.2019

Aileme.,

ÖNSÖZ

Tez konumun belirlenmesinde ve deneylerin yapılmasında beni yönlendiren, tez yazım aşamasında bana değerli zamanını ayıran, kimyasal modifikasyon işlemleriyle ilgili bana bildiklerini aktaran danışman hocam Prof Dr. Nihat Sami ÇETİN en başta olmak üzere;

Tez çalışmam boyunca bana her zaman destek olan, yol gösteren ve değerli bilgilerini benden esirgemeyen Orman Fakültesindeki hocalarım Dr. Öğretim Üyesi Celal GÜNGÖR'e, Dr. Öğretim Görevlisi Arif Çağlar KONUKÇU'ya ve Dr. Öğretim Görevlisi Merve ENGİN DEMİROK'a, yüksek lisans eğitimim süresince ailemden uzakta olduğumu bana hiç bir zaman hissettirmeyen hocam Prof. Dr. Nilgül ÇETİN'e teşekkür ederim.

Tez çalışmam kapsamında odun örneklerinin boyutlandırılması için atölyelerini kullanma imkanı veren Ege Üniversitesi Devlet Türk Musikisi Konservatuvarı Çalgı Yapımı Bölüm Başkanı Doç.Dr. Ali Maruf ALASKAN'a ve yüksek lisans öğrencimiz Recep ÖZDEMİR'e teşekkür ederim.

Tez dönemim boyunca sürekli fikir alışverişi içerisinde bulunduğum mesai arkadaşım Ar.Gör. Akın ŞENDAĞ'a ve tezin düzeltmeleri esnasında yardımlarından ötürü Ar.Gör. Mehmet DEMİR'e teşekkür ederim.

Hayatım boyunca bana destek olan, beni yetiştiren, her zaman benim yanımda olan annem Dilek AYDOĞMUŞ'a ve babam Mustafa AYDOĞMUŞ'a, yüksek lisans eğitimim süresince desteğini, güler yüzünü ve sevgisini benden esirgemeyen eşim Melike AYDOĞMUŞ'a sonsuz teşekkür ederim.

Haziran 2019

Ayberk AYDOĞMUŞ

İÇİNDEKİLER

Sayfa

İÇİNDEKİLER	vi
KISALTMALAR	viii
TABLO LİSTESİ	ix
ŞEKİL LİSTESİ	x
ÖZET	xii
ABSTRACT	xiv
1. GİRİŞ	16
1.1 Müzik Aletlerinin Tarihçesi.....	18
1.2 Kemanın Ortaya Çıkışı	21
1.3 Gitarın Ortaya Çıkışı.....	24
1.4 Odunun Akustik Özellikleri.....	26
1.5 Müzik Aleti Yapımında Kullanılan Odun Türleri ve Bazı Akustik Özellikleri.....	30
1.5.1 Rezonans ladini (<i>Picea abies</i>)	31
1.5.2 Sitka ladini (<i>Picea sitchensis</i>)	36
1.5.3 Kırmızı sedir (<i>Thuja plicata</i>).....	37
1.5.4 Akçaağaç (<i>Acer pseudoplatanus</i>).....	37
1.6 Odun Modifikasyonu	40
1.6.1 Kimyasal modifikasyon.....	40
1.6.1.1 Mekanik özelliklerde meydana gelen değişimler	44
1.6.1.2 Boyutsal stabilitede meydana gelen değişimler	47
2. LİTERATÜR ÖZETİ	49
3. MATERYAL VE METOT	56
3.1 Materyal	56
3.1.1 Örneklerin boyutlandırılması ve öğütülmesi	57
3.1.2 Odun örneklerinin kurutulması.....	58
3.2 Ahşap Malzemenin Kimyasal Analiz Yöntemleri	58
3.2.1 Ekstraksiyon işlemi	58
3.2.2 Holoselüloz tayini.....	59
3.2.3 Alfa selüloz tayini.....	60
3.3 FTIR Analizleri.....	61
3.4 Boyutsal Sabitlik Testi.....	62
3.5 Kimyasal Modifikasyon İşleminin Gerçekleştirilmesi	64
3.5.1 Küçük boyutlu örneklerin modifikasyon işlemi	64
3.5.2 Büyük boyutlu örneklerin kimyasal modifikasyon işlemi.....	66
3.6 Akustik Özelliklerin Belirlenmesi	67
3.6.1 Ses iletim hızının belirlenmesi	67
3.6.2 Pencil break testi.....	69
3.7 Mekanik özelliklerin tespiti	71
4. BULGULAR	72
4.1 Kimyasal Analiz Sonuçları	72
4.2 Küçük Boyutlu Odun Bloklarının Kimyasal Modifikasyonuna Ait Bulgular ..	72
4.3 Boyutsal Sabitlik Değerlerine Ait Bulgular	75
4.4 ASE ve Şişme Katsayısı Değerlerine Ait Bulgular	77
4.5 Büyük Boyutlu Örneklere Ait Modifikasyon Değerleri	81

4.6 FTIR Analizleri.....	82
4.7 Mekanik Testlere Ait Bulgular	84
4.8 Akustik Özelliklere Ait Bulgular.....	87
5. SONUÇ VE ÖNERİLER	98
KAYNAKLAR.....	102
ÖZGEÇMİŞ	107

KISALTMALAR

ASE	: Şişmeye Karşı Etkinlik Değeri (%)
ADK	: Akustik Dönüşüm Katsayısı
CITES	: Convention on International Trade in Endangered Spicies
E	: Statik Elastikiyet Modülü
E'	: Dinamik Elastikiyet Modülü
E'/γ	: Özgül Ağırlığa Oranla Dinamik Elastikiyet Modülü
FTIR	: Fourier Transform Infrared Spectroscopy
MOE	: Elastikiyet Modülü
MOR	: Eğilme Direnci
ρ	: Özgül ağırlık
Q	: İç sürtünme (Internal friction)
Q⁻¹	: Ses Boğma Katsayısı
R	: Akustik Radyasyon
S	: Şişme katsayısı (%)
tanδ	: Sönümlenme katsayısı
V	: Ses iletim hızı
V_{LL}	: Boyuna yöndeki ses iletim hızı
V_{RR}	: Radyal yöndeki ses iletim hızı
V_{TT}	: Teğet yöndeki ses iletim hızı
Z	: Akustik empedans
WPG	: Ağırlık kazancı (%)

TABLO LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Tablo 1.1 : Keman yapımında kullanılacak odunların sınıflandırılması.	27
Tablo 1.2 : Rezonans ladini odunuyla normal ladin odunu arasındaki ses iletim hızları farkı	33
Tablo 1.3 : Farklı ladin odunlarına ait bazı özellikler	35
Tablo 1.4 : Farklı türlerdeki rezonans ve normal ladin odunlarına ait ses iletim hızları	36
Tablo 1.5 : <i>Thuja plicata</i> odununa ait bazı akustik ve mekanik özellikler	37
Tablo 1.6 : Avrupa bölgesinde yetişen bazı akçaağaç (<i>Acer pseudoplatanus</i>) türlerine ait ses iletim hızları	38
Tablo 1.7 : Müzik aleti yapımında kullanılan bazı ağaç türlerine ait ses iletim hızları	39
Tablo 4.1 : Odun örneklerin kimyasal içeriği	72
Tablo 4.2 : Küçük boyutlu odun bloklarının propiyonik anhidrit ile kimyasal modifikasyonu sonrası ağırlık kazançları (WPG)	73
Tablo 4.3 : Büyük boyutlu örneklerin propiyonik anhidrit ile kimyasal modifikasyonu sonrası elde edilen ağırlık kazancı (WPG) değerleri	81
Tablo 4.4 : Kontrol örnekleri ve kimyasal modifikasyon işlemi gerçekleştirilen örneklerin eğilme direnci ve elastikiyet modülü değerleri	84
Tablo 4.5 : Eğilme direnci değerleri için bağımsız T testine ait rapor değerler	85
Tablo 4.6 : Statik elastikiyet modülü değerleri için Bağımsız T testine ait rapor değerler	86
Tablo 4.7 : Deney örneklerine ait bazı akustik özellikler	87
Tablo 4.8 : Ses iletim hızları için bağımsız T testine ait rapor değerler	89
Tablo 4.9 : Dinamik elastikiyet modülü için bağımsız T testine ait rapor değerler ..	90
Tablo 4.10 : (E'/γ) değeri için Bağımsız T testine ait rapor değerler	91
Tablo 4.11 : (ADK) değeri için bağımsız T testine ait rapor değerler	92
Tablo 4.12 : Akustik empedans için bağımsız T testine ait rapor değerler	93
Tablo 4.13 : Akustik radyasyon için bağımsız T testine ait rapor değerler	94
Tablo 4.14 : Ses radyasyonu için bağımsız T testine ait rapor değerler	95
Tablo 4.15 : Modifikasyon işlemi sonrası odun örneklerinin mesadeye bağlı sönümlenme değerleri	96

ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Şekil 1.1 : Tarihteki en eski müzik aleti.....	18
Şekil 1.2 : Salpinx ismiyle bilinen ve Tutankamun'nun mezarından çıkan enstrüman	19
Şekil 1.3 : Mısır'da telli müzik aletlerinin ilk örnekleri	20
Şekil 1.4 : Rebek veya "viele" ismiyle bilinen kemanın temelini oluşturan ilk enstrüman	21
Şekil 1.5 : Lir enstrümanın görseli.....	22
Şekil 1.6 : Tarihte ilk kez Gaudenzio Ferrari tarafından kemanın resm edildiği görsel	23
Şekil 1.7 : Barok dönemine ait ilk gitar örneği	25
Şekil 1.8 : Müzik aleti yapımında kullanılacak olan ladin odununun görüntüsü	31
Şekil 1.9 : Müzik aletleri yapımında kullanılacak olan AAA kalitedeki ladin	32
Şekil 1.10 : Hazel ladini olarak bilinen ladin örneği.....	34
Şekil 1.11 : Nadir olarak bulunan "curly maple" adıyla bilinen akçağaç odunu.....	38
Şekil 1.12 : Ahşap malzeme ile asetik anhidrit arasında gerçekleşen kimyasal reaksiyon.....	41
Şekil 3.1 : Kerestelerden deney örneklerinin hazırlanması.....	56
Şekil 3.2 : Odununu hazırlamasında kullanılan LOYKA marka öğütücü	57
Şekil 3.3 : Ekstraksiyon işleminin yapıldığı sokslet cihazına ait görsel	58
Şekil 3.4 : Delignifikasyon işleminin gerçekleştirildiği deney düzeneği.....	60
Şekil 3.5 : Alfa selüloz tayini için hazırlanan örnekler	61
Şekil 3.6 : FTIR ölçümlerinin gerçekleştirildiği cihaz.....	62
Şekil 3.7 : Boyutsal sabitlik testi yıkama döngüsünün gerçekleştiği düzenek.....	63
Şekil 3.8 : Küçük boyutlu odun bloklarının kimyasal modifikasyon işleminin gerçekleştirildiği deney düzeneği	65
Şekil 3.9 : Propiyonik anhidrit ile modifikasyon işlemi gerçekleştirilen örnekler (sağ taraf), kontrol örnekleri (sol taraf).....	66
Şekil 3.10 : Büyük boyutlu örneklerin kimyasal modifikasyon işleminin gerçekleştirildiği reaktör ve deney düzeneği	67
Şekil 3.11 : Ses iletim hızının ölçümünün yapıldığı ultrasonik cihaz.....	68
Şekil 3.12 : Ses iletim hızının ölçümünün yapıldığı diğer cihaz	68
Şekil 3.13 : Mesafeye bağlı sönümleme cihazı.....	70
Şekil 3.14 : Eğilme ve elastikiyet modülü deneylerinin yapıldığı universal test cihazı	71
Şekil 4.1 : Zamana bağlı olarak kimyasal modifikasyon sonrası odun bloklarında meydana gelen ağırlık kazancı (WPG) değişimi.	73

Şekil 4.2 : Boyutsal sabitlik testi esnasında farklı WPG (%) değerlerinde modifiye olan ladin örneklerinin hacim değişimi	75
Şekil 4.3 : Boyutsal sabitlik testi esnasında farklı WPG (%) değerlerinde modifiye olan akçaağaç örneklerinin hacim değişimi	76
Şekil 4.4 : Boyutsal sabitlik testi esnasında farklı WPG (%) değerlerinde modifiye olan maun örneklerinin hacim değişimi	76
Şekil 4.5 : Farklı WPG (%) değerlerinde kimyasal modifikasyon işlemi gerçekleştirilmiş ladin örneklerinin şişme katsayısı değeri (S (%)).....	77
Şekil 4.6 : Farklı WPG (%) değerlerinde kimyasal modifikasyon işlemi gerçekleştirilmiş ladin örneklerinin şişmeye karşı etkinlik değeri (ASE (%))...	78
Şekil 4.7 : Farklı WPG (%) değerlerinde kimyasal modifikasyon işlemi gerçekleştirilmiş akçaağaç örneklerinin şişme katsayısı değeri (S (%))	78
Şekil 4.8 : Farklı WPG (%) değerlerinde kimyasal modifikasyon işlemi gerçekleştirilmiş akçaağaç örneklerinin şişmeye karşı etkinlik değeri (ASE (%))	79
Şekil 4.9 : Farklı WPG (%) değerlerinde kimyasal modifikasyon işlemi gerçekleştirilmiş maun örneklerinin şişme katsayısı değeri (S (%)).....	79
Şekil 4.10 : Farklı WPG (%) değerlerinde kimyasal modifikasyon işlemi gerçekleştirilmiş maun örneklerinin şişmeye karşı etkinlik değeri (ASE (%))..	80
Şekil 4.11 : Ladin odunlarının propiyonik anhidrit modifikasyonu öncesi ve sonrası FTIR analizleri.....	82
Şekil 4.12 : Akçaağaç odunlarının propiyonik anhidrit modifikasyonu öncesi ve sonrası FTIR analizleri	83
Şekil 4.13 : Modifikasyon sonrası eğilme direnci değerlerinde meydana gelen değişim	85
Şekil 4.14 : Kimyasal modifikasyon sonrası statik elastikiyet modülü değerleri ait değişimler	86
Şekil 4.15 : Kimyasal modifikasyon sonrası örneklerin ses iletim hızında meydana gelen değişimler.....	88
Şekil 4.16 : Kimyasal modifikasyon sonrası örneklerin dinamik elastikiyet modülü değerinde meydana gelen değişimler	89
Şekil 4.17 : Kimyasal modifikasyon sonrası örneklerin (E' / γ) değerinde meydana gelen değişimler.....	91
Şekil 4.18 : Kimyasal modifikasyon sonrası örneklerin akustik dönüşüm katsayısı (ADK) değerinde meydana gelen değişimler	92
Şekil 4.19 : Kimyasal modifikasyon sonrası örneklerin akustik empedans değerinde meydana gelen değişimler	93
Şekil 4.20 : Kimyasal modifikasyon sonrası örneklerin akustik radyasyon değerinde meydana gelen değişimler	94
Şekil 4.21 : Kimyasal modifikasyon sonrası örneklerin ses radyasyonunda meydana gelen değişimler.....	95
Şekil 4.22 : Ladin odununa ait modifiye edilen ve modifiye edilmeyen (kontrol) örnekleri için mesafeye bağlı sönümleme eğrisi	96
Şekil 4.23 : Akçaağaç odununa ait modifiye edilen ve modifiye edilmeyen (kontrol) örnekleri için mesafeye bağlı sönümleme eğrisi	97
Şekil 4.24 : Maun odununa ait modifiye edilen ve modifiye edilmeyen (kontrol) örnekleri için mesafeye bağlı sönümleme eğrisi	97

KİMYASAL MODİFİKASYON İŞLEMİNİN MÜZİK ALETLERİNİN SES TINISI ÜZERİNE ETKİSİ

ÖZET

Bu tez çalışmasında; müzik aletlerinde yaygın olarak kullanılan ladin (*Picea orientalis*), akçaağaç (*Acer pseudoplatanus*) ve maun (*Khaya ivorensis*) odunlarından hazırlanan büyük boyutlu örnekler propiyonik anhidrit kullanılarak kimyasal modifikasyon işlemini gerçekleştirilmiştir. Kimyasal Modifikasyon işlemi gerçekleştirilen örneklerde; meydana gelen ağırlık kazancı (WPG(%)) değerleri, şişme katsayıları (S(%)) ve şişmeye karşı etkinlik değerleri (ASE(%)) tespit edilmiştir. Kimyasal modifikasyon sonrası eğilme direnci ve statik eğilmede elastikiyet modülü değerleri tespit edilmiştir. Ayrıca modifikasyon sonrası akustik özelliklerde meydana gelen değişimlerde araştırılmıştır.

Elde edilen sonuçlara göre kimyasal modifikasyon sonrası; küçük boyutlu örneklerde, minimum %4,15 maksimum %29,39 oranında ağırlık kazancı (WPG) değeri tespit edilmiştir. Büyük boyutlu örneklerdeki WPG (%) ise ladin, akçaağaç ve maun örnekleri için sırasıyla %11,26, %11,9 ve %6,7 olarak tespit edilmiştir. Boyutsal sabitlik testi sonuçlarına göre modifikasyon sonrası minimum %26,53 maksimum %82 oranında şişmeye karşı etkinlik (ASE(%)) değeri tespit edilmiştir. Her üç odun türü içinde WPG değeri arttıkça boyutsal sabitlikte artış olduğu belirlenmiştir.

Mekanik testler sonucunda; kimyasal modifikasyon işlemi gerçekleştirilen örneklerin eğilme direnci değerleri kontrol örneklerine kıyasla ladin odununda %8,5, akçaağaç odunlarında %7,6, maun odunlarında ise %30 oranında artış tespit edilmiştir. Statik elastikiyet modülleri incelendiğinde ise kimyasal modifikasyon sonrası kontrol örneklerine kıyasla ladin odunlarında %4,1 oranında azalma meydana gelirken akçaağaç ve maun odunlarında sırasıyla %3,7 ve %26,7 oranında artış tespit edilmiştir.

Kimyasal modifikasyon sonrasında akustik özelliklerde meydana gelen değişimler incelendiğinde kontrol örneklerine kıyasla ses iletim hızlarında (V) akçaağaç ve maun odunlarında sırasıyla %1,97 ve %14 oranında artış meydana gelmiştir. Ancak, Ladin odunlarında ise %3,1 oranında azalma gerçekleşmiştir. Dinamik elastikiyet modülü değeri (E') için akçaağaç ve maun odunlarında sırasıyla %10,6 ve %35,1 artış tespit edilmiştir. Ancak ladin odunlarında %8,5 oranında azalma gerçekleşmiştir. Özgül ağırlığa oranla Dinamik Elastikiyet modülünü (E'/γ) değeri, akçaağaç ve maun odunlarında kontrol örneklerine kıyasla sırasıyla %3,5 ve %29 oranında artmıştır. Buna rağmen, ladin odununda bu değer %5,4 oranında azalmıştır. Modifikasyon sonrasında akustik dönüşüm katsayısı (ADK) değeri ladin ve akçaağaç odunlarında sırasıyla %13,9 ve %15,2 oranında azalırken maun odunlarında bu değerde %19 oranında artış gerçekleşmiştir. Akustik radyasyon (R) değeri için

kimyasal modifikasyon sonrasında kontrol örneklerine kıyasla maun odunlarında %10,2 oranında artış tespit edilmiştir. Ancak, akçaağaç odunlarında bu değer kimyasal modifikasyon sonrasında %4,2 oranında azalmıştır. Akustik empedans (Z) değeri incelendiğinde ise, kimyasal modifikasyon sonrası ladin ve maun odunları için sırasıyla %8,6 ve %17,4 oranında artış gözlemlenirken ladin odunları için bu değer %6 oranında azalmıştır.

Anahtar Kelimeler : Kimyasal Modifikasyon, Akustik Özellikler, Mekanik Özellikler, Propiyonik Anhidrit, Müzik Aletleri

EFFECT OF CHEMICAL MODIFICATION ON THE SOUND TIMBRE OF MUSICAL INSTRUMENTS

ABSTRACT

In this thesis; A large samples of wood prepared from spruce (*Picea orientalis*), maple (*Acer pseudoplatanus*) and mahogany (*Khaya ivorensis*) woods, commonly used in musical instruments, are modified with propionic anhydride were subjected to chemical modification using propionic anhydride.

The weight gain values (WPG (%)) , swelling coefficients (S (%)) and anti-swelling effcentits values (ASE (%)) were determined in the samples that chemically modified. After chemical modification, bending resistance and elastic modulus values were determined. In addition, changes in acoustic properties after modification were investigated.

According to the results obtained after chemical modification; in small-sized samples, minimum 4.15% maximum 29.39% weight gain (WPG) value was determined. The values of WPG (%) in large samples were found to be 11.26%, 11.9% and 6.7%, respectively. According to the results of dimensional stability test, minimum 26.53% and maximum 82% swelling efficacy (ASE (%)) values were determined after modification .In all three wood species, it was determined that as WPG value increased, dimensional stability increased.

As a result of mechanical tests; Bending resistance values of the specimens that treated with chemical modification were increased by 8.5% in spruce wood, 7.6% in maple wood and 30% in mahogany wood. Static modulus of elasticity, was 4.1% decrease in spruce wood compared to control samples after chemical modification, is shown, However, an increase of 3.7% and 26.7% in maple and mahogany woods, respectively. Static modulus of elasticity of spruce wood is decrease 4.1% compared to the control sample after the chemical modification However, in maple and mahogany wood was determined in an increase of 3.7% and 26.7%, respectively.

When the changes in acoustic properties after chemical modification were examined, sound velocity (V) increased by 1.97% and 14% respectively in maple and mahogany woods compared to control samples. However, in spruce wood decreased by 3.1%. The dynamic modulus of elasticity (E') are an increase of 10.6% and 35.1% was observed in maple and mahogany woods respectively yet a decrease of 8.5% in spruce woods. Dynamic Elasticity modulus (E'/γ) increased 3.5% and 29% in maple and mahogany wood compared to control samples, respectively. However, in spruce wood this value decreased by 5.4%. After the modification, acoustic conversion efficient (ACE) values decreased by 13.9% and 15.2% in spruce and maple woods, respectively. But, this value increased by 19% in mahogany woods. The value of acoustic radiation (R) was found to be 10.2% increase in mahogany wood compared to control samples. However, in maple wood this value decreased by 4.2% after chemical modification.

When the acoustic impedance (Z) value was examined, it was observed that after chemical modification an increase of 8.6% and 17.4% was observed for spruce and mahogany wood, whereas this value decreased for spruce wood by 6%.

Keywords : Chemical Modification, Acoustic Properties, Mechanical Properties, Propionic Anhydride, Musical Instruments

1. GİRİŞ

İnsanlık tarihi boyunca pek çok farklı alanlarda değerlendirilen ahşap malzeme, müzik aletlerinin üretiminde kullanılması da yıllar öncesine dayanmaktadır. Ahşap malzeme, hem estetik özellikleri açısından hem de özgül ağırlığına oranla yüksek elastikiyet modülü değerine sahip olmasından kaynaklı olarak, diğer malzemelere kıyasla müzik aleti yapımında kullanılan en önemli materyaldir. Kullanılan ahşap malzemenin türüne bağlı olarak müzik aletinin ses özellikleri değişiklik göstermektedir. Özellikle yerli türlerden Ladin ve Akçağaç; egzotik ağaç türlerinden ise Gül ağacı ve Maun ağacı müzik aleti üretiminde yaygın olarak kullanılan ağaç türleri arasındadır. Ancak son yıllarda CITES (*Convention on International Trade in Endangered Species*) örgütü tarafından bazı ağaç türlerinin kesimine kısıtlama getirilmesi, alternatif türlerin enstrüman yapımında kullanılmasını gündeme getirmiştir. Fakat günümüzde hala bu türlerin müzik aletleri yapımında fazlaca talep ediliyor olmasından kaynaklı, benzer akustik özelliklerde alternatif odunların kullanımı ihtiyacı da artmıştır.

Her ne kadar ahşap malzemenin akustik ve mekanik özellikleri benzersiz olmasına rağmen en büyük dezavantajı rutubetli ortam koşullarında kullanıma bağlı olarak boyutsal değişiklikler göstermesi ve akustik özelliklerin olumsuz yönde etkilenmesi söz konusu olmasıdır. Rutubet artışıyla birlikte müzik aletinin akort problemi ve entonasyon ayarlarının bozulması müzik aletleri için büyük bir sorun oluşturmaktadır.

Ahşap malzemenin mevcut yapısını iyileştirme, dezavantajlarını avantaja çevirme işlemlerine modifikasyon denilmektedir. Literatür incelendiğinde pek çok araştırmacı ahşap malzemeyi çeşitli modifikasyon işlemlerine tabi tutarak boyutsal sabitlik kazandırmaya çalışmıştır [1–11]. Ancak yapılan çalışmalarda özellikle de kimyasal modifikasyon işlemleri sonrası örneklerin akustik özelliklerinde meydana gelen değişimi hakkında incelemelerin [12–20] oldukça kısıtlı olduğu görülmüştür.

Bu tez kapsamında mzk aletleri yapmında yaygın olarak kullanılan odun türlerinden; ladin (*Picea orientalis*), akçaağaç (*Acer pseudoplatanus*) ve maun (*Khaya ivorensis*) odun örneklerini propiyonik anhidrit kullanarak kimyasal modifikasyon işlemi gerçekleştirilmiştir. Kimyasal modifikasyon işlemi sonrası odunun akustik özelliklerinde meydana gelen değişimler araştırılmıştır.

Kimyasal modifikasyon işlemi sonrası oduna boyutsal sabitlik kazandırılacağı için mzk aletlerinde akort kaçırma probleminin ve entanasyon ayarının bozulmasının önüne geçebileceği düşünmektedir. Bunlara ilave olarak propiyonik anhidrit ile kimyasal modifikasyon sonrası odunun akustik özelliklerinde meydana gelecek değişime bağlı olarak, ilerki çalışmalarda ülkemiz ormanlarında yetişen düşük kalitedeki odunların mzk aletleri endstisine kazandırılması amaçlanmaktadır.

1.1 Müzik Aletlerinin Tarihçesi

İnsanlık tarihi boyunca ilk insanın müzik kavramıyla nasıl tanıştığı tam olarak bilinmemektedir. Ancak muhtemeldir ki ilk olarak; el çırparak, birbirleriyle haberleşmek için ıslık çalarak veya taşları yada odunları birbirine vurarak çıkartılan sesleri zaman içerisinde ritmik olarak tekrarlanmasıyla müziğin başladığı tahmin edilmektedir [22].

Araştırmalar gösteriyor ki Conard ve ark. (2009) tarihteki ilk müzik aletlerinin nefesli enstrümanlar olduğunu göstermektedir. Nefesli enstrümanların genelini, rüzgarla birlikte içleri boş kamışlardan çıkan seslerden esinlenilerek ortaya çıktığı düşünülmektedir. Sonrasında farklı sesleri elde etmek için delik açma fikriyle değişikliklere uğrayarak günümüze kadar ulaşmıştır. İleriki dönemlerde ise insan oğlunun avlanmak için ok ve yayı keşfetmesiyle beraber motor sinir sistemlerinin gelişmesi, yaylı veya telli müzik aletlerini de bunlarla birlikte kullanmış olabilecekleri ihtimalini doğurmaktadır [23].

Günümüzde bazı ilkel kabilelerdeki incelemeler doğrultusunda, ilk insanların içleri boşalmış ağaç kavuklarına vurarak ses çıkarttıkları böylece davul veya perküsyonla ilk olarak tanışmış olabileceğini iddiasında kuvvetlendirmektedir. Ancak ağaç malzeme biyotik ve abiyotik etmelerden etkilenecek doğada çözünebilen yegane malzeme olduğu için o dönemde yaptıkları bu ilk müzik aletlerinin günümüze kadar bozulmadan ulaşması mümkün olamamıştır [22].

Tarihteki en eski müzik aletinin Almanya'da bir mağarada Conard ve ark. (2009) yapmış oldukları arkeolojik kazı sonrasında bulunan mamut kemiğinden yapılan 43.000 yıllık flüt olduğu tespit edilmiştir ve Şekil 1.1'de gösterilmiştir [23].



Şekil 1.1: Tarihteki en eski müzik aleti [24].

Kronolojik olarak sonrasında ilk insanların metal borudan oluşan bir enstrüman olan “Salpinx” ismindeki borazanı keşif ettikleri tahmin edilmektedir. Gür bir ses çıkışı bulunduğu için çoğunlukla uzak mesafelerdeki kalabalıklara komut vermek için kullanıldığı düşünülmektedir [22]. Salpinx’e ait görsel Şekil 1.2’de gösterilmiştir.



Şekil 1.2 : Salpinx ismiyle bilinen ve Tutankamun'nun mezarından çıkan enstrüman [25].

Bunlara ek olarak Türk musikisinde de önemli bir yeri olan ney enstrümanı da bu enstrümanların bulunuşundan sonrada kronolojik olarak tarihteki çoğu medeniyetin kullandığı müzik aleti arasında yer almaktadır. Kesin bir bilgi olmamakla beraber

neyin kökeni M.Ö. 3000’li yıllara dayanıldığı düşünülmektedir. Benzer şekilde M.Ö.1400 yılında Mısırlılarında müzik aleti olarak ahşaptan flüt ve trampet kullandığı bilinmektedir. Üflemeli müzik aletlerin kullanımından sonra ise telli müzik aletlerinin kullanımı olacağı tahmin edilmektedir. Telli müzik aletlerinden olan Lir, hem mitolojik hem de tarihsel olarak günümüzdeki örneklerinden biraz farklı olmakla birlikte Mısır’da telli müzik aletlerinin kökenini oluşturmaktadır. Daha sonrasında telli müzik aletlerinden sonra yaylı müzik aletlerinin kullanımı söz konusu olmuştur. Lir ile ilgili görsel Şekil 1.3’te gösterilmektedir.



C. Egyptian harpist, 18th Dynasty.



B. Semitic lyre, c. 1900 B.C.



A. Egyptian lyre, 18th Dynasty.

Şekil 1.3 : Mısır’da telli müzik aletlerinin ilk örnekleri [22].

1.2 Kemanın Ortaya Çıkışı

Yaylı çalgı aletlerinin tarihte ilk ortaya çıkışı, Hindistan ve Uzak Doğu bölgelerinden Avrupa'ya özellikle İspanya bölgesine göç eden kabileler aracılığıyla olmuştur. Ortaçağ dönemine denk gelen bu telli çalgılar ilk defa bir yay ile çalınabilmiştir. Yaygın olarak “*rebek*” veya “*viele*” ismiyle bilinen bu müzik aletleri, alt kısmı kemerli bir armut şeklinde karakterize edilmiş üstten üç burgulu ve üç telli, orta kısmında ise ses açıklıkları bulunan günümüzdeki keman ve viyolanın temellerini oluşturan bir enstrümandır. Bu enstrüman Şekil 1.4'te gösterilmiştir [26].



Şekil 1.4 : Rebek veya “viele” ismiyle bilinen kemanın temelini oluşturan ilk enstrüman [27].

Telli müzik aletleri ailesinden bilinen en ünlü enstrümanlardan biri de eski Yunan ve Roma antik çağlarında kullanılan iki ses deliği ile delinmiş dikdörtgen bir gövdeye sahip Şekil 1.5'te gösterilen “lira” *lir*'dir. Avrupa'da 12'inci ve 16'ıncı yüzyıllar arasında hem *rebek* hem de *lir* insan seslerinden “Soprano”, “Alto”, “Tenor” ve “Bas” seslerine karşılık gelen dört grup altında sıralanmıştır [26].



Şekil 1.5 : Lir enstürmanının görseli [28].

Rönesans'ın birçok tablosunda görüldüğü gibi 15'inci yüzyılın sonunda *elde tutulan lir* anlamına gelen “lira da braccio” müzik aleti; daha çok müzikteki bas tonları oluşturan *bacak arasında tutulan lir* anlamına gelen “lira de gamba” müzik aleti ortaya çıkmıştır. Perdeleri bulunmayan ve F delikleri olan bu müzik aletleri; kutlamalar, danslar ve balolarda çalınan ve keman ailesinin atası sayılan müzik aletiydi. Bu enstrümanlar Şekil 1.6'da gösterilen; İtalya'nın Milano kentinin kuzeyinde yer alan Saronno katedralinin kubbesi üzerine 1530 – 1540 yılları arasında Gaudenzio Ferrari tarafından resim edilmiştir [26], [22].



Şekil 1.6 : Tarihte ilk kez Gaudenzio Ferrari tarafından kemanın resm edildiği görsel [29].

1.3 Gitarın Ortaya Çıkışı

İtalya'daki (*Cremona*) bölgesi keman yapımı için ne ifade ediyorsa İspanya'daki Endülüs de klasik gitar için aynı şeyi ifade ediyordu. Rönesans döneminde icat edilen Şekil 1.7'de verilen İspanyol vihuela (1400–1600), kronolojik olarak ilk önemli gitar tipindeki enstrümandır. Bu enstrüman günümüzde Paris'teki Musée Jacquemart-André'de sergilenmektedir.

Barok klasik gitar ise ilk olarak 1600 ve 1750 yılları arasında icat edilmiştir. Bu enstrümanın dört misina (birbirine yakın iki ya da daha fazla bitişik) telden ve hareketli perdelerden oluşmaktaydı. Josef Dörfler tarafından yapılan bu enstrüman, İngiltere'de Edinburgh koleksiyonunda sergilenmektedir. 1582 yılında Lizbon Belchior Diaz tarafından Fildişinden yapılmış düz bir arka kapak yapısına sahip beş telli bir başka korunmuş örnekte Londra Kraliyet Müzik Koleji koleksiyonunda sergilenmektedir. Beş telli gitar geleneğinin sonu 1752 ile 1775 yılları arasında gitarın yapımında şekil değişiklikleriyle beraber gerçekleşmiştir. İki yüz yıldan fazla süredir, gitarın ana hatlarının tasarımı çok az değişiklik göstermiştir [30].

18. yüzyıl iki önemli bestecilerin başında gelen, Katalan Fernando Sor (1778- 1839) ve İtalyan Mauro Giuliani (1781-1829) klasik gitar müzik repertuarının önemli katkıları da bulunmuşlardır. Paganini (1782–1840), Berlioz (1803–1869) ve daha birçokları gitar için çeşitli besteler bestelenmiştir. Birçok repertuar gitar için bestelenmiş olmasına rağmen ses çıkışının çok yüksek olmayışından dolayı 1850'lerde o dönemin beş telli gitarlarında popülaritesinde azalma meydana gelmiştir [31].

Bununla birlikte, 19 yüzyılda Antonio de Torres (1817-1892) retmiş olduğu gitarlar neticesinde klasik gitar dönemi için çok önemli bir evrime sebep olmuştur. Gitarı altı telli yapıp tel uzunluklarını 65 cm'ye sabitlemiş ve ses deliği kısmını tamamen açık hale getirmiştir. Antonio de Torres'in öncülüğünde ortaya çıkan bu olağanüstü gitar örneğini üretme geleneği 20.yüzyıl içerişinde sürekli olarak gelişmeler kaydetmiştir. Pek çok klasik gitarın o dönemki mevcut formu değişmeden günümüze kadar taşınmıştır [31].



şekil 1.7 : Barok dönemine ait ilk gitar rneği [26].

1.4 Odunun Akustik Özellikleri

Müzik aletleri yapımında ahşap malzeme son derece yaygın olarak kullanılan bir materyaldir. Bunun sebebi özgül ağırlığına oranla oldukça yüksek bir elastikiyet modülüne sahip olmasından kaynaklanmaktadır. Özellikle liflere paralel yöndeki ses iletim hızı muazzam derecede yüksektir. Buna ilave olarak ahşap malzeme diğer malzemelere kıyasla oldukça düşük ses rezistansı özelliğine sahiptir [32–34].

Bu bölümde odunun akustik özelliklerin neler olduğundan bahsedilecektir.

Müzik aleti yapımında kullanılan malzemelerin sahip olması gereken en önemli akustik değerlerden biri ses iletim hızı (V) diğeri ise ses sönümlenme katsayısı ($\tan\delta$) değeridir. Özellikle enstrümanların ses tablası kısımlarında kullanılacak parçalarda ses iletim hızının yüksek, ses sönümlenme katsayısının düşük olması arzu edilmektedir.

Bunlardan daha önce bir malzemenin müzik aleti yapımında kullanılıp kullanılmayacağını tespit ederken ilk bakılan değer ise Akustik radyasyon sabiti (Acoustic radiation coefficient) değeridir. Akustik radyasyon sabiti, malzemenin vibrasyon kapasitesi hakkında bilgi vermektedir.[35–38] Akustik radyasyon sabiti ne kadar yüksekse malzeme o kadar iyi vibrasyon kapasitesine sahiptir. O kadar iyi ses tablası olarak kullanılabilir. Keman yapımında kullanılacak olan ağaç malzemenin akustik radyasyon sabiti değerine göre sınıflandırılması Tablo 1.1’de gösterilmiştir. Akustik radyasyon sabiti aşağıdaki formül vasıtasıyla hesaplanabilmektedir.

$$\text{Akustik radyasyon sabiti} = \frac{V_{LL}}{\rho}$$

V_{LL} : Liflere paralel Ses iletim hızı

ρ : Özgül ağırlık

Tablo 1.1 : Keman yapımında kullanılacak odunların sınıflandırılması.

Keman yapımında kullanabilecek odunun sınıflandırılması	Akustik radyasyon oranı (V_{LL}/ρ)	
	Akçaağaç (<i>Acer pseudoplatanus</i>)	Avrupa ladini (<i>Picea abies</i>)
Zayıf	<6	<12
Orta	6 – 6.5	12 – 13
İyi	6.5 – 7.5	13 – 15
Çok iyi	7.5 – 8.5	15 – 16
Mükemmel	>8.5	>17

Diğer aranan özelliklerden birisi olan ses iletim hızı, ses dalgalarının malzeme içerisinde ne kadar sürede ne kadar mesafesi kat ettiğini ifade eden bir değerdir. Müzik aleti yapımında bu değer mümkün olduğu kadar yüksek olması arzu edilmektedir. Rezonans Ladinin, normal Ladin odununa kıyasla ses iletim hızının daha yüksek olduğu bilinmektedir [37]. Ses iletim hızı aşağıdaki formül vasıtasıyla tespit edilebilmektedir.

$$\text{Ses iletim hızı } (V) = \sqrt{\frac{E}{\gamma}}$$

E : Spesifik Dinamik Elastikiyet Modülü

γ : Özgül Ağırlık

Ses iletim hızının tespiti için Spesifik Dinamik Elastikiyet Modülü (E) değerinin hesaplanması gerekmektedir. Bu değer aşağıdaki formül vasıtasıyla bulunabilmektedir.

$$\text{Spesifik Dinamik Elastikiyet Modülü } (E) = \frac{4\pi^3 \cdot f^2 \cdot l^4 \cdot A \cdot p}{I \cdot (m_n)^4}$$

n : Vibrasyon modu

A : Yüzey Alanı

f : Örneğin Rezonans Frekansı

I : Atalet momenti

l : Örnek Uzunluğu

Ses dalgalarındaki enerji kaybı iki şekilde meydana gelmektedir. Bunlardan iç sürtünme diğeri ise ses sönümlenme katsayısı değıeridir. Ses sönümlenme katsayısının müzik aleti yapımında kullanılacak malzemede oldukça düşük olması istenirken, izolasyon malzemelerinde yüksek olması arzu edilmektedir. Bu değıer aşığıdaki formül kullanılarak hesaplanır [37].

$$\text{Ses sönümlenme katsayısı} = \text{Internal Friction } (Q) = \tan\delta = \frac{\pi \cdot \Delta f}{f_0 \cdot \sqrt{3}}$$

$$\Delta f: f_2 - f_1$$

f_0 : Rezonans Frekans

f_1 : En düşük Frekans

f_2 : En yüksek Frekans

Ses dalgalarının yayılmasına neden olan bir diğeri değışken ise ses radyasyon sabitidir. Müzik aleti yapımında kullanılacak malzemede bu değıerin yüksek arzu edilir. ses radyasyon sabiti (R) aşığıdaki formüle göre tespit edilmektedir.

$$\text{Ses radyasyon sabiti } (R) = \sqrt{E / \gamma^3}$$

E : Spesifik Dinamik Elastikiyet Modülü

γ : Özgül Ağırlık

Bu förmüllerden türetilen bir başka akustik özelliğın belirlenmesinde kullanılan değer değişken ise Akustik Dönüşüm Katsayısı (ADK) değeridir. Bu değer enstrüman yapımında kullanılacak malzeme için ne kadar yüksek olursa enstrümanın ses tablası kısmında ya da kapak kısmında vibrasyon (sustain) süresinin o kadar uzun olmasına buna paralel olarak ta akustik kalitesinin iyileşmesine katkıda bulunacağı ön görülmektedir [39], [40]. Akustik Dönüşüm Katsayısı (ADK) aşağıdaki formüle göre tespit edilebilmektedir.

$$\text{Akustik Dönüşüm Katsayısı (ADK)} = \frac{\sqrt{E/\gamma}}{\gamma \cdot \tan\delta}$$

E : Spesifik Dinamik Elastikiyet Modülü

γ : Özgöl Ağırlık

$\tan\delta$: İç sürtünme (sönümleme)

Ahşabın bir diğer akustik göstergesi de akustik empedans değeridir. Bu değer özellikle izolasyon malzemesi olarak kullanılacak malzemelerde yüksek olması arzu edilirken müzik aleti yapımında kullanılacak ise düşük olması istenmektedir. Bu değer aşağıdaki gibi hesaplanabilir.

$$\text{Akustik empedans (Z)} = \sqrt{E \cdot \gamma}$$

E : Spesifik Dinamik Elastikiyet Modülü

γ : Özgöl Ağırlık

1.5 Müzik Aleti Yapımında Kullanılan Odun Türleri ve Bazı Akustik Özellikleri

Yeni bir materyalin, müzik aletleri yapımında kullanılmak üzere lutier'e getirilmesi esnasında karşılaşılan ilk kaygı estetik kaygıdır. Estetik özellikleri açısından enstrüman yapımında kullanılacak malzemenin güzel görünüyör olması istenmektedir. Diğer bir önemli hususta özellikle ses tablası olarak kullanılacak kısımlardaki malzemelerin özgül ağırlığının nispeten düşük 400 – 450 kg/m³ seviyesinde olması beklenmektedir. Eğer enstrümanın arka kısmında kapak olarak kullanılacaksa bu materyal, özgül ağırlığı 600 kg/m³ civarında olmalı ve kesinlikle estetik açıdan sorunsuz olması gerekmektedir [41].

Bu çalışmanın giriş bölümünde bahsedildiği üzere ahşap malzeme diğer materyallere kıyasla, hem özgül ağırlığına oranla yüksek mekanik özelliklere sahip hem de estetik açıdan göze oldukça hoş görünen bir malzeme olduğu belirtilmiştir. Bu sebeple müzik aleti yapımında yaygın olarak kullanıldığı bilinen bir gerçektir. Müzik aleti yapımında kullanılan odunlara “rezonans odunu” adı verilmektedir. Özellikle ladin ailesinden olan iğne yapraklı ağaç türleri diğer ağaç türlerine göre oldukça yüksek makaslama modülü ve elastikiyet modülü değerlerine sahiptir. Rezonans ladini olarak karşımıza çıkan (*Picea abies*) hemen hemen çoğu enstrümanın ses tablası kısmında kullanılan yegane ağaç türüdür [41].

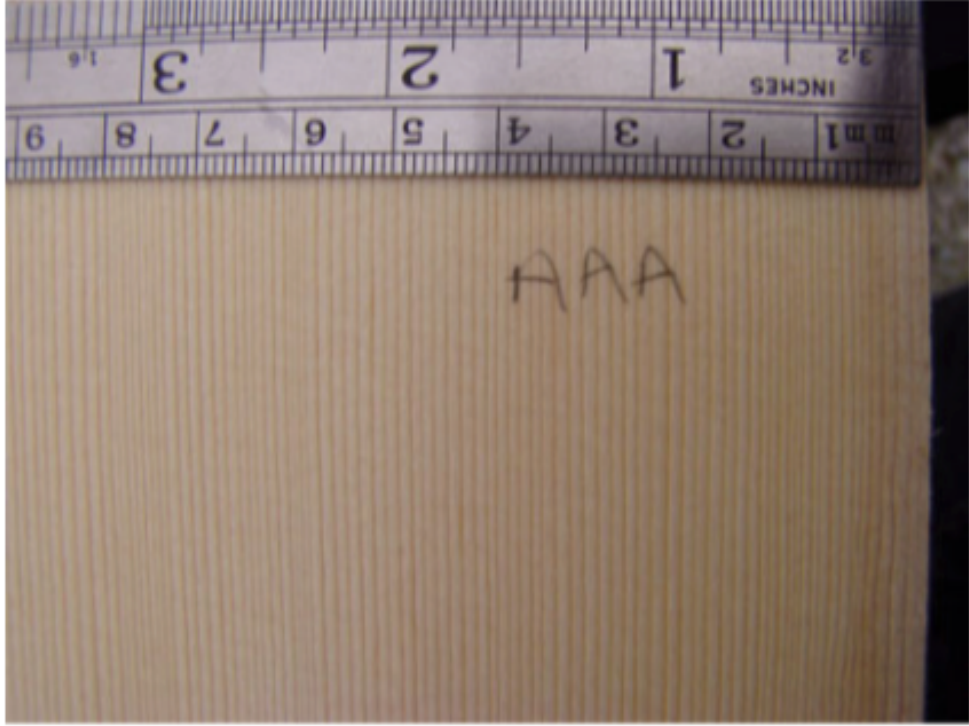
Özellikle keman üretiminde kullanılan en önemli parçalar rezonans ladini ve akça ağaç odunlarından hazırlanmaktadır. Rezonans ladini ayrıca piyano enstrümanlarının ses tablası kısımlarında; harp ve gitarların ses tablalarında da kullanıldığını bilmekteyiz. Rezonans ladininin kalitesi; ahşabın morfolojik özelliklerine yani yıllık halka kalınlığı ve düzeni, renk yeknesaklığı ve tapping (üzerine vurulduğunda her noktadan çıkan sesin eşit olup olmadığını kontrol etmek için uygulanan yöntem) ile kontrol edilebilmektedir.

1.5.1 Rezonans ladini (*Picea abies*)

Avrupa ladini, Norveç ladini, Alman ladini yada rezonans ladini adıyla bilinen *Picea abies* türündeki odunlar senfoni orkestrasını oluşturan keman ve diğer yaylı ve telli çalgı aletlerinin yapımında yaygın olarak kullanılan en değerli ağaç türüdür. Keman yapımında kullanılması planlanan bir ladin odununu karakterize eden en belirgin özellik, oldukça düzenli bir yıllık halka yapısıdır. Şekil 1.8’de verilen resimde keman üretiminde kullanılmayan rezonans odununun yıllık halka yapısı gösterilirken Şekil 1.9’da müzik aletlerinde kullanılan bir ladin odunun yıllık halka yapısının görüntüleri verilmiştir [31].



Şekil 1.8 : Müzik aleti yapımında kullanılmayacak olan ladin odununun görüntüsü [42].



Şekil 1.9 : Müzik aletleri yapımında kullanılacak olan AAA kalitedeki ladin [43].

Şekillerde ki görünen rezonans odunun yıllık halkaları yaklaşık 1mm'dir ve yıllık halkasındaki ilkbahar odunundan yaz oduna geçiş çok küçüktür. İğne yapraklı ağaç türlerinde dar ve sık yıllık halkası daha tiz sesleri vermektedir. Bu nedenle keman üretiminde dar ve sık yıllık halkalı ladinler tercih edilmektedir. Yıllık halka genişliği 2-4 mm boyutlarında olursa şayet bu durumda, çello ve kontra bas üretiminde değerlendirilmesi daha uygun olmaktadır [26].

Rezonans ladini oldukça hafiftir. Bu tür %12 rutubette ortalama 400 kg/m^3 civarında bir özgül ağırlığa sahiptir. Yıllık halka daraldıkça ladin odunun özgül ağırlığı artmaktadır. Yıllık halka genişliği 1 mm den az olduğu durumlarda özgül ağırlık 490 kg/m^3 civarında olmaktadır. Özellikle yıllık halka içerisindeki yaz odunu katılım oranı büyük bir rol oynamaktadır [44].

İsviçre’de keman yapımında kullanılacak olan rezonans odunları beş farklı seviyeye ayrılmıştır [44].

Mükemmel : yıllık halka genişliği 1 mm’den az, düz ve çok düzenli, sabit renk

Oldukça iyi : yıllık halka genişliği 1-2 mm arası, düz ve düzenli, sabit renk

AAA: yıllık halka genişliği 2.5 mm’den az, düz ve az düzenli, sabit renk

AA: AAA ile aynı özellikler, sabit renk hariç

A: yıllık halka genişliği 2.5 mm den fazla

Rezonans odununun karakteristik özelliklerinden birisi, düşük yoğunlukta olması ve boyuna yönde oldukça yüksek ses iletim hızına (V) sahip olmasıdır. Tablo 1.2’de Bucur., yaptığı bir çalışmada rezonans ladin odunu ile normal ladin odunu arasındaki ses iletim hızları farkını göstermiştir [31].

Tablo 1.2 : Rezonans ladin odunuyla normal ladin odunu arasındaki ses iletim hızları farkı [31].

Yoğunluk	Ultrasonik ses iletim hızı (m/s)					
	<i>Rezonans Ladin Odunu</i>					
(Kg/m ³)	V_{LL}	V_{RR}	V_{TT}	V_{RT}	V_{LT}	V_{LR}
400	5600	2000	1600	298	1425	1374
<i>Normal Ladin odunu</i>						
485	5353	1580	1146	477	1230	1322

Şekil 1.10'da Hazel ladini olarak adlandırılan ladin odunun özellikle ünlü keman yapımcısı stradivaryus'un en çok tercih ettiği ladin türlerinden biri olan odunun makroskobik görüntüsü verilmektedir.



Şekil 1.10 : Hazel ladini olarak bilinen ladin örneği [45].

Tablo 1.3 : Farklı ladin odunlarına ait bazı özellikler [46].

Odun türü	Yoğunluk	Eğilmedeki Elastikiyet Modülü	Elastikiyet Modülü üzerinden hesaplanan Ses iletim Hızları	Çekme direnci	Çekme direnci üzerinden hesaplanan Ses iletim hızları
	ρ	E_L	E_L / ρ	$\sigma_{\text{çekme}}$	
	kg/m ³	GPa	m/s	GPa	m/s
Rezonans Ladin Odunu (indented yıllık halkalı)	420	10.0	4878	0.895	1459
Rezonans Ladin Odunu (standart yıllık halkalı)	441	11.3	5061	0.818	1360
Normal Ladin Odunu	470	8.26	4183	0.700	1216

1.5.2 Sitka ladini (*Picea sitchensis*)

Yüksek kaliteli yaylı çalgılar için kullanılan *Picea abies* dışındaki türler (piyano, arp, gitar ve keman ailesinin tüm enstrümanları) *Picea sitchensis* ve nispeden daha az kullanılan kırmızı sedir (*Thuja plicata*) türüdür.

Kuzey Amerika sitka ladini (*Picea sitchensis*) olarak karşımıza çıkan tür, piyano ve gitar üretiminde ses tablası olarak kullanılmaktadır. Sitka ladini, Avrupa ladinine göre özgül ağırlığı açısından bir miktar daha fazladır. (yaklaşık 450 kg/m³). Enine kesitte yaz odunları içerisinde bol miktarda büyük reçine kanalları gözlemlenmektedir. Öz odunu pembemsi beyazımsı ile açık pembemsi kahvemsi renkleri arasında olup çoğunlukla homojen değildir.

Çentikli (*Indent*) form yapısına bu ladin türünde de gözlemlenmekle birlikte müzik aleti yapımında pek fazla kullanılmış örneklerine rastlanmamaktadır. Tablo 1.4'te sitka ladini ile rezonans ladini arasındaki farklar verilmiştir.

Tablo 1.4: Farklı türlerdeki rezonans ve normal ladin odunlarına ait ses iletim hızları [31].

Yoğunluk (Kg/m ³)	Ultrasonik ses iletim hızı (m/s)					
	P waves			Shear waves		
	<i>Rezonans Ladin Odunu – Picea sitka (rezonans)</i>					
	V_{LL}	V_{RR}	V_{TT}	V_{RT}	V_{LT}	V_{LR}
430	5500	2300	1500	350	1480	1500
<i>Normal Ladin odunu – Picea sitka (normal)</i>						
450	5200	2200	1500	450	1560	1690
<i>Rezonans Ladin odunu – Picea engelmannii (rezonans)</i>						
352	5500	2225	1850	325	1386	1361

1.5.3 Kırmızı sedir (*Thuja plicata*)

Amerika birleşik devletleri ve Kanada'nın kuzeybatısında (pasifik bölge) yetişen kırmızı sedir (*Thuja plicata*), ladine alternatif olarak enstrümanların ses tablası kısmında kullanılabilir. Yoğunluğu yaklaşık 370 kg/m^3 olup nispeten düşük bir değerdir. Rengi kırmızımsı ve koyu kahvemsidir. Lifleri düzgün olup tekstürü kabadır. Yıllık halkadaki ilkbahar odunundan yaz odununa geçiş anidir. Tablo 1.5'te bu türün akustik özellikleri verilmektedir.

Tablo 1.5 : *Thuja plicata* odununa ait bazı akustik ve mekanik özellikler [47].

Yoğunluk (Kg/m^3)	Ses iletim hızı (m/s)		Young's Modülü (MPa)		Makaslama Modülü (MPa)	
	V_{LL}	V_{RR}	E_L	E_R	G_{LR}	G_{RT}
350 – 400	4000 – 5200	1200 – 1600	6500 – 11.000	600 – 1000	1000	23 – 44

1.5.4 Akçaağaç (*Acer pseudoplatanus*)

Akçaağaç 570 ile 700 kg/m^3 arasında bir özgül ağırlığa sahiptir. Özellikle Avrupa'nın kuzey bölgelerinde yaygın olarak İtalya, Fransa'nın güneyi, İsviçre, Avusturya, Orta Avrupa, Bosna Hersek ve Karpatyan Dağlarında bulunmaktadır. Özellikle stradivari ürettiği kemanların arka kısımlarında yaygın olarak Cremona bölgesindeki Paneveggio ormanlarından kesilmiş kıvrıkcık (*curly*) akçaağaç kullanılmaktadır. Tek parçadan hazırlanmış yerine iki parçanın birleştirilmesiyle hazırlanan kemanları üretmeyi tercih ederdi [26]. Curly akçaağaç ile ilgili görsel şekil 1.12'de gösterilmiştir.



Şekil 1.11 : Nadir olarak bulunan "curly maple" adıyla bilinen akçaağaç odunu [48]

Tablo 1.6 :Avrupa bölgesinde yetişen bazı akçaağaç (*Acer pseudoplatanus*) türlerine ait ses iletim hızları [49].

Yoğunluk (Kg/m ³)	Ultrasonik ses iletim hızı (m/s)					
	V_{LL}	V_{RR}	V_{TT}	V_{RT}	V_{LT}	V_{LR}
Curly akçaağaç						
698	4211	2500	1818	920	1440	1858
Normal akçaağaç						
560	4892	2074	1621	714	1453	1720

Tablo 1.6’da normal akçaağaç ile curly maple arasındaki ses iletim hızlarının farkı verilmektedir. Shear velocity görüldüğü üzere normal mapleden % 28 daha fazla çıkmıştır. Bunun sebebi curly maplenin anatomik yapısındaki kısa lif yapısı ve oldukça fazla bulunan ikili öz ışınlarından kaynaklandığı tespit edilmiştir [31].

Tablo 1.7 : Müzik aleti yapımında kullanılan bazı ağaç türlerine ait ses iletim hızları

Odun türü	Yoğunluk (Kg/m ³)	Ses iletim hızları (m/s)					
		V _{LL}	V _{RR}	V _{TT}	V _{RT}	V _{LT}	V _{LR}
<i>Melia azdarach</i>	459	4732	2032	1272	603	1155	1397
<i>Flindersia brayleyana</i>	500	4863	1762	1574	707	1337	1360
<i>Darlingia darlingiana</i>	566	4940	2130	1386	655	1028	1225
<i>Endiandra palmerstonii</i>	625	4644	1873	1638	724	1199	1261
<i>Doryphora sassafras</i>	656	6275	1796	1489	800	1283	1261
<i>Acacia melanoxylon</i>	679	5300	2395	1519	753	1306	1522
<i>Flindersia bourjotiana</i>	720	4825	1990	1153	830	1236	1419
<i>Nothofagus cunninghamii</i>	789	4321	2050	1862	883	1306	1396
<i>Eucalyptus camaldulensis</i>	843	3690	1940	1000	773	1100	1258
<i>Eucalyptus oreades</i>	859	4715	1519	1358	787	1113	1270
<i>Eucalyptus marginata</i>	864	4290	1780	1297	738	1163	1153

Tablo 1.7’deki datalar Bucur’un 2016 yılında kitabında verilmiş olan aynı yazarın 1991’deki yayınlanmamış çalışmasından alınmıştır [26].

1.6 Odun Modifikasyonu

Ahşap malzeme diğer materyallere kıyasla; özgül ağırlığına oranla oldukça yüksek mekanik özelliklere sahip olması, işlenmesi esnasında düşük enerjiye ihtiyaç duyması, doğada geri dönüşümünün olması ve estetik olarak göze hitap etmesi gibi pek çok özelliğinden dolayı diğer materyallere kıyasla kullanım açısından onu cazip kılmaktadır. Bu cazip özelliklerinin aksine diğer malzemelere kıyasla, rutubetli ortam koşullarında boyutsal kararsızlık, biyolojik olarak mantar, böcek ve UV degradasyonuna uğraması ahşabın kullanım alanlarını sınırlandırmaktadır. Bu sebeplerden ötürü ahşap malzemenin hücre çeper bileşenlerinin çeşitli kimyasallar veya yüksek sıcaklık vasıtasıyla modifiye edilmesi işlemlerinin tümü odun modifikasyonu olarak tanımlanmaktadır [50–52].

Bir başka tabirle odun modifikasyonu, ahşap malzemenin mevcut yapısını iyileştirme; dezavantajlarını avantaja çevirme işlemlerinin tümü olarak da tanımlanabilir.

Bu tez kapsamında üzerinde yoğunlaşacağımız modifikasyon işlemi anhidritler kullanılarak gerçekleştirilen kimyasal modifikasyon işlemi olacaktır.

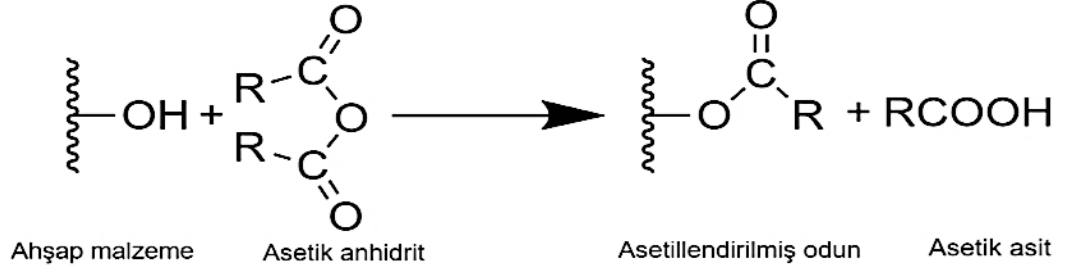
1.6.1 Kimyasal modifikasyon

Yukarıda da bahsedildiği üzere ahşap malzemenin mevcut pek çok olumlu özelliği var olmasına rağmen bazı olumsuz özellikleri de bulunmaktadır. Ahşap malzemenin bu olumsuz özellikleri hücre çeper bileşenlerinin içerisinde bulunan serbest fonksiyonel gruplardan kaynaklanmaktadır [53–55].

Temel olarak iğne ve geniş yapraklı ağaçlarda farklılık göstermesine karşın ahşap malzemede kabaca karboksil, karbonil ve hidroksil olmak üzere 3 adet fonksiyonel grupları bulunur. Bunlardan hidroksil fonksiyonel grupları; hem ahşap malzeme içerisinde en yüksek oranda hem de odunun boyutsal kararsızlığına sebep olan ve hidrofilik karakterde olmasına neden olarak, su alma faaliyetinde etkin olan kısımlarıdır. Dolayısıyla kimyasal modifikasyon işlemleri özellikle de asetilasyon işlemi odunun hidrofilik karakterde olan serbest fonksiyonel kısımlarını, hidrofobik kimyasallar yer değiştirip oduna bu kimyasalların bağlanmasını sağlamayı amaçlamaktadır [51].

Ahşap malzemenin kimyasal modifikasyonu için literatürde yapılan çalışmalarda en

çok tercih edilen reaksiyon asetillendirme reaksiyonudur [1,2,14,56–59]. Asetilasyon işlemi, anhidrit ile ahşap malzemedeki serbest OH grupları arasında gerçekleşen bir reaksiyondur. Asetik anhidrit ile ahşap malzemenin yapmış olduğu kimyasal reaksiyon Şekil 1.13'te verilmiştir.



Şekil 1.12: Ahşap malzeme ile asetik anhidrit arasında gerçekleşen kimyasal reaksiyon

Odunun asetillendirme işlemi ilk olarak 1928 yılında Almanya’da Fuchs, tarafından asetik anhidrit kullanarak sülfirik asit katalizörlüğünde fıstık çamı (*Pinus pinea*) örnekleri üzerinde gerçekleştirilmiştir ve örneklerdeki ağırlık kazancını %40’ların üzerinde olduğunu belirtmiştir [7]. Sonraki yıllarda Suida ve Titsch 1929 yılında kayın ve çam örneklerinde piridin ve de dimetil-anilin katalizörlüğünde asetillendirme işlemi uygulamıştır. Bu örneklerde elde edilen ağırlık kazancı %30 ile %35 arasında tespit edilmiştir. 1946 yılında ise Tarkow, Stamm ve Erickson ilk olarak asetillendirme işleminin oduna rutubet altında boyutsal stabilite kazandırdığını tanımında bulunmuştur. 1940’lı yılların devamında dünyadaki pek çok laboratuvarında asetillendirmeye ilgili çalışmaların önemi artmış ve pek çok odun veya bitkisel kökenli malzemelerin asetillendirme işlemleri uygulanmıştır.

Asetillendirme işlemi esnasında odunla reaksiyona giren asetil birimleri ahşap malzemenin hem hacmi artışına hem de boyutsal sabitlik kazanmasına sebep olur. Odunun asetil içeriğinde artışla birlikte yaklaşık %20 civarında bir ağırlık kazanımı (WPG) söz konusu olmaktadır [51].

Rowell ve ark., 1994’te yaptığı çalışmada asetik anhidritle asetillendirme işlemi yapılan çam odunlarında reaktiflik derecesi açısından ligninin > hemiselüloz > holoselüloz olduğu tespit edilmiştir. %10 WPG değerlerinde asetil içeriğinin hücre çeperinde eşit olarak dağıldığı; %20 WPG değerlerinde ise asetil dağılımının hücre çeperinin S₂ tabakasında orta lamele göre daha düşük olduğu ifade edilmiştir [60].

Rowell., 2005'teki çalışmasında kavak ve çam odunu örneklerini asetik anhidrit ile kimyasal modifikasyon işlemi uygulamıştır. Modifikasyon sonrası benzer WPG değerleri için iğne yapraklı ağaçların asetil içeriğinin geniş yapraklı ağaçlardan daha yüksek olduğu tespit edilmiştir [7]. Ladin odununun %35 denge rutubeti oluşturduğu bağıl nemde, asetilledirilme işlemi uygulanan ve %19.2 WPG değeri elde edilen örneklerin denge rutubetinin %10 olduğu tespit edilmiştir.

Asetilasyon işlemi sonrası örneklerde meydana gelen ağırlık kazanımının, odun içerisindeki ekstraktif maddeler ile doğrudan bir ilişkisi olduğu bilinmektedir. Ekstraktif maddeler asetilasyon esnasında yıkanma eğilimi gösterdiği için WPG değerleri düşük çıkmaktadır. Bu sebepten ötürü kimyasal modifikasyon öncesi örneklerin ekstraktif maddelerden arındırılması gerekmektedir [51].

Asetilasyon reaksiyonunun etkinliğinin yüksek olması, kullanılan kimyasal maddenin odunun hücre çeperlerinin içerisine ne kadar fazla ulaşabildiğiyle doğrudan ilişkilidir. Bu sebepten ötürü odunun çeşitli kimyasal ajanlar kullanılarak boşlukların şişirilmesi suretiyle reaksiyon etkinliği arttırılmaya çalışılmaktadır. En yaygın olarak kullanılan odun şişirme ajanı piridindir. Piridin, hücre duvarındaki mikro-gözenekleri şişirerek genişletmesi sonucunda, odundaki OH gruplarının ulaşılabilirliğini arttırmaktadır [61].

Çetin ve ark., 2011'de yapmış oldukları bir çalışmada sarıçam (*Pinus sylvestris*) odunlarından hazırlanan örnekleri asetik anhidrit (AA) ve vinil asetat (VA) ile asetilasyon işlemine tabi tutmuşlardır. Asetilasyon işlemi esnasında 3 farklı katalizör (*potasyum asetat*, *potasyum karbonat* ve *sodyum asetat*) kullanımının WPG değeri üzerine etkisi araştırılmıştır. 100°C sıcaklıkta gerçekleştirilen reaksiyon sonrası en yüksek WPG değerleri hem VA hem de AA için potasyum asetat katalizörlüğünde elde edilmiştir. Ayrıca AA ile gerçekleştirilen asetilasyon işleminin WPG değerinin VA ile gerçekleştirilene göre daha yüksek olduğu tespit edilmiştir [59].

Bongers ve Beckers 2003'te yapmış oldukları bir çalışmada dört farklı türdeki; kayın (*Fagus sylvatica*), kavak (*Populus spec.*), sarıçam (*Pinus sylvestris*) ve radyata çamı (*Pinus radiata*) örnekleri asetik anhidrit ile kimyasal modifikasyon işlemine tabi tutulmuştur. Bu işlem sonrası örneklerin bazı mekanik özelliklerindeki değişim araştırılmıştır. Asetillendirme işlemi sonrasında kontrol örneklerine kıyasla kavak ve sarıçam odunu örneklerinde elastikiyet modülü ve eğilme direnci değerinde artış

olduğu tespit edilirken, radyata çamı örneklerinde kimyasal modifikasyon sonrası bu değerlerde azalma tespit edilmiştir. Kayın örneklerinde ise asetilasyon sonrası kontrol örneklerine kıyasla mekanik özelliklerde bir değişim tespit edilmemiştir [9].

Tarkow ve diğ., 1953'te kimyasal modifikasyon ile ilgili yapılan ilk çalışmalardan biri olan bu çalışmada; sitka ladini, sarı huş ve ihlamur ağacı odunlarından hazırlanan kaplamaları asetik anhidrit ile kimyasal modifikasyon işlemi gerçekleştirmiştir. Odunu şişirmesi için piridin kullanılmıştır [1].

Larsson ve Simonson., 1994'te yaptıkları bir çalışmada sarıçam (*Pinus sylvestris*) ve ladin (*Picea abies*) türündeki ağaçların odunlarından hazırladıkları örnekleri asetik anhidrit ile kimyasal modifikasyon (asetillendirme) işlemine tabi tutmuşlardır. Kimyasal modifikasyon işlemi esnasında herhangi bir katalizör yada organik kolvat kullanılmamıştır. Modifikasyon sonrası örneklerin mekanik özellikleri kontrol örnekleriyle karşılaştırılmıştır. Sarıçam örneklerinin kimyasal modifikasyon sonrası WPG değeri %19.1 bulunurken ladin odununda ortalama %21 olduğu ve asetillendirme sonrası örneklerin özgül ağırlıklarında artış olduğu ifade edilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre sarıçam örnekleri kimyasal modifikasyon sonrasında eğilme direnci ve elastikiyet modülü değerlerinde %6'lık bir azalma meydana gelirken ladin örneklerinde eğilme direnci ve elastikiyet modülü değerlerinde %7 artış tespit edilmiştir. Brinell sertlik değerinde ise kontrol örneklerine kıyasla asetillendirme işlemi uygulanan sarıçam örneklerinde artış olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca ladin odunu örnekleri için yıllık halka genişledikçe WPG değerinin arttığı belirlenmiştir [6].

Li ve ark., 2010'da yapmış olduğu bir çalışmada *Chamaecyparis obtusa* türü ağaç odunlarından hazırladığı örnekleri beş farklı anhidrit (asetik, propionik, bütirik, izobütirik ve hegzonoik) kullanarak dört farklı sıcaklıkta (90, 110, 125 ve 140°C) kimyasal modifikasyon işlemine tabi tutarak örnekleri modifiye etmiştir. Elde edilen sonuçlara göre 90°C ve 110°C sıcaklıktaki bütirik, izobütirik, propionik ve hegzonoik anhidritlerle kimyasal modifikasyon işlemleri sonrası örneklerde WPG değerinde belirgin bir artış olmamakla birlikte ASE değerinde de artış gözlemlenmemiştir. Fakat sıcaklık değeri 125°C'nin üzerine çıktığında reaksiyon süresine bağlı olarak WPG ve ASE değerlerinde bir artış elde edilebilmiştir. Genel olarak %20 WPG değeri elde edilen kimyasal modifikasyon işlemleri sonrasında odun örneklerinde %70 - 80 civarı bir boyutsal sabitlik kazandırılabilirdiği tespit

edilmiştir [12].

Obataya., 2007'de yapmış olduğu bir çalışmada sitka ladini (*Picea sitchensis*) odunundan hazırlanan örneklerde lignin içeriğindeki değişime bağlı olarak asetik anhidritle kimyasal modifikasyon gerçekleştirilen örneklerin bazı özelliklerini araştırmıştır. Wise ve Karl., 1962 metoduna göre ladin odunlarının delignifikasyon işlemi gerçekleştirildikten sonra örnekler, piridin katalizörlüğünde asetik anhidritle modifiye edilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre lignin oranı ile asetillendirme sonrası WPG değerleri arasında ilişki olduğu tespit edilmiştir. Odunda lignin içeriği arttıkça WPG değeri artmıştır [13].

Kimyasal modifikasyon esnasında rutubet varlığında odun şiştiği için odundaki ulaşılabilir OH kısımlarının artışına sebep olur, bu nedenle bir miktar rutubet arzu edilmektedir. Ancak rutubetin reaksiyon esnasında anhidritler ile karboksilik asit oluşturması reaksiyon sonrası WPG değerinin azalmasına neden olmaktadır. Özellikle lif doygunluğu üzerindeki rutubet değerleri reaksiyon esnasında arzu edilmemektedir. Yapılan bir çalışmada Rowell., 2005'te odun rutubeti %0 ile %7 arasında değişen rutubet değerlerine sahip örneklerle gerçekleştirilen reaksiyonlarda asetilasyon oranının aynı çıktığı tespit edilmiştir [7]. Yapılan başka bir çalışmada çalışmada ise %0 ile %26 rutubet içeriğine sahip örneklerle gerçekleştirilen reaksiyonlar sonrasında, rutubet içeriğinin artışına bağlı olarak WPG değerinin azaldığını tespit etmişlerdir. Özellikle %20'nin üzerindeki rutubetlerde %8 WPG değeri bulunmuştur [62].

1.6.1.1 Mekanik özelliklerde meydana gelen değişimler

Youngquist ve diğ., 1986'da yaptıkları çalışmada asetik anhidrit ile asetilasyon işlemi gerçekleştirilen kavak odunu örneklerinin işlem sonrası %20 WPG değeri elde edilen örneklerin eğilme direnci (MOR) ve elastikiyet modülü (MOE) değerlerinde artış olduğu tespit edilmiştir [57].

Odunun direnç özellikleri rutubet artışına bağlı olarak azalma eğilimindedir. Bu bağlamda asetilasyon sonrası odun örneklerinin denge rutubeti azaldığı için mekanik özellikler olumlu yönde etkilenmektedir [63].

Tarkow ve ark., 1953'te yapmış olduğu çalışmada ladin, ıhlamur ve huş odunlarından hazırladığı örnekleri asetik anhidrit ile kimyasal modifikasyon işlemine tabi tutmuştur. Asetilasyon işlemi esnasında katalizör olarak piridin kullanmıştır. İşlem sonrasında örneklerin bazı mekanik özellikleri karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre ladin ve ıhlamur odunları asetilasyon sonrası %20 WPG değeri elde edilmiş ve elastikiyet modülü (MOE) değeri kontrol örneklerine kıyasla daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Fakat huş odunu türünde asetilasyon işlemi sonrasında MOE değeri kontrol örneğine kıyasla daha düşük çıkmıştır [1].

Rowell ve Banks., 1987'de yaptıkları çalışmada ise sarıçam (*Pinus sylvestris*) ve ıhlamur (*Tilia vulgaris*) odunlarından hazırlanan örnekleri 120°C sıcaklıkta asetik anhidrit ile kimyasal modifikasyon işlemi uygulamıştır. Asetilasyon işlemi sonrası örneklerin gerilme dirençlerinin kontrol örneklerine kıyasla aynı çıktığı ve aralarından anlamlı bir fark olmadığı tespit edilmiştir [2].

Benzer şekilde Birkinshaw ve Hale., 2002 yılında hızlı yetişen bazı ladin (*Picea sitchensis*), çam (*Pinus contorta*) ve japon melezi (*Larix leptolepis*) ağaç türleri üzerinde yapmış olduğu çalışmada hazırladığı örnekleri asetik anhidrit ile modifiye ederek örneklerin modifikasyon sonrası bazı mekanik özellikleri ve çürüklük mantarlarına karşı performans testi gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre asetilasyon sonrasında örneklerin elastikiyet modülü (MOE) değerleri kontrol örnekleriyle arasında farklılık göstermemiştir. Çürüklük mantarlarına karşı ise asetilasyon işlemi uygulanan örneklerin ağırlık kayıpları %1'in altında tespit edilmiştir [8].

Hill'in kitabında belirttiği üzere Militz., 1991 yılında yapmış olduğu çalışmada ise asetik anhidrit ile asetilasyon işlemi gerçekleştirilen kayın odunu örneklerin eğilme direnci (MOR) değerinin kontrol örneklerinden bir miktar daha yüksek olduğunu; elastikiyet modülü (MOE) değerinin ise asetilasyon sonrası kontrol örneklerinden bir miktar daha düşük olduğu ifade edilmiştir [61].

Larsson ve Simonson., 1994'te yapmış oldukları bir çalışmada dar ve geniş yıllık halkalara sahip sarıçam (*Pinus sylvestris*) ve ladin (*Picea abies*) türlerindeki örnekleri asetik anhidrit kullanarak 120°C sıcaklık altında asetilasyon işlemine tabi tutmuştur. Asetilasyon işlemi sonrası örneklerin bazı mekanik özellikleri araştırılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre dar yıllık halkalı örneklerin WPG (ağırlık

artış miktarı) değeri geniş yıllık halkalı örneklerden daha düşük bulunmuştur [6]. Çam odunu örnekleri için asetilasyon sonrası MOE ve MOR değerleri için %6'lık bir azalma tespit edilirken ladin odunu örneklerinden asetilasyon sonrası bu değerlerde %7'lik bir artış gözlemlenmiştir [9].

Jorissen ve ark., 2005'te büyük boyutlu örnekler üzerinde yaptıkları bir çalışmada TitanWood endüstriyel asetillendirme prosesi uygulanarak radyata çamı (*Pinus radiata*) odunlarından 4 metre uzunluğunda 155 mm genişlikte örnekler hazırlanıyor ve bu örneklerin bazı mekanik özellikleri araştırılıyor. Elde edilen sonuçlara göre kontrol örneklerinin başlangıçtaki özgül ağırlıkları asetillendirme işlemi sonrasında ortalama %20 oranında artış gösterdiği bu ilave olarak denge rutubet değerinin %13'ten %5'e düştüğü tespit ediliyor. Mekanik özellikleri incelendiğinde ise eğilme direnci değerinin asetillendirme işlemi uygulanmış örneklerde kontrol örneklerine göre %10 oranında daha düşük bulunduğu belirtilmiştir. Buna ilaveten, Elastikiyet modülü değerlerinde asetillendirilen örneklerde benzer bir şekilde azalma olmasına karşın istatistiksel olarak bir fark tespit edilememiştir [10].

Bongers ve Beckers., 2003 yılında asetilasyon işlemi sonrasında uygulanan post-treatment işlemlerinin mekanik özellikler üzerine etkisini araştırdıkları bir çalışmada; pilot ölçekli bir tesiste büyük boyutlu olarak (4 metre uzunluğunda) hazırlanan kayın (*Fagus sylvatica*), kavak (*Populus spp.*), sarıçam (*Pinus sylvestris*) ve radyata çamı (*Pinus radiata*) örneklerini farklı post-treatment işlemleri uygulayarak asetik anhidrit ile asetilasyon işlemi gerçekleştirilmiştir. Asetillendirme işlemi sonrası örneklerin elastikiyet modülü (MOE), eğilme direnci (MOR), darbe dayanımı, Janka sertlik değeri ve makaslama modülü gibi mekanik bazı özellikleri incelenmiştir. Asetik anhidrit ile asetilasyon işlemi sonrası tüm örneklerin denge rutubet değerlerinde azalma gözlemlendiği için mekanik özellikler olumlu yönde etkilendiği tespit edilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre özellikle sarıçam ve kavak türü örneklerin asetillendirme sonrasında mekanik özelliklerin çoğunda iyileşme gözlemlenirken radyata çamından hazırlanan örneklerde asetilasyon sonrası MOR ve MOE değerlerinde azalma tespit edilmiştir. Asetillendirme işlemi uygulanan kayın örneklerinde ise mekanik özelliklerde herhangi bir değişim gözlemlenmemiştir [9].

Papadopoulus ve Pouggioula., 2010'da yaptıkları bir çalışmada sarıçam (*Pinus sylvestris*) odunundan hazırladıkları örneklerin farklı molekül ağırlığındaki düz zincir yapısından oluşan asetik, propionik, bütirik, valerik ve hegzanoik anhidritlerle 120-

150 saat arasında asetilasyon işlemine tabi tutmuşlardır. Örneklerin asetilasyon işlemi sonrası liflere paralel basınç direnci değerleri araştırıldığı bu çalışmada; örneklerde modifikasyon sonrası WPG değeri arttıkça basınç direnci değerinin kontrol örneklerine kıyasla arttığı tespit edilmiştir. Ayrıca kullanılan anhidritin molekül ağırlığı artışının basınç direncini arttırdığı tespit edilmiştir [64].

Obataya ve diğ., 2003 yılında ladin (*Picea sitchensis*) odunundan hazırlanan örnekleri 120°C sıcaklıkta çeşitli konsantrasyonlarda glikoz penta asetat (GPA) içeren asetik anhidrit ile 8 saat süresince asetilasyon işlemine tabi tutmuştur. Örneklerin WPG değeri ve ASE değeri (GPA) konsantrasyonu arttıkça artma eğilimi göstermiştir. Ayrıca örneklerin dinamik Young's modülü değeri (E') ve ses sönümleri ($\tan\delta$) değerleri de incelenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre (GPA) içeriğinin artışı sonrasında (E') değeri artarken ($\tan\delta$) değeri azalmıştır [14].

1.6.1.2 Boyutsal stabilitede meydana gelen değişimler

Sander ve diğ., 2003'te asetilasyon sonrası odun örneklerinin anatomik özelliklerinde meydana gelen değişimlerin araştırıldığı bir çalışmada; ladin (*Picea abies*), sarıçam (*Pinus sylvestris*) ve kayın (*Fagus sylvatica*) odunlarından hazırlanan örnekler katalizör kullanılmadan asetik anhidrit ile asetilasyon işlemine tabi tutmuşlardır. Asetilasyon sonrası örneklerde %18 ile %20 arasında WPG değerleri elde edilirken odun örneklerinde şişme tespit edilmesine karşılık hücre çeperinde herhangi bir hasar gözlemlenmemiştir. Odunda geçitlerin, ince paranzim hücrelerinin içlerinin ve trahe hücrelerindeki perforasyon tablalarının tamamen dolduğu tespit edilmiştir [62].

Çetin ve Özmen., 2001'de yaptıkları çalışmada karaçam (*Pinus nigra*) ve sarıçam (*Pinus sylvestris*) odunlarından hazırlanan örnekleri piridin katalizörlüğünde farklı sıcaklıklarda krotonik anhidrit ile asetilasyon işlemine tabi tutmuşlardır. Elde edilen sonuçlara göre reaksiyon sıcaklığının, aynı WPG değerini elde etmek şartıyla boyutsal stabilite üzerinde anlamlı bir etkisi olmadığını, WPG değerinin %30 ve üzerinde olduğu modifikasyon işleminde %90 civarında bir ASE değeri elde edilebildiğini ifade edilmiştir [4].

Hill ve diğ., 2000'de yapmış oldukları bir çalışmada karaçam (*Pinus nigra*) odunundan hazırlanan örnekleri asetik anhidrit ile farklı katalizörler kullanarak asetillendirme işlemini gerçekleştirmişlerdir. Çalışma kapsamında; piridin, N-metil pirolidin (NMP), 4-dimetilamino piridin (DMAP) ve N-metil pirolidone (NMPO)

kullanılarak farklı oranlar da reaksiyona katılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre kullanılan katalizörlerin, asetillendirme sonrası örneklerin WPG değerini katalizör kullanılmadan gerçekleştirilen örneklere göre arttırdığı ayrıca, reaksiyonu hızlandırdığı ifade edilmiştir. En hızlı reaksiyonun ise DMAP katalizörü eşliğinde gerçekleştiği tespit edilmiştir [3].

Çetin ve ark 2002’de sarıçam (*Pinus sylvestris*) ve karaçam (*Pinus nigra*) odunundan hazırlanan örnekleri asetik ve krotonik anhidrit kullanarak, 60 ve 120°C reaksiyon sıcaklığında ve piridin katalizörlüğünde asetillendirme işlemine tabi tutmuşlardır. Elde edilen sonuçlara göre her iki anhidrit ile asetillendirme işlemi sonrası örneklere %90’nın üzerinde bir boyutsal sabitliğin kazandırıldığı; asetillendirme işlemi sonrası benzer WPG değerleri elde edilen örneklerde, reaksiyon sıcaklığının boyutsal sabitlik üzerine bir etkisi bulunmadığı belirtilmiştir [65].

Çetin ve ark., 2009’da yapmış oldukları bir çalışmada Okaliptus (*Eucalyptus grandis*) diri odunundan hazırladıkları örnekleri propiyonik anhidrit ile piridin katalizörlüğünde üç farklı sıcaklıkta (80, 100 ve 120°C) ve farklı reaksiyon sürelerinde kimyasal modifikasyon işlemine tabi tutmuşlardır. Elde edilen sonuçlara göre 100°C sıcaklıkta 3 saat sonunda maksimum %26 WPG değeri elde edilirken örneklere %80’in üzerinde boyutsal sabitlik kazandırılmıştır [11].

Odunda, esterifikasyon işlemleri sonrası denge rutubet değeri azaldığı için boyutsal stabilite kazandırılması akustik malzeme yapımında kullanım imkanını arttırmaktadır [66].

2. LİTERATÜR ÖZETİ

Hiroyuki ve Yano., 1994'te yaptıkları bir çalışmada mazi (*Thuja plicata*) odunlarından hazırlanan örneklerin metanol ekstraksiyonu sonrasında akustik özelliklerinde değişimin incelenmesini amaçlamışlardır. Bu çalışma kapsamında ekstraksiyon öncesi ve sonrası örneklerin sönümlenme katsayıları ($\tan\delta$) ve özgül ağırlığa göre Young's Modülü (E'/γ) değerleri ölçülmüştür. Ayrıca öz odun ve diri odun arasındaki mikro fibril açıları da X-ray yardımıyla tespit edilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre öz odun ve diri odun örneklerinin mikro fibril açıları arasında fark olmamasına rağmen öz odunun $\tan\delta$ değeri diri odunun neredeyse yarısı kadar çıkmıştır. Metanol ekstraksiyonu sonrasında öz odun örneklerinin $\tan\delta$ değeri %15.3 – 36.9 oranında artarken eş zamanlı olarak E'/γ değerinde bir miktar azalma meydana gelmiştir. Metanol ekstraksiyonu yapılan diri odundaki değerler ise öz odunun tersi bir şekilde, $\tan\delta$ değerinde %18.3 – 28.8 oranında bir azalma gözlemlenirken E'/γ değerinde bir miktar artış tespit edilmiştir. Özellikle mazi ağacı öz odunlarının metanol ekstraksiyonuna maruz bırakılması $\tan\delta$ değerlerini yüksek oranda etkilediği tespit edilmiştir [67].

Chang ve ark., 2000'de yapmış oldukları çalışmada, ladin (*Picea sitchensis* Carr.) odunundan hazırlanan örnekler 5 farklı kimyasal; asetik anhidrit, sükinik anhidrit, glioksal, glioksal + 1,4-butadiol, glioksal + karboksimetil selüloz kullanılarak kimyasal modifikasyon işlemleri gerçekleştirilmiştir ve daha sonra bu modifikasyon işlemlerinin akustik özellikler üzerine etkisini incelemek amacıyla Forced Vibrational Reed Metodu kullanılarak sönümlenme katsayıları ($\tan\delta$) özgül ağırlığa göre Young's Modülü (E/ρ) değerleri ve akustik dönüşüm katsayısı $\sqrt{(E/\rho^3)}/\tan\delta$ gibi değerler hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlara göre glioksal kullanılarak yapılan kimyasal modifikasyon sonrasında ladin odunlarının akustik özelliklerinin arttığı tespit edilmiştir. En iyi akustik özellikler glioksal + karboksimetil selüloz kullanılan modifiye edilmiş örneklerde olduğu gözlemlenmiştir. Bu gruptaki örneklerde $\tan\delta$ değerinde oldukça yüksek bir azalma meydana gelirken Young's modülü değerinde bir değişim gözlemlenmemiştir. Saksinik anhidrit ile modifiye edilen ladin

odunlarında ise $\tan\delta$ değerinde artış tespit edilmiştir. Asetik anhidrit ile modifiye edilen örneklerde ise akustik özelliklerin bir miktar arttığı tespit edilmiştir. Yapılan bu çalışmada kimyasal modifiye edilmiş odunların akustik özelliklerinin iyileştiği tespit edilmiştir [17].

Yano ve Minato., 1992’de yaptıkları bir çalışmada keman üretiminde ses tablası ve köprü kısımlarında kullanılan ladin (*Picea sitchensis* Carr.) türündeki parçalar formaldehit ile odun arasında çapraz bağlanma gerçekleştirecek şekilde kimyasal modifikasyon işlemine tabi tutulmuştur. Ardından kimyasal modifikasyon işlemi gerçekleştirilen keman parçalarının; özgül ağırlığa göre Young’s Modülü (E/ρ) değerleri ve ses boğma katsayısı (Q^{-1}) ve akustik dönüşüm katsayısı $\sqrt{(E/\rho^3)}/Q^{-1}$ gibi değerler tespit edilerek akustik özellikleri incelenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre kayıp katsayısı değerleri kimyasal modifikasyon işlemi gerçekleştirilen örneklerde %40 – 45 oranında daha düşük çıkmıştır. Ayrıca liflere paralel yöndeki özgül ağırlığa göre Young’s Modülü değeri ise modifikasyon işlemi uygulanan örneklerde %10 oranında artış göstermiştir [68].

Obataya., 1999’daki bir çalışmasında klarnetin ağız bölümü parçalarından biri olan kamış (*clarinet reed*) kısmında kullanılan malzemelere alternatif olabilecek bir ürün geliştirmek için farklı türlerdeki odunları ve bunların asetik anhidritle modifiye edilmiş hallerinin kıyaslaması yapılmıştır. Normalde klarneti çalan kişinin üfleme kısmında kullandığı madde şeker kamışından üretilmiştir. Ancak uzun süreli çalımlardan sonra bu kamış kısım ağızdaki tükürük etkisiyle rutubet almakta, boyutsal olarak stabil kalamamakta ve değiştirilmesi gerekmektedir. Bu kamıştan üretilen kısma alternatif olarak 9 farklı odun türü ve bunların asetik anhidritle modifiye edilmiş hallerinden hazırlanan kamışların özellikleri araştırılmıştır. Daha sonra bu parçalar klarnet çalan kişiler tarafından test edilip yorumları alınmıştır. 100 x 10 x 1 mm boyutlarında hazırlanan balsa (*Ochroma lagopus*), pavlonya (*Pailownia tomentosa*), Japon sediri (*Cryptomeria japonica*), Glehn ladini (*Picea glehnii*), Sitka ladini (*Picea sitchensis*), sarı kavak (*Liripidendron tulipifera*), Japon meşesi (*Quercus mongolica*), Japon huşu (*Betula maximowicziana*) ve kiraz (*Prunus sargentii*) 9 farklı odun 120⁰C sıcaklıkta 8 saat boyunca asetik anhidrit ile modifiye edilmiştir. Örneklerin akustik özelliklerinden özgül ağırlığa göre Young’s Modülü (E/ρ) değerleri, akustik dönüşüm katsayısı (ADK) değerleri ve ses sönümlenme ($\tan\delta$) değeri tespit edilmek üzere serbest (*free-free flexural*) vibrasyon metodu

kullanılmıştır. Ayrıca örneklerin boyutsal stabilitesi de incelenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre asetillendirme işlemi uygulanan örneklerin hem akustik özellikleri hem de boyutsal özellikleri şeker kamışında üretilen parçalara göre daha iyi çıkmıştır. Özellikle ladin türlerinin asetillendirilmesi sonrasında akustik dönüşüm katsayısı (ADK) daha yüksek; $\tan\delta$ değeri ise daha düşük çıkmıştır. Ayrıca astetik anhidritle asetillendirilmeyen örneklerle kıyasla asetillendirme sonrasında örneklerin elastikiyet modüllerinde de bir miktar artış gözlemlenmiştir [15].

Yano ve diğ., 1993'teki çalışmalarında piyanonun parçaları (Clamped plate, Creep ve Pin block) yapımında kullanılmak üzere ladin (*Picea sitchensis* Carr.) türündeki odun parçaları asetik anhidrit ile kimyasal modifiye edildikten sonra piyano parçalarında kullanılmak üzere serbest (*free-free-flexural vibration*) metodu uygulanarak örneklerin; ses iletim hızları (V), özgül ağırlığa göre elastikiyet modülü (E'/γ) değerleri ve ses boğma katsayısı (Q^{-1}) gibi akustik özelliklerin tespitinde kullanılan değerler tespit edilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre asetillendirme işlemi uygulanan örneklerdeki ses iletim hızları ve ses boğma katsayılarında normal oduna göre bir miktar düşüş olduğu gözlemlenmiştir. Ancak bu çalışmada asetilasyon işleminin odunun ses kalitesini iyileştirip iyileştiremediği tam anlamıyla tespit edilememiştir [69].

Bremaud ve ark., 2011'deki bir çalışmada Afrika paduk (*Pterocarpus soyauxii*) ağacının ekstraktif maddelerinin akustik özellikler üzerine etkisini incelemek amacıyla 5 farklı kimyasal (metanol, di etil eter, metilen diklorit, aseton ve sıcak su) ile ekstrakte edildikten sonraki sönümlenme katsayısı ($\tan\delta$) ve spesifik young modülü (E') değerleri tespit edilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre Metanol ekstraksiyonu işlemi sonrası paduk örneklerinin $\tan\delta$ değeri %60 oranında artmıştır [70].

Nakatsuba., 1999'da yaptığı çalışmasında ladin (*Picea sitchensis*) ağacından hazırlanan odun örnekleri perambuko (*Caesalpinia echinata*) tropik odununun suda çözünen ekstraktif maddeleriyle 2 farklı yöntemle emprenye edildikten sonra ladin odunundaki akustik özelliklerin değişimini araştırmışlardır. Ladin örneklerinin bir kısmı vakum altında suda çözünen perambuko ekstraktif maddeleriyle emprenye edilmiştir. Kalan diğer ladin örneklerin ise yüzeylerine bu perambuko ekstraktif maddeleri fırça yardımıyla sürülmüştür. Elde edilen sonuçlara göre suda çözünen ekstraktif maddelerin ladin örneklerinin yüzeyine fırçayla sürülmesi örneklerin

sönümlenme katsayıları ($\tan\delta$) üzerine bir miktar azaltıcı etki sağladığı tespit edilmiştir. Fakat WPG değerleri yükseldikçe hem $\tan\delta$ değeri hem de özgül ağırlığa göre elastikiyet modülü (E/ρ) değerlerinde ciddi oranda azalmalar olduğu gözlemlenmiştir [71].

Benzer bir amaçla Matsunga ve ark., 2000 yılındaki çalışmalarında keman yapımında özellikle de kemanın yay kısmında yaygın olarak kullanılan pernambuca (*Guilandina echinata*) odunundan izole edilen ekstraktif maddeleri, ladin (*Picea sitchensis*) odunundan hazırlanan örneklerle empenye edilerek empenye sonrası örneklerin ses sönümlenme katsayısındaki ($\tan\delta$) değişim araştırılmıştır. Pernambuca odunundan 5 farklı ekstraktif madde izole edilmiş olup en iyi sonuçlar odunda yaklaşık %40 oranında bulunan protosappanın B ekstraktif maddesi olmuştur. Elde edilen sonuçlara göre protosappanın B ile empenye edilen ladin odunlarının ($\tan\delta$) değerinde azalma saptanmıştır [72].

Oliveira ve ark. 2006'da yaptıkları bir çalışmada odun yoğunluğunun boyuna yöndeki ultrasonik ses iletim hızı üzerine etkisini araştırmışlardır. Çalışmada; karayip çamı (*Pinus caribea*), okaliptüs (*Eucalyptus grandis*), jatoba (*Hymenaea spp.*) ve (*Goupia glabra*) türündeki 5x5x5 cm boyutlarında hazırlanan örneklerdeki yoğunluğa bağlı ses iletim hızında meydana gelen değişim incelenmiştir. Elde edilen bulgulara göre boyun yöndeki ultrasonik ses iletim hızı yoğunluk artışına bağlı olarak artış gösterdiği tespit edilmiştir [73].

Bu çalışmanın devamında Olivera ve ark., 2014 yılında *Goupia glabra* türündeki örneklerde rutubete bağlı olarak odunda ultrasonik ses iletim hızında meydana gelen değişimleri araştırmıştır. Elde edilen bulgulara göre rutubet artışının ses iletim hızı üzerine azaltıcı bir etkisi bulunduğu tespit edilmiştir. Boyuna yöndeki rutubete bağlı olarak ses iletim hızında meydana gelen azalışın Teğet yöndeki ses iletim hızındaki azalışa oranla LDN noktasında daha yüksek olduğu tespit edilmiştir [74]. Benzer sonuçları Kabir ve ark., 1998'de yapmış oldukları çalışmada rutubetin artışının ultrasonik ses iletim hızı üzerine azaltıcı bir etkisi olduğunu tespit etmiştir [75]. Ayrıca odunda rutubet artışına bağlı olarak sönümlenme değerinin LDN noktasından sonra parabolik olarak arttığı, genlik değerinin ise azaldığı Sakai ve ark., 1990 yılındaki çalışmalarında tarafından tespit edilmiştir [76].

Son yıllarda yapılmış olan bir başka çalışmada Ahmed ve Adamopoulos., 2018’de müzik aleti yapımında kullanılan bazı ağaç türleri (akçaağaç, dişbudak, kızılağaç, maun) ve bunlara alternatif olarak ısıl işlem uygulanmış huş, kavak ve dişbudak odunları, asetillendirme işlemi yapılmış kayın, akçaağaç ve radyata çamı odunları, furfulasyon işlemi uygulanmış sarıçam odunu ve fenol formaldehit, melamin formaldehit ile emprenye edilmiş kayın odun örnekleri, ticari olarak piyasada satılan firmalardan temin edilmiştir. 12,5 x 25 x 350 mm boyutlarında hazırlanan örneklerin 3 farklı (%35, %65 ve %85) bağıl nemdeki akustik özellikleri araştırılmıştır. Akustik özellik olarak; özgül ağırlığa göre Young’s Modülü (E'/γ) değerleri, akustik dönüşüm katsayısı (ACE) değerleri, ses sönümlenme ($\tan\delta$), akustik empedans (z) ve ses radyasyon katsayısı (R) değerleri tespit edilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre modifikasyon işlemleri uygulanmış odunların emprenye edilmiş odunlara göre daha düşük ses sönümlenme ($\tan\delta$) değeri ve daha yüksek akustik conversion efficiency (ACE) değerleri olduğu tespit edilmiştir. Buna ek olarak termal modifikasyon ve asetillendirme işlemi uygulanmış odunların, müzik aleti yapımında kullanılan akçaağaç, kızılağaç, dişbudak ve maun ağaçları yerine alternatif olarak kullanılabilceği tespit edilmiştir [18].

Akitsu ve ark., 1993’de yapmış oldukları çalışmada Glehn ladini (*Picea glehnii*) odunundan hazırlanan örnekleri içlerinde asetik anhidritin de bulunduğu 15 farklı kimyasal madde kullanarak kimyasal modifikasyon işlemine tabi tutmuştur. Örneklerin modifikasyon sonrası farklı bağıl nemlerdeki, özgül ağırlığa göre elastikiyet modülü (E'/γ) değerlerini ve ses sönümlenme katsayılarını ($\tan\delta$) tespit etmişlerdir. Elde edilen sonuçlara göre asetik anhidrit ile kimyasal modifikasyon işlemi gerçekleştirilen örneklerin özgül ağırlığa göre Young’s Modülü (E'/γ) değerlerinin ve ses sönümlenme katsayılarının ($\tan\delta$) kontrol örneklerine kıyasla daha düşük bulunduğu belirtilmiştir [19].

Kabir ve ark., 1998’de yaptıkları bir çalışmada odunun lif açısının ve rutubetin ses iletim hızı üzerine oldukça fazla etkisinin olduğunu belirtmişlerdir. Çalışmalarında rubber wood (*Hevea brasiliensis*) odunundan hazırlanan örneklerin farklı lif açılarında ve farklı rutubet değerlerindeki ses iletim hızı ve sertlik değerlerini incelemişlerdir. Elde edilen sonuçlara göre lif açısı ve rutubet miktarı arttıkça ses iletim hızının ve de sertlik değerlerinin azaldığı tespit edilmiştir [75].

Odunun radyal yöndeki akustik özelliklerinin iyi olmasını öz ışınlarının varlığından kaynaklandığını belirtmiştir [31]. Ayrıca odun hücrelerinin geometrik düzeni ve de ilkbahar odunu ile yaz odunu katılım oranıyla bunların dağılımının akustik özellikler üzerine etkisi olduğu ifade etmiştir. Ayrıca, odunda rutubet artışına bağlı olarak radyal yönde teğet yöne kıyasla ses iletim hızında daha yüksek bir azalmanın olduğu ifade edilmiştir [77].

Yang ve diğ., 2015’de (*Pseudotsuga menziesii*), beyaz lauan (*Parasharea spp.*), (*Thujaopsis dolabrata*) ve japon sediri (*Cryptomeria japonica*) türündeki odunlardan hazırlanan örneklerin rutubet içeriğine bağlı olarak ses iletim hızlarında ve sönümlenme üzerinde meydana gelen değişimi incelemiştir. Elde edilen sonuçlara göre rutubet içeriği arttıkça ses iletim hızının azaldığı tespit edilmiştir. Özellikle 0 ile LDN arasındaki rutubet değişiminin ses iletim hızını çok hızlı ve doğrusal bir şekilde azalttığı ifade edilmiştir. LDN üzerinde ise bu azalış kademeli olmaktadır. Buna karşı olarak, rutubet miktarının artışı sönümlenme değerinde artışa sebep olduğu tespit edilmiştir. Rutubet artışına bağlı ses iletim hızındaki değişimler göknar, karaağaç ve ıhlamur odunları için yapılan başka bir çalışmada benzer sonuçlar tespit edilmiştir [78].

Başka bir çalışmada Hori ve ark., 2002’de 12 farklı iğne yapraklı ağaç türünden hazırlanan örneklerin selüloz mikro-fibril açılarının boyuna yöndeki özgül ağırlığa göre Young’s Modülü (E'/γ) değeri ve ses sönümlenme katsayısı ($\tan\delta$) üzerine etkisi araştırılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre hem ilkbahar odununda hem de yaz odunundaki mikro-fibril açılarının azalması; (E'/γ) değerinde artışa, ($\tan\delta$) değerinde ise azalmaya neden olduğu tespit edilmiştir. Bilindiği üzere piyano ve keman yapımında kullanılacak olan odunların (E'/γ) değerinin yüksek, ($\tan\delta$) değerinin ise düşük olması arzu edilmektedir. Bu çalışmadan çıkartılacak sonuçlara bağlı olarak bu tip enstrümanların yapımında kullanacak odunların mikro-fibril açısının düşük olması gerektiği ifade edilmektedir [79].

Bu amaçla yapılan bir çalışmada Schleske., 1990 yılında ladin odununda ses iletiminin lif yönüne bağlı olarak değiştiği belirtilmiştir. Ayrıca radyal yöndeki ses hızı teğet yöne kıyasla daha yüksek bulunmuştur. Buna ilave olarak radyal kesilmiş bir örneğin, boyuna yönde kesilmiş bir örneğe kıyasla lif açısı artışına bağlı olarak ses iletim hızında meydana gelen değişimin daha fazla olduğu, ses sönümlenmedeki meydana gelen artışın ise daha düşük olduğu tespit edilmiştir [80].

Obataya ve diğ., 2000'deki çalışmalarında odunda 3 farklı yönde ses iletim hızının farklı olduğunu ifade etmiştir. Liflere paralel yöndeki ses iletim hızı liflere dik yönüne göre 2-4 kat daha hızlı olduğu tespit edilmiştir [81].

Moreno ve ark., 2011'deki çalışmalarında radyata çamından (*Pinus radyata*) hazırlanan örneklerin rutubet içeriği ve sıcaklığa bağlı olarak ses iletim hızının ve dinamik elastikiyet modülündeki (MOE) değişimler araştırılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre rutubet içeriğindeki ve sıcaklıktaki artış ses iletim hızında ve MOE değerinde azalmaya neden olduğu tespit edilmiştir [82].

Golpayegani ve diğ., 2012'de mulberry (*Morus alba*) odunundan hazırlanan örneklerden hazırlanan bir çalışmada ekstraktif maddelerin odunun akustik özellikleri üzerine etkisi araştırılmıştır. Çalışma kapsamında 5 farklı kimyasal (hegzan, aseton, metanol, diklor metan ve sıcak su) kullanılarak ekstraksiyon işlemleri gerçekleştirilen örneklerin elastikiyet modülü (E'/γ), özgül ağırlığa göre Young's Modülü (E'/γ) değeri ve ses sönümleme katsayısı ($\tan\delta$) tespit edilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre ekstraksiyon işlemi gerçekleştirilen örneklerin (E'/γ) değerinde azalma, ($\tan\delta$) değerinde ise artış gerçekleşmiştir [83].

Calegari ve ark., 2011'de okaliptus (*Eucalyptus grandis*) odunlarından hazırlanan örneklerin rutubet içeriği ve özgül ağırlığındaki değişime bağlı olarak ultrasonik ses iletim hızlarındaki değişim araştırılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre rutubet arttıkça ultrasonik ses hızı azalırken yoğunluk arttıkça ultrasonik ses hızının da arttığı tespit edilmiştir [84].

Obataya ve ark., 1998 yılında yaptıkları çalışmada rezonans ladini (*Picea stichensis*) odunundan hazırlanan örneklerin farklı rutubet içeriklerindeki özgül ağırlığa göre Young's Modülü (E'/γ) değeri ve ses sönümleme katsayısı ($\tan\delta$) üzerine etkisini araştıran bir çalışma yapmışlardır. LDN noktasındaki rutubet değerlerine kadar incelenen örneklerde rutubet içeriğindeki artışın (E'/γ) değeri üzerinde bir azalmaya neden olduğu tespit edilirken, ($\tan\delta$) değeri için 0 ile %8 rutubet aralığında bir azalma gözlemlenirken %8 ile %30 arasındaki rutubet artışına bağlı olarak bu değer arttığı tespit edilmiştir [85].

3. MATERYAL VE METOT

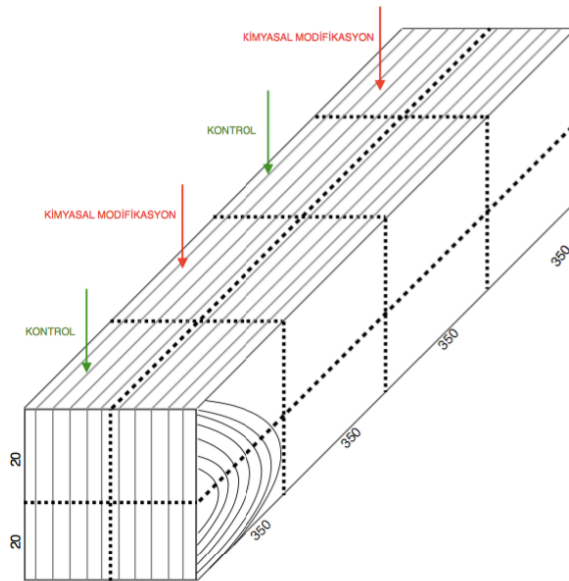
Bu çalışmada, müzik aleti yapımında yaygın olarak kullanılan bazı odun türlerinin propiyonik anhidrit ile kimyasal modifikasyonu gerçekleştirilerek, modifikasyon sonrası akustik özelliklerindeki değişim incelenmiştir.

3.1 Materyal

Bu çalışma kapsamında müzik aleti yapımında yaygın olarak kullanılan odun türlerinden maun (*Khaya ivorensis*), akçaağaç (*Acer pseudoplatanus*) ve ladin (*Picea orientalis*) odunları İzmir bölgesindeki Kortürk Kereste firmasından satın alınarak temin edilmiştir.

Kullanılacak olan odunların müzik aleti yapımına uygun olabilmesi için yıllık halkalarının düzgün ve kusursuz olan kerestelerden tercih edilmiştir.

Satın alınan keresteler Ege Üniversitesi Devlet Türk Musikisi Konservatuvarı Çalgı yapımı bölümünün atölyesinde 2,5 x 2,5 x 38 cm RadyalxTeğetxBoyuna bloklar halinde kesilmiştir. Boyutlandırılan örneklerle ilgili görsel Şekil 3.1’de gösterilmiştir



Şekil 3.1 : Kerestelerden deney örneklerinin hazırlanması

3.1.1 Örneklerin boyutlandırılması ve öğütülmesi

Uygun boyutlarda hazırlanan odun bloklarının bazıları Orman Fakültesi Laboratuvarında öğütülerek odun unu elde edilmiştir. Hazırlanan odun unları örneklerin kimyasal analiz belirlenmesi için laboratuvara getirilmiştir. Odun örneklerinin un haline getirilmesinde kullanılan cihaz Şekil 3.2’de gösterilmiştir.



Şekil 3.2 : Odun unu hazırlamasında kullanılan LOYKA marka öğütücü

3.1.2 Odun örneklerinin kurutulması

Öğütme ve eleme işlemleri gerçekleştirildikten sonra tasnif edilen odun örnekleri, içerisinde bulunan rutubetin uzaklaştırılması için önceden $103\pm 2^{\circ}\text{C}$ sıcaklığa ayarlanmış olan fırın içerisinde değişmez ağırlığa gelinceye kadar bekletilmiştir. Kurutulan örnekler daha sonrasında desikatör içerisinde oda sıcaklığına gelinceye kadar bekletildikten sonra rutubet almamaları için plastik torbalara konularak ağzı sıkıca kapatılmıştır.

3.2 Ahşap Malzemenin Kimyasal Analiz Yöntemleri

3.2.1 Ekstraksiyon işlemi

Odun örneklerinde bulunan ekstraktif maddelerin uzaklaştırılması için hacimce 4/1/1 oranında tolüen/aseton/etanol karışımı içeren solvent ile Şekil 3.3'te gösterilen sokslet ekstraksiyon düzeneğinde 6 saat süresince örnekler ekstraksiyon işlemine tabi tutulmuştur.



Şekil 3.3 : Ekstraksiyon işleminin yapıldığı sokslet cihazına ait görsel

3.2.2 Holoselüloz tayini

Çalışma kapsamında hazırlanan odun örneklerinin holoselüloz miktarlarının belirlemek için (Wise ve Karl, 1962) klorit yöntemi uygulanmıştır [86]. Ekstraksiyon işlemi gerçekleştirilen 2,5 gram odun unu örneği 250 ml'lik erlen içerisine alınmıştır. Daha sonra erlen içerisine 80 ml saf su, 1 gram NaClO₂ (Sodyum Klorit) ve 0,5 ml asetik asit ilave edilerek 70-80°C sıcaklıktaki su banyosu içerisine koyulmuştur. 6 porsiyon halinde sodyum klorit ve asetik asit erlen içerisine 1 saat aralıklarla ilave edilmiş ve sistem ara sıra karıştırılmıştır. Holoselüloz tayini esnasında kullanılan deney düzeneği Şekil 3.4'te gösterilmiştir.

İşlem sonrası sıcak karışım soğumaya bırakılmıştır. Daha sonra önceden tam kuru tartımı alınmış olan kroze üzerine saf su ve aseton ile süzme işlemi uygulanmıştır. Süzme sonrası süzüntü olan kısım 103±2°C sıcaklıkta değişmez ağırlığa ulaşincaya kadar kurutularak tartım alınmış ve yüzde holoselüloz miktarı aşağıdaki formüle göre belirlenmiştir.

$$\text{Holoselüloz (\%)} = \frac{W_1}{W_2} \times 100$$

W₁ = Örneklerin işlem öncesi tam kuru ağırlığı

W₂ = Örneklerin işlem sonrası tam kuru ağırlığı



Şekil 3.4 : Delignifikasyon işleminin gerçekleştirildiği deney düzeneği

3.2.3 Alfa selüloz tayini

Çalışma kapsamında hazırlanan odun örneklerinin Alfa selüloz miktarlarının belirlemek için TAPPI-T203 standartları uygulanmıştır. Holoselüloz tayini sonrasında elde edilen örneklerden 2 gram tam kuru örnek alınmıştır. Sonrasında bu örnekler 200 ml'lik beher içerisine aktarılarak üzerine 10 ml %17,5'lik sodyum hidroksit (NaOH) ilave edilerek cam baget vasıtasıyla karıştırılarak 5 dakika beklenmiştir. Bu işlem ardından 15 ml'lik sodyum hidroksit çözeltisi porsiyonlar halinde örnekler üzerine ilave edilmeye devam etmiştir. Bu işleminde ardından örneklerin üzerine 33 ml saf su eklenmiş ve 1 saat daha bekletilmiştir.

1 saatin ardından karışım kroze üzerine süzülerek üzerine; 100 ml %8,3'lük NaOH çözeltisi, %10'luk asetik asit (CH_3COOOH) ve 250 ml saf su dökülerek yıkama işlemi sona erdirilmiştir. Yıkama sonrası süzüntü olarak kalan kısım $103\pm 2^\circ\text{C}$ sıcaklıkta değişmez ağırlığa gelene kadar fırın içerisinde bekletilmiştir. Daha sonra örneklerin tartımları alınarak % alfa selüloz oranı aşağıdaki formüle göre tespit edilmiştir. Şekil 3.5'te alfa selüloz miktarının tespiti için hazırlanan örnekler

gösterilmiştir.

$$\% \text{ Alfa selüloz (\%)} = \frac{S_1}{S_2}$$

S_1 = Örneklerin işlem sonrası tam kuru ağırlıkları

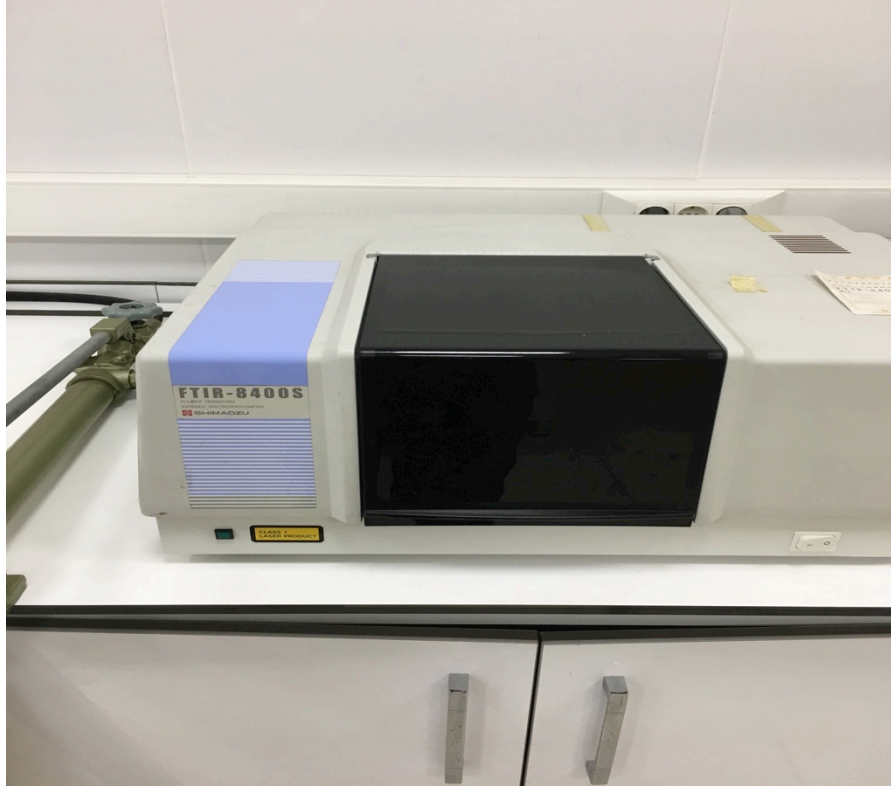
S_2 = Örneklerin işlem sonrası tam kuru ağırlıkları



Şekil 3.5 : Alfa selüloz tayini için hazırlanan örnekler

3.3 FTIR Analizleri

Bu çalışma kapsamında hazırlanan kontrol ve anhidrit ile kimyasal modifikasyon işlemi gerçekleştirilen FTIR (Fourier Transform Infrared Spectroscopy) analizleri yapılmıştır. Her bir grup için %1'lik tam kuru odun unu örneği ile KBr ile karıştırılarak FTIR peletleri hazırlanmıştır. Hazırlanan pelet örnekleri Shimadzu FTIR 8400S aletinde incelenmiştir. Şekil 3.6'da FTIR cihazı gösterilmiştir.



Şekil 3.6 : FTIR ölçümlerinin gerçekleştirildiği cihaz.

3.4 Boyutsal Sabitlik Testi

Boyutsal sabitlik testi için 2x2x0,5 cm boyutlarında hazırlanan odun blokları vakum uygulaması yapılan ve içerisinde saf su bulunan küresel reaksiyon kabında 5 gün süresince bekletilmiştir. 5.günün sonunda odun bloklarının ağırlıkları ve boyutları ölçülmüştür. Daha sonrasında odun blokları 2 gün boyunca 103°C sıcaklıktaki fırın içerisinde kurutmaya bırakılmıştır. 2.günün sonunda örneklerin ağırlıkları ve boyutları tekrar ölçülmüştür. Bu işlem döngüsü (5 gün yıkama / 2 gün kurutma) 10 defa tekrar edilerek odun örnekleri için boyutsal sabitlik değerleri aşağıdaki hesaplamalar vasıtasıyla tespit edilmiştir.

$$\text{Şişmeye karşı etkinlik} = \text{ASE} (\%) = [(S_u - S_m) / S_u] \times 100$$

Burada;

S_u = Modifiye edilmemiş Odun Şişme Katsayısı

S_m = Modifiye edilmiş Odun Şişme Katsayısı

$$\text{Şişme katsayısı} = S (\%) = [(V_{ws} - V_{od}) / V_{od}] \times 100$$

Burada;

V_{ws} = Suda beklemiş Odunun hacmi

V_{od} = Tam kuru Odunun hacmi



Şekil 3.7 : Boyutsal sabitlik testi yıkama döngüsünün gerçekleştiği düzenek

3.5 Kimyasal Modifikasyon İşleminin Gerçekleştirilmesi

Propiyonik anhidrit kullanılarak odun örneklerinin kimyasal modifikasyon işlemlerinin gerçekleştirilmeden önce, reaksiyon esnasından kullanılan odun maddesinin miktarına bağlı olarak sarf edilecek anhidrit miktarının belirlenmesi gerekmektedir. Bu değerlerin belirlenmesi için öncelikle toplam OH içeriği üzerinden yapılan hesaplamalar sonrasında elde edilen sonuçlara göre 1 gram odun maddesi için, 1,134 ml propiyonik anhidrit ve 0,15 gram K_2CO_3 kullanılması gerektiği tespit edilmiştir [51,87,88].

3.5.1 Küçük boyutlu örneklerin modifikasyon işlemi

Kimyasal modifikasyon reaksiyonu gerçekleştirilmeden önce odun örnekleri 6 saat boyunca 4/1/1 (toluen/aseton/etanol) ekstraksiyon işlemine tabi tutularak ekstraktif maddeler uzaklaştırılmıştır. Ekstraktif maddelerin uzaklaştırılması ardından cam reaktör içerisinde odun örnekleri propiyonik anhidrit, DMF (dimetilformamid) ve K_2CO_3 içeren karışım içerisinde 0,5, 1, 3, 6, 9 saat süresince $120^\circ C$ sıcaklıktaki yağ banyosunda reaksiyona tabi tutulmuştur. Reaksiyon düzeneği Şekil 3.8'de gösterilmiştir. Reaksiyon bittikten sonra odun örnekleri tekrardan ekstraksiyon işlemine tabi tutulmuştur ve ekstraksiyon işlemi sonrası örneklerde meydana gelen ağırlık kazancı (WPG) değerleri aşağıdaki formül vasıtasıyla tespit edilmiştir.



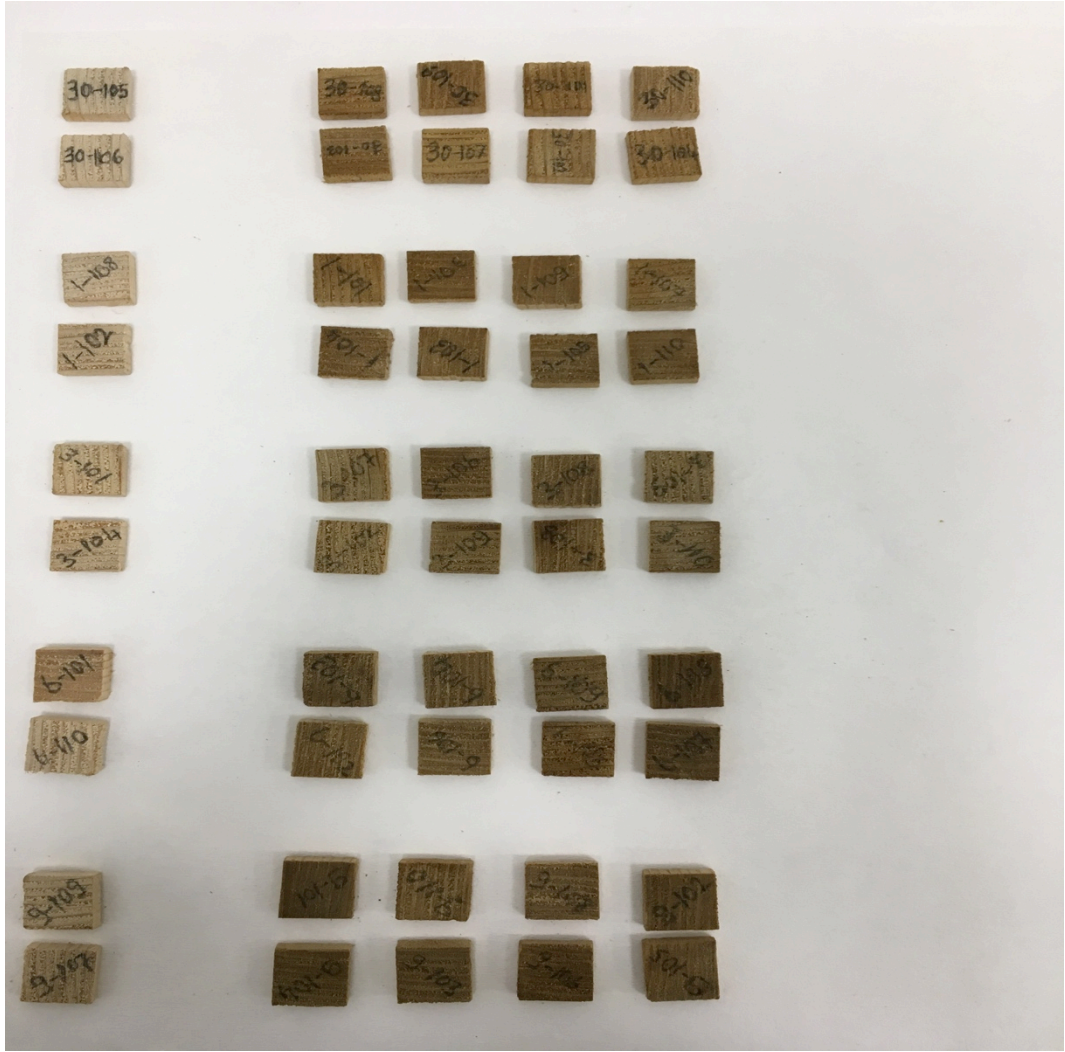
Şekil 3.8 : Küçük boyutlu odun bloklarının kimyasal modifikasyon işleminin gerçekleştirildiği deney düzeneği

$$\text{WPG (\%)} = [(M_m - M_u) / M_u] \times 100$$

Burada;

M_m = Modifiye edilmiş Odunun Tam kuru ağırlığı

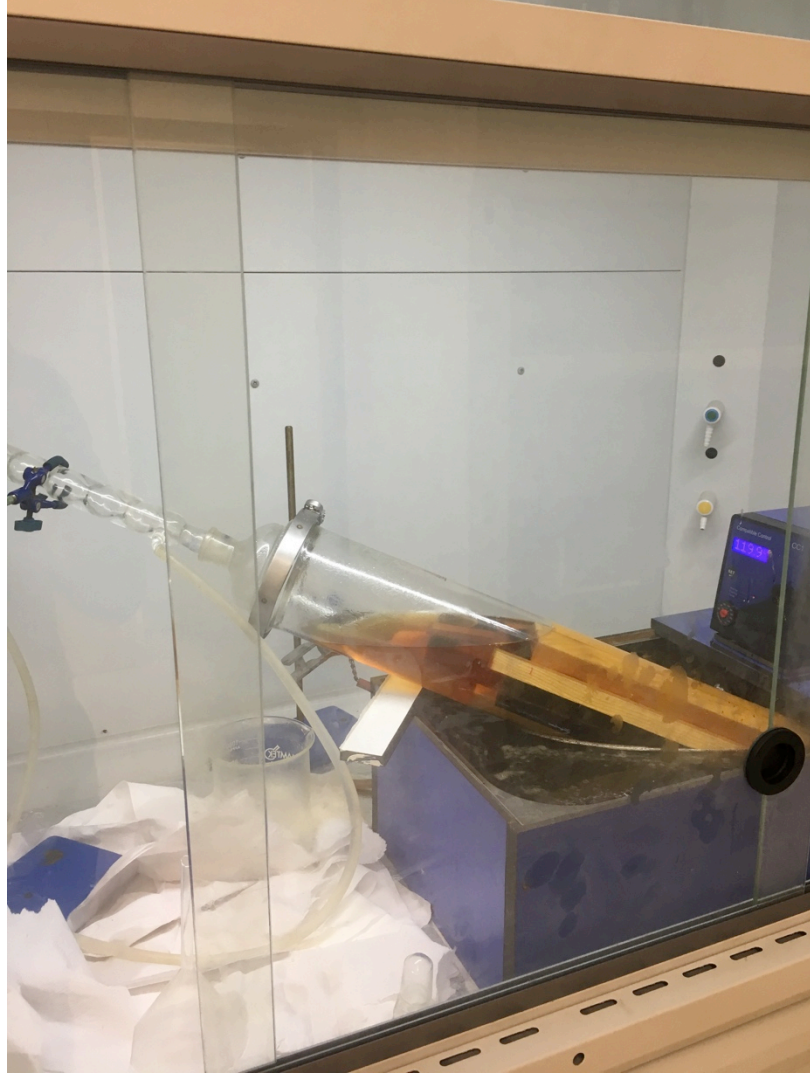
M_u = Modifiye Edilmemiş Odunun Tam kuru ağırlığı



Şekil 3.9 : Propiyonik anhidrit ile modifikasyon işlemi gerçekleştirilen örnekler (sağ taraf), kontrol örnekleri (sol taraf)

3.5.2 Büyük boyutlu örneklerin kimyasal modifikasyon işlemi

Büyük boyuttaki odun örneklerinin kimyasal modifikasyon işlemi için cam reaktör içerisine konulan örnekler propiyonik anhidrit, DMF (dimetilformamid) ve K_2CO_3 içeren karışım içerisinde 6 saat süresince reaksiyona tabi tutulmuştur. Reaksiyon sonrası odun örnekleri 4/1/1 (toluen/aseton/etanol) oranına sahip çözücü içerisinde 6 saat süresince fraksiyon işlemine tabi tutulmuştur ve fraksiyon sonrası odun örneklerinde meydana gelen ağırlık kazancı değerleri (WPG) hesaplanmıştır. Büyük boyutlu örneklerin modifikasyon düzeneği Şekil 3.10'da gösterilmiştir.



Şekil 3.10 : Büyük boyutlu örneklerin kimyasal modifikasyon işleminin gerçekleştirildiği reaktör ve deney düzeneği

3.6 Akustik Özelliklerin Belirlenmesi

3.6.1 Ses iletim hızının belirlenmesi

Kimyasal modifikasyon işlemi gerçekleştirilen odun örneklerinin ultrasonik ses iletim hızları slyvatek ve fakkop marka cihazlar vasıtasıyla ayrı ayrı tespit edilmiştir. Üzerindeki bir sensörden çıkan ses dalgasının diğer bir sensöre ulaşmaya kadarki geçen sürenin hesaplanmasına dayanan bir çalışma mekanizması bulunan bu cihazlarda ses iletim süreleri belirlenmiştir. Tespit edilen bu ses iletim sürelerinin örnek uzunluğuna oranlanması suretiyle de ses iletim hızları tespit edilmiştir. Kullanılan cihazlar Şekil 3.11 ve Şekil 3.12’de gösterilmiştir.



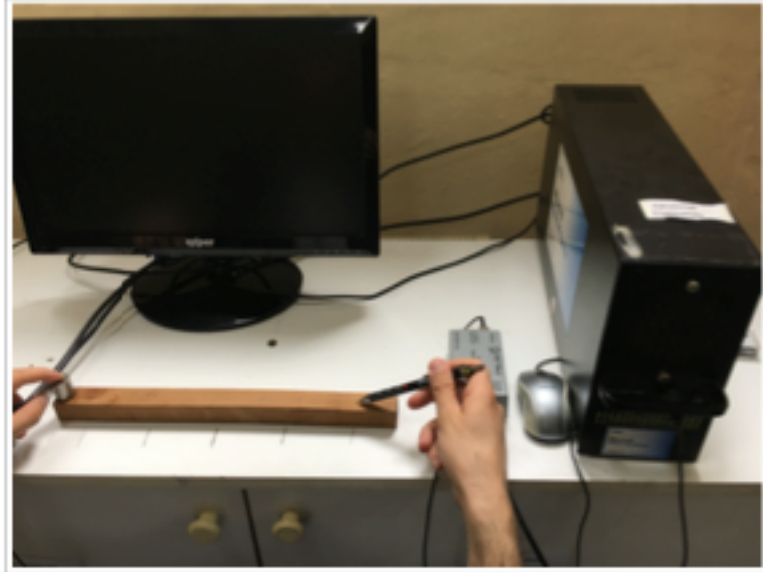
Şekil 3.11 : Ses iletim hızının ölçümünün yapıldığı ultrasonik cihaz



Şekil 3.12 : Ses iletim hızının ölçümünün yapıldığı diğer cihaz

3.6.2 Pencil break testi

Mesafeye bağlı ses sönümlemesi ise kurşun kalem kırma (pencil break) yöntemi uygulanarak 0,3 mm ucundaki uçlu kalemin odun örnekleri üzerinde sensörden 3, 10, 17, 24 ve 30 cm uzağında kırmak suretiyle mesafeye bağlı olarak genlik değerlerindeki azalma tespit edilerek doğrusal bir fonksiyon hesaplanmıştır. Bu fonksiyonun eğimi ise mesafeye bağlı azalma katsayısı olarak kullanılmıştır. Pencil break testinin gerçekleştirildiği düzenek Şekil 3.13'te gösterilmiştir.



Şekil 3.13 : Mesafeye bağlı sönümlenme cihazı

3.7 Mekanik özelliklerin tespiti

Kimyasal modifikasyon işlemi gerçekleştirilen örneklerin eğilme direnci ve statik eğilmede elastikiyet modülü değerleri TS 2474 ve TS 2478 standartlarına göre LLOYD marka Universal test cihazında tespit edilmiştir. Şekil 3.14'te Universal test cihazı gösterilmiştir.



Şekil 3.14 : Eğilme ve elastikiyet modülü deneylerinin yapıldığı universal test cihazı

4. BULGULAR

4.1 Kimyasal Analiz Sonuçları

Bu çalışmada kullanılan Ladin (*Picea orientalis*), Akçaağaç (*Acer pseudoplatanus*) ve Maun (*Magony* spp.) odunlarının kimyasal analiz sonuçları aşağıdaki Tablo 4.1'de verilmiştir.

Tablo 4.1 : Odun örneklerin kimyasal içeriği

Odun türü	Holoselüloz (%)	Lignin (%)	α -selüloz (%)	Hemiselülozlar (%)	Ekstraktif madde (%)
Ladin	79,86	20,14	54,53	25,33	2,52
Akçaağaç	82,68	17,68	43,3	39,38	2,47
Maun	66,74	33,26	48,6	18,14	3,9

Elde edilen sonuçlara göre en yüksek lignin oranı %66,74 ile maun odununda tespit edilirken iğne yapraklı ağaç (ladin) odunun alfa selüloz ve lignin oranı geniş yapraklı ağaç (akçaağaç) odununa kıyasla daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca hemiselüloz oranında ise en yüksek değer akçaağaç odununda %39,28 olarak tespit edilmiştir.

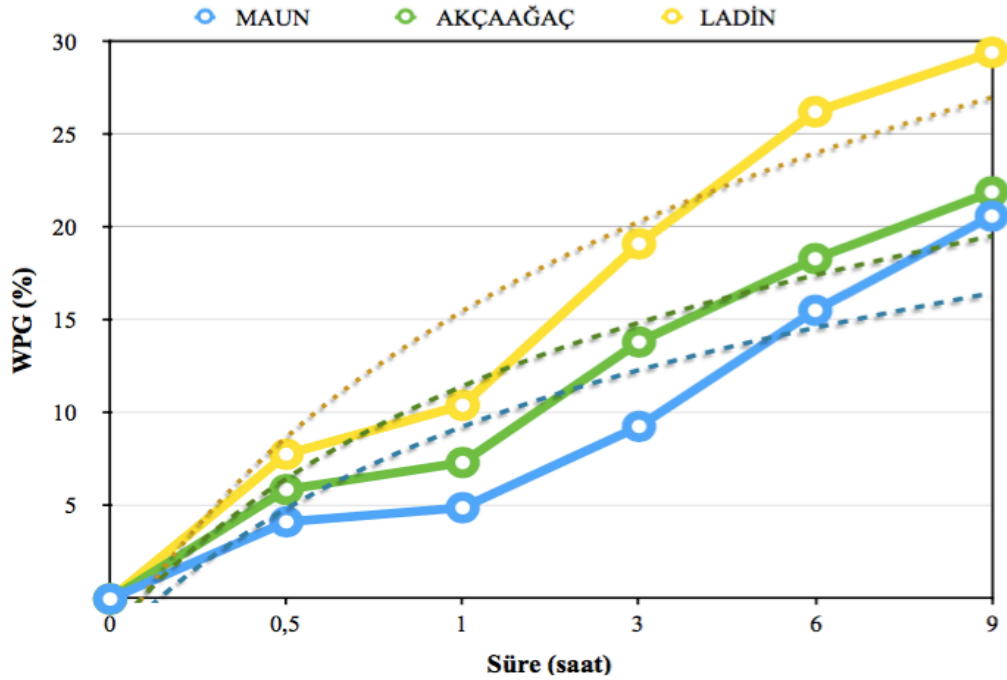
4.2 Küçük Boyutlu Odun Bloklarının Kimyasal Modifikasyonuna Ait Bulgular

Bu çalışmada kullanılan odun blokları propiyonik anhidrit (PA) kullanılarak kimyasal modifikasyon işlemine tabi tutulmuştur. 1 gram odun bloğu için 1,134 ml PA ile DMF ve K₂CO₃ kullanılmıştır. Örnekler 120°C sıcaklıkta 0,5, 1, 3, 6 ve 9 saatlik 5 farklı sürede modifikasyon işlemine tabi tutulmuştur. Modifikasyon sonrası odun bloklarındaki ağırlık kazançları aşağıdaki Tablo 4.2 ve Şekil 4.1'de gösterilmiştir. WPG değeri 3 tür (ladin, akçaağaç ve maun) için modifikasyon süresinin artışına bağlı olarak artış göstermiştir. En yüksek WPG değeri %29,36 ile 9 saatlik kimyasal modifikasyon işlemine maruz kalan ladin odunu örneklerinde meydana gelmiştir.

Tablo 4.2 : Küçük boyutlu odun bloklarının propiyonik anhidrit ile kimyasal modifikasyonu sonrası ağırlık kazançları (WPG)

Modifikasyon süresi (saat)	WPG (%)		
	Ladin	Akçaağaç	Maun
0,5	7,79 (1,34)	5,89 (1,06)	4,15 (0,87)
1	10,42 (0,54)	7,34 (1,27)	4,91 (0,44)
3	19,10 (1,04)	13,82 (2,16)	9,29 (0,64)
6	26,19 (0,51)	18,29 (1,54)	15,25 (1,58)
9	29,39 (0,96)	21,89 (2,96)	20,59 (2,45)

*Parantez içerisindeki değerler standart sapma değerlerini temsil etmektedir.



Şekil 4.1: Zamana bağlı olarak kimyasal modifikasyon sonrası odun bloklarında meydana gelen ağırlık kazancı (WPG) değişimi.

Literatür incelendiğinde; Larsson ve Simonson 1994'te benzer şekilde ladin odunlarında asetik anhidrit ile kimyasal modifikasyonu sonrası %23,5 WPG değeri elde edilmiştir [6].

Li ve diğ., 2000'deki çalışmasında 110°C sıcaklıkta (*Chamaecyparis obtusa*) odunlarından hazırlanan örneklerin propiyonik anhidrit ile 6 saat boyunca kimyasal modifikasyon işlemi sonrası %25,6 WPG değeri elde edilmiştir [12].

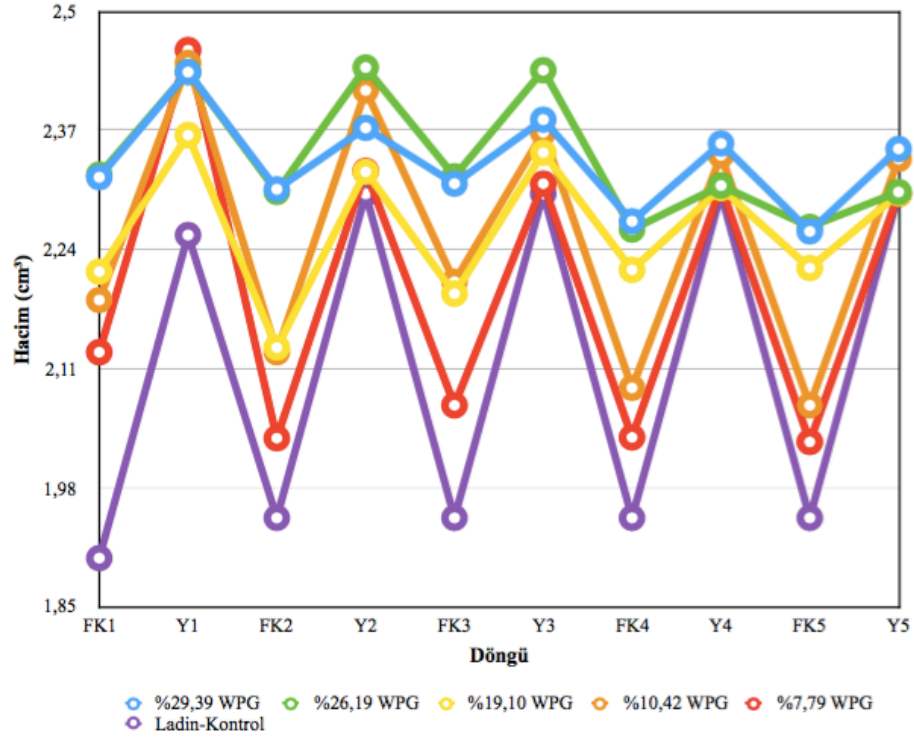
Birkanshaw ve Hale., 2002'deki çalışmalarında ise ladin, çam ve melez odunları için asetik anhidritle modifikasyon sonrası sırasıyla %16,9, 19,5 ve 17,1 WPG değeri tespit etmiştir [8]. Popescu 2014'teki çalışmasında 6 saat 110°C sıcaklıkta asetik anhidritle kimyasal modifikasyon sonrası huş odun için %16 WPG değeri elde edilmiştir [89].

Çetin ve ark., 2009'da yaptıkları çalışmada okaliptüs odunun propiyonik anhidritle 6 saatlik kimyasal modifikasyon işlemi sonrasında %26 WPG değeri elde etmiştir [11].

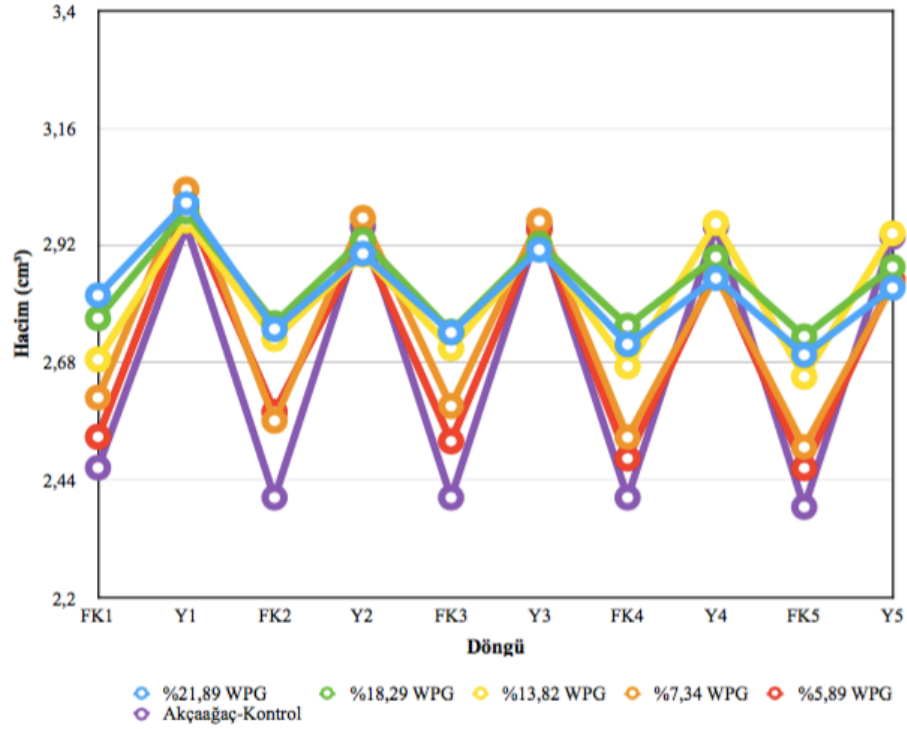
Rowell ve Banks., 1987 yılında yaptıkları çalışmada ise sarıçam ve ihlamur odunları için 120 °C sıcaklıkta 6 saatlik asetik anhidritle kimyasal modifikasyon sonrası odun örneklerinde sırasıyla %22,1 ve %14,6 WPG değeri elde edilmiştir [2].

4.3 Boyutsal Sabitlik Değerlerine Ait Bulgular

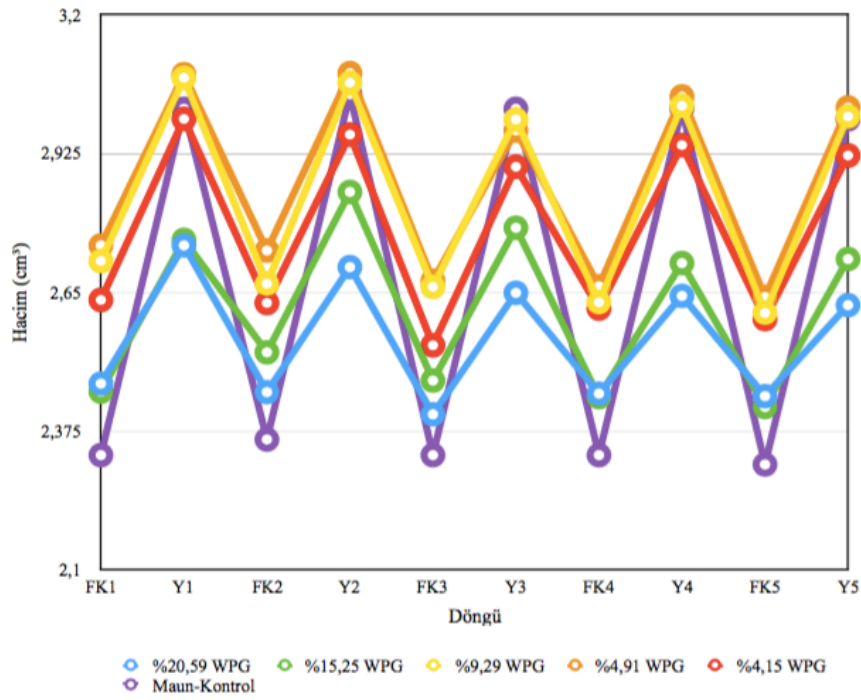
Propiyonik anhidrit ile kimyasal modifikasyon işlemi uygulanan ladin, akçağaç ve maun odunu örneklerinin ağırlık kazancına (WPG) bağlı olarak tam yaş ve tam kuru haldeki hacimsel değişimi sırasıyla odun türlerine göre Şekil 4.2, Şekil 4.3 ve Şekil 4.4'te gösterilmiştir. Şekillerden de görüleceği üzere kimyasal modifikasyon sonrası örneklerin ağırlık kazancı (WPG) arttıkça hacim artışlarında azalma meydana gelmiştir. Boyutsal sabitlik testi süresince yalnızca modifiye edilmiş maun odunlarında çatlama meydana gelmiştir.



Şekil 4.2 : Boyutsal sabitlik testi esnasında farklı WPG (%) değerlerinde modifiye olan ladin örneklerinin hacim değişimi



Şekil 4.3 : Boyutsal sabitlik testi esnasında farklı WPG (%) değerlerinde modifiye olan akçağaç örneklerinin hacim değişimi

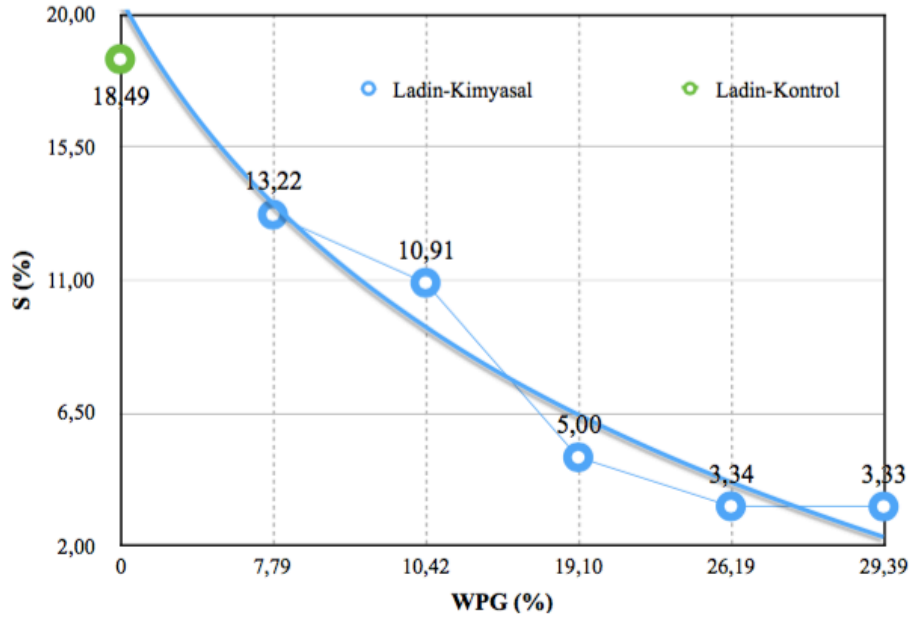


Şekil 4.4 : Boyutsal sabitlik testi esnasında farklı WPG (%) değerlerinde modifiye olan maun örneklerinin hacim değişimi

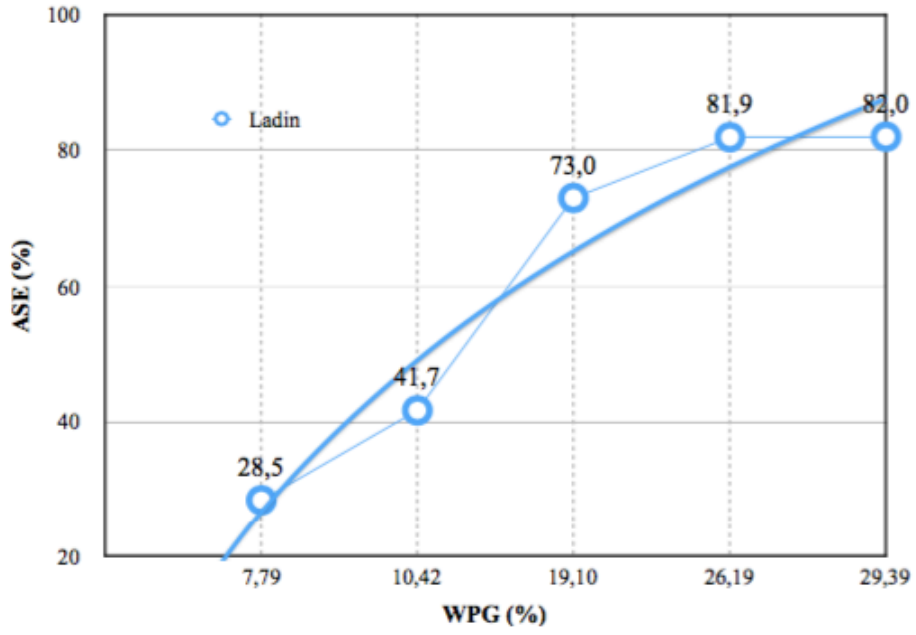
4.4 ASE ve Şişme Katsayısı Değerlerine Ait Bulgular

Kimyasal modifikasyon işlemi sonrası örneklerdeki şişme katsayısı (S(%)) değeri ladin, akçaağaç ve maun odunları için sırasıyla Şekil 4.5, Şekil 4.7 ve Şekil 4.9'de gösterilmiştir.

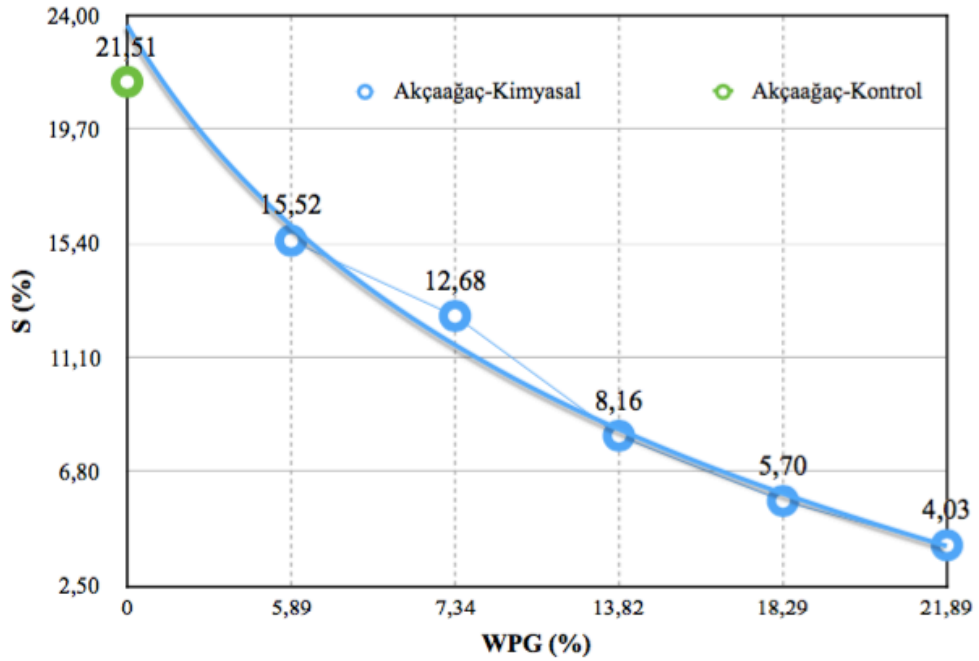
Boyutsal stabilite testi sonrasında propiyonik anhidrit ile kimyasal modifikasyon işlemi gerçekleştirilen üç odun türü içinde ağırlık kazancı (WPG) artışına bağlı olarak şişme katsayısının (S(%)) azaldığı tespit edilmiştir. Ladin odunu örnekleri için kontrol örneklerinde %18,49 olan şişme katsayısı kimyasal modifikasyon sonrası %3,27'ye kadar düşmüştür. Akçaağaç odununda ise kontrol örneklerinin şişme katsayısı %21,51 seviyelerinde %4,03 seviyesine düşmüştür. Son olarak maun odunu kontrol örneklerin için şişme katsayısı %17,52 olarak tespit edilirken kimyasal modifikasyon sonrası bu değer %9,23 seviyelerine kadar azaltılmıştır.



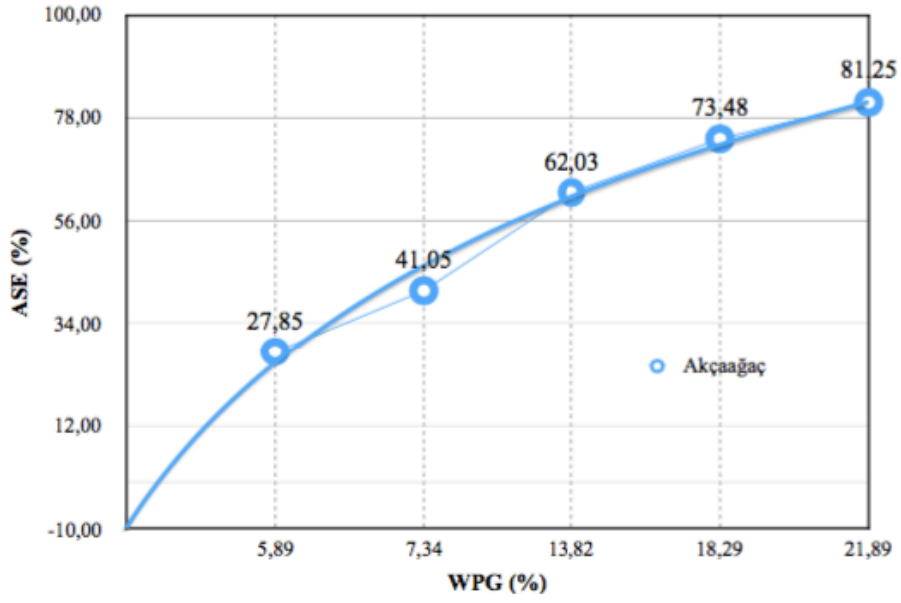
Şekil 4.5 : Farklı WPG (%) değerlerinde kimyasal modifikasyon işlemi gerçekleştirilmiş ladin örneklerinin şişme katsayısı değeri (S (%))



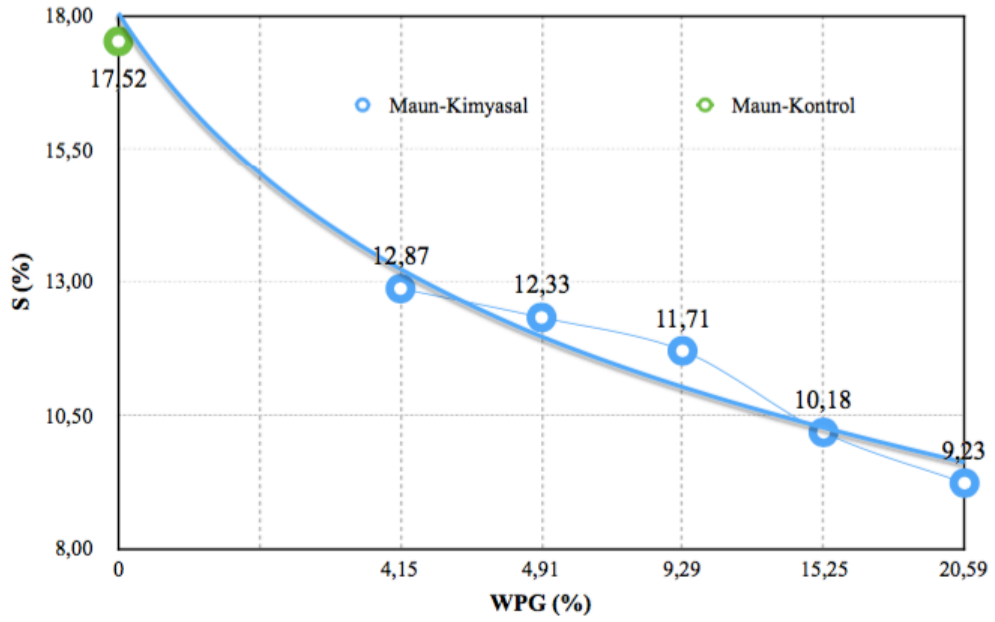
Şekil 4.6 : Farklı WPG (%) değerlerinde kimyasal modifikasyon işlemi gerçekleştirilmiş ladin örneklerinin şişmeye karşı etkinlik değeri (ASE (%))



Şekil 4.7 : Farklı WPG (%) değerlerinde kimyasal modifikasyon işlemi gerçekleştirilmiş akçaağaç örneklerinin şişme katsayısı değeri (S (%))

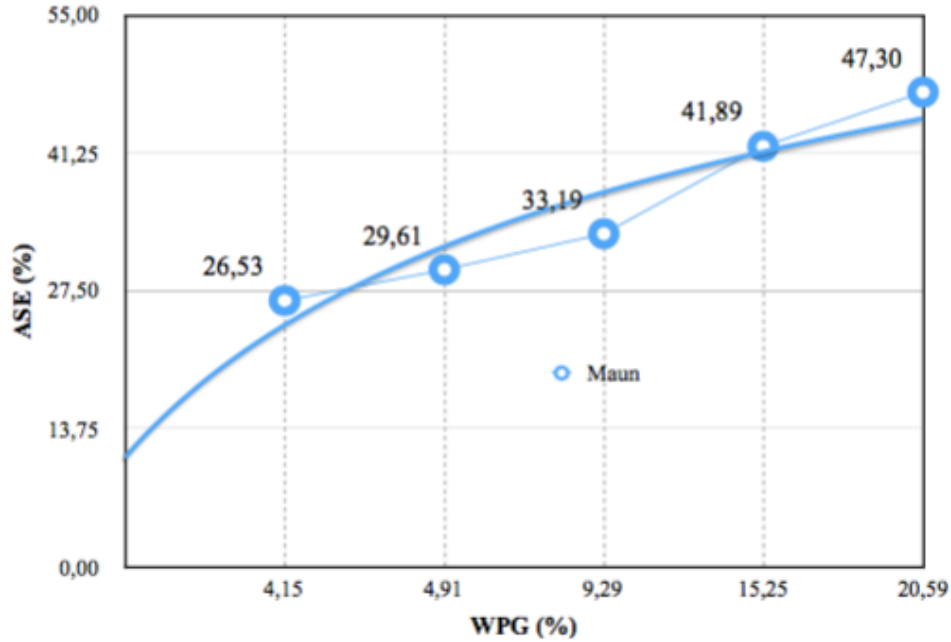


Şekil 4.8 : Farklı WPG (%) değerlerinde kimyasal modifikasyon işlemi gerçekleştirilmiş akçaağaç örneklerinin şişmeye karşı etkinlik değeri (ASE (%))



Şekil 4.9 : Farklı WPG (%) değerlerinde kimyasal modifikasyon işlemi gerçekleştirilmiş maun örneklerinin şişme katsayısı değeri (S (%))

Kimyasal modifikasyon işlemi sonrası şişmeye karşı etkinlik derecesi (ASE) değerleri ladin, akçaağaç ve maun odunları için sırasıyla Şekil 4.6, Şekil 4.8 ve Şekil 4.10'da gösterilmiştir.



Şekil 4.10 : Farklı WPG (%) değerlerinde kimyasal modifikasyon işlemi gerçekleştirilmiş maun örneklerinin şişmeye karşı etkinlik değeri (ASE (%))

Elde edilen sonuçlara göre her üç odun türü içinde kimyasal modifikasyon sonrası ağırlık kazancı (WPG) değerinin artışına bağlı olarak şişmeye karşı etkinlik derecesinde (ASE) artış meydana gelmektedir. Propiyonik anhidrit ile modifiye edilmiş ladin odunu örnekleri için %26 WPG değerlerinde %82 ASE değeri elde edilmiştir. Akçaağaç odunlarda ise %21 WPG değerinde %81 ASE elde edilmiştir. En düşük ASE değeri maun odunlarında tespit edilmiştir. %20 WPG değeri için %50 seviyelerinde ASE değeri elde edilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre propiyonik anhidrit ile modifikasyon sonrası odun örnekleri için boyutsal sabitlik kazandırmak mümkün olmaktadır.

Literatürdeki çalışmalar incelendiğinde ise Li ve ark., 2000'deki çalışmalarında hinoko odunlarından hazırladığı örnekler için propiyonik anhidritle kimyasal modifikasyonu sonrası %30 WPG değeri için ASE değerleri bulmuş %80 olarak tespit etmiştir [12]. Benzer şekilde Stamm ve Tarkow., 1946'da ladin ve akçaağaç odunları için propiyonik anhidritle kimyasal modifikasyon sonrası ASE değerini %70-80 seviyeleri arasında bulmuştur [56].

Çetin ve ark., 2009'daki çalışmalarında ise okalıptüs odunun propiyonik anhidritle 6 saatlik kimyasal modifikasyon işlemi sonrasında %26 WPG değeri elde etmiş ve %83 seviyesinde ASE değeri tespit etmiştir [11].

4.5 Büyük Boyutlu Örnekler Ait Modifikasyon Değerleri

Büyük boyutlu örneklerin Propiyonik anhidritle kimyasal modifikasyon işlemi sonrası meydana gelen ağırlık artışı (WPG) değerleri Tablo 4.3'te gösterilmektedir.

Tablo 4.3: Büyük boyutlu örneklerin propiyonik anhidrit ile kimyasal modifikasyonu sonrası elde edilen ağırlık kazancı (WPG) değerleri

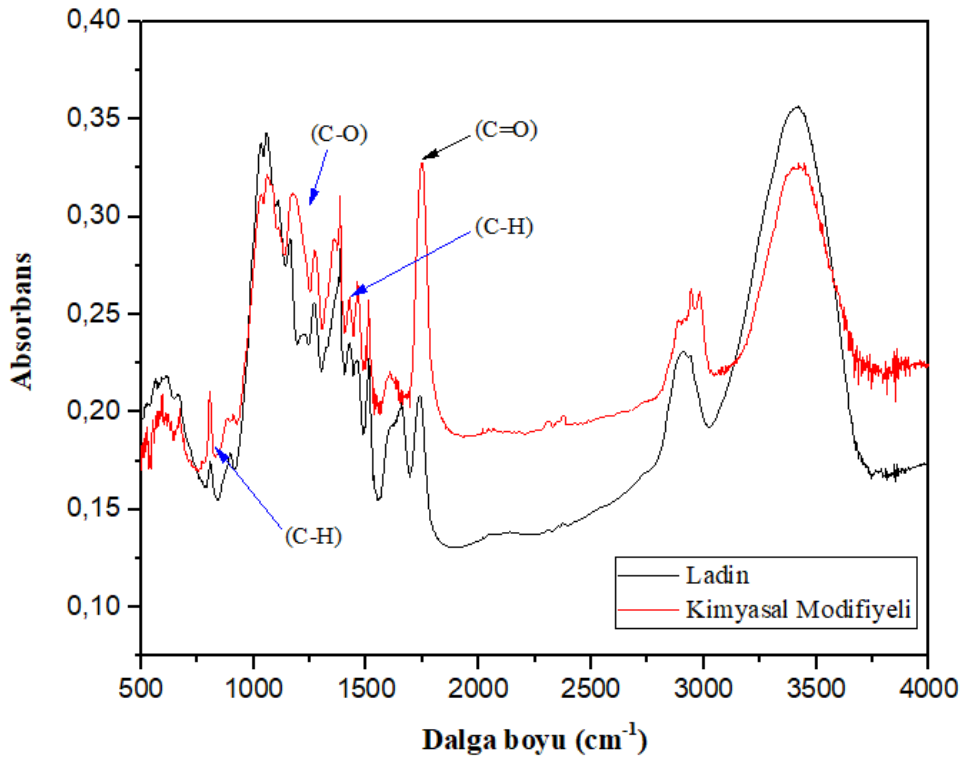
	Ladin	Akçağaç	Maun
WPG (%)	11,26	11,9	6,7

Birkanshaw ve Hale., 2002'de benzer boyutlarda ladin odunu için asetik anhidrit ile kimyasal modifikasyon işlemi sonrası %13,8 WPG değeri elde etmiştir. Bongers ve Beckers., 2003'te büyük boyutlu radiata çamı örnekleri için asetik anhidrit ile kimyasal modifikasyonu sonrası asetil içeriğine %12,6 olarak tespit etmiştir [9].

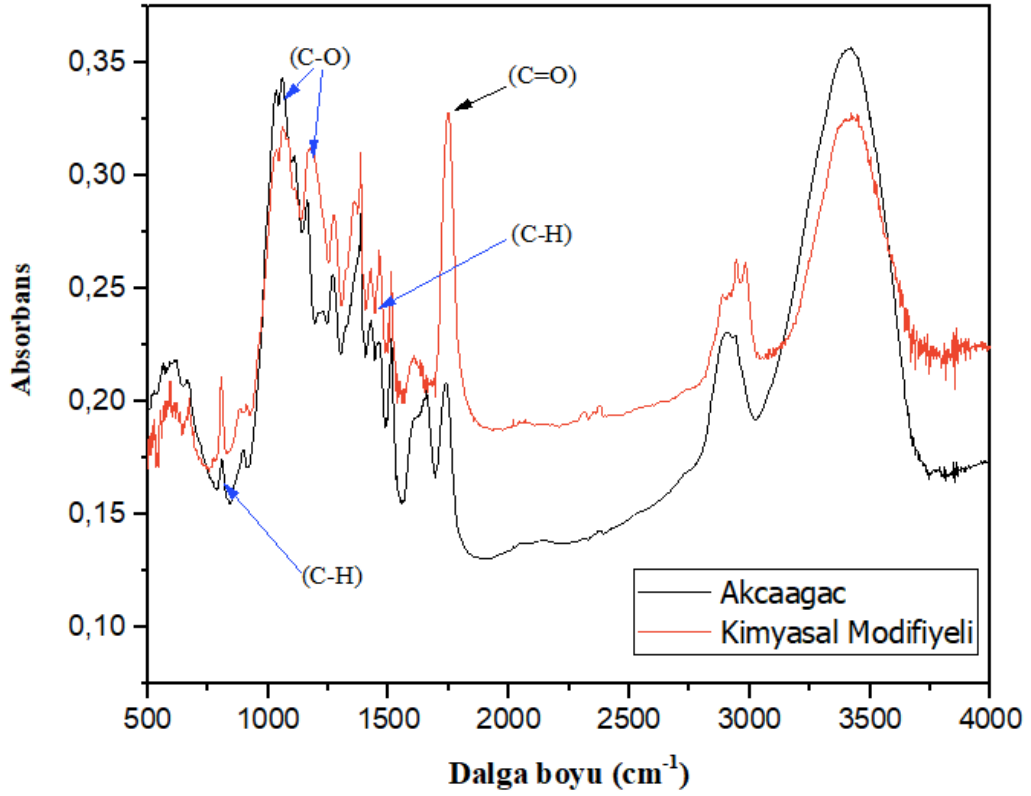
Chang ve ark., 2000'de benzer boyutlardaki ladin odunlarının 120°C sıcaklıkta asetik anhidrit ve saksinik anhidrit ile sırasıyla 12 ve 6 saatlik kimyasal modifikasyon işlemi sonrası örneklerde sırasıyla %15,3 ve %9,35 WPG değerleri elde etmişlerdir [17].

4.6 FTIR Analizleri

Propiyonik anhidrit ile ladin, akçağaç ve maun odun blokları arasında gerçekleşen reaksiyon FTIR spektra analizi ile karakterize edilmiştir. Şekil 4.11 ve Şekil 4.12’de propiyonik anhidrit ile modifiye edilmiş ve modifiye edilmemiş (kontrol) gruplarının FTIR spektrumları gösterilmektedir. Her üç odun türü içinde $1735-1750\text{ cm}^{-1}$ arasında oluşan yeni pik, propil grubunun odundaki doymamış gruplarla ester bağı oluşturarak kimyasal olarak bağlandığını ispatlamaktadır. Oluşan bu yeni pik oduna bağlanan karbonil gruplarından ($\text{C}=\text{O}$) kaynaklanmaktadır [90].



Şekil 4.11 : Ladin odunlarının propiyonik anhidrit modifikasyonu öncesi ve sonrası FTIR analizleri



Şekil 4.12 : Akçağaç odunlarının propiyonik anhidrit modifikasyonu öncesi ve sonrası FTIR analizleri.

1300-1000 cm^{-1} arasında oluşan pikler karboksil gruplarından (C-O) kaynaklanmaktadır. 2987, 1464 ve 805 cm^{-1} değerlerinde oluşan pikler ise propil gruplarında bulunan ve sp^3 hibritleşmesi yapan (C-H) bağına karşılık gelmektedir [90].

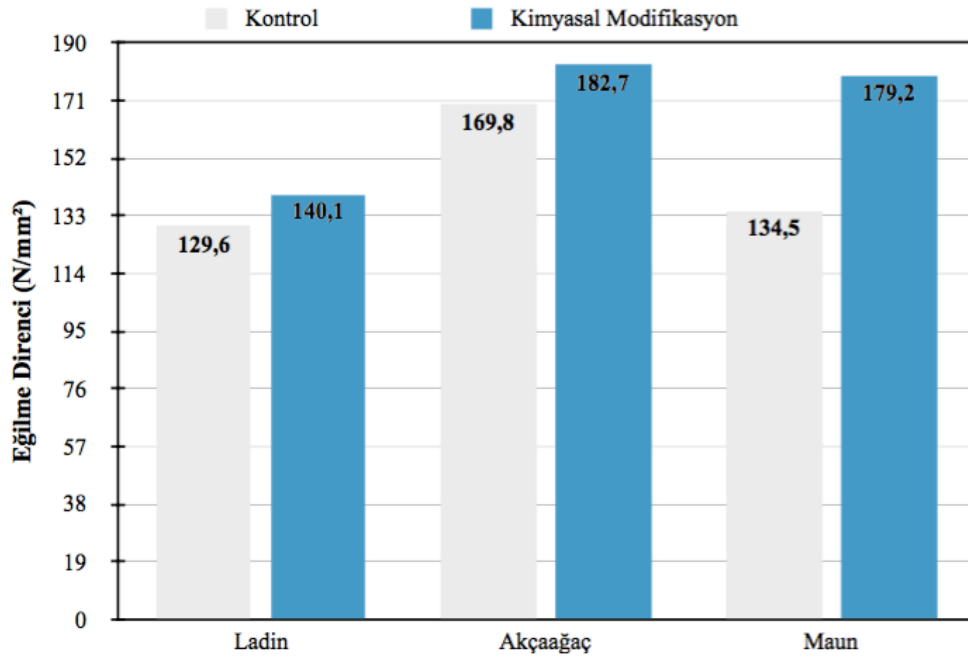
4.7 Mekanik Testlere Ait Bulgular

Bu çalışma kapsamında propiyonik anhidrit ile kimyasal modifikasyon işlemi gerçekleştirilen ladin, akçaağaç ve maun odunu örnekleri ile kontrol grubu örneklerin eğilme direnci ve statik eğilmede elastikiyet modülü değerleri TS 2474 ve TS 2478 standartlarına göre tespit edilerek aşağıdaki Tablo 4.4'te ve Şekil 4.13'te gösterilmiştir.

Tablo 4.4 : Kontrol örnekleri ve kimyasal modifikasyon işlemi gerçekleştirilen örneklerin eğilme direnci ve elastikiyet modülü değerleri

	Ladin	Ladin-Kimyasal	Akçaağaç	Akçaağaç-Kimyasal	Maun	Maun-Kimyasal
Eğilme Direnci (N/mm ²)	129,6 (13,8)	140,1 (15,1)	169,8 (19,4)	182,7 (18,2)	134,5 (26,8)	179,2 (47,2)
Elastikiyet Modülü (N/mm ²)	8767,8 (1758,6)	8401,6 (1337,1)	11817,4 (2116,9)	12255,3 (2029,5)	9120,8 (1955,2)	11559,3 (3658,2)

Elde edilen sonuçlara göre kimyasal modifikasyon işlemi sonrası ladin odunlarında %8,5 ve akçaağaç için %7,6 iken maun odunlarıyla gerçekleştirilen modifikasyon işlemi sonrası eğilme direnci değerlerinde %30'a yakın bir artışın olduğu tespit edilmiştir. Bu artışların istatistiksel olarak anlamlı olup olmadığı SPSS programı üzerinde bağımsız T testi yapılarak %95 güven düzeyinde araştırılmış ve sonuçlar Tablo 4.5'te gösterilmiştir. Bu sonuçlara göre her 3 odun türü içinde modifikasyon sonrası eğilme direnci değerindeki artışın bir anlam ifade ettiği ($p < 0,05$) tespit edilmiştir. Benzer sonuçların her ne kadar farklı odun türleri veya farklı zincir uzunluklarındaki anhidritler kullanılarak kimyasal modifikasyon işlemi gerçekleştirilmiş olsa da Larsson ve Simonson., 1994'te Bongers ve Beckers., 2003'te ve Youngquist ve diğ., 1986'da yapmış oldukları çalışmalarındaki değerler ile örtüşmektedir [6], [9], [57]. Odunun direnç özellikleri rutubet artışına bağlı olarak azalma eğilimindedir. Bu bağlamda kimyasal modifikasyon sonrası odun örneklerinin denge rutubeti azaldığı için mekanik özellikler olumlu yönde etkilenmesi ön görülmektedir [63].

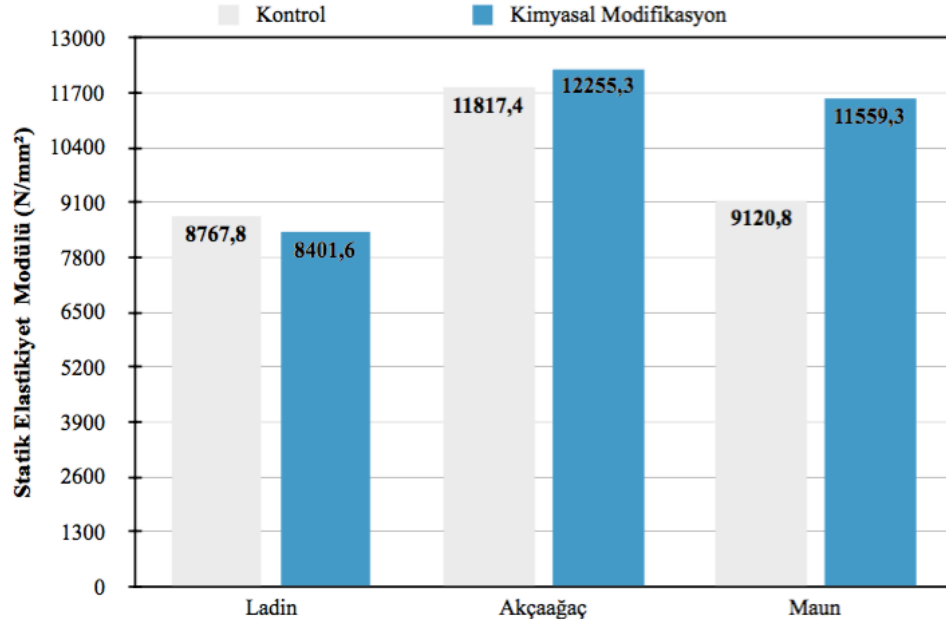


Şekil 4.13: Modifikasyon sonrası eğilme direnci değerlerinde meydana gelen değişim

Tablo 4.5 : Eğilme direnci değerleri için bağımsız T testine ait rapor değerler

Eğilme Direnci için T testi sonuçları	F	Sig.	t	df	Sig.(2 tailed)
Ladin	,725	,401	-,2,164	27,5	,039*
Akçaağaç	,041	,842	-2,032	30	,044*
Maun	14,261	,001	-3,470	33	,001*

Statik elastikiyet modülü değerinde ise akçaağaç odunlarında %3,7, maun odunlarında % 26,7 civarında bir artış ile sonuçlanırken ladin odununda %4,1'lik bir azalma meydana geldiği gözlemlenmiştir. Bu değerler Tablo 4.6'da gösterilmektedir. 3 odun türü içinde statik elastikiyet modülü değerleri için yapılan bağımsız T testi analizleri Tablo 4.6'da gösterilmiştir. Yapılan istatistik analizleri sonucunda ladin ve akçaağaç odunları için meydana gelen bu artış bir anlam ifade etmez ($p>0,05$) iken maun odunu örneklerinde kimyasal modifikasyon işlemi sonrası meydana gelen artış istatistiksel olarak bir anlam ifade ($p<0,05$) etmektedir. Literatürde de benzer bir şekilde Yang ve ark.,2015'te, Norimoto., 1993'te, Akitsu ve diğ., 1993'te yaptıkları çalışmalarda ladin odunları için asetilasyon sonrası statik elastikiyet modülünde azalma olduğunu tespit etmiştir [78], [66], [19].



Şekil 4.14 : Kimyasal modifikasyon sonrası statik elastikiyet modülü değerleri ait değişimler

Tablo 4.6 : Statik elastikiyet modülü değerleri için Bağımsız T testine ait rapor değerler

Statik Elastikiyet Modülü için T testi sonuçları		F	Sig.	t	df	Sig.(2 tailed)
	Ladin	1,135	,295	,678	30,78	,503
	Akçaağaç	,229	,635	-,626	28,5	,536
	Maun	11,885	,002	-2,584	33	,014*

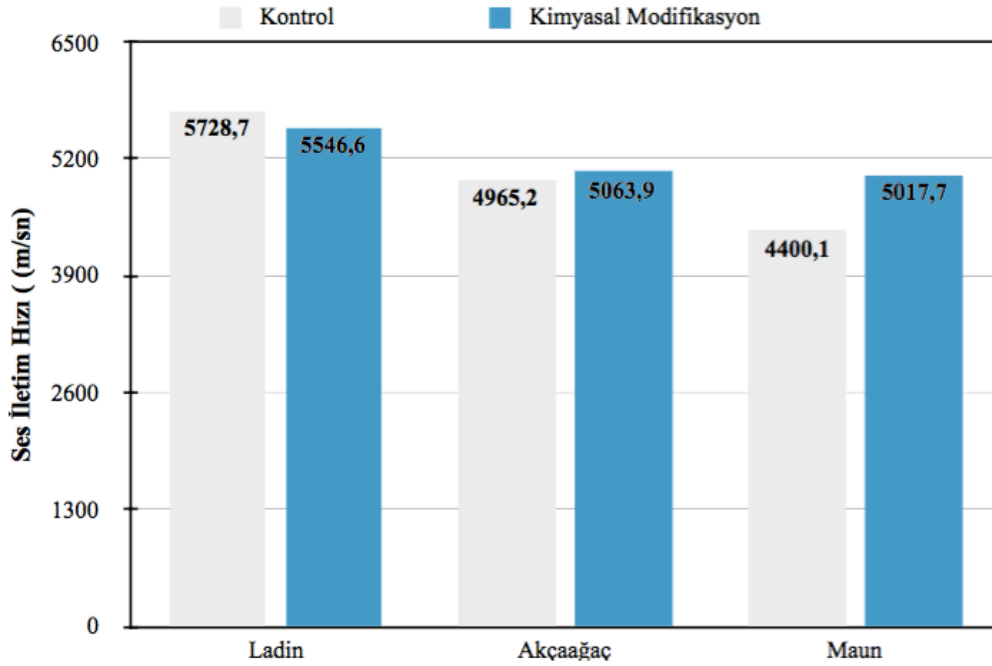
4.8 Akustik Özelliklere Ait Bulgular

Propiyonik anhidrit ile gerçekleştirilen kimyasal modifikasyon işlemi sonrası odun örneklerinin bazı akustik özellikleri Tablo 4.7’de gösterilmektedir.

Tablo 4.7 : Deney örneklerine ait bazı akustik özellikler

	Dinamik Elastikiyet Modülü (N/mm ²)	Ses iletim Hızı (m/s)	E'/ γ (MPa m ³ kg ⁻¹)	ADK (m ⁴ /kg s)	Akustik Empedans (m ⁴ /kg s)	Akustik radyasyon (m ⁴ /kg s)	Ses radyasyonu (m ⁴ /kg s)
Ladin	14314,7 (1755,8)	5728,7 (179,6)	32,84 (2,04)	36,60 (1,74)	2,49 (0,23)	13,22 (0,63)	418,1 (19,67)
Ladin-Kimyasal	13085,5 (883,5)	5546,6 (196,5)	31,05 (1,92)	32,57 (1,37)	2,34 (0,09)	13,23 (0,55)	420,4 (17,64)
Akçaağaç	15089,1 (2321,4)	4965,2 (384,6)	24,79 (3,87)	19,72 (1,61)	3,02 (0,23)	8,15 (0,67)	258,1 (21,05)
Akçaağaç-Kimyasal	16692,1 (1532,6)	5063,9 (218,9)	25,68 (2,21)	16,72 (0,95)	3,29 (1,19)	7,80 (0,45)	246,73 (14,09)
Maun	12598,3 (3572,1)	4400,1 (538,1)	19,85 (5,43)	13,84 (1,50)	2,81 (0,41)	6,88 (0,75)	217,53 (23,9)
Maun-Kimyasal	17017,2 (5618,6)	5017,7 (729,4)	25,66 (7,26)	16,60 (1,20)	3,30 (0,64)	7,63 (0,77)	241,43 (24,35)

Odun örneklerinin ses iletim hızları Şekil 4.15’te grafik şeklinde gösterilmektedir. Elde edilen en yüksek ses iletim hızları kontrol grubu ladin odunları tespit edilmiştir. Kimyasal modifikasyon işlemi sonrası maun ve akçaağaç odunu örneklerinde ses iletim hızlarında sırasıyla %1,97 ve %14 oranında artış gösterirken ladin odunu örneklerinde bu değer %3,1 azalmıştır.



Şekil 4.15: Kimyasal modifikasyon sonrası örneklerin ses iletim hızında meydana gelen değişimler

Ses iletim hızı verilerine ilişkin istatistik analiz sonuçları Tablo 4.8’de gösterilmektedir. Bağımsız T testi sonrası elde edilen sonuçlara göre modifikasyon işlemi sonrası ladin odunundaki ses iletim hızında meydana gelen azalma istatistiksel olarak ($p < 0,05$) anlamlı bulunmuştur. Benzer şekilde modifikasyon sonrası maun odununda meydana gelen ses iletim hızındaki artış da istatistiksel olarak ($p < 0,05$) anlamlı çıkmıştır. Buna rağmen akçaağaç odunu için modifikasyon sonrası ses iletim hızında meydana gelen değişim bir anlam ($p > 0,05$) ifade etmemektedir. Diğer bir ifade ile aralarında istatistiksel olarak bir fark bulunmamaktadır. İstatistik sonuçları Tablo 4.8’de gösterilmiştir.

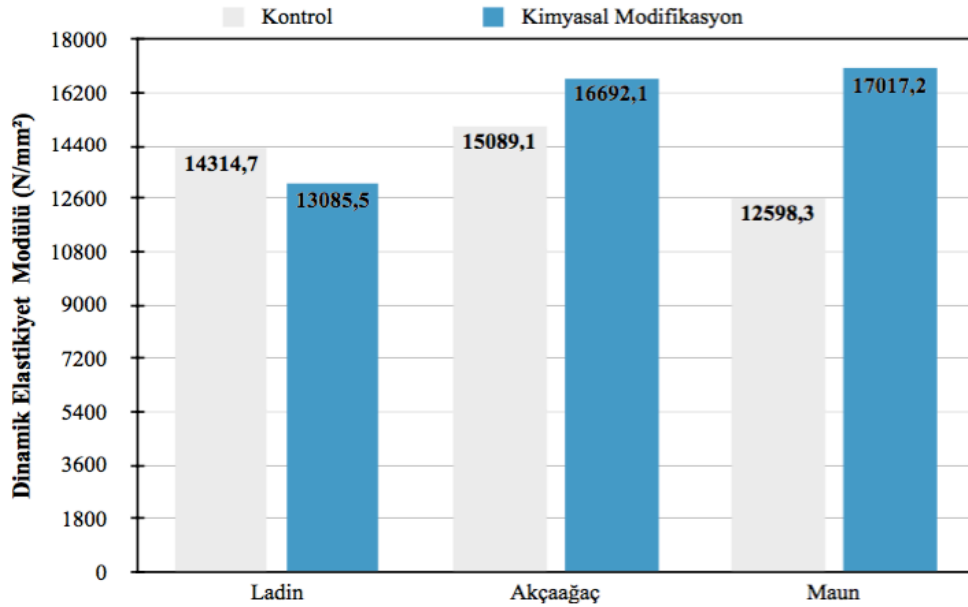
Bilindiği üzere enstrüman yapımında ses iletim hızı oldukça önem arz etmektedir. Ses iletim hızında meydana gelecek olan artış akustik özellikleri dolaylı olarak olumlu etkilemektedir. Ses iletim hızlarında meydana gelen bu artışın kimyasal modifikasyon sonrası odunun rutubet içeriğindeki azalmaya ve özgül ağırlıktaki artışa bağlı olabileceği literatürde Calegari ve ark., 2011’de , Sakai ve ark., 1999’da ve Oliveria ve Sales., 2006’da yaptıkları çalışmalarındaki sonuçlar ile örtüşmektedir [73,84,91]. Bunun tam tersi olarak ise Ahmed ve Adampolus., 2018’deki çalışmalarında asetillendirilmiş bazı odun türleri için ses iletim hızlarında azalma olduğunu ifade etmiştir [18].

Tablo 4.8 : Ses iletim hızları için bağımsız T testine ait rapor değerler

Ses İletim Hızı için T testi sonuçları		F	Sig.	t	df	Sig.(2 tailed)
Ladin		0,022	,884	2,756	28,78	,010*
Akçaağaç		7,678	,009	-,875	35	,387
Maun		5,480	,025	-2,815	33	,008*

Diğer bir değer olan Dinamik Elastikiyet Modülü (E') değerleri her 3 odun türü içinde Tablo 4.16'da gösterilmiştir. Elde edilen verilere göre modifikasyon işlemi sonrası en yüksek Dinamik elastikiyet modülü kimyasal modifikasyon işlemi gerçekleştirilen maun odunlarında tespit edilmiştir. Modifikasyon sonrası maun odununda %35'lik, akçaağaç odunlarında ise %10,6'lık bir artış tespit edilmiştir. Buna rağmen ladin odunu örneklerinde kimyasal modifikasyon işlemi sonrası kontrol örneklerine kıyasla %8,5'lik bir azalma gözlemlenmiştir. İstatistiksel olarak bu değerlerin analiz sonuçları ise Tablo 4.9'da gösterilmektedir. Bağımsız T testi sonuçlarına göre modifikasyon işlemi sonrası her 3 odun türü içinde meydana gelen değişimler istatistiksel olarak anlam ($p < 0,05$) ifade etmektedir.

Chang ve diğ., 2000'deki çalışmalarında ladin örneklerinin asetik ve saksinik anhidrit ile kimyasal modifikasyonu işlemi sonrasında benzer şekilde Dinamik Elastikiyet Modülü (E') değerinde azalma meydana geldiğini ifade etmişlerdir [17] .



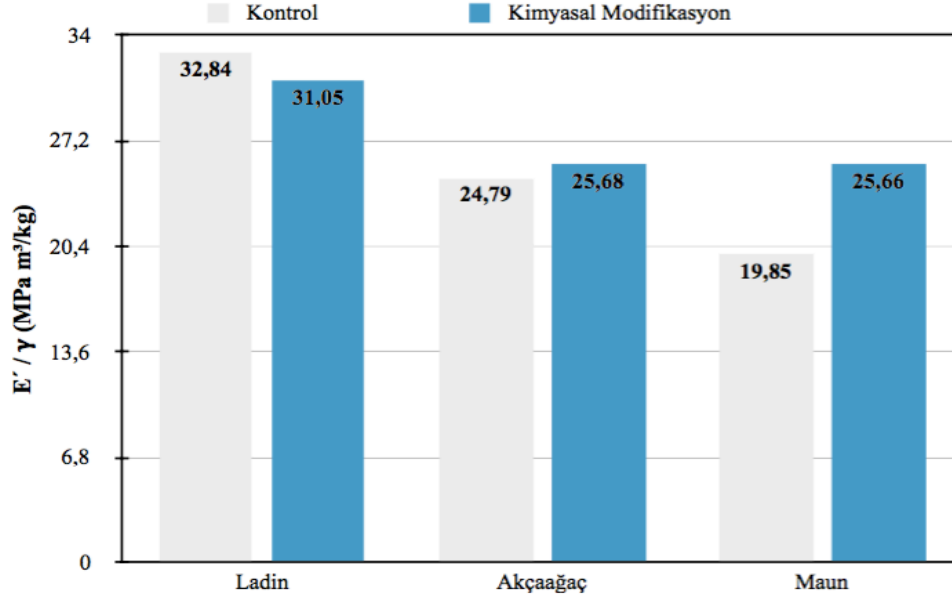
Şekil 4.16: Kimyasal modifikasyon sonrası örneklerin dinamik elastikiyet modülü değerinde meydana gelen değişimler

Tablo 4.9 : Dinamik elastikiyet modülü için bağımsız T testine ait rapor değerler

Dinamik Elastikiyet Modülü için T testi sonuçları		F	Sig.	t	df	Sig.(2 tailed)
	Ladin	9,777	,004	2,460	31	,020*
	Akçaağaç	3,787	,060	-2,528	34,6	,016*
	Maun	10,113	,003	-2,825	33	,008*

Özgül ağırlığa oranla Dinamik Elastikiyet Modülünde meydana gelen artış müzik aletleri için özellikle ses tablası kısmında kullanılan parçalarda aranan özelliklerden biridir. Şekil 4.15’de (E'/γ) değerine ait değerler verilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre akçaağaç ve maun odunu örneklerinde kimyasal modifikasyon sonrası kontrol grubuna kıyasla sırasıyla %3,5 ve %29 oranında bir artış tespit edilmiştir. ladin odununda ise bu değer %5,4 oranında azalmıştır. İstatistiksel olarak ise akçaağaç odunlarında modifikasyon sonrası kontrol örnekleriyle aralarında bir fark olmadığı ($p>0,05$); Ladin ve Maun odunlarında ise kontrol örnekleriyle modifiye edilen örnekler arasında bir fark olduğu ($p<0,05$) belirlenmiştir. Bu değerlere ait istatistik sonuçları ise Tablo 4.10’da gösterilmiştir. Literatürde Bremaud ve diğ., 2012’de farklı iğne yapraklı, geniş yapraklı ve tropik ağaç odunu örnekleri üzerinde yaptığı çalışmalarında (E'/γ) değerlerini bu tez çalışmasındaki gibi benzer şekilde bulmuştur [39].

Başka bir çalışmada ise Yano ve Minato., 1992’de yaptığı çalışmada ise ladin ve akçaağaç için (E'/γ) değerini sırasıyla 27,2 MPa m³/kg ve 16,9 MPa m³/kg olarak tespit edilmiştir [68].



Şekil 4.17: Kimyasal modifikasyon sonrası örneklerin (E' / γ) değerinde meydana gelen değişimler

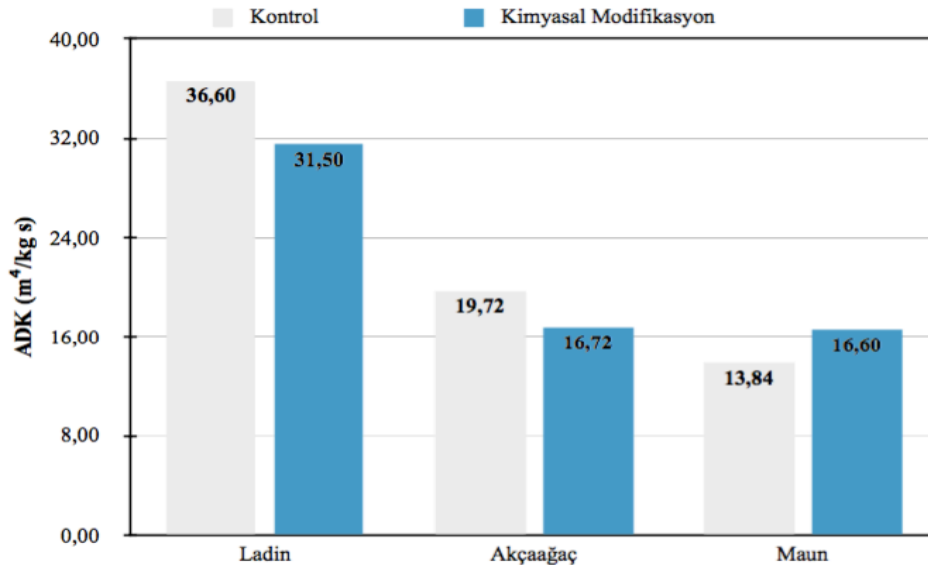
Tablo 4.10 : (E' / γ) değeri için Bağımsız T testine ait rapor değerler

(E' / γ) değeri için T testi sonuçları	F	Sig.	t	df	Sig.(2 tailed)
Ladin	0,620	,437	2,572	30,5	,015*
Akçaağaç	7,396	,010	-,785	35	,438
Maun	7,254	,011	-2,849	33	,007*

Akustik Dönüşüm Katsayısı (ADK) değerine ilişkin veriler Şekil 4.18'de gösterilmiştir. Müzik aleti yapımında tercihen kullanılacak malzemede ADK değerinin yüksek olması arzu edilir. Modifikasyon işlemi sonrası yalnızca maun odunu örneklerinde bu değerde %19 bir artış tespit edilirken ladin ve akçaağaç örneklerinde modifikasyon sonrasında ADK değeri sırasıyla %13,9 ve %15,2 oranında azalma eğilimi göstermiştir. Tespit edilen bu değişimler her 3 odun türü içinde istatistiksel olarak anlamlı ($p < 0,05$) bulunarak modifikasyon sonrası kontrol örnekleriyle aralarında bir fark olduğu belirlenmiştir. İstatistik sonuçlarıyla ilgili değerler Tablo 4.11'de gösterilmiştir.

Ahmed ve Adamopolus., 2018'de yaptıkları çalışmanın sonuçlarına göre asetilasyon sonrası akçaağaç odunu için ADK değerinde benzer bir azalmanın meydana geldiği ifade edilmiştir. [18]. Benzer bir şekilde Obataya., 1999'da Japonya'da yetişen balsa, pawlonya, sedir, meşe ve huş ağaçlarında asetilasyon sonrası ADK değeri için artış belirlenirken ladin ve kiraz odunlarında azalma olduğu tespit edilmiştir [15].

Yano ve Minato., 1992’de yaptığı çalışmalarında ise ladin ve akçaağaç için ADK değerini sırasıyla 27,1 ve 13,6 m⁴/kg s olarak tespit etmiştir [68].

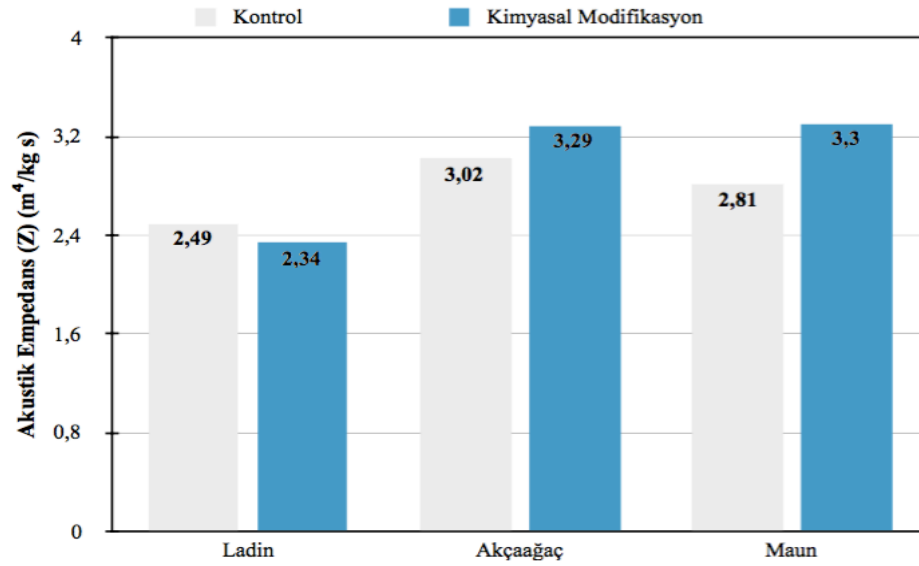


Şekil 4.18: Kimyasal modifikasyon sonrası örneklerin akustik dönüşüm katsayısı (ADK) değerinde meydana gelen değişimler

Tablo 4.11 : (ADK) değeri için bağımsız T testine ait rapor değerler

Akustik Dönüşüm Katsayısı (ADK) için T testi sonuçları		F	Sig.	t	df	Sig.(2 tailed)
	Ladin	,277	,602	7,449	30,9	,000*
Akçaağaç	6,582	,015	6,185	35	,000*	
Maun	,733	,398	-5,774	24,3	,000*	

Bir malzemenin enstrüman yapımında kullanılması planlanıyor ise düşük akustik empedans değerine sahip olması tercih edilmektedir. Şayet izolasyon malzemesi olarak kullanılması planlanıyor ise bu değer yüksek olması istenmektedir. Şekil 4.19’da örneklere ait akustik empedans (Z) değeri gösterilmiştir. Kimyasal modifikasyon işlemi sonrası en düşük akustik empedans değeri ladin örneklerinde tespit edilmiştir. Modifikasyon işlemi ladin odunlarında %6’lık bir azalmaya neden olurken akçaağaç ve maun odunlarında sırasıyla %8,9 ve %17,4 oranında bir artış ile sonuçlanmıştır. Yapılan T testi analizi sonrasında ise her 3 odun türü içinde modifikasyon işlemleri ile kontrol grupları arasında istatistiksel olarak (p<0,05) bir fark bulunduğu tespit edilmiştir. Bu değerlere ilişkin T testi raporları ise Tablo 4.12’de gösterilmiştir. Kontrol örneklerinin mevcut akustik empedans değerleri literatür incelendiğinde Wegst., 2008’de yaptığı çalışmasındaki değerlerle benzerlik göstermektedir [37].

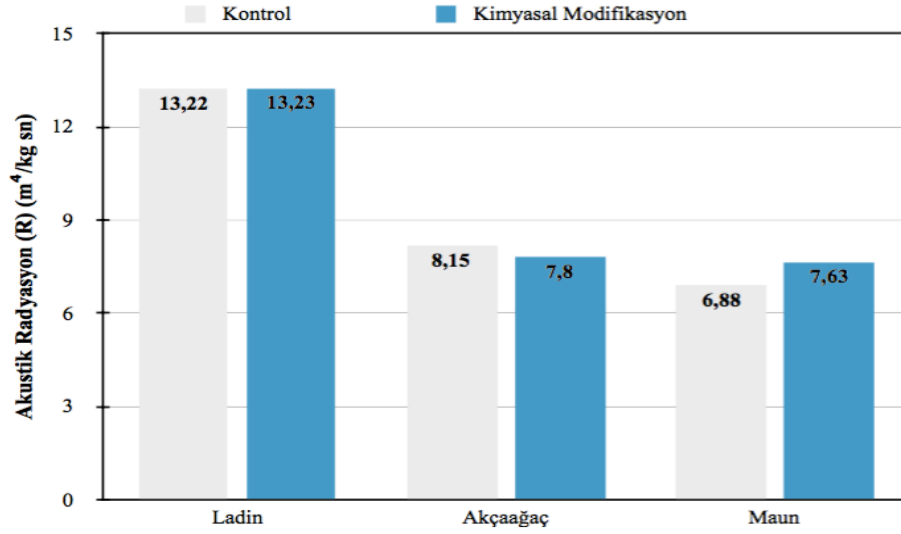


Şekil 4.19: Kimyasal modifikasyon sonrası örneklerin akustik empedans değerinde meydana gelen değişimler

Tablo 4.12 : Akustik empedans için bağımsız T testine ait rapor değerler

Akustik Empedans (Z) için T testi sonuçları		F	Sig.	t	df	Sig.(2 tailed)
	Ladin	9,423	,004	2,288	31	,029*
Akçaağaç	1,560	,220	-3,941	32,6	,000*	
Maun	9,847	,004	-2,714	33	,010*	

Boyuna yöndeki ses iletim hızının özgül ağırlığa oranı olan akustik radyasyon (R) değerine ait veriler Şekil 4.20’de gösterilmiştir. Bu verilere göre kimyasal modifikasyon işlemi sonrasında akçaağaç odunu örneklerinde %4,2 oranında azalma belirlenirken ladin ve maun odunu örnekleri için bu değerde bir miktar (sırasıyla %0,07 ve %10,2 oranında) artış tespit edilmiştir. Bu artış özellikle müzik aleti yapımı için kullanılacak malzemelerde arzu edilen bir niteliktir.



Şekil 4.20 : Kimyasal modifikasyon sonrası örneklerin akustik radyasyon değerinde meydana gelen değişimler

Kimyasal Modifikasyon sonrası akustik radyasyon (R) değerinde meydana gelen bu değişimlerin istatistiksel olarak T testi sonrası raporları ise Tablo 4.13'te verilmiştir. Meydana gelen bu değişimler yalnızca maun odunu için bir farklılık ($p < 0,05$) ifade ederken ladin ve akçaağaç örnekleri için Modifikasyon sonrası meydana gelen değişimler istatistiksel olarak anlamlı bulunmamıştır ($p > 0,05$).

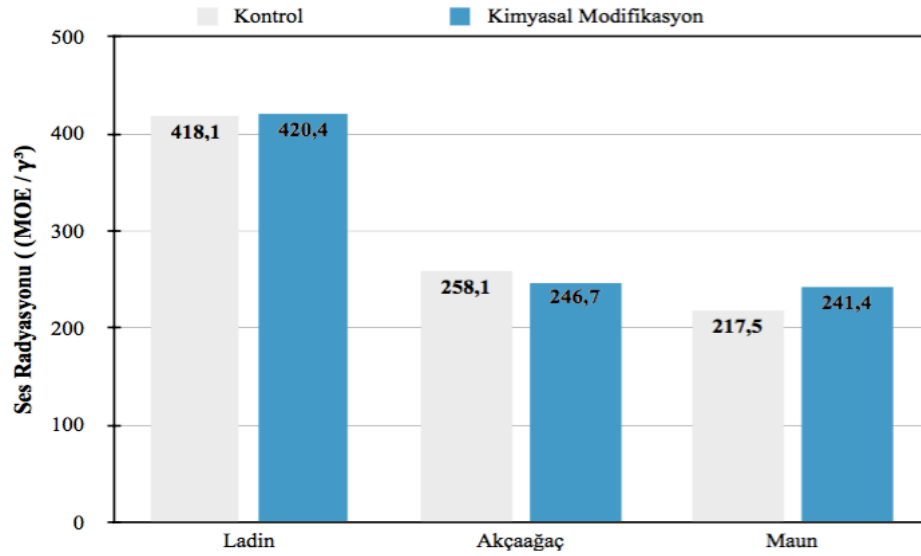
R değeri 8'den büyük malzemelerin müzik aleti yapımında ses tablası olarak kullanılmaya uygun olduğunu ifade etmişlerdir. R değeri 4 ile 8 arasında olan malzemelerin ise keman yayı veya ksilafon yapımında kullanılmasının uygun olabileceği ifade edilmiştir [34], [92], [37].

Tablo 4.13 : Akustik radyasyon için bağımsız T testine ait rapor değerler

Akustik Radyasyon (R) için T testi sonuçları		F	Sig.	t	df	Sig.(2 tailed)
	Ladin	0,001	,971	-,041	31	,967
	Akçaağaç	4,586	,039	1,748	35	,062
	Maun	,209	,650	-2,684	33	,015*

Ses radyasyonu değeriyle ilgi olan veriler Şekil 4.21'de gösterilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre en yüksek ses radyasyonu değeri ladin odunlarında tespit edilmiştir. Kimyasal modifikasyon işlemi sonrası akçaağaç odununda %4,4 oranında bir azalma tespit edilirken maun odununda %10,9 oranında ladin odununda ise %0,4 oranında bir artış belirlenmiştir. Kimyasal modifikasyon sonrası meydana bu değişimler yalnızca maun odunu için istatistiksel olarak bir anlam ifade ederken ladin ve

akçaağaç odunları için istatistiksel olarak bir farklılık belirlenmemiştir. Tablo 4.14’te ise bağımsız T testi sonrası elde edilen sonuçlar verilmiştir.



Şekil 4.21: Kimyasal modifikasyon sonrası örneklerin ses radyasyonunda meydana gelen değişimler.

Tablo 4.14 : Ses radyasyonu için bağımsız T testine ait rapor değerler

Ses Radyasyonu için T testi sonuçları		F	Sig.	t	df	Sig.(2 tailed)
	Ladin	0,01	,971	-,041	31	,967
Akçaağaç	4,586	,039	1,748	35	,062	
Maun	0,209	,650	-2,684	33	,015*	

4.4.2 Mesafeye Bağlı Sönümlenme Değerlerine Ait Bulgular

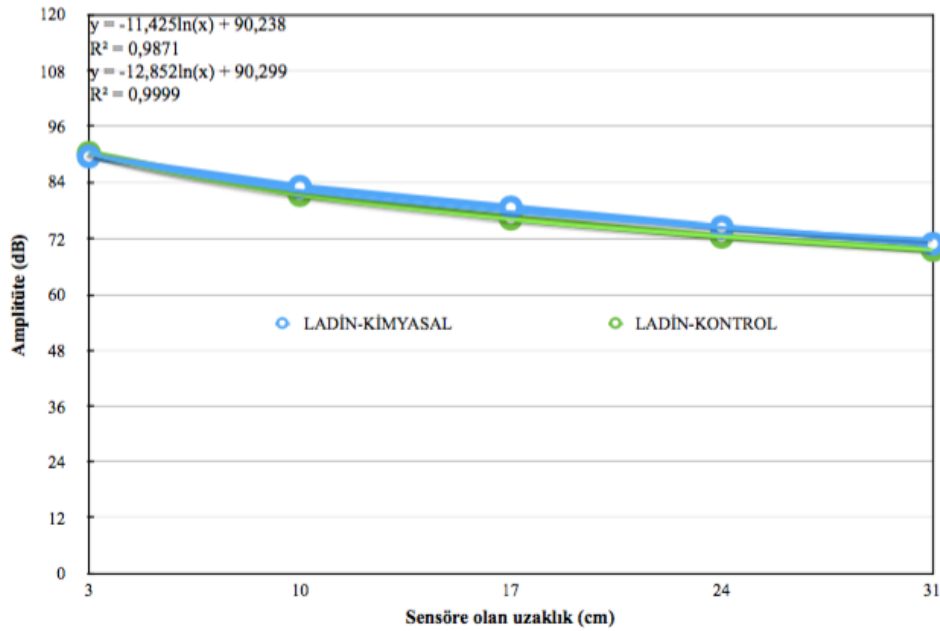
Mesafeye bağlı olarak meydana gelen sönümlenme değerlerine göre en yüksek sönümlenme (Amplitude değerlerindeki azalma) Tablo 4.15’te gösterilmiştir. En yüksek azalma kimyasal modifikasyon işlemi gerçekleştirilmiş maun odunlarında tespit edilmiştir. Kimyasal modifikasyon işlemi sonrasında ladin ve maun odun türünde sönümlenme miktarında azalma meydana gelmiştir. Ancak akçaağaç odunların sönümlenme değerinde artış belirlenmiştir. Şekil 4.22’de Ladin odunu için, Şekil 4.23’te akçaağaç odunu için Şekil 4.24’te ise laun odunu için sönümlenme eğilim grafiği gösterilmiştir.

Tablo 4.15 : Modifikasyon işlemi sonrası odun örneklerinin mesafeye bağlı sönümlenme değerleri

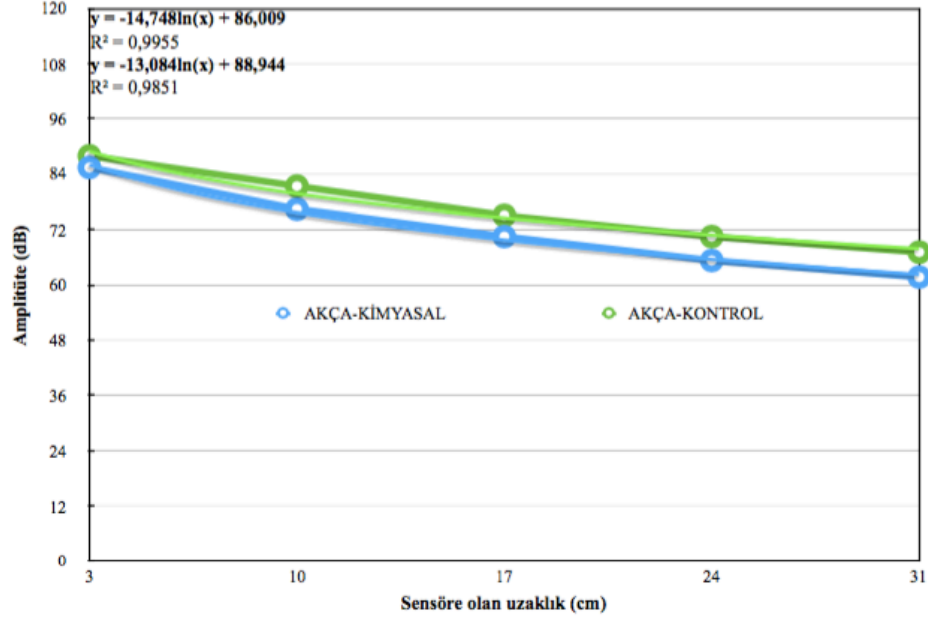
	Sensöre olan uzaklık				
	3 cm	10 cm	17 cm	24 cm	31 cm
Ladin	90,31 dB	81,30 dB	76,33 dB	72,44 dB	69,59 dB
Ladin-Kimyasal	89,54 dB	83,02 dB	78,62 dB	74,41 dB	70,90 dB
Akçaağaç	87,96 dB	81,40 dB	75,06 dB	70,52 dB	67,14 dB
Akçaağaç-Kimyasal	85,45 dB	76,43 dB	70,52 dB	65,32 dB	61,72 dB
Maun	89,83 dB	81,89 dB	74,02 dB	69,42 dB	64,48 dB
Maun-Kimyasal	85,39 dB	76,43 dB	70,20 dB	65,71 dB	60,94 dB

Ahmed, adamopolus., 2018’de yaptıkları çalışmanın sonuçlarına göre asetilasyon sonrası akçaağaç odunu için sönümlenme değerinde benzer bir artış meydana geldiği ifade etmişlerdir [18].

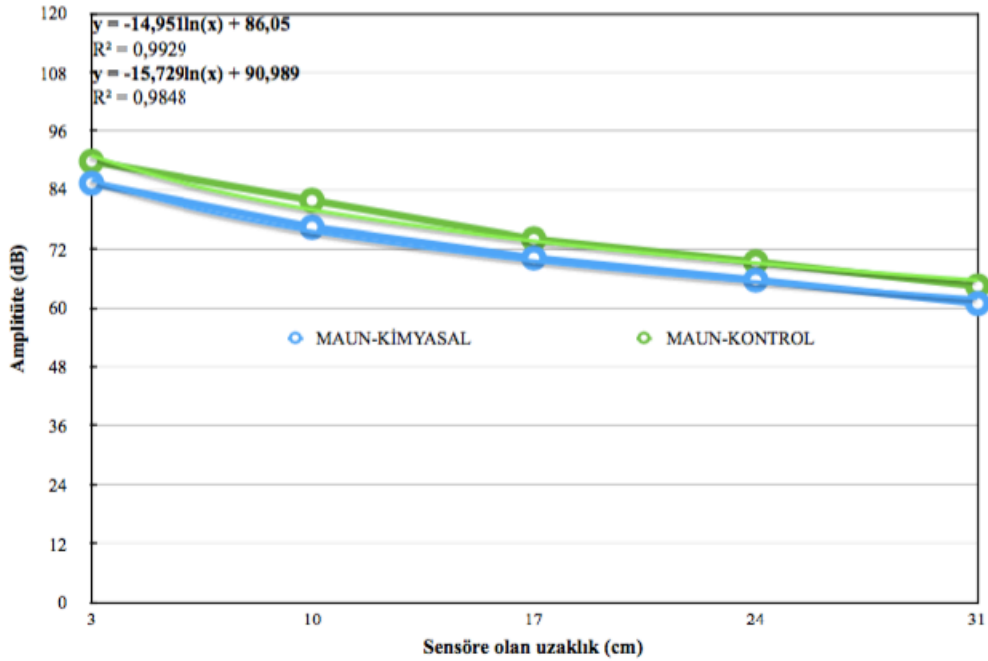
Obataya., 1999’da yaptığı çalışmasında asetik anhidrit ile 120°C sıcaklıkta 8 saat boyunca kimyasal modifikasyon işlemine tabi tutulan örneklerin modifikasyon sonrası sönümlenme katsayıları değerleri için ladin, pavlonya, balsa, kavak, meşe ve huş odunlarında azalma olduğunu tespit ederken kiraz odunu örneklerinde sönümlenme katsayısında artış olduğunu ifade etmiştir [15].



Şekil 4.22: Ladin odununa ait modifiye edilen ve modifiye edilmeyen (kontrol) örnekleri için mesafeye bağlı sönümlenme eğrisi



Şekil 4.23: Akçağaç odununa ait modifiye edilen ve modifiye edilmeyen (kontrol) örnekleri için mesafeye bağlı sönümlenme eğrisi



Şekil 4.24: Maun odununa ait modifiye edilen ve modifiye edilmeyen (kontrol) örnekleri için mesafeye bağlı sönümlenme eğrisi.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu tez çalışması kapsamında üç farklı odun türü ladin (*Picea orientalis*), akçaağaç (*Acer pseudoplatanus*) ve maun (*Khaya ivorensis*) odunlarından hazırlanan küçük blok örnekler 110°C sıcaklıkta propiyonik anhidrit ile DMF ve K₂CO₃ katalizörlüğünde beş farklı reaksiyon süresi (0,5, 1, 3, 6 ve 9 saat) baz alınarak kimyasal modifikasyon işlemine tabi tutulmuştur. Modifikasyon sonrasında reaksiyon süresinin artışı her üç örnek içinde ağırlık kazancı (WPG%) değerinde artışa sebep olmuştur. En yüksek WPG değerleri %29,39 ile 9 saatlik reaksiyon sonrası ladin odunları elde edilmiştir. Akçaağaç odunları için WPG değeri en yüksek %21,89 olarak tespit edilirken maun odunları için bu değer %20,59 olarak bulunmuştur.

Gerçekleştirilen bu modifikasyon işlemi sonucunda her üç odun türünde de meydana gelen ester bağı FTIR analizi yapılarak 1750-1730 cm⁻¹ arasında oluşan yeni pik ile ispat edilmiştir.

Propiyonik anhidrit ile kimyasal modifikasyon işlemi gerçekleştirilen örnekler ile kontrol grubu örneklerine boyutsal stabilite testi uygulanmıştır. Boyutsal stabilite testi sonucunda ağırlık kazancı (WPG%) değerinin artışına bağlı olarak şişme katsayısı (S(%)) azalırken, şişmeye karşı etkinlik değeri (ASE%) artış göstermiştir. Ladin odunları için en yüksek ASE değeri %82 olarak %29,39 WPG değeri elde edilen örneklerde tespit edilmiştir. Akçaağaç odunları için en yüksek ASE değeri %81,25 olarak %21,89 WPG değeri elde edilen örneklerde tespit edilmiştir. Maun odunları için ise en yüksek ASE değeri %49,30 olarak %20,59 WPG değerine sahip olan örneklerde tespit edilmiştir.

Büyük boyutlu örneklerde, 110°C sıcaklıkta 6 saat süresince gerçekleştirilen kimyasal modifikasyon reaksiyonu sonrası ladin örneklerinde %11,26 WPG, akçaağaç örneklerinde %11,9 WPG ve maun örneklerinde %6,7 WPG değeri tespit edilmiştir.

Büyük boyutlu örneklerde TS 2474 ve TS2478 standartlarına göre gerçekleştirilen mekanik testler sonrasında kimyasal modifikasyon sonrasında eğilme direnci değerleri için her üç odun türünde artış meydana gelmiştir. Kimyasal modifikasyon sonrası eğilme direnci değerlerinde meydana gelen en yüksek artış %30 ile maun odunlarında gerçekleşmiştir. Modifikasyon sonrası ladin odunlarında meydana artış

%8,5, akçaağaç odunları için ise eğilme direnci değerlerinde meydana gelen artış %7,6 olarak tespit edilmiştir. Statik elastikiyet modülü değerleri incelendiğinde ise modifikasyon sonrası akçaağaç ve maun odunları için sırasıyla %3,7 ve %26,7 oranında bir artış tespit edilirken ladin odunlarında modifikasyon sonrası statik elastikiyet modülünde kontrol örneklerine kıyasla %4,1 oranında bir azalma meydana gelmiştir.

Tez kapsamında modifikasyon işlemi gerçekleştirilen örneklerin dinamik elastikiyet modülü (E'), ses iletim hızları, özgül ağırlığa oranla elastikiyet modülü değeri (E'/γ), akustik dönüşüm katsayısı (ADK), akustik empedans (Z), akustik radyasyon ve ses radyasyonu gibi bazı akustik özellikleri incelenerek tespit edilmiştir.

Elde edilen sonuçlara göre modifikasyon işlemi sonrasında akçaağaç ve maun odunlarında ses iletim hızları kontrol örneklerine kıyasla sırasıyla %1,97 ve %14 oranında artış göstermiştir. Ladin odunlarında ise modifikasyon sonrası ses iletim hızı %3,1 oranında azalmıştır.

Dinamik elastikiyet modülü değerleri (E') incelendiğinde kimyasal modifikasyon işlemi sonrası akçaağaç ve maun odunlarında sırasıyla %10,6 ve %35,1 oranında bir artış meydana gelmiştir. Buna karşın ladin odunlarında modifikasyon işlemi sonrasında (E') değeri %8,5 oranında azalmıştır.

Özgül ağırlığa oranla dinamik elastikiyet modülü (E'/γ) değeri kimyasal modifikasyon işlemi gerçekleştirilen akçaağaç ve maun odunlarında artış göstermiştir. Sırasıyla bu artış %3,5 ve %29 olarak tespit edilmiştir. Buna karşın ladin odunlarında (E'/γ) değeri %5,4 oranında azalmıştır.

Akustik dönüşüm katsayısı (ADK), müzik aleti yapımında kullanılacak malzemelerin kıyaslanmasında kullanılan bir değerdir. Bu değer ne kadar yüksek ise müzik aleti yapımında ses tablası yapımında kullanılabilme ihtimali o kadar artar [37].

Kimyasal modifikasyon sonrasında akustik dönüşüm katsayısı (ADK) değeri incelendiğinde maun odununda kontrol örneklerine kıyasla %19 oranında bir artış göstermiştir. Ancak ladin ve akçaağaç odunlarında ADK değeri modifikasyon sonrasında %13,9 ve 15,2 oranında azalmıştır.

Akustik özellikler hakkında fikir verecek olan bir diğer değişken ise akustik empedans (Z) değeridir. Akustik empedans değerinin müzik aleti yapımında kullanılacak olan malzemeler için düşük olması arzu edilirken izolasyon malzemeleri için bu değer yüksek olması beklenmektedir. Yapılan kimyasal modifikasyon işlemi sonrasında akçaağaç ve maun odunlarında akustik empedans (Z) değeri sırasıyla %8,9 ve %17,4 oranında artış göstermiştir. ladin odunu için ise kimyasal modifikasyon sonrasında bu değer %6 oranında azalmıştır.

Diğer bir değişken olan akustik radyasyon (R) değeri 8'den büyük olan malzemelerin müzik aleti yapımında ses tablası olarak kullanılmaya uygun olduğunu; R değeri 4 ile 8 arasında olan malzemelerin ise keman yayı veya ksilafon yapımında kullanılmasının uygun olacağını ifade etmiştir [34],[92],[37]. Bu tez kapsamında gerçekleştirilen propiyonik anhidrit ile kimyasal modifikasyon işlemi sonrasında akustik radyasyon (R) değeri ladin ve maun odunları için sırasıyla %0,07 ve %10,2 oranında artış göstermiştir. akçaağaç odunlarında ise modifikasyon sonrası bu değer %4,2 oranında azalmıştır.

Kimyasal modifikasyon işlemi sonrasında ses radyasyonu değerinde ladin ve maun odunlarında sırasıyla %0,4 ve %10,9 oranında bir artış meydana gelirken, akçaağaç odunlarında bu değer %4,4 oranında azalmıştır.

Önceden de ifade edildiği üzere müzik aletleri yapımında kullanılan ağaç malzemeler rutubet içeriğinin artışına bağlı olarak boyutsal değişiklikler göstermektedir. Bu boyutsal kararsızlık müzik aletinde sap ve entonasyon ayarlarının bozulmasına sebep olmaktadır. Yukarıdaki sonuçlar göz önüne alındığı zaman; propiyonik anhidrit ile kimyasal modifikasyon işlemi sonrasında odun örneklerine yüksek boyutsal stabilite kazandırılması mümkün olmaktadır. Boyutsal sabitliğin artışına bağlı olarak sap ve entonasyon ayarlarının bozulmasının önüne geçmesi öngörülmektedir. Kimyasal modifikasyon işlemi uygulanmış parçalar müzik aletlerinde kullanımıyla, yurdumuzun farklı bölgelerine turne düzenleyen müzisyenlerin enstürümanlarının rutubet değişimine bağlı olarak akort kaçırma probleminin büyük ölçüde önüne geçilmiş olacaktır. Ayrıca boyutsal stabilitesi düşük olması sebebiyle müzik aleti yapımında kullanılmayan türler için bu alanda değerlendirilmesi için imkan sağlanacaktır.

Ayrıca literatürde çeşitli araştırmacıların yapmış oldukları çalışmalar doğrultusunda rutubet artışına bağlı olarak akustik özelliklerin azaldığı tespit edilmiştir [31,76,77,85,93]. Bu doğrultuda propiyonik anhidritle kimyasal modifikasyon sonrası odundaki rutubet alışverişi azalacağı için akustik özelliklerde kararlılık sağlayacaktır.

KAYNAKLAR

- [1] Tarkow, H., Stamm, A. J., & Erickson, E. C. (1953). *Acetylated wood*
- [2] Rowell, R. M., & Banks, W. B., (1987). Tensile Strength and Toughness of Acetylated Pine and Lime Flakes *Br. Polym. J.* 19 3–6
- [3] Hill C. A. S., Cetin, N. S., & Ozmen, N. (2000). Potential catalysts for the acetylation of wood *Holzforschung* 54 269–72
- [4] Cetin, N. S., & Ozmen, N. (2001). Dimensional changes in Corsican and Scots pine sapwood due to reaction with crotonic anhydride *Wood Sci. Technol.* 35 257–67
- [5] Rowel, R. M., Lichtenberg, R. S., & Larsson P. (1993). Stability of acetylated wood to environmental changes *Wood Fiber Sci.*
- [6] Larsson, P., & Simonson, R., (1994) A study of strength , hardness and deformation of acetylated Scandinavian softwoods *Holz als Roh- und Werkst.* 83–6
- [7] Rowell, R. (2005). *Handbook of Wood Chemistry and Wood Composites*
- [8] Birkinshaw, C., & Hale, M. D., 2002 Mechanical properties , physical properties and fungal resistance of acetylated fast grown softwoods I Small specimens *Irish For.* 49–58
- [9] Bongers, H. P., & Beckers, E. (2003). Mechanical properties of acetylated solid wood treated on pilot plant scale *European Conference on Wood Modification*
- [10] Jorissen, A., Bongers, F., Kattenbroek, B., & Homan, W. (2005). The influence of acetylation of Radiata pine in structural sizes on its strength properties 108–16
- [11] Çetin N. S., Gültekin, G., Özmen, N., & Birinci, E. (2009). Propionik Anhidrit Modifikasyonu ile Eucalyptus grandis Diri Odununa Boyutsal Sabitlik Kazandırılması *Bartın Orman Fakültesi Dergisi* pp 647–55
- [12] Li, J. Z., Furuno, T., & Sadanobu, K. (2000). Chemical modification of wood by anhydrides without solvents or catalysts *J. Wood Sci.* 215–21
- [13] Obataya, E. (2007). Swelling of acetylated wood II : effects of delignifi cation on solvent adsorption of acetylated wood 408–11
- [14] Obataya, E., Furuta, Y., & Gril, J. (2003). Dynamic viscoelastic properties of wood acetylated with acetic anhydride solution of glucose pentaacetate 152–7
- [15] Obataya, E. (1999) Suitability of acetylated woods for clarinet reed *J. Wood Sci.* 45 106–12
- [16] Obataya, E., Minato, K., & Tomita, B. (2001). Influence of moisture content on the vibrational properties of hematoxylin-impregnated wood *J. Wood Sci.* 47 317–21
- [17] Chang, S. T., Chang, H. T., Huang, Y. S., & Hsu, F. L. (2000). Effects of Chemical Modification Reagents on Acoustic Properties of Wood *Holzforschung* 54 669–75

- [18] Ahmed, S. A & Adamopoulos, S. (2018). Acoustic properties of modified wood under different humid conditions and their relevance for musical instruments *Appl. Acoust.* 140 92–9
- [19] Akitsu, H., Norimoto, M., Morooka, T., & Rowell, R. (1993). Effect of humidity on vibrational properties of chemically modified wood *Wood Sci. Technol.* 25 250–60
- [20] Yano, H., & Minato, K. (1993). Controlling the timbre of wooden musical instruments by chemical modification *Wood Sci. Technol.* 27 287–93
- [21] Seborg, M., Tarkow, H., & Stamm, A. J. (1953). Properties of Wood Effect of Heat Upon the Dimensional Stabilization of Wood 1
- [22] Sachs, C. (2006). *The History of Musical Instruments*
- [23] Conard, N. J., Malina, M., & Mu, S. C. (2009). New flutes document the earliest musical tradition in southwestern Germany
- [24] Anon
https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Flauta_paleol%C3%ADtica.jpg
- [25] Anon
https://en.wikipedia.org/wiki/File:Silver_trumpet_from_Tutankhamun's_tomb.jpg
- [26] Bucur, V. (2016) *Handbook of Materials for String Musical Instruments*
- [27] Anon <https://en.wikipedia.org/wiki/Rebec>
- [28] Anon <https://www.accentmusic.com/Lyre-Harp-8-String-p/hlre.htm>
- [29] Anon
https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/4/4d/Gaudenzio_Ferrari_002.jpg
- [30] Wade, G. (2001). *A concise history of the classic guitar* (Mel Bay Publications)
- [31] Bucur, V. (2006). *Acoustic of Wood* (Springer Series in Wood Science)
- [32] Ono, T. (1996). Frequency Responses of Wood for Musica Instruments in Relation to The Vibrational Properties *J. Acoust. Soc.* 17 183–93
- [33] Ono, T., & Norimoto, M. (1983). Study on Young Modulus and Internal-Friction of Wood in Relation to the Evaluation of Wood for Musical-Instruments *Japanese J. Appl. Phys. Part 1-Regular Pap. Short Notes Rev. Pap.* 22 611–4
- [34] Ono, T., & Norimoto, M. (1984). On physical criteria for the selection of wood for soundboards of musical instruments *Rheol. Acta* 23 652–6
- [35] Smardzewski, J., Batko, W., Kamisiński, T., Flach, A., Pilch, A., Dziurka, D., Mirski, R., Roszyk, E., & Majewski A. (2014). Experimental study of wood acoustic absorption characteristics *Holzforschung* 68 467–76
- [36] El-Hadad, A., Brodie, G. I., & Ahmed, B. S. (2018). The Effect of Wood Condition on Sound Wave Propagation *Open J. Acoust.* 08 37–51
- [37] Wegst, U. G. K. (2006). Wood for sound *Am. J. Bot.* 93 1439–48
- [38] Roohnia, M. (2016). Wood: Acoustic Properties 1–12
- [39] Brémaud, I., El Kaïm, Y., Guibal, D., Minato, K., Thibaut, B., & Gril, J. (2012). Characterisation and categorisation of the diversity in viscoelastic vibrational properties between 98 wood types *Ann. For. Sci.* 69 373–86
- [40] Brémaud, I., (2012). Acoustical properties of wood in string instruments soundboards and tuned idiophones: Biological and cultural diversity *J. Acoust. Soc. Am.* 131 807–18
- [41] Fletcher, N. H., & Rossing, T. D. (1998). *The Physics of Musical Instruments* (New York, NY: Springer New York)

- [42] Dündar, T., Kaymakci, A., & Aydoğmuş, A. (2016). Pavlonya Odununun Tutkallı Lamine Kereste Üretiminde Orta Tabakada Kullanım Olanakları *Kastamonu University J. For. Fac. For. Fac.* **16** 536–40
- [43] Anon <https://www.oldworldtonewood.com>
- [44] Anon <http://www.tonewood.ch/violin.html>
- [45] Anon <https://www.lumberjocks.com/LakelandDave/blog/13069>e
- [46] Buksnowitz, C., Evans, R., Müller, U., & Teischinger, A. (2012). Indented rings (hazel growth) of Norway spruce reduce anisotropy of mechanical properties *Wood Sci. Technol.* **46** 1239–46
- [47] Haines, D. W. (2000). The essential mechanical properties of wood prepared for musical instruments *Catgut Acoust. Soc. J.* **4** 20–32
- [48] Anon <http://www.carpathiantonewood.ro/store/product-3/>
- [49] Bucur, V., Garros, S., & Barlow, C. Y. (2000). The effect of hydrostatic pressure on physical properties and microstructure of spruce and cherry *Holzforchung* **54** 83–92
- [50] Fengel, D., & Wegener, G., (1984). Wood, Chemistry, Ultrastructure, Reactions *Waster & Grugter* 613
- [51] Hill, C. A. S. (2006). *Wood Modification Chemical , Thermal and Other Processes* (John Wiley & Sons)
- [52] Rowell, R. M. (1983). Chemical Modification of Wood *For. Prod. Abstr.* **6** 363–81
- [53] Brown, R. M., & Saxena, I. M. (2007). *Cellulose: Molecular and Structural Biology* (Springer New York)
- [54] Sjöström, E. (1993). *Wood chemistry, fundamentals and applications* vol 252
- [55] Hon, D. N. S., & Shiraishi, N. (2013). *Wood And Cellulosic Chemistry* vol 53
- [56] Stamm, A. J., & Tarkow, H., (1946). Dimensional Stabilization of Wood *For. Prod. J.* 493–505
- [57] Youngquist, J. A., Rowell, R. M., & Krzyslk, A. (1986). Mechanical properties and dimensional stability of acetylated aspen flakeboard * *Holz als Roh - und Werkst.* **44** 453–7
- [58] Yano, H., Norimoto, M., & Rowell, R. M. (1993). Stabilization of Acoustical Properties of Wooden Musical-Instruments by Acetylation *Wood Fiber Sci.*
- [59] Çetin, N. S., Özmen, N., & Birinci E. (2011). Acetylation of wood with various catalysts *J. Wood Chem. Technol.* **31** 142–53
- [60] Rowell, R., Simonson, R., Hess, S., Plackett, D., Cronshaw, D., & Dunningham, E. (1994). Acetyl Distribution in Acetylated Whole Wood and Reactivity of Isolated Wood Cell-Wall Components To Acetic Anhydride *Wood Fiber Sci.* **26** 11–8
- [61] Hill, C. A. S. (2006). *Wood modifications: Chemical, Thermal, and other Processes*
- [62] Sander, C., Beckers, E. P. J., Militz, H., & Veenendaal, W. Van. (2003). Analysis of acetylated wood by electron microscopy **37** 39–46
- [63] Dinwoodie, J. M. (2000). *Timber: Its nature and behavior*
- [64] Papadopoulos, A. N & Pougoula, G. (2010). Bioresource Technology Mechanical behaviour of pine wood chemically modified with a homologous series of linear chain carboxylic acid anhydrides *Bioresour. Technol.* **101** 6147–50
- [65] Özmen, N., & Çetin, N. S. (2002). The reaction of crotonic anhydride with Scots and Corsican pine: Investigation of kinetic profiles and determination of activation energies *Turkish J. Agric. For.* **27** 7–13

- [66] Norimoto, M. (1993). Structure and Properties of Chemically Treated Woods *Recent Research on Wood And Wood-Based Materials* vol 1, ed N Shiraishi, H Kajita and M Norimoto pp 135–54
- [67] Yano, H. (1994). The Changes in the Acoustic Properties of Western Red Cedar due to Methanol Extraction *Holzforschung* 48 491–5
- [68] Yano, H., & Minato, K. (1992). Improvement of the acoustic and hygroscopic properties of wood by a chemical treatment and application to the violin parts *J. Acoust. Soc. Am.* 92 1222–7
- [69] Yano, H., Norimoto, M., & Rowell, R. M. (1993). Stabilization of Acoustical Properties of Wooden Musical-Instruments by Acetylation *Wood Fiber Sci.* 25 395–403
- [70] Brémaud, I., Amusant, N., Minato, K., Gril, J. & Thibaut, B. (2011). Effect of extractives on vibrational properties of African Padauk (*Pterocarpus soyauxii* Taub.) *Wood Sci. Technol.* 45 461–72
- [71] Nakatsubo, F. (1999). Vibrational property changes of spruce wood by impregnation with water- soluble extractives of pernambuco (*Guilandina echinata* Spreng.) 470–4
- [72] Matsunaga, M., Sakai, K., Kamitakahara, H., Minato, K., & Nakatsubo F. (2000). Vibrational property changes of spruce wood by impregnation with water- soluble extractives of pernambuco (*Guilandina echinata* Spreng .) Its structural analysis of extractive components *Japan Wood Res. Soc.* 253–7
- [73] Oliveira, F. G. R., & Sales, A. (2006). Relationship between density and ultrasonic velocity in Brazilian tropical woods *Bioresour. Technol.* 97 2443–6
- [74] Olivera, F., Candian, M., & Lucchette, F. (2014). Moisture Content Effect on Ultrasonic Velocity in *Goupia Glabra* *J. Indian Acad. Appl. Psychol.* 40 327–8
- [75] Kabir, M. F., Daud, W. M., Khalid, K., & Sidek, H. A. (1998). Effect of Moisture Content and Grain Direction on the Dielectric Properties of Rubber Wood at Low Frequencies *Holzforschung* 52 546–52
- [76] Sakai, H., Minamisawa, A., & Takagi, K. (1990). Effect of moisture content on ultrasonic velocity and attenuation in woods *Ultrasonics* 28 382–5
- [77] Bucur, V., & Feeney, F. (1992). Attenuation of ultrasound in solid wood 30 76–81
- [78] Yang, H., Yu, L., & Wang L. (2015). Effect of moisture content on the ultrasonic acoustic properties of wood *J. For. Res.* 26 753–7
- [79] Hori, R., Müller, M., Watanabe, U., Lichtenegger, H. C., Fratzl, P., & Sugiyama, J. (2002). The importance of seasonal differences in the cellulose microfibril angle in softwoods in *J. Mater. Sci.* 7 4279–84
- [80] Schleske, M. (1990). Speed of sound and damping of spruce in relation to the direction of grains and rays *Catgut Acoust. Soc. J. 1*
- [81] Obataya, E., Ono, T., & Norimoto, M. (2000). Vibrational properties of wood along the grain *J. Mater. Sci.* 35 2993–3001
- [82] Moreno, J., Walker, J., & Raymond, C. A. (2011). Effects of moisture content and temperature on acoustic velocity and dynamic MOE of radiata pine sapwood boards 609–26
- [83] Golpayegani, A. S, Bre, I., Gril, J., Thevenon, M., Arnould, O., & Pourtahmasi, K. (2012). Effect of extractions on dynamic mechanical properties of white mulberry (*Morus alba*) 153–62
- [84] Calegari, L., Gatto, D. A., & Stangerlin, D. M. (2011). Influence of moisture content, specific gravity and specimen geometry on the ultrasonic pulse velocity in *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden WOOD *Ciência da Madeira*

- (*Braz. J. Wood Sci.*), *Pelotas* 64–74
- [85] Obataya, E., Norimoto, M., & Gril, J. (1998). The effects of adsorbed water on dynamic mechanical properties of wood *Polymer (Guildf)*. 39 3059–64
- [86] Wise, E. L., & Karl, H. L. (1962). *Cellulose and hemicelluloses in pulp and paper science and technology*. (New York.: Pulp edited by C. Earl Libby. McGraw Hill-Book Co.,)
- [87] Hill, C. A. S., & Jones, D. (1999). Dimensional changes in Corsican pine sapwood due to chemical modification with linear chain anhydrides *Holzforschung* 53 267–71
- [88] Rowell, R. M., & Young, R. A. (1978). *Modified Cellulose* vol 45
- [89] Popescu, C. M., & Popescu, M. C. (2013). A near infrared spectroscopic study of the structural modifications of lime (*Tilia cordata* Mill.) wood during hydro-thermal treatment. *Spectrochim. Acta. A. Mol. Biomol. Spectrosc.* 115 227–33
- [90] Silverstein, R., Webster, F., & Kiemle, D. (2005). *Spectrometric identification of organic compounds, Seventh Edition* vol 30
- [91] Sakai, K., Matsunaga, M., Minato, K., Nakatsubo, F., Sakai, K., Matsunaga, M., Minato, K., & Nakatsubo, F. (1999). Effects of impregnation of simple phenolic and natural polycyclic compounds on physical properties of wood *J. Wood Sci.* 45 227–32
- [92] Sproßmann, R., Zauer, M., & Wagenführ, A. (2017). Characterization of acoustic and mechanical properties of common tropical woods used in classical guitars *Results Phys.* 7 1737–42
- [93] Gao, S., Wang, X., Wang, L., & Allison, R. B. (2011). Modeling Temperature and Moisture State Effects on Acoustic Velocity in Wood *Proc. 17th Int. Symp. Nondestruct. Test. Eval. Wood* 411–8

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Ayberk AYDOĞMUŞ
Doğum Tarihi ve Yeri : 14/07/1991 – İstanbul
E-posta Adresi : ayberk.aydogmus@ikc.edu.tr
Telefon :

EĞİTİM BİLGİLERİ

Lisans

Üniversite : İstanbul Üniversitesi
Fakülte : Orman Fakültesi
Bölüm : Orman Endüstri Mühendisliği
Mezuniyet yılı / Ortalama : 2014 / 3.38 (*Onur Öğrencisi*)

Yüksek Lisans

Üniversite : İstanbul Üniversitesi
Enstitü Adı : Fen Bilimleri Enstitüsü
Anabilim Dalı : Orman Endüstri Mühendisliği A.B.D
Program : Orman Endüstri Mühendisliği

YAYINLAR

Dünder T, Kaymakci A, Aydoğmuş A. Pavlonya Odununun Tutkallı Lamine Kereste Üretiminde Orta Tabakada Kullanım Olanakları. *Kastamonu Univercity Journal of Forestry Faculty* 16: 536–540, 2016.