ISIL İŞLEMLİ AHŞAP LAMİNE PANELLERİN AKUSTİK ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİ

Suat AYAN

DOKTORA TEZİ
MOBİLYA ve DEKORASYON EĞİTİMİ

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Haziran 2012
ANKARA

Suat AYAN tarafından hazırlanan "ISIL İŞLEMLİ AHŞAP LAMİNE PANELLERİN AKUSTİK ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİ" adlı bu tezin Doktora tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Prof. Dr. Mustafa ALTINOK …….
Tez Danışmanı, Ağaç İşleri Endüstri Mühendisliği A.B.D.

Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile Mobilya ve Dekorasyon Eğitimi Anabilim Dalında Doktora tezi olarak kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Musa ATAR …….…….
Ağaç İşleri Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, G.Ü.

Prof. Dr. Mustafa ALTINOK ……..
Ağaç İşleri Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, G.Ü.

Prof. Dr. Erol BURDURLU ……..
Mobilya ve Dekorasyon Anabilim Dalı, G. Ü.

Prof. Dr. Ayhan ÖZÇİFÇİ ……..
Mobilya ve Dekorasyon Anabilim Dalı, K.Ü.

Doç. Dr. Mehmet BUDAKÇI ……..
İmalat Mühendisliği Anabilim Dalı, D.Ü.

Tarih: 05/06/2012

Bu tez ile Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu Doktora derecesini onamıştır.

Prof. Dr. Bilal TOKLU ……..
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

Suat AYAN

ISIL İŞLEMLİ AHŞAP LAMİNE PANELLERİN AKUSTİK ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİ

(Doktora Tezi)

Suat AYAN

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Haziran 2012

ÖZET

Bu çalışmada, ısıl işlemli ağaç malzemelerden üretilmiş lamine panellerin ses yutma (absorpsiyon) katsayısı değerleri araştırılmış ve ısıl işlemin ahşap lamine panellerin ses yutma katsayısı değeri üzerindeki etkisi tespit edilmiştir. Bu maksatla, sarıçam (*Pinus sylvestris* L.), Uludağ göknarı (*Abies bommulleriana* Mattf.), iroko (*Chlorophora excelsa*) odunları ve TS 64-5 EN 622-5' e uygun 18 mm kalınlığında MDF tercih edilmiştir.

Ahşap kontra-lamine paneller, yüz katmanlarında ısıl işlemsiz ve işlemli (185 ^{o}C' de 2 saat) sarıçam ve iroko, orta katmanda ısıl işlemsiz Uludağ göknarı, çift bileşenli Polivinil asetat (PVAc-D4) tutkalı ile yapıştırılarak ısıl işlemsiz ve işlemli paneller elde edilmiştir. Paneller ve MDF' nin, bazı fiziksel ve mekanik özellikleri belirlenmiştir. Panellerin ses yutma katsayısı değerleri düz yüzeyli ve delikli olmak üzere iki farklı yüzey şeklinde, E 70 (hava boşluklu) ve E 70+ (taş yünü dolgulu) olmak üzere iki farklı montaj tipinde TS EN ISO 354 esaslarına göre belirlenmiştir.

Sonuç olarak; ısıl işlemin, ahşap lamine panellerin fiziksel ve mekanik özelliklerini belirli oranlarda düşürdüğü bununla birlikte panellerin ses yutma katsayısı değerlerini belirli oranlarda artırdığı tespit edilmiştir. Isıl işlemin ses yutma katsayısına etkisi, panellerin yüzey özelliklerine, montaj tiplerine ve

frekansa bağlı olarak değişmekle birlikte; düz yüzeyli, hava boşluklu E 70 montaj tipinde ve 1000 Hz' de %60' lık oranla en yüksek artış elde edilmiştir. Düz yüzeyli panellerde en yüksek ses yutma katsayısı değerleri 160 Hz' de, delikli panellerde 500 Hz' de elde edilmiştir.

Isıl işlemli ahşap panellerin mekanik özelliklerinin düşük olmasına karşın; boyutsal kararlılık ve ses absorpsiyon katsayısı değeri gibi fiziksel özelliklerindeki iyileşmeler, ısıl işlemli panellerin kullanım alanını genişletmektedir. Tiyatro, opera salonları, konferans ve toplantı salonları, kapalı yüzme havuzları, spor salonları ve açık hava mekanlarında akustik tasarım materyali olarak kullanılması önerilebilir.

Bilim Kodu : **711.3.023**
Anahtar Kelimeler : **Isıl işlem, lamine ahşap panel, ses yutma katsayısı**
Sayfa Adedi : **159**
Tez Yöneticisi : **Prof. Dr. Mustafa ALTINOK**

DETERMINATION OF ACOUSTICAL PROPERTIES OF HEAT TREATED LAMINATED WOODEN PANELS

(PhD. Thesis)

Suat AYAN

GAZİ UNIVERSITY

INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY

June 2012

ABSTRACT

This study examines absorption coefficient values of laminated panels made of heat treated wooden materials and determines the effect of heat treatment on absorption coefficient value of laminated wooden wooden panels. For this aim, woods of scotch pine (*Pinus sylvestris* L.), Uludağ abies (*Abies bommulleriana* Mattf.), iroko (*Chlorophora excelsa*) and 18 mm thickness of MDF in conformity with the TS 64-5 EN 622-5.

Wooden contra-laminated panels were obtained as non heat treated and heat treated panels by adhering non heat treated and heat treated (2 hours at 185 ^{o}C) scotch pine and iroko on the face layers, non heat treated Uludağ abies on the middle layer with double component Polyvinyl acetate (PVAc-D4) adhesive. Some physical and mechanical properties of these panels and MDF were determined. Absorption coefficient values of the panels were determined according to TS EN ISO 354 in two different surface types as flat surface and perforated in two different assembly types as E 70 (air spaced) and E 70+ (rock wool filled).

As a consequence; it was determined that heat treatment declines the physical and mechanical properties of the wooden laminated panels in determinate rates,

however increases the absorption coefficient values of the wooden laminated panels. Effect of heat treatment on absorption coefficient varies according to surface features and assembly types of panels and frequency, the highest increase was obtained in flat surface, air spaced E 70 assembly type and in 1000 Hz with a rate of 60%. The highest absorption coefficient values were obtained in 160 Hz in flat surface panels while in 500 Hz in perforated panels.

Even though heat treated wooden panels have low mechanical properties; improvement in physical properties as dimensional stabilization and sound absorption coefficient value extends the area of usage in heat treated panels. Its use may be recommended as an acoustic design material in theatres, opera halls, conference and meeting halls, indoor swimming pools, sports centers and outdoor spaces.

Science Code : 711.3.023
Key Words : Heat treatment, laminated wooden panel, sound absorption coefficient
Page Number: 159
Adviser : Prof. Dr. Mustafa ALTINOK

TEŞEKKÜR

Çalışmalarım boyunca değerli yardım ve katkılarıyla ben yönlendiren sayın Hocam Prof. Dr. Mustafa ALTINOK yine kıymetli tecrübelerinden faydalandığım Tez İzleme Komitesi hocalarım Prof. Dr. Erol BURDURLU ve Prof. Dr. Ayhan ÖZÇİFÇİ, ayrıca Prof. Dr. Musa ATAR, Doç. Dr. Mehmet BUDAKÇI, tez çalışmalarında yardımlarını gördüğüm Arş. Gör. Osman PERÇİN, Yrd. Doç. Dr. Hasan Hüseyin CİRİTCİOĞLU, Yrd. Doç. Dr. Ali Rıza ARSLAN ve Yrd. Doç. Dr. Hasan Özgür İMİRZİ, Sinan ÜNAL, Murat ÖZDEMİR, Hasan UDUM, Mobilya ve Dekorasyon Eğitimi akademik ve idari personeli, yine Mobilya ve Dekorasyon Eğitimi öğrencileri ve her türlü maddi, manevi destekleri ile bana yardımcı olan eşim Özlem AYAN, oğlum Taha Mehmet AYAN, kızım Hicaz Selin AYAN, ve yine manevi desteklerini esirgemeyen ailem ve tüm arkadaşlarıma teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET iv

ABSTRACT vi

TEŞEKKÜR viii

İÇİNDEKİLER ix

ÇİZELGELERİN LİSTESİ xii

ŞEKİLLERİN LİSTESİ xvi

RESİMLERİN LİSTESİ xviii

1. GİRİŞ 1

2. GENEL BİLGİ 6

2.1. Çalışmada Kullanılan Ağaç Malzemeler 6

2.1.1. Sarıçam (*Pinus sylvetsris* L.) 6

2.1.2. İroko (*Clorophora excelsa*) 7

2.1.3. Uludağ göknarı (*Abies bommulleriana* Mattf.) 8

2.2. Ses 9

2.2.1. Sesin tanımı 9

2.2.2. Ses ile ilgili büyüklükler 12

2.2.3. Sesle ilgili fiziksel olaylar 13

2.2.4. Ağaç malzemede sesin yutulması (absorpsiyonu) 33

2.3. Isıl İşlem 35

2.3.1. Isıl işlem metodları 36

2.4. Laminasyon Tekniği 40

2.4.1. Laminasyonda asgari üretim şartları 41

2.4.2. Laminasyonda ağaç malzeme seçimi 42

Sayfa

2.4.3. Laminasyonun avantajları 43
2.4.4. Laminasyonun dezavantajları 45
3. LİTERATÜR ÖZETİ 46
3.1. Sesin Yutulması (Absorpsiyonu) 46
3.2. Laminasyon 49
3.3. Ahşap Kompozit Malzemeler 52
3.4. Isıl İşlem 53
4. MALZEME VE YÖNTEM 59
4.1. Malzeme 59
4.1.1. Ağaç malzemeler 59
4.1.2. Ahşap esaslı malzeme 59
4.1.3. Tutkal 59
4.1.4. Vida 60
4.1.5. Taş yünü 61
4.2. Isıl İşlem ve Deney Yöntemleri 61
4.2.1. Isıl işlem uygulaması 61
4.2.2. Deney örneklerinin hazırlanması 63
4.2.3. Deneme deseni 66
4.2.4. Fiziksel özelliklerin belirlenmesi 68
4.2.5. Mekanik özelliklerin belirlenmesi 80
4.2.6. Veri analizi 87
5. BULGULAR 88
5.1. Fiziksel Özellikler 88
5.1.1. Yoğunluk 88
5.1.2. Rutubet değeri 91

Sayfa

5.1.3. Kalınlığına genişleme 92
5.1.4. Isı iletkenlik katsayısı 93
5.1.5. Ses yutma (Absorpsiyon) katsayısı 95
5.2. Mekanik Özellikler 133
5.2.1. Eğilme direnci 133
5.2.2. Eğilmede elastikiyet modülü 134
5.2.3. Yüzeye dik çekme direnci 136
5.2.4. Yüzeyden vida tutma direnci 137
6. SONUÇ, TARTIŞMA ve ÖNERİLER 139
KAYNAKLAR 148
ÖZGEÇMİŞ 158

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge **Sayfa**

Çizelge 2.1. Sarıçam odununun fiziksel ve mekanik özellikleri……..……6

Çizelge 2.2. İroko odununun fiziksel ve mekanik özellikleri……..7

Çizelge 2.3. Uludağ göknarı odununun fiziksel ve mekanik özellikleri……..8

Çizelge 2.4. Oktav bandlar ve merkez frekansları……11

Çizelge 4.1. PVAc-D_4 tutkalının teknik özellikleri……... 60

Çizelge 4.2. Taş yününün teknik özellikleri…….. 61

Çizelge 4.3. Uygulanan ısıl işlem yöntemi……62

Çizelge 4.4. Deneme deseni……...67

Çizelge 5.1. Tam kuru yoğunluk değerlerine ilişkin istatiksel sonuçlar……88

Çizelge 5.2. Ağaç malzeme türü ve uygulanan işlemin tam kuru yoğunluk değerleri üzerinde etkisine ilişkin varyans analizi……... 88

Çizelge 5.3. Ağaç malzeme türü ve uygulanan ısıl işleme göre farklılık yaratan tam kuru yoğunluk değerlerinin tespitine ilişkin homojenlik testi…… 89

Çizelge 5.4. Hava kurusu yoğunluk değerlerine ilişkin istatiksel sonuçlar……... 89

Çizelge 5.5. Ağaç malzeme türü ve uygulanan işlemin hava kurusu yoğunluk değerleri üzerinde etkisine ilişkin varyans analizi……. 90

Çizelge 5.6. Ağaç malzeme türü ve uygulanan ısıl işleme göre farklılık yaratan hava kurusu yoğunluk değerlerinin tespitine ilişkin homojenlik test… 90

Çizelge 5.7. Rutubet değerlerine ilişkin istatistiksel sonuçlar……... 91

Çizelge 5.8. Ağaç malzeme türü ve uygulanan ısıl işlemin rutubet değeri üzerinde etkisine ilişkin varyans analizi…….. 91

Çizelge 5.9. Ağaç malzeme türü ve uygulanan ısıl işleme göre farklılık yaratan rutubet değerlerinin tespitine ilişkin homojenlik testi……92

Çizelge 5.10. Kalınlığına genişleme değerlerine ilişkin istatistiksel sonuçlar……...92

Çizelge 5.11. Ağaç malzeme türü ve uygulanan işlemin kalınlığına genişleme değerleri üzerinde etkisine ilişkin varyans analizi…….. 93

Çizelge **Sayfa**

Çizelge 5.12. Ağaç malzeme türü ve uygulanan ısıl işleme göre farklılık yaratan kalınlığına genişleme değerlerinin tespitine ilişkin homojenlik testi..93

Çizelge 5.13. Isı iletkenlik katsayısı değerlerine ilişkin istatistiksel sonuçlar……...94

Çizelge 5.14. Ağaç malzeme türü ve uygulanan işlemin ısı iletkenlik katsayısı değerlerine üzerinde etkisine ilişkin varyans analizi……...94

Çizelge 5.15. Ağaç malzeme türü ve uygulanan ısıl işleme göre farklılık yaratan ısı iletkenlik katsayısı değerlerinin tespitine ilişkin homojenlik testi…..95

Çizelge 5.16. Ses yutma katsayısı değerlerine ilişkin istatiksel sonuçlar……..96

Çizelge 5.17. Yüzey şekli, malzeme türü, montaj tipi ve frekansın ses yutma katsayısı değerine etkisine ilişkin varyans analizi……...99

Çizelge 5.18. Ses yutma katsayısı değerlerine göre farklılık yaratan yüzey şekillerinin tespitine ilişkin homojenlik testi…… 100

Çizelge 5.19. Ses yutma katsayısı değerlerine göre farklılık yaratan montaj tiplerinin tespitine ilişkin homojenlik testi…….……...101

Çizelge 5.20. Ses yutma katsayısı değerlerine göre farklılık yaratan malzeme türlerinin tespitine ilişkin homojenlik testi……101

Çizelge 5.21. Ses yutma katsayısı değerlerine göre farklılık yaratan frekansların tespitine ilişkin homojenlik testi……... 102

Çizelge 5.22. Ses yutma katsayısı değerlerine göre farklılık yaratan yüzey şekli ve malzeme türlerinin tespitine ilişkin homojenlik testi…….…..…… 103

Çizelge 5.23. Ses yutma katsayısı değerlerine göre farklılık yaratan yüzey şekli ve frekansların tespitine ilişkin homojenlik testi……...103

Çizelge 5.24. Ses yutma katsayısı değerlerine göre farklılık yaratan montaj tipi ve frekansların tespitine ilişkin homojenlik testi……...104

Çizelge 5.25. Ses yutma katsayısı değerlerine göre farklılık yaratan yüzey şekli malzeme türü ve frekansların tespitine ilişkin homojenlik testi……105

Çizelge 5.26. Ses yutma katsayısı değerlerine göre farklılık yaratan yüzey şekli, montaj tipi ve frekansların tespitine ilişkin homojenlik testi…….. 107

Çizelge 5.27. Malzeme türlerinde yüzey şekli, montaj tipi ve frekansın ses yutma katsayısı üzerinde etkili olup olmadığına ilişkin varyans analizi testi…… 108

Çizelge **Sayfa**

Çizelge 5.28. Malzeme türlerinde ses yutma katsayısı değerlerine göre farklılık yaratan yüzey şekillerinin tespitine ilişkin homojenlik testi……110

Çizelge 5.29. Yüzey şeklinin ses yutma katsayısı değerine etkisi……...111

Çizelge 5.30. Malzeme türlerinde ses yutma katsayısı değerlerine göre farklılık yaratan frekansların tespitine ilişkin homojenlik testi……...112

Çizelge 5.31. Malzeme türlerinde ses yutma katsayısı değerlerine göre farklılık yaratan montaj tiplerinin tespitine ilişkin homojenlik testi……...113

Çizelge 5.32. Montaj tipinin ses yutma katsayısı değerine etkisi……114

Çizelge 5.33. Malzeme türlerinde ses yutma katsayısı değerlerine göre farklılık yaratan yüzey şekli ve montaj tiplerinin tespitine ilişkin homojenlik testi……115

Çizelge 5.34. Malzeme türlerinde ses yutma katsayısı değerlerine göre farklılık yaratan yüzey şekli ve frekansların tespitine ilişkin homojenlik testi……116

Çizelge 5.35. Malzeme türlerinde ses yutma katsayısı değerlerine göre farklılık yaratan montaj tipi ve frekansların tespitine ilişkin homojenlik testi……118

Çizelge 5.36. Malzeme türlerinde ses yutma katsayısı değerlerine göre farklılık yaratan yüzey şekli montaj tipi ve frekansların tespitine ilişkin homojenlik testi……120

Çizelge 5.37. Frekans, yüzey şekli ve montaj tipinde malzeme türünün ses yutma katsayısı üzerinde etkili olup olmadığına ilişkin varyans analizi…..128

Çizelge 5.38. Frekans, yüzey şekli ve montaj tipinde ses yutma katsayısı değerlerine göre farklılık yaratan malzeme türlerinin tespitine ilişkin homojenlik testi..……130

Çizelge 5.39. Isıl işlemin ses yutma katsayısı değerine etkisi……132

Çizelge 5.40. Eğilme direnci değerlerine ilişkin istatistiksel sonuçlar……133

Çizelge 5.41. Ağaç malzeme türü ve uygulanan işlemin eğilme direnci değerleri üzerinde etkisine ilişkin varyans analizi……133

Çizelge 5.42. Ağaç malzeme türü ve uygulanan ısıl işleme göre farklılık yaratan eğilme direnci değerlerinin tespitine ilişkin homojenlik testi……...134

Çizelge **Sayfa**

Çizelge 5.43. Eğilmede elastikiyet modülü değerlerine ilişkin istatistiksel sonuçlar……134

Çizelge 5.44. Ağaç malzeme türü ve uygulanan işlemin eğilmede elastikiyet modülü değerleri üzerinde etkisine ilişkin varyans analizi……...135

Çizelge 5.45. Ağaç malzeme türü ve uygulanan ısıl işleme göre farklılık yaratan eğilmede elastikiyet modülü değerlerinin tespitine ilişkin homojenlik testi……135

Çizelge 5.46. Yüzeye dik çekme direnci değerlerine ilişkin istatistiksel sonuçlar..136

Çizelge 5.47. Ağaç malzeme türü ve uygulanan işlemin yüzeye dik çekme direnci değerleri üzerinde etkisine ilişkin varyans analizi……136

Çizelge 5.48. Ağaç malzeme türü ve uygulanan ısıl işleme göre farklılık yaratan yüzeye dik çekme direnci değerlerinin tespitine ilişkin homojenlik testi……137

Çizelge 5.49. Yüzeyden vida tutma direnci değerlerine ilişkin istatistiksel sonuçlar……137

Çizelge 5.50. Ağaç malzeme türü ve uygulanan işlemin yüzeyden vida tutma direnci değerleri üzerinde etkisine ilişkin varyans analizi……138

Çizelge 5.51. Ağaç malzeme türü ve uygulanan ısıl işleme göre farklılık yaratan yüzeyden vida tutma direnci değerlerinin tespitine ilişkin homojenlik testi……138

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekiller **Sayfa**

Şekil 2.1. Yansıma, yutma ve iletme 18

Şekil 2.2. İki ortam arasında yansıma ve geçiş 20

Şekil 2.3. Gözenekli ses yutucu örneği 21

Şekil 2.4. Membran yutucu 24

Şekil 2.5. Durağan dalga yöntemi 27

Şekil 2.6. Enerjinin korunumu ilkesi..... 30

Şekil 2.7. Isıl işlem uygulamasının şematik gösterimi..... 39

Şekil 2.8. Laminasyonda katların düzenlenmesi..... 41

Şekil 4.1. Deneylerde kullanılan vida boyutları..... 60

Şekil 4.2. Üretilen panel örneği..... 64

Şekil 4.3. Delikli panellerin delik şemasının gösterilmesi..... 66

Şekil 4.4. Plaka metodu ile ısı iletkenliğini ölçme aletinin şeması..... 73

Şekil 4.5. E 70 tipi montaj gösterimi 74

Şekil 4.6. E 70+ tipi montaj gösterimi 75

Şekil 4.7. Taşıyıcı karkas 75

Şekil 4.8. Çınlama odasının ölçüleri, numune yerleşimi, mikrofon ve ses kaynağı konumları 76

Şekil 4.9. Ölçüm prosedürü akış şeması 78

Şekil 4.10. Eğilme direnci deneyinin yapılış şeması..... 81

Şekil 4.11. Yük-sehim diyagramı içerisindeki elastik bölge 83

Şekil 4.12. Yüzeye dik direnci deneyinin yapılış şeması..... 84

Şekil 4.13. Yüzeyden vida tutma direnci deney örneği 86

Şekil 5.1. MDF panellerin ses yutma katsayısı değerleri..... 123

Şekil 5.2. Isıl işlemsiz sarıçam panellerin ses yutma katsayısı değerleri..... 123

Şekiller **Sayfa**

Şekil 5.3. Isıl işlemli sarıçam panellerin ses yutma katsayısı değerleri 124

Şekil 5.4. Isıl işlemsiz iroko panellerin ses yutma katsayısı değerleri 124

Şekil 5.5. Isıl işlemli iroko panellerin ses yutma katsayısı değerleri 125

Şekil 5.6. Düz yüzeyli panellerin E 70 tipi montajda ses yutma katsayısı değerleri 125

Şekil 5.7. Düz yüzeyli panellerin E 70+ tipi montajda ses yutma katsayısı değerleri 126

Şekil 5.8. Delikli yüzeyli panellerin E 70 tipi montajda ses yutma katsayısı değerleri 126

Şekil 5.9. Delikli yüzeyli panellerin E 70+ tipi montajda ses yutma katsayısı değerleri 127

RESİMLERİN LİSTESİ

Resimler **Sayfa**

Resim 4.1. Isıl işlem fırını 62

Resim 4.2. Taslakların ısıl işlem fırınına yerleştirilmesi 63

Resim 4.3. Yan yana ekleme pres cihazı 63

Resim 4.4. Panel örnekleri 65

Resim 4.5. Çınlama odası 77

Resim 4.6. Ölçümlerde kullanılan ekipmanlar 78

Resim 4.7. Test düzeneğinde eğilme direnci deney numuneleri 82

Resim 4.8. Yüzeye dik çekme direnci deneyinin yapılışı 84

Resim 4.9. Yüzeyden vida tutma direnci deneyinin yapılışı. 86

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış bazı simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler	**Açıklama**
$\boldsymbol{A}$	Mukavemet alanı, mm^2
$\boldsymbol{A_T}$	Eş değer ses yutma alanı (m^2),
$\boldsymbol{b}$	Deney parçası genişliği, mm
$\boldsymbol{c}$	Sesin yayılma hızı, m/sn
$\boldsymbol{d}$	Vida çapı, mm
$\boldsymbol{E}$	Eğilmede elastikiyet modülü, N/mm^2
$\boldsymbol{f}$	Frekans, Hz
$\boldsymbol{F_{max}}$	Kırılma anındaki maksimum yük, N
$\boldsymbol{I}$	Ses şiddeti, $Watt/m^2$
$\boldsymbol{IL}$	Ses şiddeti düzeyi, bel
$\boldsymbol{l_p}$	Vidanın levhaya girme mesafesi, mm
$\boldsymbol{L}$	Destek açıklıkları, mm
$\boldsymbol{m}$	Ağırlık, gr
$\boldsymbol{p}$	Akustik basınç, Pa
$\boldsymbol{r}$	Rutubet, %
$\boldsymbol{SPL}$	Ses basınç düzeyi, dB
$\boldsymbol{t}$	zaman, sn
$\boldsymbol{T}$	Devir süresi, sn
$\boldsymbol{V}$	Hacim, cm^3
$\boldsymbol{\alpha}$	Ses yutma (absorpsiyon) katsayısı
$\boldsymbol{\lambda}$	Dalga boyu, m
$\boldsymbol{\rho}$	Özgül ağırlık, kg/m^3
$\boldsymbol{\delta}$	Yoğunluk, gr/cm^3
$\boldsymbol{\alpha}$	Genişleme, %
$\boldsymbol{\partial e}$	Eğilme direnci, N/mm^2

Simgeler	**Açıklama**
$\partial ç$	Çekme direnci, N/mm^2
Δ_F	Yük-sehim diyagramı oranlılık bölgesindeki yük artışı, N
Δ_f	Kuvvet artışları nedeniyle deney parçası uzunluğunun ortasında meydana gelen sehim artışı, mm

Kısaltmalar	**Açıklama**
MDF	Medium Density Fiberboard
MLS	Maximum Length Sequence
OHT	Oil Heat Treatment
PVAc	Polivinil asetat
TSE	Türk Standartları Enstitüsü
TSE EN	Türk Standartları Enstitüsü Euro Norm
TSE ISO	Türk Standartları Enstitüsü International Standart Organization
UF	Üre Formaldehit
VVT	Finlandiya Teknik Araştırma Merkezi The Technical Research Centre of Finland

1. GİRİŞ

İnsan kulağında işitsel duyulanma uyandırabilen maddesel ortam titreşimlerine ses denir [Karabiber, 1992]. Gürültü ise istenmeyen ses olarak nitelendirilmektedir. Sesin insan kulağına daha iyi gelebilmesi için ihtiyaç duyulan metotları geliştirme işlemleri ile akustik biliminin konusudur. Akustik bilimi, sesin oluşumu, yalıtımı ve duyumlanımı özellikleri ile uğraşan bilim dalıdır [Demirkale, 2007].

Akustik, mimari tasarım parametrelerinin en önemli değişkenlerinden birisidir. Bir mekanın mimari planlaması sürecinde, gürültü sorununun ele alınması, tasarımla beraber çözülmesi gereken bir olgudur. İstenmeyen ses olarak ifade edilen gürültünün, mekandan uzaklaştırılması gerektiği unutulmamalıdır. Çünkü insanlar için en sağlıklı, konforlu, çalışma ve yaşam için en uygun bir yapı ancak insanların sağlığına ve rahatına kötü yönde etki edecek ve çalışma randımanını büyük ölçüde etkileyecek akustik sorunlara en uygun çözümlerin bulunmasıyla doğru tasarlanabilir [Demirkale, 2007].

Tarih boyunca sesin insanlara doğru şekilde iletilebilmesi ve akustik konforun oluşturulabilmesi için birçok uygulama ve çalışma yapılmıştır. Aristolates ses ve fiziksel kavramları işitme ile birleştirerek ilk çalışmaları başlatmıştır. Akustik biliminin ilk adımlarını Pisagor (M.Ö. 580-500), sesin sayısal özellikleri üzerinde yaptığı gözlemlerle atmıştır. Newton' un (1686) sesin hızını tanımlanması ile teorik açıdan ilk çalışmaları başlatmış, Lord Rayleigh' nin "Sesin Teorisi" (Teory Of Sound, 1877) adlı eseri ile ses bilimi önem kazanmıştır. Mimari anlamda ses ve tasarım ilişkisini, Romalı mimar Vitruvius' un "Mimarlık Üzerine On Kitap" (M.Ö. 25) adlı eserinde sesin tiyatrolarda iyi duyulabilmesi ilkeleri konusunda verdiği bilgilerle ortaya koymuştur. 1853' de Dr. J.B. Upham' ın oditoryumlarda çınlama konusundaki ilk düşünceleri sonucunda bu konuda çalışmalar başlamış ve 1898-1905 yılları arasında Prof. Wallace C. Sabine' nin ses üzerine yaptığı teorik çalışmalar ile bilimsel bir nitelik kazanmıştır [Baytın, 1963].

Hacim akustiğinde amaç, hacimdeki işlevsel sesin iyi anlaşılmasını sağlamaktır. Bunun için hacim dışındaki gürültünün kabul edilebilir düzeye indirilmesinin yanı sıra içeride homojen ve yaygın ses alanı oluşturulması gerekmektedir. Bunu sağlamak amacıyla birçok yöntem uygulanmaktadır. Bu yöntemlerin amacı ses enerjisi fazlasını ses yutucu elemanlar kullanarak ısı enerjisine çevirmektir [Demirkale, 2007].

Yapı fiziği açısından mekan içindeki işitsel konforun sağlanması amacıyla, mekan içindeki ve dışındaki ses kaynaklarının şiddeti, ses düzeyleri ve frekanslarının bilinmesi gerekmektedir. Mekan içerisinde kullanılan yapı malzemelerinin ses yutma değerleri, kütle ağırlığına bağlı olarak ses geçirimliliklerinin bilinmesi işitsel konforun sağlanması için gereklidir. Doğru bir düzenleme için doğru malzemenin seçilmesi gerekmektedir. Bu amaçla, birçok yapı malzemesi bulunmaktadır.

Önemli bir dekorasyon olgusu olan ağaç malzeme, akustik özellikleri dolayısıyla da konuşma ve müzik sergilemesi yapılan yapıların oluşturulmasında kullanılmaktadır. Ağaç malzemenin akustik özellikleri, yani ses dalgalarına karşı olan durumu, çeşitli kullanış yerlerinde değerlendirilmesi bakımından önemlidir. Ağaç malzeme içinde hem sesin yayılması, hem de sesin yutulması meydana gelmektedir. Ağaç malzeme yüzeyine vuran ses dalgaları ile birlikte titreşime girerek sesi yumuşatır ve rahatsız edici niteliği azaltır [Cremer ve Muller, 1982].

Ağaç malzeme, sahip olduğu birçok olumlu özellikleri ile geniş bir kullanım alanın bulunan yapı ve mühendislik malzemesidir. Ancak bu olumlu özelliklerinin yanısıra organik bir yapıda olmasından dolayı rutubet alıp vererek boyutlarını değiştirmesi, çeşitli biyolojik zararlı faktörlerce tahrip edilmesi ve düşük sıcaklık derecelerinde kolay tutuşması gibi olumsuz özellikleri de ağaç malzemenin kullanım alanını sınırlamaktadır. “Ağaç Malzeme Modifikasyon Yöntemleri” ile ağaç malzemenin bu olumsuz özelliklerini en aza indirgeme çalışmaları yapılmaktadır. Fiziksel ve kimyasal yönden etkili ağaç malzeme modifikasyonları uygulanarak ağaç malzemenin özelliklerinde iyileştirme yapılmaktadır. Fiziksel ağaç malzeme modifikasyonların-dan olan ısıl işlem etkili bir yöntem olarak yüzyıllardır

kullanılmaktadır. Isıl işlem, ağaç malzemenin 100-250 ^{o}C arasında normal atmosfer, azot gazı veya herhangi bir inert gaz ortamında belli bir süre bekletilmesidir. Ağaç malzemenin rutubet alıp vermesini azaltarak oduna boyut stabilizasyonu kazandırmak, ağaç malzemeyi tahrip eden organizmalara karşı biyolojik dayanıklılığı arttırmak, denge rutubet miktarını düşürmek ve permeabiliteyi arttırmak ısıl işlemin hedefleri arasında yer almaktadır [Yıldız, 2002].

Günümüzde ısıl işlem ya da piyasada yaygın olarak bilinen adıyla "ThermoWood" uygulanışı Avrupa'nın birçok ülkesinde değişik isim ve yöntemle gerçekleştirilmektedir. Bunlar; ağaç malzemenin ısıtılması için buhar kullanılan Finlandiya (ThermoWood) yöntemi, Hollanda buhar ve sıcak havanın birlikte kullanıldığı Plato yöntemi, Fransız (Rectification) inert gaz kullanılan yöntem ve sıcak yağ kullanılan Alman (OHT) yöntemidir. Bunlarla birlikte çoğu önemli; teorik ve bilimsel çalışmalar Finlandiya Teknik Araştırma Merkezi (VTT) tarafından yapılmıştır. Uygulama ile ilgili araştırmalar Çevre Teknoloji Enstitüsünde (IET) devam etmektedir. Günümüzde ise yaygın olarak kullanılan ThermoWood yöntemidir [Özçifçi, 2009].

Problemin Tanımlanması

Tarih boyunca insanlar ağaç malzemeyi dekoratif ve akustik özelliklerinin üstün olmasından dolayı, tiyatrolarda, opera ve konser salonlarında, toplantı ve konferans salonlarında yapı akustiğini düzenlemede önemli derecede kullanmışlardır. Önceleri masif ahşap olarak kullanılan ağaç malzeme, gelişen ekonominin ve tekniklerin etkisiyle yeniden yorumlanarak, ahşaptan kompozit malzemeler elde edilmeye başlanmış, kullanım alanı genişlemiş ve esneklik kazanmıştır. Bunun yanında yapıştırma teknolojisinin gelişmesine paralel ahşap esaslı malzeme çeşitliği artmış ve mimari anlayış belirli ölçüde özgürlük kazanmıştır.

Yapı akustiğinin sağlanmasında mimari tasarımın ardından en önemli olgu hacim içinde kullanılacak yapı malzemelerinin seçimidir. Hem dekoratif olması hem akustik özelliklerinin yanı sıra şekil ve form olarak istenilen özelliklerin

verilebilmesi ağaç malzemeyi tercih edilir kılmaktadır. Masif ahşap olarak kullanılabilmesinin yanı sıra, değişik ölçülerde ve özelliklerde imal edilebilen ahşap esaslı malzeme olarak da kullanılabilmektedir.

Akustiğin esas amacı işlevsel sesin iyi duyulmasını sağlamaktır. Bunun için ses yutucu, yansıtıcı ve saçıcı malzemelere ihtiyaç duymaktadır. Ağaç malzeme bu üç işlevi de aynı anda yerine getirebilmektedir. Gelişen teknoloji ile malzeme üzerinde farklı işlemler yaparak bu üç temel özelliklerden birini arttırabilmekte dolayısıyla aynı ağaç malzemeye değişik şekil ve formlarda farklı amaçlarda kullanılabilmektedir.

Ağaç malzeme, tüm bu özelliklerinin yanı sıra, organik yapısı nedeni ile de rutubet alıp vererek boyutlarını değiştirmesi, kolay tutuşması ve mantar ve böceklere karşı yetersiz dayanımı gibi olumsuz özellikleri bulunmaktadır. Hem iç mekanlarda hem de dış mekanlarda kullanım yeri bulunan ağaç malzemenin bozulması, bozulan malzemenin yerine konulmasının maliyetinin yüksek olması ağaç malzemenin korumaya alınmasını gerekli kılmıştır. Her ne kadar, ağaç malzeme sahip olduğu anatomik ve kimyasal yapısı nedeni ile bazı dış etkilere karşı yeterli dayanıklılığı ve direnci gösterecek doğal dayanıklılığa sahip olsa da, açık hava ve kullanım şartlarına uzun süre dayanamaz [Kurtoğlu, 1984].

Hipotez

Ağaç malzeme herhangi bir işlem ile muamele edilmediği takdirde biyotik ve abiyotik faktörlerin etkisinde kalarak değişimlere uğramaktadır. Uzun süreli periyotlar içerisinde gerçekleşen bozunumlar (degradasyon) ağaç malzemenin yüzeyinde renk değişimi ile başlar ve bu değişimler ileri aşamalarda fiziksel, kimyasal ve anatomik yapılarda da görülür [Kurtoğlu, 2000].

Isıl işlem görmüş ağaç malzeme hem nemli iç mekan koşullarında hem de dış mekanlarda, duvar kaplaması, cephe kaplaması, yer döşemesi, lambri, banyo ve sauna gibi uygulamalarda gittikçe genişleyen kullanıma sahiptir. Isıl işlem görmüş

ağaç malzemenin fiziksel ve mekanik özellikleri, malzemenin bu kullanım alanlarındaki performansını etkilemektedir. Elastikiyet modülü, eğilme direnci ve basınç direnci gibi mekanik özellikler yük taşıyıcı yapı elemanları için önemlidir. Boyutsal stabilizasyon ise duvar kaplamaları, sauna, banyo ve bahçe mobilyaları gibi rutubetli ortamlarda kullanılan ağaç malzeme için önemli bir faktördür. Bu nedenle bu özellikler çeşitli çalışmalara konu olmuştur. Ağaç malzemenin ısıl işleme tabi tutulması birden çok amaca yönelik olabilir. ThermoWood yöntemiyle ağaç malzemenin rutubet alıp vermesini en aza indirmek yani boyut stabilitesi kazandırmak, tahrip edici organizmalara karşı odunun biyolojik dayanaklılığını arttırmak, denge rutubet miktarını düşürmek, permeabiliteyi arttırmak, CCA ve CCB gibi emprenye maddelerinin ve boyama-vernikleme gibi üstyüzey işlemlerinin performansını yükseltmek mümkün olabilmektedir [Özçifçi, 2001; Doruk, 2009; Yıldız; 2002].

Çalışmanın Amacı

Bu çalışmada; yüz katmanlarında ısıl işlemsiz ve ısıl işlemli (185 ^{o}C' de 2 saat) sarıçam (*Pinus sylvestris* Lipsky) ve iroko (*Chlorophora excelsa*), orta katmanda Uludağ göknarı (*Abies bommulleriana* Mattf.), yapıştırılmasında çift bileşenli Polivinil asetat (*PVAc-D4*) tutkalı kullanılarak, ısıl işlemli ve ısıl işlemsiz lamine paneller elde edilmiştir.

Ahşap lamine paneller ve endüstriyel levhalardan TS 64-5 EN 622-5' e uygun 18 mm kalınlığındaki orta yoğunlukta lif levha' nın (MDF) bazı fiziksel ve mekanik (yoğunluk, rutubet, kalınlığına genişleme miktarı, ısı iletkenlik katsayısı, ses yutma katsayısı, eğilme direnci, eğilmede elastiklik modülü, yüzeye dik çekme direnci ve yüzeyden vida tutma direnci) özelliklerinin belirlenmesi ve birbirleri ile karşılaştırılması amaçlanmıştır.

2. GENEL BİLGİ

2.1. Çalışmada Kullanılan Ağaç Malzemeler

Bu çalışmada ağaçişleri ve mobilya endüstrisinde yaygın olarak tercih edilen iğne yapraklı ağaçlardan sarıçam (*Pinus sylvetsris* L.), Uludağ göknarı (*Abies bommulleriana* Mattf.) ve tropik bölge ağaçlarından iroko (*Chlorophora excelsa*) odunları kullanılmıştır. Ağaç malzemelere ait bilgiler aşağıda verilmiştir.

2.1.1. Sarıçam (*Pinus sylvetsris* L.)

Diri odunu geniş (yarıçapın üçte biri kadar), sarımsı veya kırmızımsı beyaz, öz odunu ise açık kırmızımsı kahve renklidir. Radyal kesitte yaz odunu birbirine paralel şeritler halinde görülür. Yıllık halka sınırları çok belirli ve hafif dalgalıdır. Radyal ve teğet kesitleri parlak, sık ve geniş reçine kanalları olan yumuşak odunlu bir ağaç türüdür [Örs ve Keskin, 2001].

Sarıçam odununun fiziksel ve mekanik özellikleri Çizelge 2.1' de verilmiştir.

Çizelge 2.1. Sarıçam odununun fiziksel ve mekanik özellikleri [Bozkurt ve Erdin, 2000]

Yoğunluk	D_0	0.49	gr/cm^3
	D_{12}	0.52	gr/cm^3
Daralma yüzdesi	β_r	4.0	%
	β_t	7.7	%
	β_v	12.1	%
Elastikiyet modülü	E-Mod	11.700	N/mm^2
Eğilme direnci	σ_e	98	N/mm^2
Çekme direnci	$\sigma_ç$//	102	N/mm^2
Basınç direnci	σ_b//	54	N/mm^2
Dinamik eğilme direnci	a	0.39	kN/cm^2

Kolay kurutulur, çatlamaya ve dönüklüğe eğilimi azdır. İyi işlenir ve yapıştırılır. Yüzey işlemlerinde reçine sızıntısı nedeniyle güçlük çıkar. Güç cilalanır. Öz odunu çok dayanıklıdır. Diri odununa mantar ve böcekler arız olabilir. Odununun rutubeti

% 25' den fazla olduğu durumlarda ve 20–25°C' lerde mavi renk oluşumu görülür. Öz odun güç diri odun çok iyi emprenye edilebilmektedir [Bozkurt ve Erdin, 2000].

2.1.2. İroko (*Clorophora excelsa*)

Diri odun 5-10 cm genişlikte, sarımsı beyaz ile gri renkte, öz odun başlangıçta grisarı ile açık kahverengi olup daha sonra altın sarısı ile kahverengine dönüşür. Tekstür; orta ile kaba fakat yeknesak yapıda, kaba iğne çizikli, lif yapısı girift, bazen düzensiz, yer yer kalsiyum karbonat birikimleri vardır ve dekoratiftir. Yıllık halka sınırları, traheler ve boyuna paranşimler çıplak gözle, öz ışınları ise lup altında görülebilir [Bozkurt ve Erdin,2000].

İroko odununun fiziksel ve mekanik özellikleri Çizelge 4.2' de verilmiştir.

Çizelge 2.2. İroko odununun fiziksel ve mekanik özellikleri [Bozkurt ve Erdin, 2000]

Yoğunluk	D_0	0,64	gr/cm^3
	D_{12}	0,69	gr/cm^3
Daralma yüzdesi	β_r	2,8	%
	β_t	3,8	%
	β_v	8,8	%
Elastikiyet modülü	E-Mod	13.500	N/mm^2
Eğilme direnci	σ_e	150	N/mm^2
Çekme direnci	$\sigma_ç$//	140	N/mm^2
Basınç direnci	σ_b//	81	N/mm^2
Dinamik eğilme direnci	a	0,60	kN/cm^2

Diri odun mantar ve böceklere karşı hassas, öz odun mantar, termit ve deniz hayvanlarına karşı dayanıklıdır. Diri odun kolay, öz odun son derecede güç emprenye edilir [Bozkurt ve Erdin, 2000].

Kaba tekstürlü olması nedeniyle boyama ve cilalamadan önce dolgu maddesi ile yüzeyler işlem görmelidir. Yağlı astar ve alkid reçineli vernikleme işlemlerinden kaçınılmalıdır. Tüller ve kalsiyum karbonat birikimleri nedeniyle yapıştırma güçtür, sentetik tutkallar kullanılmalıdır. Kerestesi genellikle boyama yapmadan kullanılır [Göker ve Kurtoğlu, 1987].

Dekoratif üst yüzey kaplamalarında kesme kaplama levha olarak, mobilya, parke yapımında, binalarda iç ve dış kısımlarda, kapı, pencere imalinde, küçük gemi, vagon, köprü yapımında, travers, kimyasal madde kapları, laboratuvar masaları, bahçe mobilyası, tornacılık ve oymacılıkta kullanılır [Bozkurt ve Erdin, 2000].

2.1.3. Uludağ göknarı (*Abies bommulleriana* Mattf.)

Diri ve öz odun renk farkı yok, odun rengi sarımsı beyaz ile gri beyaz, yıllık halka sınırları belirgin. İlkbahar odunundan yaz odununa geçiş yavaş. Öz ışınları çok ince, makroskopik olarak görülmez. Doğal reçine kanalı yok. Odunu yumuşak ve oldukça hafiftir. Traheid çapı 25–65 μm, uzunluğu 3400–4600 μm, öz ışınları tek sıralı ve homojendir. Karşılaşma yeri geçitleri 2–4 adet ve taxodioid tiptedir. Kenar hücrelerinde dikdörtgen kesitli kristaller vardır. Yaz odununda piceoid tipte geçide rastlanabilir. Doğal reçine kanalı yoktur [Bozkurt ve Erdin, 2000].

Uludağ göknarı odununun fiziksel ve mekanik özellikleri Çizelge 4.3' de verilmiştir.

Çizelge 2.3. Uludağ göknarı odununun fiziksel ve mekanik özellikleri[Bozkurt ve Erdin, 2000]

Yoğunluk	D_0	0,4	gr/cm^3
	D_{12}	0,43	gr/cm^3
Daralma yüzdesi	β_r	4,3	%
	β_t	8,6	%
	β_v	13	%
Elastikiyet modülü	E-Mod	8.300	N/mm^2
Eğilme direnci	σ_e	73	N/mm^2
Çekme direnci	$\sigma_ç//$	62	N/mm^2
Basınç direnci	$\sigma_b//$	37	N/mm^2
Dinamik eğilme direnci	a	0,26	kN/cm^2

İşlenme özeliği iyidir, Kurutulabilme özeliği orta seviyede, Dayanıklılık az ve emprenye edilebilme güçlükle yapılabilir. Göknar ağacı genellikle endüstride; kaplama, kontrplak, ambalaj malzemesi, yapı malzemesi, mobilya, doğrama, lif ve yonga levha, selüloz ve kağıt, müzik aletleri, ağaç kabuğu olarak kullanılabilmektedir [Bozkurt ve Erdin, 2000] .

2.2. Ses

2.2.1. Sesin tanımı

Ses, insan kulağında işitsel duyulanma uyandıran maddesel ortamdaki basınç değişimlerdir [Karabiber, 1992]. Bir başka tanımla ses, fiziksel olarak bir basınç altında elastik bir ortamdaki parçacıkların yer değiştirmesidir. Titreşim olarak belirtilen bu olayın insan kulağında yarattığı etkiler insanın sesi algılaması olarak görülebilir. Bir enerji olarak açıklanan ses, ortamın özgül ağırlığına, esnekliğine ve koşullarına bağlı olarak değişim göstermektedir. Sesin bir noktadan ötekine iletimi için elastik bir ortamın varlığı gereklidir [Demirkale, 2007].

Sesin yayılma hızı, frekansı, dalga boyu ve şiddeti, sesi tanımlanabilir kılan özellikleridir. Sesin yayılma hızı (m/sn), çeşitli ortamlarda molekül düzenlerinin farklı olmasından ötürü, malzemenin elastiklik modülüne (N/mm^2) ve birim ağırlığına (gr/cm^3) bağlı olarak değişim göstermektedir. Ayrıca ortamın sıcaklığı da sesin yayılma hızı üzerinde etkili olmaktadır.

Ses, küresel bir dalga hareketidir ve hareket halindeki bir cisimden oluşarak titreşime dönüşmüş molekül hareketlerinin belli bir şiddet ve frekans sınırları içerisinde belirginleşen ve kulağımıza işitme hissi doğurur.

Bir titreşimde ses alanının iletildiği ortamın parçacıkları, periyodik (devinsel) hareketler yaparlar. Bu hareketler basit ya da karmaşık olabilir. Hatta periyodik olmadıkları durumlar da vardır. Bu durumda, ses terimi yerine gürültü terimi kullanılır. Titreşim sonucunda ortaya iki tür dalga çıkar. Diğer bir deyişle, titreşimler, kütlesel parçacıkların, dalganın yayılma yönündeki yer değiştirmelerine bağlı olarak karakterize edilmiştir [Kurra, 1984].

Boyuna Dalgalar: Titreşen parçacık, dalganın yayıldığı doğrultuya paralel olarak hareket ettiği zaman oluşur.

Enine Dalgalar: Parçacık, yayılma doğrultusuna dikey olarak titreştiği anda ortaya çıkan dalgalara denilmektedir. Bu türde boyuna dalgaların tersine, basınç oluşturan kuvvet, yayılma doğrultusuna dik etki etmektedir.

Frekans

Doğadaki birçok dalga tek bir dalgacıktan değil, her biri bir önceki dalgacığı sabit bir zaman aralığında takip eden dalgacık serilerinden oluşur. Birim zamanda üretilen dalgacık miktarına frekans denir [Demirkale, 2007].

Frekans "*f*" harfi ile gösterilir. Frekansın birimi "*Hertz*" *Hz*'dir. 1 Hertz saniyede bir titreşimdir. İşitebileceğimiz frekans aralığı 16 – 16.000 *Hz*' dir. Frekansı 16 Hz'in altındaki titreşimlere sesaltı, 16.000 *Hz* üstü olanlara ise sesüstü titreşimler denir. Kulağın en duyarlı olduğu frekans aralığı 1.000 – 4.000 *Hz*' dir. Konuşmanın anlaşılır olması için 1.000 – 2500 *Hz* arasındaki frekanslar yeterlidir. Duyduğumuz sesler genellikle birbiri üstüne binmiş birçok frekanstan oluşur. Bunların içindeki en düşük frekansa temel frekans (fundemental ton) denir. Frekans yükseldikçe saniyedeki titreşim sayısı artar. Ses incelir [Karabiber, 1992].

Devir

Bir partikülün tamamladığı devre devir denir. Bir saniyede tamamlanan devir sayısına frekans denir. Devir süresi "*T*" harfi ile gösterilir. Devir süresinin birimi saniyedir [Demirkale, 2007].

Oktav Bant

Ses analizlerinde incelenecek frekans aralıklarına oktav bandı denir. Bandın üst limit frekansı alt limit frekansının iki katına eşittir. Her oktav bandında çok sayıda frekans vardır. Alçak frekansların özellikleri çok sık aralıklarla değiştiğinden alçak frekansların oktav bandlarında frekans sayısı az, yüksek frekanslı oktav bandında frekans sayısı fazladır. Her oktav bandında çok sayıda frekans bulunmaktadır. Bu

frekansları temsil etmek için merkez frekanslar bulunur. Merkez frekanslar bandın aritmetik değil geometrik ortalamasını verirler [Demirkale, 2007].

Oktav bandları ve merkez frekansları Çizelge 2.4' de verilmiştir.

Çizelge 2.4. Oktav Bandlar ve Merkez Frekansları [Demirkale, 2007]

Alt Sınır Frekansı (f_1)	Üst Sınır Frekansı (f_2)	Merkez Frekans (f)
22	44	31,5
44	88	63
88	177	125
177	354	250
354	707	500
707	1414	1000
1414	2828	2000
2828	5656	4000
5656	11312	8000
11312	22624	16000

Oktavlar için katsayı değerleri aşağıda verilmiştir.

$n = 1$ 1 oktav bant için,

$n = 1/3$ 1/3 oktav bant için,

$n = 1/10$ 1/10 oktav bant için.

Yüksek frekanslı sesler "ince" veya "tiz" ses olarak, alçak frekanslı sesler ise "kalın" veya "pest" olarak adlandırılır. Tek bir frekanstan oluşan sesler "saf ton" veya "arı ses" olarak adlandırılır ve düzgün bir sinüs eğrisi ile tanımlanmaktadır [Karabiber, 1992] .

Dalga Boyu

Titreşim hareketinin bir devir süresi boyunca aldığı mesafeye verilen addır. Dalga boyu "λ" harfi ile gösterilir. Birimi metre (*m*)'dir. Hem titreşim hareketinin özellikleri, hem de ortamın özellikleri ile bağlantılıdır [Karabiber, 1992].

2.2.2. Ses ile ilgili büyüklükler

Ses şiddeti

Bir noktadan kaynaklanan ses dalgası, serbest alanda giderek büyüyerek, küresel olarak yayılır. Ses alanı içinde verilen bir noktada, belirli bir doğrultu içindeki birim alandan geçen akustik gücün ortalama miktarına ses şiddeti denir. Simgesi *I*, birimi (*Watt/m²*)' dir [Karabiber, 1992].

Ses şiddeti, kimi doğrultularda enerji akımı olduğu halde, kimi doğrultularda olmayabilir. Bu nedenle doğrultunun belirlenmesinde yarar vardır. Hem niceliğinin hem de doğrultusunun olması, ses şiddetinin vektörel bir büyüklük olması sonucunu doğurur. Ses şiddeti genellikle, içinde ses enerjisi akımı olan, belirlenmiş bir alana dik doğrultuda ölçülür. Kimi durumlarda enerji ileri ya da geri hareket ediyor olabilir. Bu durumda ses şiddeti ölçülemez. Net enerji akımı yoksa, net şiddet de yoktur [Karabiber, 1992].

19. Yüzyıl Alman bilim adamları, Ernst Weber ve Fustav Fechner' in çalışmalarına göre bütün duyular kaynağın şiddetinin logaritmasıyla orantılıdır. Belirli bir şiddetteki sesin ses şiddeti düzeyi *IL* olarak ifade edilir, birimi Alexander Graham Bell'in soyadı olan "*bel*" 'dir [Karabiber, 1992].

Ses basıncı

Ses dalgaları hava moleküllerini titreştirir. Hava moleküllerinin titreşimi ile atmosferik basınçta oluşan değişime ses basıncı denir. Bir ses kaynağının yakınındaki bir gözlem noktasında, ses dalgalarının geçişinden önce, hava basıncına (*P*) eşit olan, durağan bir basınç vardır. Ses dalgaları, gözlem noktasından geçerken, yol açtıkları ilave basıncın (akustik basınç) simgesi "*p*" ve birimi pascal (*Pa*) ya da mikro bar (μbar)'dır. Akustik basınç hava basıncının üzerine eklenir. [Karabiber, 1992].

Ses basıncı, kulakta ses duyumunu oluşturur. İnsan kulağı tek bir sesin basıncını değerlendiremez. Ancak bir başka ses ile karşılaştırarak hangisinin daha yüksek olduğuna dair karar verebilir. Kullanılan birime göre ölçülen ses basınçları çok geniş bir sayı aralığını kapsadığından ve kulağın bunları ayırt etmedeki duyarlığı fazla olmadığından, söz konusu değerlerin ifadesi için logaritmik bir ölçek kullanılmaktadır. Buna göre ses basınç düzeyinin (*SPL*) birimi desibeldir (*dB*). [Lawrence, 1992].

Ses gücü

Ses gücü ise akustik enerjinin yayılım (emisyon) hızıdır. Gücün birimi olan Watt, saniyede 1 joule'luk enerji üretimi yapan güç olarak tanımlanır. Bir ses kaynağı, ses gücü yayımlar ve bunun sonucunda ses basıncı oluşur [Karabiber, 1991].

İşittiğimiz şey, kaynağın yayımladığı ses gücünün yol açtığı ses basıncıdır. Mimari akustikte karşılaşılan ses kaynaklarının ses gücü genelde oldukça düşüktür. Ses gücü genelde Watt ya da pikowatt (1 pikowatt = 10-12 Watt) cinsinden gösterilir [Karabiber, 1991].

Anlık güç (ses enerjisinin herhangi bir andaki yayımlanma hızı) çok değişkendir. Herhangi bir zaman aralığındaki maksimum değere, uç gücü adı verilir. Ortalama güç genelde uç gücün çok altındadır ve ortalamanın alındığı zaman aralığı ile ortalamanın alınma biçimine bağlıdır [Karabiber, 1991].

2.2.3. Sesle ilgili fiziksel olaylar

Sesin doğması, yayılması, yansıması, kırılması, yutulması ve geçişi ses ile ilgili fiziksel olaylardır.

Sesin Doğması

Sesin doğması, mekanik ya da fiziksel olaylar sonucu başka bir cins enerjinin ses enerjisine dönüşerek ses titreşimlerinin elde edilmesi olarak açıklanmaktadır [Everest, 1994].

Sesin doğması, aşağıdaki yollar ile olmaktadır:

- Titreşim yapan katı cisimler: Yaylı çalgılar, telli çalgılar, vurgulu çalgılar, hoparlör ve telefonlar
- Titreşim yapan hava sütunları: Nefesli çalgılar
- Hava içinde hızla yer değiştiren cisimlerin ya da aralıklardan hızla geçen havanın doğurduğu hava burgaçları: Kapı ve pencere aralıklarında uğuldayan rüzgar, türbinli uçak vb.
- Birdenbire olan basınç değişimleri: Patlamalar, şimşek, yıldırım gürültüleri vb. [Sirel, 1974].

Sesin Yayılması

Sesin yayılımı, ortamın geometrik özelliklerine bağlı olarak üç şekilde gerçekleşmektedir.

- Düzlem dalgalarla: Yapılarda uzun koridorlar, aydınlık ve asansör boşlukları, havalandırma kanalları gibi boyutlardan biri diğerinden en az 10 katı olan hacim ve yapı elemanlarında meydana gelen yayılma şeklidir. Bu gibi ortamlarda ses ya ortam içinde doğar ya da dışarıdan bu ortama girer. Her iki durumda da ortamın geometrik özelliğinden dolayı küresel ses dalgaları düzlem dalgalara dönüşür. Yani düzlem dalgalar halinde yayılan sesin yeğinliği, çeşitli yutulmalar bir yana bırakılırsa, kaynaktan uzaklaşıldıkça geometrik nedenlerle azalmayıp hep aynı kalır. Bu cins yayımlarda ses yeğinliği düzeyinde, yutulma dışında değişiklik görülmez.

- Düzleme yakın karmaşık dalgalarla: Yapılarda zemin döşemeleri, tavan döşemeleri ve duvar gibi boyutlarından biri ötekilerin en çok onda biri olan ortamlarda meydana gelen yayılma şeklidir. Bu elemanlarda ses enerjisi geometrik nedenlerle çok dağılmaksızın uzağa az bir kayıpla ulaşabilmektedir.
- Küresel dalgalarla: Ses, küresel dalgalar ile sınırsız ortam (açık hava) ve sınırlı ortamlarda (kapalı mekanlar) yayılır. Üç boyutlu olarak niteleyebileceğimiz ortamlarda sesin yayılması sınırsız ortamlar ve sınırlı ortamlarda farklılıklar gösterir.

  Üç boyutlu sınırsız ortamda ses kaynağının özeliklerine göre küre, küre parçaları ya da bunlara yakın şekillerdeki dalgalar halinde yayılacağından ses enerjisinin birim yüzeye düşen bölümü kaynağa olan uzaklığın karesiyle azalır.

  Açık havada sesin yayılmasında, rüzgar ve sıcaklığın etkisi ile sesin yayılış doğrultusundaki doğru ya da eğrilere ses ışınları; bu ışınlara dik yüzeylere ise dalga alnı adı verilir.

  Yapı akustiğinde üç boyutlu sınırlı ortamlardan yapıların içindeki çeşitli hacimler anlaşılır. Sesin yayılma hızı bu gibi hacimler içinde ortalama 345 m/sn'dir. Normal boyutlu hacimlerde, ses peş peşe yansımalar sırasındaki yutulmalarla sönüp gidinceye kadar çok defa yansıyacaktır. Böylece kapalı hacimlerde yayınık ses alanı doğar. Bu alan, hacmin küçüklüğü oranında daha yayınık olur. Çok büyük kapalı hacimlerde yayınıklık azalır. Yayınıklığın en önemli özelliklerinden biri, ses alnının doğrultusuz oluşu başka bir deyişle, ses kaynağının yeri ve duruşuyla ilgili olmayışıdır. Bunun sonucunda yayınık alanda, ses yeğinliğinin bütün noktalardaki yayınıklık oranı aynı olur. Yani kapalı bir hacimde ses o hacmi doldurur. Bütün noktalarıyla yaklaşık olarak belirli bir ses düzeyi meydana getirir. Bu düzey, ses kaynağının yayınladığı ses enerjisi ile hacmin bütün yutucu yüzeylerinin yuttuğu ses enerjisi arasında dengeyi gösterir [Sirel, 1974].

Sesin hacim içinde yayılması; yüzeylerde, girinti ve çıkıntı ya da malzeme farklılıkları gibi düzensizlikler ve ses saçıcı elemanların bolca kullanılması, ses

yansıtıcı ve yutucu yüzeylerin ardışık düzenlenmeleri ve ses yutucu malzemelerin gelişi güzel, düzensiz dağılımı gibi pek çok yolla sağlanabilir. Hacim içinde yer alan yüzey düzensizlikleri, yayması gereken ses dalga boylarının en az 1/7'si kadar olmalıdır [Doelle, 1972].

Sesin yansıması

Ortamda yayılan ses herhangi bir elemana çarptığında, enerjisinin bir kısmı o eleman tarafından yutulur, diğer bir kısmı yansıma kurallarına göre yansır. Sesin yansıması çoğu zaman ışığın yansımasına benzetilir. Yansıma, düzgün ya da yayınık olur. Yansıtıcı yüzeyin girinti ve çıkıntıları, pürüzleri, pütürleri, yani düzgünsüzlükleri yüzeye gelen ışınımın dalga boyundan küçükse yansıma düzgün olur. Yansıtıcı yüzeyin düzgünsüzlüklerinin boyutları yüzeye gelen ışınımın dalga boyu ölçülerinde ya da daha büyükse yansıma yayınık olur. Yayınık yansımada, yansıyan ışınım gelen ışınımın doğrultusuyla bazen az ilgili olan bazen de hiç ilgili olmayan birçok doğrultulara dağılır [Sirel, 1974].

Ses yansımasının insanda duyumlanması yankı ya da ses uzama şeklinde belirir. Yankıya göre ses yansımaları üç şekilde oluşur:

- Ses kaynağından doğrudan doğruya kulağa gelen ses ile, aynı ses kaynağından yansıyarak kulağa ulaşan sesin arasındaki uzaklık farkı 14 metreden az ise duyulanan ses, çınlama şeklinde,
- Bu uzaklık 17 metre ya da 50 milisaniye farklı ise duyumlanan ses uğultu şeklinde,
- Uzaklık farkı 22 ile 34 metre arasında ise duyumlanan ses, sesin şekline göre yankı ya da ses uzaması şeklinde oluşur.

Hacim akustiğinde yankı mutlak önlenmesi gereken bir olay olmakla beraber ses uzaması yararlanabilecek bir etkendir [Özer, 1979].

Sesin kırılması

Sesin kırılması, ses dalgalarının bir engel nedeniyle yön değiştirmeleridir. Kırılma şekli engelin boyutları ile dalga boyuna bağlıdır. Küçük bir delikteki ses kırılmasında; delik, küresel yayılan ses dalgalarının merkezi olarak yeni bir ses kaynağı durumuna geçer. Kırılma büyük oranda dalga boyuna bağlıdır. Konuşulan bir ortamda kalın sesler her tarafa yayılır, ince sesler ise daha çok konuşma doğrultusunda yoğunlaşır [Yücel, 1987].

Sesin yutulması (absorpsiyonu)

Bir ses dalgasının bir akustik materyale çarpmasıyla, materyalin ses yutma performansına bağlı olarak yutulmuş ve yansıtılmış bir enerji meydana gelecektir. Gelen enerjinin %45' inin yutulması ve gelen enerjinin %55' inin ise yansıtılması durumunda, ses yutma katsayısı (α) 0.45 olacaktır. Açık bir pencere gelen tüm enerjinin pencerenin diğer tarafına aktarıldığı, sonuç olarak da α = 1.0 olduğu mükemmel bir ses yutucu örneğidir. Açık bir pencerenin bir metrekaresi 1 Sabine ses yutumu oluşturacaktır. Materyal empedansı havanın (ortamın) karakteristik empedansına eşitse, maksimum ses yutumu meydana gelecektir. Dolayısıyla, akustik materyal tarafından yutulan enerji miktarı materyal empedansına (Z_c) bağlıdır. Bir akustik materyalin ses yutması, materyale çarpan ses dalgalarının frekansı ve geliş açısına göre farklılık göstermektedir [Everest, 1994].

Ses yutulmasının tersi ise ses yansımasıdır. Geometrik veya speküler bir yansımanın meydana gelmesi için yansıtıcı yüzeyin gelen enerjinin dalga uzunluğundan daha büyük olması gerekmektedir. Ancak, Leonard ve arkadaşları (1964) tarafından yapılan çalışmada, speküler bir yansımanın meydana gelmesi için minimum panel boyutunun 30 x λ olması gerekir. Panel boyutunun 10 x λ civarında olması durumunda, bir miktar kırılma meydana gelecek, panel boyutunun 5 x λ değerinden az olması durumunda ise gelen enerji kırılacaktır.

Bir ses dalgası duvara çarptığında, enerjisi üç bölüme ayrılır. Duvar üzerindeki gelen ses E_i, enerji dalgasına sahipse, E_r ses enerji bölümü geri yansıtılırken, enerjinin E_a bölümü duvarda yutulur. Geri kalan enerji E_t ise Şekil 2.1'de gösterildiği gibi duvarın diğer tarafına iletilmektedir. Bu fenomenler Eş. 2.1' deki şekilde ifade edilebilir [Maekawa ve Lord, 1994a].

$$E_i = E_r + E_a + E_t \tag{2.1}$$

Ses yutma katsayısı α ise Eş. 2.2' deki şekilde tanımlanır:

$$\alpha = \frac{E_i - E_r}{E_i} = \frac{E_a + E_t}{E_i} \tag{2.2}$$

Burada;

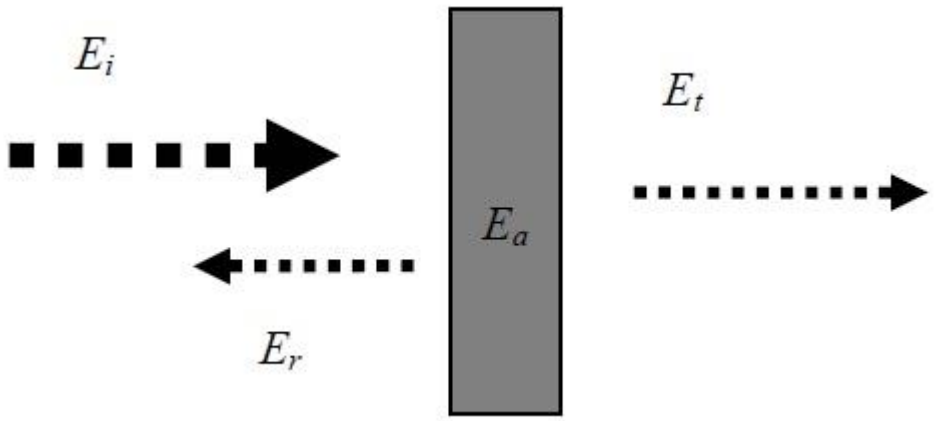
E_i : Gelen ses enerjisi

Er : Yansıyan ses enerjisi

Ea : Yutulan ses enerjisi

Et : Geçen ses enerjisi

Yukarıdaki denklem enerjinin yansıtılmayan kısmının tamamen yutulmuş olarak kabul edildiğini göstermektedir.



Şekil 2.1. Yansıma, yutma ve iletme [Maekawa ve Lord, 1994a].

Ses yutma (absorpsiyon) katsayıları

İki ortam arasındaki sınır düzleminin oldukça büyük olduğunu varsaydığımızda 1. ortamda hareket eden bir düzlemsel ses dalgası Şekil 2.2' de gösterildiği gibi hareket eder. Burada, yansıtılan ve iletilen ses arasındaki ilişki aşağıda verildiği şekilde elde edilir. P_i gelen ses basıncı, P_r yansıtılan ses basıncı ve $V= P/Z$, $Z_1 = \rho_1.c_1$ ve $Z_2 = \rho_2.c_2$ iken iken yansıtılan ve iletilen ses arasındaki ilişki Eş. 2.3, Eş. 2.4 ve Eş. 2.5' deki gibidir [Maekawa ve Lord, 1994].

$$P_t = P_i + P_r \tag{2.3}$$

$$V_t = V_i + V_r \tag{2.4}$$

$$\frac{P_i}{Z_1} = \frac{P_r}{Z_1} = \frac{P_t}{Z_2} \tag{2.5}$$

İki ortam arasındaki ses yutma katsayısı ile ses basıncı yansıma katsayısı arasındaki ilişki Eş. 2.6 ve Eş. 2.7' deki şekilde verilmiştir:

$$\alpha = 1 - \frac{E_r}{E_i} = \frac{|P_r|}{|P_i|} = \frac{(Z_2 - Z_1)^2}{(Z_2 + Z_1)^2} \tag{2.6}$$

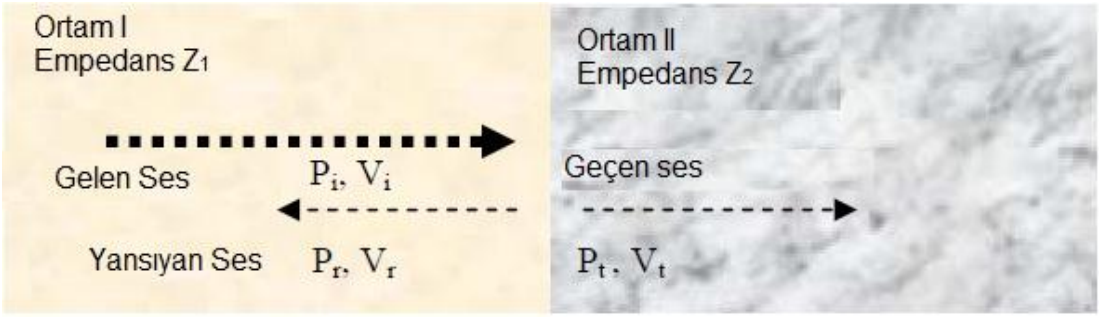
Dolayısıyla,

$$\alpha = 1 - \frac{E_r}{E_i} = 1 - |r_p|^2 = 1 - \frac{(Z_2 - Z_1)^2}{(Z_2 + Z_1)^2} \tag{2.7}$$

Z_2 ortamının açık bir pencere olduğunu ve $Z_1 = Z_2$ olduğunu kabul edersek, bu durumda Sabine cinsinden tanımlanan açık pencerenin α katsayısının doğrulaması olarak α 1,0' a eşittir. Sabin cinsinden tanımlandığı gibi, ses yutma katsayısı yansıtılmayan ses yoğunluğu ile gelen ses yoğunluğu arasındaki orana eşittir. Sabine

(α) enerji kaybı katsayısı (δ) ve iletim katsayısı (τ) olmak üzere iki bileşenden oluşmaktadır ve Eş. 2.8' deki gibidir [Cremer ve Muller, 1982].

$$\alpha = \delta + \tau \tag{2.8}$$



Şekil 2.2. İki ortam arasında yansıma ve geçiş [Cremer ve Muller, 1982]

Sabine ses yutma kavramının sadece ses enerjisinin ısı enerjisine dönüşmesi (enerji kaybı) ile sınırlı olmadığı vurgulanmaktadır. Ses yutma, materyalin diğer tarafına iletilen enerjinin de ses yutumunun bir bölümünü oluşturduğu enerji kaybı prosesinin ötesine geçmektedir. Yukarıda verilen Eş. 2.21' deki denkleme göre, sadece enerji kaybı prosesinden veya sadece iletim prosesinden dolayı meydana gelebilecek ses yutumuna ilişkin iki uç örnek bulunmaktadır. Duvara yerleştirilmiş kalın gözenekli materyalde olduğu gibi $\alpha = \delta$ ve açık pencerede olduğu gibi $\alpha = \tau$ [Cremer ve Muller, 1982].

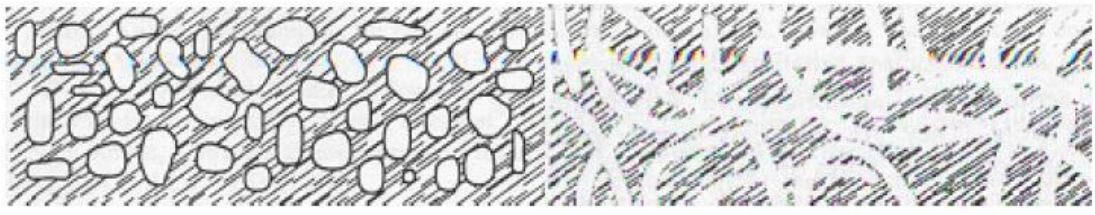
Ses yutucu (absorplayıcı) materyal tipleri

Ses yutucu materyal kullanımının temel amacı, hacimlerdeki Ses Basınç Seviyesini (*SPL*) kabul edilebilir bir seviyeye düşürmektir. Yüksek SPL seviyesi alanların içinde dinleme rahatsızlıkları yaratabilir. Ayrıca, ses yutucu materyal yüzeylerden gelen istenmeyen yansımayı da engelleyebilmektedir. İstenmeyen yansımalar özellikle konuşmaların anlaşılırlığına zarar vermektedir. Direkt sese göre 30 ms ile 50 ms bölgesinde geciken istenmeyen yansımalar yankıya sebep olacaktır. Yankının oluşması konuşma anlaşılırlığında zayıflamaya sebep olur [Maekawa ve Lord, 1994]. Son olarak, kapalı bir mekanda ses yutucu materyal kullanımı mekanlarda

yankılanma (reverberasyon) seviyesini kontrol edebilir. Uygun yankılanma seviyesi konuşma anlaşılırlığının iyi olmasını sağlar. Gözenekli ses yutucu, Helmholtz rezonatör, membran ses yutucu ve delikli panel ses yutucu olmak üzere yukarıda verilen amaçlar için kullanılabilecek dört tip temel ses yutucu materyal mevcuttur ve aşağıda detayları verilmektedir.

Gözenekli ses yutucular (absorplayıcılar)

Gözenekli ses yutucular, kapalı bir odanın akustik düzenlemesinde en yaygın kullanılan materyaldir (Şekil 2.3). Mineral veya selüloz fiberden yapılabilen bu materyaller orta ile yüksek frekans aralığında iyi birer ses yutuculardır. Tipik gözenekli ses yutucular arasında halı, akustik yer döşemeleri, akustik (açık hücreli) köpükler, perde, yastık, pamuk ve mineral yünü gösterilebilir. Fiber açıklıklarla oluşturulan gözeneklilik ses enerjisini tutabilir ve dağıtabilir. Sürtünme direnci değişimi sürtünme ısısında ses enerjisine çarpar ve küçük fiber titreşimlerden dolayı gözenekler içerisinde yapışkanlık kaybı oluşur. Enerjinin ısıya dönüşümü gözenekli bir materyal için en önemli ses yutma mekanizmasıdır. Materyal içerisinde kat edilen mesafeye göre enerji yoğunluğu azalacaktır. Gözenekli fiberin ses yutması, yoğunluk, kalınlık, materyalin arkasındaki hava boşluğu ve yüzey kaplamasından etkilenir [Everest, 1994].



Şekil 2.3. Gözenekli ses yutucu örneği [Everest, 1994].

Yoğunluk değişimlerinin gözenekli materyalin ses yutma performansında çok küçük bir etkisi olduğu bilinmektedir. Gözenekli ses yutucunun kalınlığı arttıkça daha düşük frekanslarda, özellikle 500 Hz' nin altında ses yutması artmaktadır. λ/4 değerinde materyal kalınlığı yüksek frekansta daha yüksek ses yutma performansı

yaratacaktır [Maekawa and Lord, 1994]. Bu da gözenekli materyalin daha düşük frekans aralığında düşük ses yutmaya sahip olması ve daha yüksek frekans aralığında yükselmesinin sebebini açıklamaktadır.

Ses dalgalarının parçacık hızının λ/4 gibi maksimum bir değerde olması durumunda gözenekli materyal hava boşluğu olan bir konumda iken gözenekli materyal için ek ses yutumu sağlanabilmektedir. Akustik kumaş, ince laminasyon veya su bazlı boya gibi akustik açıdan şeffaf yüzey uygulamaları gözenekli fiberin ses yutumunu koruyabilmektedir.

Helmholtz rezonatörü

Düşük frekans aralığında ses yutumu özellikle Helmholtz resonatörü kullanılarak sağlanabilir. Bu resonatörün kalitesi kalite faktörü (*Q*) ile gösterilir. Bu faktör rezonans frekansından itibaren 3 dB olan frekans uyumlaması (tuning) bant genişliğini ifade eder. *Q* kalite faktörü, f_{res} rezonans frekansı ve Δf bant genişliğine eşitken Helmholtz rezonatörün kalite faktörü Eş. 2.9' daki gibi formüle edilmiştir [Everest, 1994].

$$Q = \frac{f_{res}}{\Delta f} \tag{2.9}$$

Helmholtz rezonatörü küçük bir açıklık boğazı olan boşluk içerisinde bulunan bir hava hacminden oluşur. Boşluk içerisinde gözenekli bir fiber olmaması durumunda, Helmholtz rezonatörünün sönümsüz olduğu kabul edilmektedir. Bir Helmholtz rezonatörünün sönümsüz rezonans frekansı Eş. 2.10, Eş. 2.11 ve Eş. 2.12' deki gibi hesaplanabilir [Lawrence, 1970].

M inertansa ve C akustik kapasitansa eşitken;

$$f_{res} = \frac{1}{2\pi\sqrt{M.C}} \tag{2.10}$$

ρ : Havanın yoğunluğu (kg/m^3)

$(L+1.7R)$: Etkin boğaz uzunluğu (m)

$\pi R2$: Açıklığın alanı, (m^2) ve

R : Deliğin yarıçapı iken (m);

$$M = \frac{\rho(L+1.7R)}{\pi R^2} \tag{2.11}$$

C : Akustik kapasitans

V : Haznenin (chamber) hacmi (m^3)

c : Sesin havadaki hızı (m/s)

ρ : Havanın yoğunluğu (kg/m^2) iken;

$$C = \frac{V}{\rho c^2} \tag{2.12}$$

Alternatif olarak, yaklaşık rezonans frekansı (gözenekli fibersiz) Eş. 2.13' deki gibi hesaplanabilir [Lawrence, 1970].

c : Sesin hızı (m/s)

A : Boğaz alanı (m^2)

v : A (L + 1.7R) Boğazın etkin hacmi, (m^3)

V : Haznenin hacmi (m^3) iken;

$$f_{res} = \frac{c.A}{2\pi\sqrt{v.V}} \tag{2.13}$$

Helmholtz rezonatörün resonans frekansındaki ses yutma performansı Eş. 2.14' deki gibi hesaplanabilir:

A : Ses yutumu (m^2 *Sabine*)

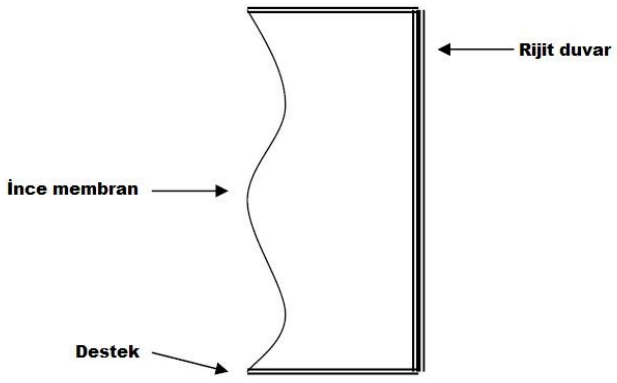
c : Sesin havadaki hızı (m/s) iken;

$$A = 0{,}159\left(\frac{c}{f_{res}}\right)^2 \tag{2.14}$$

Membran ses yutucu (absorplayıcı)

Bir membran ses yutucu veya diyafram ses yutucu düşük frekanslarda ses enerjisini yutmak için kullanılır. Bu düşük frekanslarda titreşerek çalışır. Membranın hızlı bükülme dayanımı yoluyla veya çevrilmiş havanın basınç dayanımından dolayı ses enerjisinin ısı enerjisine dönüşümü gerçekleşir. Uygulamada, bir membran ses yutucu Şekil 2.4' de gösterildiği gibi sert bir duvarın önünde itibaren belli bir mesafede monte edilmiş destekler veya sert paneller üzerinden gerilmiş kontrplak veya kauçuktan yapılmış esnek levhalarla yapılandırılmıştır [Lawrence, 1970].

Uygulamada panelin kendisinde titreşme eğilimi olacağı için sabitleme yöntemi ve panellerin bükülmezliğinin de bir miktar etkisi olabilir [Lawrence, 1970].



Şekil 2.4. Membran yutucu [Lawrence, 1970]

Perfore (delikli) panel ses yutucu

Perfore panel tipik olarak dairesel delikleri bulunan metal, ahşap, plastik vb. delikli sert ince levhadan yapılmaktadır. Perfore panel normalde duvardan belli bir mesafede monte edilir. Duvarın arkasında bir hava boşluğu bırakılır ve bu hava boşluğu daha geniş bir ses yutum aralığı yaratacak şekilde gözenekli fiberler doldurulur [Lawrence, 1970].

Gözenekli panelin rezonans frekansı Eş. 2.15' deki denklem kullanılarak bulunabilir [Lawrence, 1970].

c : Sesin havadaki hızı (*m/s*)
P : Delme oranı (*delik alanı/plaka alanı*)
d : Delikli panelin duvara olan mesafesi (*m*)
L : Delikli panel kalınlığı (*m*)
(L + 1.7R) : Boğazın etkin uzunluğu (*m*)
R : Delik yarıçapı (*m*) iken;

$$f_{res} = \frac{c}{2\pi}\left(\frac{P}{d\left(L+1.7R\right)}\right) \tag{2.15}$$

Perfore panelin ses yutma performansının frekans aralığını genişletmek için, duvarın arkasındaki hava boşluğu gözenekli fiberle doldurulmalıdır. Gözenekli fiber ile duvar arasındaki hava boşluğu korunmalıdır. Perfore panelin kalınlığının ve hava boşluğunun derinliğinin arttırılması rezonans frekansını düşürecektir. Dolayısıyla, hava sahasının derinliğini ve perfore panelin kalınlığını değiştirerek ses yutma performansının frekans aralığı genişletilebilir [Maekawa ve Lord, 1994].

Küçük bir açıklıkla %20'den daha yüksek bir delme oranı gözenekli fiberin ses yutumunu etkilemeyecektir. Ancak, daha düşük bir delme oranı gözenekli fiberin

daha yüksek olan ses yutma performansı frekansını düşürebilir [Maekawa ve Lord, 1994].

Ses yutum katsayısı ölçüm ilkeleri

Bir akustik materyalin ses yutma katsayısını ölçmek için kullanılabilecek iki standart ölçüm tekniği bulunur. Ölçüm tekniği, rasgele ses gelişi veya normal ses gelişi ilkesine dayanmaktadır.

İki teknik kullanılarak ölçülen ses yutma katsayısı farklı sembollerle ifade edilir. α_n normal geliş tekniği kullanılarak ölçülen ses yutma katsayısını gösterirken, α_r rasgele geliş tekniği kullanılarak ölçülen ses yutma katsayısını gösterir.

Normal geliş tekniği

Bu teknik, çapı dalga uzunluğundan daha küçük olan bir tüp gerektirir. Tüpte bir düzlem dalgası normal ses gelişinin meydana gelmesi için ölçüm tüpü Eş. 2.16' daki koşulları karşılamalıdır [Maekawa ve Lord, 1994].

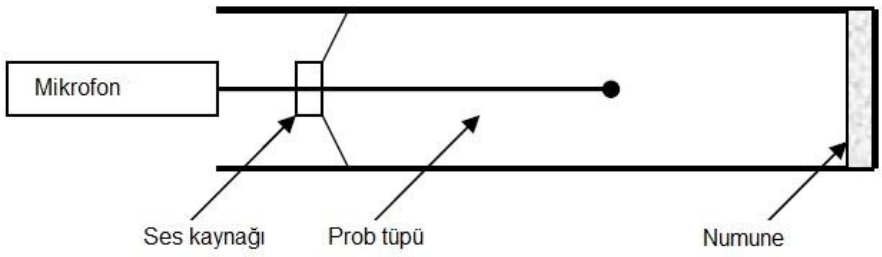
D : Tüpün çapı,
λ : Sesin dalga uzunluğu iken;

$$D\langle 0{,}59\lambda \tag{2.16}$$

Bunlar da 250 Hz ile 4 kHz arasında bir α_n ölçümü için iki farklı tüp çapı gerekir. 100 mm çaplı daha geniş bir tüp 1,6 kHz'ye kadar olan daha düşük frekans aralığını ölçebilir. 20 mm çaplı daha küçük bir tüp ise 1 kHz ile 4 kHz aralığında ölçüm yapabilir [Maekawa ve Lord, 1994].

Durağan dalga yöntemi

Durağan dalga yönteminin avantajı çok güvenilir ve kanıtlanması daha kolay bir yöntem olmasıdır. Ancak bu yöntemle, bir seferde sadece bir frekans ölçülebilir, dolayısıyla sadece nokta frekans (spot frequency) bilgilerine ulaşılabilir. Durağan dalgaya minima yerleştirerek faz bilgileri elde etme işlemi daha yavaştır. Dolayısıyla çok sayıda frekansın ölçülmesi yorucu olur. Durağan dalga yöntemi aşağıda Şekil 2.5' de açıklanmıştır [Cox ve Antonio, 2004].



Şekil 2.5. Durağan dalga yöntemi [Cox ve Antonio, 2004]

Durağan dalga oranını belirlemek üzere iki ölçüm konumunun yerleştirilebilmesi için ölçüm tüpünün uzunluğu ¾ λ'den daha fazla olmalıdır [Cox ve Antonio, 2004].

Test edilen materyal tüpün bir ucuna, ses kaynağı ise tüpün diğer ucuna yerleştirilir. Gelen ve yansıtılan ses dalgasının sonucunda her maksimum konum ile minimum konum arasındaki mesafenin 4 λ olduğu durağan dalgalar meydana gelir. Bu sistem Eş. 2.17 ve Eş. 2.18' deki gibi formüle edilebilir [Cox ve Antonio, 2004].

P_{max} : Maksimum ses basınç seviyesi
P_{min} : Minimum ses basınç seviyesi
A : Gelen dalga genişliği
B : Yansıtılan dalga genişliği iken;

$$P_{\max} = |A + B| \tag{2.17}$$

$$P_{\min} = |A - B| \tag{2.18}$$

Bu yöntem için durağan dalga oranı (*n*) Eş. 2.19' daki şekilde tanımlanmıştır [Cox ve Antonio, 2004].

$$n = \frac{P_{\max}}{P_{\min}} = \frac{|A+B|}{|A-B|} \tag{2.19}$$

Ses basıncı yansıma katsayısı $|r_p|$ Eş. 2.20' deki şekilde tanımlanmıştır [Cox ve Antonio, 2004].

$$|r_p| = \left|\frac{B}{A}\right| = \frac{n-1}{n+1} \tag{2.20}$$

Normal gelen ses yutma katsayısı ise Eş. 2.21 ve Eş. 2.22' deki gibidir [Cox ve Antonio, 2004] .

$$\alpha_n = 1 \cdot |r_p|^2 = 1 \cdot \left(\frac{n-1}{n+1}\right)^2 \tag{2.21}$$

Dolayısıyla;

$$\alpha_n = \frac{4}{n+1/n+2} \tag{2.22}$$

O halde, durağan dalga oranı biliniyorsa, materyalin normal gelen ses yutma katsayısı belirlenebilir [Cox ve Antonio, 2004].

Rastgele geliş tekniği

Bu teknik için bir yankılama haznesi gerekmektedir. Eş. 2.23' deki formül kullanılarak α_r değeri hesaplanabilir [Cramer ve Muller, 1982; Maekawa ve Lord, 1994].

$$\alpha_r = \frac{0{,}16V}{S}\left[\frac{1}{RT60_{ws}} - \frac{1}{RT60_e}\right] + \bar{\alpha} \qquad (2.23)$$

Burada;

V : Yankılanma haznesinin hacmi (m^3)

S : Test edilen materyalin yüzey alanı (m^2)

$RT60_{ws}$: Test edilen materyalle birlikte RT60 değeri (s)

$RT60_e$: Haznenin boş haliyle RT60 değeri (s)

$\bar{\alpha}$: Yankılama haznesinin ortalama ses yutma katsayısı iken;

α değeri normalde yüksek bir $RT60_e$ değeri elde edemeyecek kadar düşüktür. Dolayısıyla α normalde göz ardı edilebilir.

Güvenilir rasgele gelen ses yutum ölçümü sonuçlarına ulaşmak için karşılanması gereken temel şartlar şöyledir [Cramer ve Muller, 1982]:

i. Yankılama odasının hacmi en az 180 m^3 olmalıdır. Böylece ölçümün güvenilir bir şekilde 125 Hz'ye ulaşması sağlanabilecektir.
ii. Test için kullanılan materyalin alanı en az 10 m^2 olmalıdır.
iii. Yankılama odasındaki ses alanı tamamen yayılmış olmalıdır. Oda içerisinde paralel duvar olmamalıdır. Ayrıca, ses alanı difüzör veya döner panel kullanılarak dağıtılmalıdır.

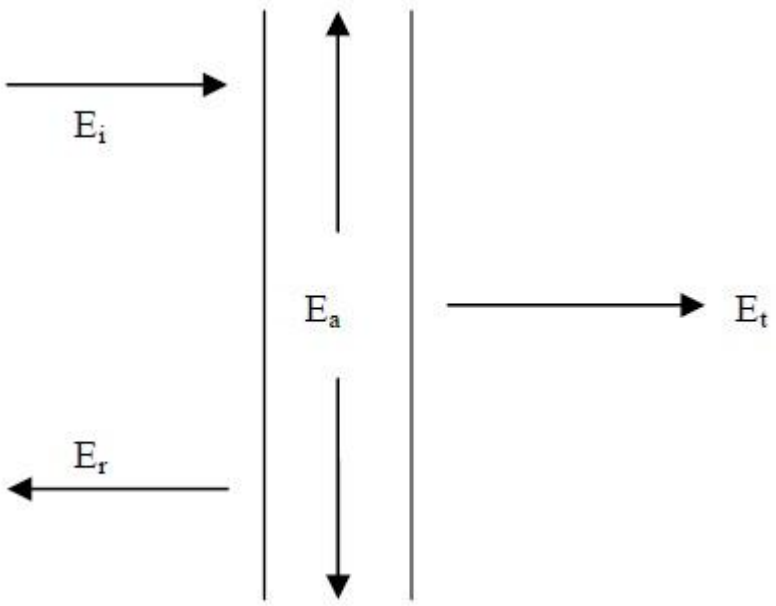
Gürültü Azaltım Katsayısı (NRC) test edilen ses yutma materyalinin kalitesini gösteren rakam endeksidir. NRC test edilen ses yutma katsayısının 250 Hz, 500 Hz, 1000 Hz ve 2000 Hz değerlerinde en yakın 0.05'e yuvarlanmış ortalaması kullanılarak hesaplanır [Maekawa ve Lord, 1994].

NRC değerinin artması düşük NRC değerinin aksine daha iyi bir ses yutma olduğunu gösterir [Maekawa ve Lord, 1994].

Ses yoğunluğu tekniği

Enerji korunumu ilkesi kullanılarak, enerji üretilemez ve yok edilemez ancak bir halden başka bir hale geçebilir.

Şekil 2.6'e göre, gelen enerji (E_i) akustik enerjiye çarpmakta ve yansıtılan enerji (E_r), yutulan enerji (E_a) ve iletilen enerji (E_t) oluşmaktadır [Cowan, 2000; Maekawa ve Lord, 1994].



Şekil 2.6. Enerjinin korunumu ilkesi [Cowan, 2000]

Enerji korunumu kuralı (Eş. 2.24) kullanıldığında [Cowan, 2000]:

$$E_i = E_r + E_a + E_t \tag{2.24}$$

Akustik bir materyalin ses yutma katsayısı Eş. 2.25' deki şekilde tanımlanabilir [Cowan, 2000]:

$E_i - E_r$: Örneklemin önündeki net enerji

E_i : Materyal kaldırıldığında gelen enerji iken;

$$\alpha = \frac{E_i - E_r}{E_i} = \frac{E_a + E_t}{E_i} \tag{2.25}$$

Şekil 2.6' daki ilişkiyi kullanarak ve Şekil 2.7'ye referans vererek, geliş açısı sıfır olan düzlemde ilerleyen ses dalgasına maruz kalmış bir akustik materyal yüzeyi üzerinde durulabilir. Akustik materyalin yüzeyine ulaştıktan sonra, gelen ses gücü (W_i) kısmen yansıtılır (W_r), kısmen yutulur (W_a) ve kısmen akustik materyalin diğer tarafına iletilir (W_t). Normal gelen ses yutma katsayısı Eş. 2.26, Eş. 2.27 ve Eş. 2.28' deki gibidir [Lai ve arkadaşları, 1991].

α_n : Normal gelen ses yutma katsayısı

W_n : Materyalin önündeki net ses gücü iken;

$$\alpha = \frac{W_i - W_r}{W_i} \tag{2.26}$$

$$W_n = W_i - W_r \tag{2.27}$$

$$\alpha = \frac{W_n}{W_i} \tag{2.28}$$

Ses yoğunluğu ise Eş. 2.29' daki şekilde tanımlanır [Lai ve arkadaşları, 1991]:

W : Ses gücü seviyesi ($Watt/m^2$)

A : Yüzey alanı (m^2) iken;

$$I = \frac{W}{A} \tag{2.29}$$

Eş.2.29' daki denklemde yüzey alanının ortak bölen olduğunu düşünürsek Eş. 2.29 denklemi Eş.2.30' daki gibi de ifade edilebilir [Lai ve arkadaşları, 1991]:

I_n : Akustik materyalin önündeki net ses yoğunluğu

I_1 : Akustik materyal kaldırıldığında gelen ses yoğunluğu iken;

$$\alpha = \frac{I_n}{I_i} \tag{2.30}$$

Dolayısıyla, yukarıdaki tartışmaya dayanarak, ses yoğunluk tekniğinin kullanılmasıyla bir akustik materyalin α_n değerini ölçmek mümkün olacaktır. Serbest ses alanı ortamı yaratabilmek için, ses yoğunluğu ölçümü yankısız bir odada yapılmalıdır [Lai ve arkadaşları, 1991].

Ses yutucu (absorplayıcı) uygulamaları

Yankılanma kontrolü

Temel ses yutucu materyal uygulamalarından biri odadaki yansıtılan ses enerjisinin düşürülmesi ve yankılanma ile ses seviyesinin azaltılmasıdır. Bir mekandaki yankılanma miktarı odanın boyutuna ve ses yutum miktarına bağlıdır. Bu tip ses yutucular gürültüyü azaltarak konuşmaların anlaşılırlığını arttırmak için restoranlar ve demiryolu istasyonlarında kullanılır.

Fabrikalarda ve büyük salonlarda gürültü kontrolü

Diğer bir ses yutucu uygulaması ise çalışanlarda duyma kaybını önlemek için çalışma ortamı veya fabrikadaki ses seviyesinin kontrol edilmesidir. Bu sorunu çözecek yöntem mekandaki yankılanma sesi seviyesinin düşürülmesidir. Duvara ses

yutum materyalleri ekleyerek, insan sesi seviyesini koruyacak şekilde gürültüye maruz kalma oranı azaltılır.

Kritik dinlenme alanında model kontrolü

Bass trap veya bins yutucular kayıt stüdyoları, ev sineması ve konferans odalarında düşük frekans sorununu kontrol etmek için yaygın olarak uygulanmaktadır. Sistemin rezonant frekansında yutma sağlamak için sönümlü mass spring sisteminde genelde Rezonant ve Helmholtz ses yutucu kullanılmaktadır.

Oditoryum ve ders amfilerinde yankı kontrolü

Büyük oditoryumlarda geç ulaşan yansıtılan sesi, genel yankılanma seviyesinin önemli ölçüde üzerine çıkılması durumunda geç ulaşan yansıma görünümlerinin yutumu için yaygın olarak ses yutucu materyal kullanılmaktadır. Arka duvara ses yutucu materyal eklenerek, yankı optimum bir şekilde sahneye yakın seyirci alanına indirgenebilir.

Ses yalıtımında yutma

Gözenekli ses yutucu materyallere ait diğer uygulamalar odaya gürültü girmesini önlemek için ses yalıtımlı inşaat sistemlerinde kullanılmaktadır. Hava boşluklu ince bölmelerden oluşan hafif inşaatların hava deliklerinde rezonansı önlemek için gözenekli ses yutucu yaygın olarak kullanılmaktadır.

2.2.4. Ağaç malzemede sesin yutulması (absorpsiyonu)

Ağaç, farklı türleri arasında çeşitli fiziksel ve mekanik özelliklere sahip, oldukça çok amaçlı bir materyaldir. Aynı zamanda, istisnai bir dayanım/yoğunluk oranına sahip yenilenebilir bir kaynaktır. Ağaçtan kullanışlı bir nihai ürün üretmek için ihtiyaç duyulan enerji gereksinimleri çelik, beton veya plastik gibi rakip materyallere kıyasla çok daha düşük olduğu için ağaç malzeme talep edilen bir inşaat malzemesidir.

Enerji yutumu veya şok dayanımı açısından da ağaç malzeme hızlı yutma ve deformasyon yoluyla başka bir enerji formuna dönüşme kapasitesi bakımından fonksiyoneldir. Ağaç malzeme bu bakımdan oldukça dayanıklı ve şoklama yüklemesi açısından tercih edilen bir materyaldir.

Ses dalgalarının ağaç malzeme içerisinde yayılma hızı ağaç türüne, odun yapısına (liflerin yönüne, yıllık halka yapısına, hücre çeperi ve hava boşluğu oranına), rutubet miktarına, ısı derecesine, yoğunluğuna ve ses dalgalarının frekansına göre değişmektedir. Ağaç malzemede rutubet arttıkça ve yapısı yeknesaklıktan ayrılarak düzensiz bir hal aldıkça ağaç malzeme içerisinde sesin yayılma hızı azalmaktadır. Ağaç malzemenin akustik bakımdan en önemli özelliği, ağırlığının az oluşuna karşılık içerisinde sesin yayılma hızının yüksek bulunuşudur [Berkel, 1970].

Yapısal bir ağaç malzemede sesin hızı; bir elastisite ve yoğunluk katsayısı fonksiyonudur. Ağaç malzemede, sesin hızı liflerin yönüne göre de değişir. Çünkü enine (transvers) elastisite katsayısı boylamsal değerine göre çok daha düşüktür (1/20'si kadar). Lif üzerindeki ses hızı boylamsal değerin beşte biri ile üçte biri arasındadır. Örneğin, boylamsal elastisite katsayısı 12,4 GPa, yoğunluğu ise 480 kg/m^3 olan bir ağaç parçasının boylamsal yöndeki ses hızı 3800 m/s civarındadır. Enine yönde ise elastisite katsayısı 6100 MPa civarında, ses hızı ile yaklaşık 8100 m/s' dir [Green ve arkadaşları, 1999].

Ağaç malzemenin bünyesi içerisinde ses dalgalarının yayılmasına karşı gösterdiği direnç önemli miktarda yoğunluğuna bağlı bulunmaktadır. Bu direnç liflere dik yönde liflere paralel yöne nazaran daha fazladır. Ağaç malzemenin ses dalgalarına karşı gösterdiği direnç nispeten az olup, metallerinkinden daha düşük değerler vermektedir. Ses dalgalarının yayılma hızının yüksek olmasına karşılık, ses dalgalarının yayılmasına karşı gösterilen direncin düşük olması ağaç malzemede diğer malzemelere nazaran farklı bir özellik meydana gelmesine sebep olmaktadır. Bu özellik liflere paralel yönde ses dalgalarının daha hızlı yayılmasına karşılık, liflere dik yönde ise ses dalgalarının çok daha uzağa ulaşabilmesidir [Berkel, 1970].

Ağaç malzemede ses yutumu, ışıma yoluyla ve moleküler sürtünme ile ses enerjisinin kaybolması olarak iki şekilde meydana gelmektedir. Işıma yoluyla gerçekleşen ses yutumu ağaç malzeme içerisinden geçen ses dalgalarının çevredeki cisimlere veya havaya aktarılarak ses enerjisinin azalmasıdır. Moleküler sürtünme yolu ise ağaç malzeme içerisinde ses dalgalarının yayılması esnasında moleküllere sürtünme ile ses enerjisinin kayba uğramasıdır. Ağaç malzemede ışıma yoluyla ses enerjisinin kaybı metallere nazaran daha fazladır. Bunun sebebi, ağaç malzeme içerisinde sesin yayılma hızının yüksek oluşu, ses dalgalarının yayılmasına karşı direncin çok düşük ve yoğunluğunun az oluşudur. Ağaç malzemenin bünyesindeki su miktarı ışıma yoluyla ses yutumu üzerinde etkilidir. Kullanılacak ağaç malzemenin %5-7 rutubet derecelerine kadar kurutulması gerekmektedir [Berkel, 1970].

Ağaç malzemenin sesi yutması yapısına, yoğunluğuna, yüzey özelliklerine, rutubetine, kalınlığına, sıcaklığına ve ses frekansına göre değişmektedir. Ağaç malzemenin yapısı düzensizleştikçe, yoğunluğu, yüzey pürüzlülüğü, rutubeti ve sıcaklığı arttıkça yutma miktarı da artmaktadır [Berkel, 1970].

2.3. Isıl İşlem

Ağaç malzeme, kolay işlenebilmesi, yoğunluğunun düşük olmasına karşın yüksek mekanik direnç özelliklerine sahip olması, ısı ve ses yalıtım değerlerinin yüksek olması, renk ve estetik özellikleri ile binlerce kullanım yerine sahip bir malzemedir. Yenilenebilir bir kaynak olan ağaç malzeme organik bir malzemedir. Organik yapısı ağaç malzemenin, rutubet alıp vererek boyutlarını değiştirmesine, mantar ve böcek zararlılarına maruz kalmasına, güneş ışığı, sıcaklık ve çevresel faktörlerden etkilenmesine ve kolay tutuşmasına neden olacak olumsuz özellikler taşımasına neden olmaktadır.

Ağaç malzemenin taşıdığı olumsuz özellikleri azaltabilmek için insanoğlu farklı uygulamalar yapmışlardır. Üst yüzey işlemlerinin uygulanması, yüzeyinin yakılması, ağaç malzemenin bünyesine işleyebilecek kimyasallar kullanarak emprenye edilmesi bu uygulamalardandır. Ağaç malzemenin olumsuz özelliklerinin en aza indirilmesi

ve bunun yanında olumlu özelliklerinin daha iyi seviyelere ulaştırılabilmesi için bu alanda birçok bilimsel araştırmalar ve çalışmalar yapılmaktadır. Ağaç malzemenin yapısında fiziksel ve kimyasal anlamda değişiklikleri amaçlayan bu çalışmalara ve yöntemlere genel anlamda "Ağaç Malzemenin Modifikasyonu Yöntemleri" denilmektedir.

Ağaç malzemenin ısıl modifikasyonu konusundaki ilk çalışmaları 1930' lu yıllarda Stamm ve Hansen yapmıştır. Bu çalışmaları 1940' lı yıllarda Amerika' da White ve 1950' lı yıllarda Almanya'da Bavendam, Rundel ve Buro' nun çalışmaları takip etmiştir. Bu konu ile ilgili bilimsel çalışmalara, 1960' lı yıllarda Kollman ve Schnoider' ın yaptıkları çalışmaları yayınlaması daha fazla kişinin dikkatini çekmiştir. Son 20 yılda, ağaç malzemenin ısıl modifikasyonu üzerindeki çalışmalar yoğunlaşmıştır. Günümüzde ısıl işlem yönteminin uygulanışı Avrupa' nın birçok ülkesinde farklı isim ve yöntemle gerçekleştirilmektedir. Finlandiya' da ağaç malzemenin ısıtılmasında buhar kullanılan ThermoWood yöntemi, Hollanda' da buhar ve sıcak havanın birlikte kullanıldığı Plato yöntemi, Fransa' da inert gaz kullanılan Rectification yöntemi ve Alman' da sıcak gaz kullanılan OHT yöntemleridir. Bu konu ile ilgili çoğu bilimsel çalışmalar Finlandiya Teknik Araştırma Merkezi (VVT) tarafından yapılmaktadır. Isıl işlem yöntemleri arasında en yaygın kullanılan ThermoWood yöntemidir [Özçifçi ve arkadaşları, 2009].

2.3.1. Isıl işlem metodları

Ağaç malzemenin çalışmasını engellemek, mantar ve böceklere karşı dayanımını arttırmak ve çevresel faktörlere karşı direncini arttırmak amacıyla ağaç malzemenin ısıl işleme tabi tutulması alanında birçok bilimsel çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmalar sonucunda uygulamada geçerliliğini kanıtlamış metodlar geliştirilmiştir. Bu metodların ortak yönleri, insan sağlığına ve çevreye zararlı kimyasallar kullanmadan, düşük oksijen içeriğine sahip atmosferde 200 ^{o}C' nin altında veya üstünde farklı sürelerde ağaç malzemenin ısıl işleme tabi tutarak ağaç malzemenin boyutsal stabilitesini ve biyolojik dayanıklılığını arttırmaktır.

Plato metodu

Plato metodu, iki safhadan oluşmaktadır. Birinci safha, termofiz safhasıdır ve ahşap malzemenin hücre duvarlarındaki fazla suyu uzaklaştırmak amaçlı, taze halde veya hava kurusu haldeki ahşap çok kuvvetli bir atmosferik basınç altında 160-190 ^{o}C sıcaklıklarda ısıl işleme tabi tutulmaktadır. İkinci aşamaya geçmeden geleneksel kurutma yöntemleri ile ağaç malzemenin kurutulması sağlanır. Kurutma işlemi özellikle ikinci safhada oluşabilecek iç çatlakları önlemek için gereklidir. İkinci safhaya geçmeden önce uygulanan kurutma işlemi ise 3-5 gün sürmektedir. İkinci safhada ağaç malzemeler tekrar 170-190 ^{o}C arasında ısıl işleme tabi tutulmaktadır. Daha sonra ahşap malzemenin soğutulması ve ısıl dengeleme safhasına geçilir. Termofiz safhası genel olarak 4-5 saat sürmektedir. Ağaç malzemenin türüne, kalınlığına, formuna ve bunun gibi özelliklerine bağlı olarak ısıl işlem süresi değişmektedir. Son olarak uygulanan ısıl dengeleme safhası da 2-3 gün sürmektedir. Ağaç malzemenin türü, yapısı ve kalınlığına bağlı olarak bu süreler değişebilmektedir. Bu metotta kullanılan ısıtma şekli buhar ya da sıcak hava olabilmektedir [Kegel, 2006].

Sıcak yağ muamelesi (OHT) metodu

Bu metotta, ağaç malzeme sıcak yağ banyosunda ısıl işleme tutulur. Isıl işlem 180-260 ^{o}C'de inert gaz atmosferinde uygulanır. Doğal yağ ve reçinelerinin kaynama noktasının ağaç malzemenin ısıl işleme tabi tutulması için gerekli olan sıcaklıktan daha yüksek olmasından faydalanılarak gerçekleştirilmektedir. Kurutma, ısıl işlem ve soğutma olmak üzere 3 safhadan oluşmaktadır. Birinci safhada ağaç malzemenin ısıtılması ve kurutulması safhası olup sıcaklık 60 ^{o}C'den 160-200 ^{o}C'ye kadar çıkmaktadır. Asıl ısıl işlem safhası olan ikinci safhada ağaç malzemenin kalınlığının orta noktası maksimum sıcaklığa ulaştığında ısıl işlem basamağı uygulanmaktadır. Son olarak, üçüncü safhada ise soğutma işlemi gerçekleştirilmektedir. Kapalı bir tankta gerçekleştirilen işlemlerde, ağaç malzeme tanka yerleştirildikten sonra ağaç malzemenin etrafında yüksek sıcaklık sirkülâsyonu sağlamayan sıcak yağ stok

tankından ısıl işlem tankına sıcak yağ pompalanmaktadır. Ahşap malzemenin orta noktasının ısıl işlem sıcaklığına eriştiğinden itibaren uygulanan ısıl işlem süresi 2 ile 4 saat arasındadır. Toplam süre 17-19 saat kadardır. Bu metotta malzeme kalitesine göre farklı sıcaklık ve süreler uygulanmaktadır. Isıtmada ham bitkisel yağ (şalgam tohumu, keten tohumu ve ayçiçeği yağı) kullanılmaktadır [Rapp ve Sailer, 2001].

Retification metodu

Retification metodu, Fransa'da Ecole des Mines de Saint-Etienne tarafından geliştirilen ve New Option Wood şirketi tarafından patenti alınan bir metottur. 1997 yılında endüstriyel bir pazar kazanan bu metotta ağaç malzemen önce % 12 rutubete kadar kurutulmakta daha sonra % 2'den daha az oksijenin bulunduğu inert nitrojen gazı içeren atmosfer şartlarında 210-240 ^{o}C' de ısıl işleme tabi tutulmaktadır [Waldemar ve ark., 2004].

ThermoWood metodu

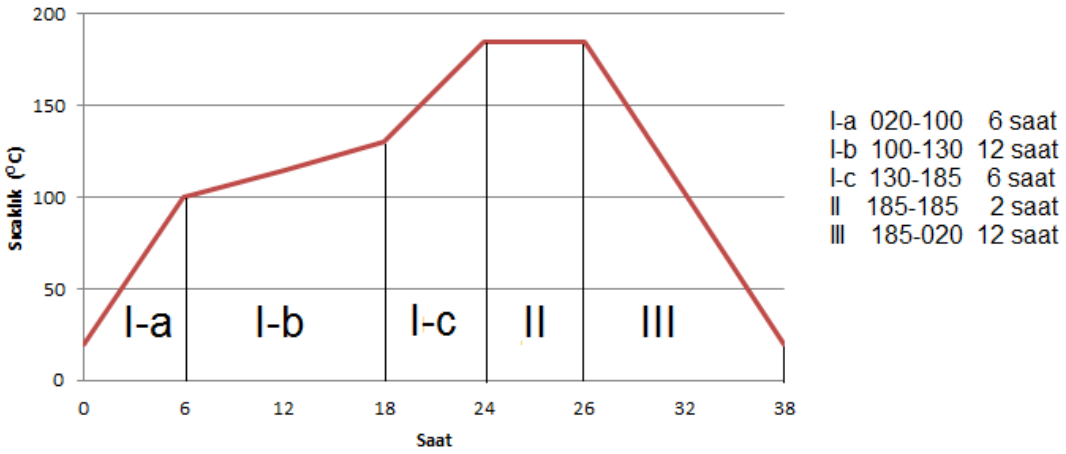
ThermoWood metodu, Finlandiya'da Teknik Araştırma Merkezi (The Technical Research Centre of Finland VTT) tarafından geliştirililen ve Finlandiya ThermoWood Derneği üyeleri tarafından patenti alınan bir metotdur.

Bu yöntem üç safhada gerçekleştirilir.

Birinci safha: Bu safha, yüksek sıcaklıkta kurutma periyodu olarak da adlandırılmaktadır. Isıl işlem uygulamasının en fazla zaman alan periyodudur. Ahşap malzeme kuru ya da yaş halde olabilir. Bu safhada, su buharı ortamında ağaç malzemenin sıcaklığı önce hızla 100 ºC'ye çıkarılır, daha sonra yavaş yavaş 130 ºC'ye kadar yükseltilir. Su buharı ağaç malzemede oluşabilecek çatlakları önlemek amacıyla uygulanmaktadır. Başarılı bir kurutmada iç çatlamaların olmaması önemlidir. Bu safhada ağaç malzemenin nem miktarı hemen hemen sıfıra indirilir [Mayes ve Oksanen, 2002].

İkinci Safha: Bu safha yoğun ısıtma işlemi olarak adlandırılır. Birinci safhada 130 ºC'ye çıkarılan fırın içindeki sıcaklık ağaç malzemenin son kullanım amacına göre 185-230 ºC'ye kadar arttırılır. Ağaç malzemenin bu sıcaklıklarda yanmasını engellenmesinde, ve ağaç malzemenin korunmasında gaz veya su buharı kullanılmaktadır. Belirlenen hedef sıcaklığına ulaşıldığında, fırın sıcaklığı bu sıcaklıkta 2-4 saat arasında sabit tutulur. Bu safhada esas ısıl işlem gerçekleştirilmiş olur [Mayes ve Oksanen, 2002].

Üçüncü Safha: Bu safha soğutma ve kondüsyonlama safhasıdır. Su spreyi veya buharı ile ağaç malzemenin sıcaklığı 50-60 ºC'ye kadar düşürülür ve rutubeti %4 civarına getirilir. Ağaç malzemenin türüne, ebatlarına ve özelliklerine göre ısı artışından ve azalışından dolayı oluşabilecek iç ve dış yüzey çatlaklarını önlemek için özel uyum yolu kullanılır. Uyum yolları özenle belirlenmeli ve uygulanmalıdır. Soğutma ve kondüsyonlama safhası 2-8 saat arasında yapılabilmektedir. Şekil 2.7' de TermoWood uygulama yönteminin şematik olarak diyagramı verilmiştir [Aydemir, 2007; Mayes ve Oksanen, 2002].



Şekil 2.7. Isıl işlem uygulamasının şematik gösterimi [Mayes ve Oksanen, 2002]

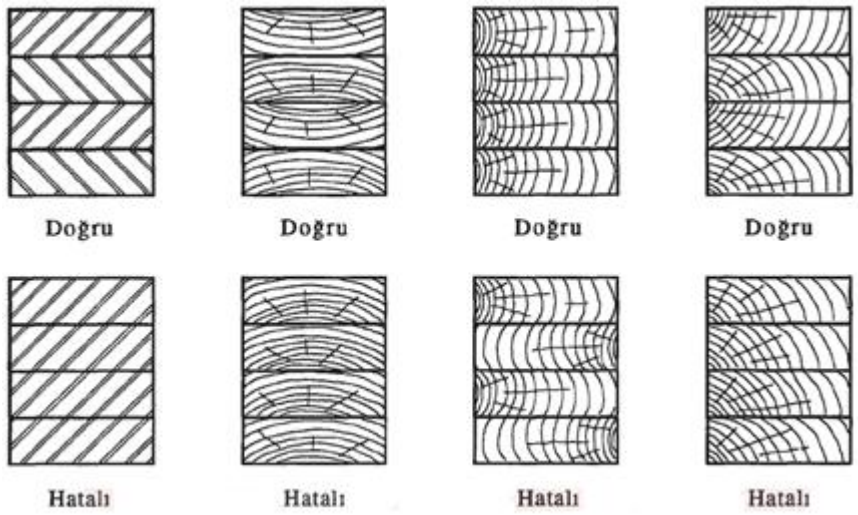
2.4. Laminasyon Tekniği

Lamine ağaç malzeme; kesme, soyma ve biçme yöntemleriyle elde edilen ağaç malzeme levhalarının aralarına yapıştırıcılar sürülerek düz ya da kalıp içerisinde sıcak veya soğuk preslenmesiyle elde edilmektedir [TS 11878, 1995]. Ağaç işleri endüstrisinde kullanım alanı genişleyen lamine ağaç malzeme, odun lamellerin özellikle lifleri paralel olarak birbirine yapıştırılmasıyla elde edilen yapı elemanı olarak tanımlanmaktadır [TS EN 386, 1999].

Lamine ağaç malzeme üretiminde, farklı boyut, şekil, kat adedi, kat kalınlıkları ve ağaç türleri kullanılabilmektedir. Tabakaların tamamı aynı sınıf ve aynı türlerden veya türlerin kombinasyonlarından oluşmuş enine kesite sahip olan yapıştırılmış lamine kerestelere "homojen yapıştırılmış lamine kereste", iç ve dış tabakaları farklı sınıflar ve türlerden oluşmuş lamine kerestelere "kombine yapıştırılmış lamine kereste" adı verilmektedir [TS EN 1194, 2002]. Lamine ağaç malzemeler kullanılan kat kalınlıklarına göre farklı adlandırılmaktadırlar. İnşaat sektöründe kullanılan büyük boyutlu lamine masif ağaç malzeme (kiriş, kolon vb.) üretiminde 25,4-50,8 mm kalınlıklarda malzeme kullanılmakta ve tutkallı kiriş (GLULAM = Glued Laminated Timber) adı verilmektedir. Mobilya endüstrisinde kullanılan ağaç lamine elemanların üretiminde ise uygulanan forma göre maksimum 3,2 mm kat kalınlığında ağaç kaplama kullanılmakta ve bu tür ahşap lamine elemanlar LVL (Laminated Veneer Lumber) ya da MICROLAM olarak adlandırılmaktadır [Stevens ve Turner, 1970].

Masif ağaç malzemede bulunan budak, çatlak, lif kıvrıklığı ve bu gibi kusurlar büyük boyutlu taşıyıcı elemanların üretiminde, tek parça masif ağaç malzemenin kullanım imkanlarını sınırlamaktadır. Kavisli elemanların üretiminde masif ağaç malzemenin tek parça kullanılması fire oranını arttırdığından ekonomik olmamaktadır. Ayrıca, eğri forma göre kesilen ağaç malzemede diyagonal liflilik oluşacağından, direncini olumsuz etkilemektedir. Laminasyon tekniği bu olumsuzlukların giderilmesinde kullanılmaktadır [Şenay, 1996].

Ağaç malzeme yıllık halkalara teğet ve radyal yönde faklı miktarlarda çalıştığından dolayı, ağaç malzemenin çalışmaması için lamine ağaç malzeme oluşturulurken yıllık halka konumlarına dikkat etmek gerekmektedir. Ağaç çeşitlerine göre daralma miktarları, yıllık halkalara teğet yönde % 3.5-15, radyal yönde % 2.4-11, liflere paralel yönde % 0.1-0.9 arasında değişmektedir [Bozkurt ve Göker, 1987]. Ağaç malzemedeki farklı çalışma sonucu ortaya çıkan gerilmeleri dengelemek amacıyla kat düzenlemesi yapılmalıdır. Lamine ağaç malzemede çalışmayı engelleyecek kat düzenlemeleri Şekil 2.8' de gösterilmiştir [Zorlu, 1995; Spannagel, 1974].



Şekil 2.8. Laminasyonda katların düzenlenmesi [Zorlu, 1995; Spannagel, 1974]

Lamine ağaç malzemenin direnci, laminasyonda kullanılan odunun yapısına, yüzey pürüzlülüğüne, pres basıncına, pres süresine ve kullanılan tutkalın kalitesine ve teknik özelliklerine bağlıdır. Farklı ağaç türlerinin aynı anda preslenmesi halinde pres basıncı yumuşak oduna göre belirlenir. Pres basınçları yumuşak ağaçlarda 0,6-1,0 N/mm^2, sert ağaçlarda ise 0,2-1,6 N/mm^2 arasında olmalıdır [Dilik, 1997].

2.4.1. Laminasyonda asgari üretim şartları

Lamine elemanların üretildiği ortamın sıcaklığı en az 15 ^oC ve bağıl nemi ise %40-75 arasında olmalıdır. En ve boy birleştirme uygulanmış parçaların ek yerleri, birbirlerini takip eden katlarda üst üste gelmemeli ve mümkün olduğunca şaşırtmalı

düzenlenmelidir [TS EN 386, 1999]. Birbirini takip eden katlarda iki birleşme arasındaki uzaklık ≥300 mm olmalıdır. Lamine elamanı oluşturan katlar arasında rutubet farkı %4' den fazla olmamalıdır [DIN 1052, 1988: DIN 68140, 1998].

Yapıştırıcı üreticisinin tavsiyelerine uygun olarak, yapıştırıcı üniform ve yeterli miktarda sürülmelidir. Bu miktar kullanılan yapıştırıcının özelliklerine göre 180-260 g/m^2 arasında değişmektedir. Sıkıştırma üniform ve emniyetli olarak yayacak şekilde yapışma hattı üzerinde uygulanmalıdır. Pres basıncı, kullanılan yapıştırıcı ve ağaç türüne göre 0,6-1,2 N/mm^2 arasında değişmektedir [TS EN 386].

2.4.2. Laminasyonda ağaç malzeme seçimi

Lamine ağaç malzemede kullanılacak ağaç malzeme seçimini etkileyen faktörler aşağıda verilmiştir.

- Kolon ve kiriş gibi taşıyıcı eleman olarak kullanılacak lamine ahşap malzemelerin, taşıma ve montaj rahatlığı açısından hafif olması arzu edilen bir husustur. Bu maksatla, karaçam, sarıçam, göknar ve ladin odunlarının kullanılması önerilmektedir [TS 3842].
- Üretimin aksamaması ve alış maliyetinin düşük olması bakımından seçilecek ağaç türü kolayca ve bol miktarda temin edilebilmelidir [Kılıç, 1997].
- Laminasyonda kullanılacak ağaç türünün fazla tanenli, eterik yağlı, ekstraktif maddeli ve reçineli olması tutkalın yapışma dayanımını azaltmakta ve lamine ağaç malzemenin direnç özelliklerini olumsuz yönde etkileyecektir [Kılıç, 1997].
- Kavisli lamine ağaç malzeme üretiminde bükülebilme özelliği aranan bir özelliktir. Seçilen ağaç malzemenin bükülebilme özelliğinin iyi olması laminasyonda kalın parçaların kullanılmasını mümkün kılmaktadır. Bu durum işçilik ve tutkal maliyetlerini düşürmesi açısından arzu edilen bir husustur [Kılıç, 1997].

- Genel olarak ağaç türlerinin bükülebilme özellikleri farklı olup, sert odunlu yapraklı ağaçlar iğne yapraklılara göre daha iyi bükülebilme özelliğine sahiptir. Kayın, karaağaç, dişbudak, meşe, Anadolu kestanesi, huş, akasya, akçaağaç, kiraz ve fındık bükülme özellikleri bakımından en elverişli olanlardır [Berkel, 1970].
- Budaklar, ağaç malzemedeki bulunma yerine, büyüklüğüne ve lâmine elemanın maruz kaldığı yük tipine göre önemli derecede direnç azalmasına neden olmaktadırlar. TS 3842' ye göre, lamine elemanın herhangi bir kısmında ve 300 mm uzunluktaki budak alanları toplamının bu uzunluğa ait alana oranı I. sınıf için 1/10'u, II. sınıf için 1/4'ü. III. sınıf için 1/2'yi geçmemelidir.
- Reaksiyon odunu oluşumları lâmine ağaç malzeme özelliklerini olumsuz etkilemektedir. Basınç odunu normal odundan daha ağır olup eğilme ve şok direnci düşüktür. Kurutulması sırasında kolaylıkla çarpılmakta ve çatlamaktadır. Çekme odunu pürüzlü ve tiftikli yüzey oluşmasına sebep olmaktadır. Çivilenmesi güç olup işlenmesi zordur. Üst yüzey işlemleri uygulanmasında problemlidir. Kurutulması sırasında sonradan düzeltilmesi mümkün olmayan hücre çökmeleri (kollaps) oluşmasına sebep olmaktadır [Bozkurt, 1986].
- Çatlaklar, lamine ağaç malzemenin tutkallanma ve direnç özelliklerini azaltan kusurlardır. Ağaçta dikili hâldeyken büyüme karakteristiklerinden kaynaklanan basınç çatlakları, iç çatlaklar ve öz çatlakları meydana gelmektedir. Ormandan kesimi yapılan ağacın kurutulması sırasında bu çatlaklar daha da artmakta ve ağaç malzemenin mekanik özelliklerinde azalmaya neden olmaktadır [Bozkurt, 1986].

2.4.3. Laminasyonun avantajları

Masif ağaç malzemeden üretilen elemanların boyutları sınırlı olmasına rağmen, laminasyon tekniği ile daha büyük boyutlu ürünler elde etmek mümkündür. Özellikle tutkallı kiriş sayesinde büyük açıklıklar ve kolonsuz geçilebilmektedir. Laminasyon,

geniş ve tek açıklıklı yapılarda kubbe, piramit, tonoz vb. geometrik strüktür oluşturulmasına imkan sağlamaktadır. En ve boy birleştirme yöntemlerinin uygulanması ile çok küçük boyutlardaki (min. 20 cm) ağaç malzeme kullanıldığından fire oranı azlamaktadır. Ayrıca, ağaç malzemenin bünyesindeki kusurlardan (budak, çatlak, lif kıvrıklığı, çürüklük, reaksiyon odunu vb.) arındırılarak kullanılmasına imkan sağlamaktadır [Atmaca, 2005].

Toros sediri (*Cedrus Libani* A. Rich.), sarıçam (*Pinus Sylvestris* L.), Doğu kayını (*Fagus Orientalis* L.) ve sapsız meşe (*Quercus Petrea* L.) odunlarından dört katmanlı olarak hazırlanan lamine elemanların teknolojik özelliklerinin türlerini temsil eden masif ağaç malzemelere göre daha üstün oldukları belirlenmiştir. Lamine edilmiş ağaç malzeme, aynı cins masif ağaç malzemeye göre daha az çalıştığı, bu nedenle boyutsal bakımdan daha stabil olduğu tespit edilmiştir. Aynı ağaç lamine eleman üzerindeki lamine katlarda farklı kalınlık ve renkte ağaç malzeme kullanılabildiğinden daha estetik malzeme elde edilebilmektedir [Keskin, 2001].

Büyük boyutlu ağaç malzemeler kısa sürede ve kusursuz kurutulamamasına karşın lamine ağaç malzemenin üretiminde ince parçalar halinde kesilen ağaç malzemelerin kurutması hem kurutma kusurlarını azaltmakta hem de maliyeti düşürmektedir [Atmaca, 2005].

Lamine ağaç malzemeler mimaride ve iç dekorasyonda istenilen formda çalışma imkanı sağlamaktadır. Masif ağaç malzemeye göre estetik, ekonomik ve teknolojik özellikleri bakımından daha üstün olan lamine ağaç malzemelerin LVL (Laminated Veneer Lumber) mobilya üretiminde özellikle dolap masa, sandalye, raf ve döşemeli mobilyaların mukavemet gerektiren iskelet elemanlarında kullanılması önerilmektedir [Eckelman, 1993].

Lamine ağaç malzeme, yapısal elemanların tasarımında, yüke bağlı olarak kesit alanında farklılık yapmayı mümkün kılmaktadır. Örneğin; kavisli elemanlarda yükün geldiği yerde (kritik kesitte) daha büyük boyut uygulanabilmektedir [Atmaca, 2005].

2.4.4. Laminasyonun dezavantajları

Ağaç malzemenin tutkallanmaya hazırlanması ve tutkallanması, son ürün üzerinde ek bir işçilik maliyetli gerektirmektedir. Yüksek dayanımlı tutkalların maliyetinin yüksek olması ek bir maliyet gerektirmektedir. Laminasyon imalatının yapılacağı fabrikada binanın özel planda yapılması, özel ekipmanlar gerektirmesi ve kaliteli elemana olan ihtiyaç ürün maliyetinin artmasına neden olmaktadır. Büyük boyutlu kavisli elemanların nakliyesinde güçlüklerle karşılaşılmaktadır [Keskin, 2001].

Lamine ağaç malzemenin üretiminde kullanılacak kaplama üretimi için uygun tomruk bulunması gerekmektedir. Soyma kaplamalık tomruklar; silindir gövde, yeterli çap ve boyutlara sahip olmalı ayrıca kusurlar en az miktarda bulunmalıdır. Bu özelliklerde tomruk temini maliyeti arttırmaktadır. Ayrıca yumuşak ağaç odunlarından elde edilen kaplamaların kalınlık yönündeki çekme direnci çok fazla değişme göstermektedir. Bu özellik levhanın kenarlarındaki mekanik bağlantıların direncinin azalmasına neden olabilmektedir [Öztürk, 2005].

Lamine edilecek ağaç malzemenin belirli sonuç rutubete kadar kurutulması gerektiğinden kurutma tesisi ve ek bir işçilik maliyeti getirmektedir [Atmaca, 2005].

3. LİTERATÜR ÖZETİ

3.1. Sesin Yutulması (Absorpsiyonu)

Godshall ve Davis (1969), ahşap ve ahşap esaslı malzemelerin akustik yutucu özelliklerinin araştırıldığı bir çalışmada, ahşap ve ahşap esaslı malzemelerin delikli olan örneklerinin ses yutma özelliklerinin deliksiz olan örneklerden daha iyi sonuçlar verdiğini bildirmişlerdir.

Maekawa ve Lord' a (1994) göre perfore panelin ses yutma performansının frekans aralığını genişletmek için, duvarın arkasındaki hava boşluğu gözenekli fiberle doldurulmalı ve gözenekli fiber ile duvar arasındaki hava boşluğu korunmalıdır. Perfore panelin kalınlığının ve hava boşluğunun derinliğinin arttırılması rezonans frekansını düşürecektir. Dolayısıyla, hava sahasının derinliğini ve perfore panelin kalınlığını değiştirerek ses yutma performansının frekans aralığının genişletilebileceğini bildirmişlerdir.

Wassilieff (1996), girdi olarak kullanılan materyalde hava akış dirençliliği, gözeneklilik ve kıvrımlılık olmasını gerektiren basit bir Rayleigh modeli kullanarak Yeni Zellanda çamının (*Pinus radiate*) odun lifleri ve talaşlarının ses yutma katsayıları üzerine çalışmıştır. Ayrıca Delany ve Bazley yönteminin kullanıldığı tek parametreli bir ampirik modelle karşılaştırıldığında ağaç lifleri örnekleriyle makul seviyede bir uyumluluk olduğunu da göstermiştir.

Green ve arkadaşları (1999) çalışmalarında, yapısal bir ağaç malzemede sesin hızının bir elastisite ve yoğunluk katsayısı fonksiyonu olduğunu belirtmişlerdir. Ağaçta, sesin hızı liflerinin yönüne göre de değişir çünkü teğet yöndeki elastisite katsayısı boyuna yöndeki değerine göre çok daha düşük olduğunu (1/20'si kadar); lif üzerindeki ses hızı boyuna yöndeki değerin beşte biri ile üçte biri arasında olduğunu bildirmişlerdir. Boyuna elastisite katsayısı 12,4 GPa, yoğunluğu ise 480 kg/m^3 olan bir ağaç parçasının boyuna yöndeki ses hızı 3800 m/s civarındadır. Teğet yönde ise

elastisite katsayısı 6,100 MPa civarında, ses hızı ile yaklaşık 8100 m/s olacağını tespit etmişlerdir.

Chen ve arkadaşları (2000), delikli plakaların, hava boşluğu katmanının ve gözenekli malzemelerin, ses yutma katsayısı değerine etkilerinin araştırıldığı çalışmalarında, delik oranlarının ve panel arkasında kullanılan gözenekli malzemelerin yoğunluklarının, rezonans frekansına yakın frekans bantlarında daha yüksek ses yutma katsayısı elde edildiğini bildirilmiştir.

Yang ve arkadaşları (2001) çalışmalarında, endüstriyel ses yutumu uygulamalarının genelde cam yünü, köpük, mineral lifler ve bunların bileşikleri gibi materyallerin kullanımını kapsamadığını bildirmişler. Yaptıkları ölçümler sonucunda laminasyon, ön ısıtma ve ön karışımlı kalıplama yoluyla üretilen gözenekli bir lamine yapının 500–2000 Hz frekans aralığında çok yüksek bir ses yutma özelliği gösterdiğini kaydetmişlerdir.

Yang ve arkadaşları (2003), pirinç saplarından elde edilen levhaların ses yutma katsayılarını yonga levhalar ve lif levhalar ile karşılaştırmışlar. Rastgele kesilen pirinç sapları ve yongalardan elde edilen kompozit levhaların 500-8000 Hz frekans aralığında yonga levha, lif levha ve kontrplağa göre daha yüksek ses yutma katsayısı gösterdiği saptanmıştır.

Nor ve arkadaşları (2003), hindistan cevizi kabukları liflerinden elde ettikleri levhaların ses yutma katsayılarının tespitine yönelik çalışmalarında; balyalar ve matris levhada sıkıştırılan hindistancevizi lifinin yüksek denebilecek bir ses yutma katsayısı gösterdiğini ortaya koymuşlar. Tek katmanlı ile karşılaştırıldığında, hava boşluğu katmanları bulunan çok katmanlı hindistancevizi liflerinin daha düşük frekanslarda malzemenin ses yutma katsayısını arttırdığını bildirmişlerdir.

Kang ve arkadaşları (2006), durağan dalga yöntemi ile iki mikrofon yöntemi karşılaştırıldığında gürgen kerestesinin (Fagus grandifolia) ses yutma katsayısında herhangi bir ölçüm farklılığı oluşmadığını ortaya koymuştur.

Yoshikawa (2007) çalışmasında, telli çalgılar için kullanılabilecek uygun ağaçları sınıflandırmak için iletim ve titreşim savar parametresi olmak üzere yeni bir yöntem önermiştir. Bu modelin telli çalgıların iki temel unsuru olan ses plağı ve çerçeve plağı arasındaki farkı belirgin biçimde gösterdiğini belirlemiştir.

Atalla ve Sgard (2007), çalışmalarında, çeşitli konfigürasyonlara sahip perfore panellerin, taşıma matrisi yöntemi bağlamında kolaylıkla ve otomatik olarak işleyebilen basit ve genel bir model oluşturmuşlardır. Özellikle, delikli bir levha veya eleğin eşdeğer kıvrımlılığa sahip Johnson-Allard yaklaşımı izlenerek eşdeğer bir akışkan olarak modellenebildiği gösterilmiştir. Bu etkili kıvrımlılığın da serbest havadaki delikli panel ile arayüzle bağlandığı ortamın dinamik kıvrımlılığının ışınımı ile başlatılmış bir düzeltme uzunluğu fonksiyonu olduğu gösterilmiştir. Submilimetre delikli konfigürasyonlar da dahil her iki delikli levha ve eleğe ait klasik modeller bu basit yaklaşım kullanılarak tekrar elde edilebilir. Normal geliş yutma katsayısı için söz konusu yaklaşım, klasik modeller ve deneysel sonuçlar arasında yapılan karşılaştırmalar geçerliliğini ve çok yönlülüğünü güçlendirdiğini bildirmişlerdir.

Dimon ve arkadaşları (2009), genellikle camilerde kullanılan hem dekoratif hem de caminin ana ibadet alanına doğru ses yansımasının minimuma indirilmesi konuşma ve anlaşılırlığının optimizasyonunu sağlayan doğrudan oymalı ahşap panellerin (Direct piercing carved wood panels DPCWP) ses yutma katsayılarının belirlenmesi üzerine bir çalışma yapmışlardır. Bu çalışmalarında, ağırlıkla yıldız ve baklava şeklinde geometrik şekillere sahip DPCWP' lerin normal geliş ses yutma katsayısını tartışmışlardır. Bunun için yıldız ve baklava şekilleri %33 ve %38 delme oranları için seçilmiş ve tasarlanmıştır. Ses yoğunluk ölçümleri tekniği kullanılarak ölçümlerini yapmışlar ve sayısal deneyleri ise Sınır Elemanı Yöntemi (Boundary Element Method) kullanılarak yapılmıştır. Her iki yöntemle elde edilen ses yutma katsayıları arasında yapılan karşılaştırmalar detaylarıyla tartışmışlardır. Çalışmada ses yutma katsayılarıyla ilgili açıklık türleri ve boyutlarına dikkat çekilmiştir. Ölçülmüş ve sayısal sonuçlarda yıldız ve baklavanın baskın olduğu geometrik şekillere sahip DPCWP' nin iyi birer ses yutucu görevi görebildiği ileri sürmüşlerdir. Bu bulguya

göre DPCWP' nin gelecekte yapılacak cami inşaatlarında etkili ses yutucular olarak kullanılabileceği kabul edilmiştir.

Ersoy ve Küçük (2009), çay yapraklarının işlenmesi sırasında oluşan bir endüstriyel atığın ses yutma özelliklerini incelemişlerdir. Bu çalışmalarında, tek bir katman dokunmuş tekstil kumaşın oluşturduğu astarlı veya astarsız çay-yaprağı-lifi atık materyallerinin üç farklı katmanı ses yutma özellikleri bakımından test edilmiştir. Deneysel veriler 1 cm kalınlığındaki astarlı çay-yaprağı-lifi atık materyalinin altı katman dokunmuş tekstil kumaşınınkine neredeyse eşit bir ses yutma sunduğunu göstermiştir. 20 mm kalınlığında sert astarlı kalın çay-yaprağı-lifleri ve dokuma olmayan lif materyali katmanları 500 ila 3200 Hz frekans aralığında neredeyse eşit ses yutma seviyesi gösterdiğini belirtmişlerdir.

Zulkifli ve arkadaşları (2009), yüzeydeki delik oranlarının ses yutma katsayısına etkisinin araştırıldığı çalışmalarında delik oranlarının artmasıyla ses yutma katsayısını olumlu yönde etkilediğini saptamışlardır.

Mohammad ve arkadaşları (2010), Chengal, Meranti, Nyatoh ve Keruing gibi Malezya ağaçlarının ses yutma katsayılarını belirlemek üzere bir sayısal çalışma yapmışlardır. Çalışmalarında, 100 farklı tip Malezya ağacının ses yutma katsayılarına ilişkin çalışmaların ön sonuçlar sunmuşlardır. MATLAB tabanlı Delaney-Bazley yaklaşıklık yöntemi kullanılarak sayısal olarak yapılmıştır. Genel olarak, Malezya odununun daha düşük frekanslarda (< 500 Hz), beklendiği gibi, ses yutma katsayısı daha düşük bulunurken, yüksek frekansta (> 500 Hz) ses yutma katsayısı daha yüksek bulunmuştur. Ayrıca, daha yüksek frekans ve daha yüksek yoğunluk değerinde bir örnekleme ait ses yutma katsayısı daha düşük yoğunluğa sahip bir başka örneklemle karşılaştırılarak daha düşük bulunmuştur.

3.2. Laminasyon

Özçifçi ve arkadaşları (1997), çalışmalarında Desmodur-VTKA tutkalının farklı koşulların yapışma direncini araştırmışlardır. Çalışmalarında, doğu kayını, sarıçam,

sapsız meşe odunlarından hazırlanan deney örneklerinin yapıştırılmasında, Desmodur-VTKA tutkalı kullanmışlar ve örnekleri; klimatize etme, soğuk suda bekletme, kaynatma ve münavebeli kaynatma işlemlerinden sonra çekme ve makaslama direnci deneyine tabi tutmuşlardır. Deneyler sonucunda; en yüksek çekme direnci kontrol örneklerine göre sapsız meşede 24 saat soğuk suda bekletme sonucunda (11,73 N/mm^2) elde etmişlerdir. Ayrıca uzun süreli münavebeli kaynatma işleminin sonunda yapışma noktalarında ortalama %50 direnç kaybı olduğu bildirilmektedir.

Özçifçi (2001), çalışmasında doğu kayını ve sarıçam odunlarından fenol formaldehit ve melamin formaldehit tutkalları ile elde ettiği lamine ahşapların bazı fiziksel ve mekanik özelliklerini araştırmıştır. Çalışmasında, fenol formaldehit ve melamin formaldehit ile lamine edilen doğu kayının hava kurusu yoğunluğu sırasıyla 0,60 g/cm^3, 0,60 g/cm^3, sarıçam odununun ise 0,50 g/cm^3, 0,50 g/cm^3 olarak belirlenmiştir. Mekanik özelliklerden; liflere paralel yapışma direncini doğu kayınında 10,08 N/mm^2 ve 11,83 N/mm^2, sarıçamda 9,04 N/mm^2 ve 10 N/mm^2, eğilme direncini doğu kayınında 139,22 N/mm^2 ve 145,29 N/mm^2, sarıçamda ise 122,57 N/mm^2 ve 113,86 N/mm^2 olarak tespit etmiştir.

Keskin (2001), çalışmasında PAVc-D4 tutkalı ile lamine ettiği sarıçam, Toros sediri, doğu kayını, ve sapsız meşe odunlarını kullanmıştır. Örneklerin, yoğunluk, termik genleşme katsayısı, ısı iletkenlik katsayısı, çalışma miktarı, basınç, eğilme, makaslama, çekme yarılma, yapışma ve elastikiyet modülleri belirlenmiştir. Lamine ahşap örnekleri ile masif ahşap örneklerinin bazı özelliklerini karşılaştırmıştır. Karşılaştırma sonucunda lamine edilen ağaç malzeme örneklerinin bu özellikleri ile masif ahşap örneklerinden daha iyi sonuçlar verdiğini belirtmiştir.

Altınok (2002), çalışmasında tutkal türünün ve sıcaklığın yapışma direncini üzerine etkisini belirlemek amacıyla sarıçam, doğu kayını, meşe ve akasya odunları örneklerini PVAc ve UF tutkalları ile yapıştırmış. Örnekleri 20 ^oC, 40 ^oC, 60 ^oC ve 80 ^oC'lik ortamlarda iki saat beklettikten sonra çekme deneyi uygulanmıştır. Deneyler sonucunda PVAc ve UF tutkallı deney örneklerinde sıcaklık arttıkça

yapışma performansının azaldığı, azalma miktarının UF tutkallarında PVAc tutkallılara ve akasyada diğer ağaç türlerine göre daha küçük olduğu tespit edildiğini bildirmiştir.

Altınok (2002a) çalışmasında, laminasyonda katman simetrisinin ve tutkal çeşidinin etkisini araştırmıştır. Kayın ve kavak kaplamalar kullandığı çalışmasının sonucunda, lamine malzemede, katman simetrisinin ve tutkal çeşidinin eğilme direncinde etkili olduğu belirtmiştir.

Altınok (2003), çalışmasında, çam ve kavak odunları örnekleri kullanarak elde ettiği lamine ahşapların yapışma ve eğilme dirençlerini araştırmıştır. Farklı katman teşekkülleri oluşturduğu çalışmasında; çam örneklerinden elde ettiği lamine ahşapların, yapışma ve eğilme dirençlerinin en yüksek değerler olduğunu bildirmiştir.

Atar ve Özçifçi (2005), ağaç türlerinin laminasyonda yapışmaya etkisini inceledikleri çalışmalarında, batı kayını (*Fagus sylvatica*) ve sarıçam (*Pinus sylvestris* L.) odunlarını PVAc-D4 tutkalı ile yapıştırarak lamine ağaç malzemeler elde etmişlerdir. Bu ağaç malzemleri BS EN 205'de belirtilen esaslara uygun olarak 4 farklı ortamda bekletildikten sonra DIN 53255 esaslarına uyularak çekme direnci deneyi uygulamışlardır. Sonuç olarak; batı kayını odununun PVAc-D4 tutkalı ile birleştirilerek elde edilen lamine ahşap malzemelerin farklı atmosfer şartlarının bulunduğu yerlerde kullanılabileceği belirtilmiştir.

Kol ve arkadaşları (2008) farklı tutkal türleri ile üretilen lamine ahşap malzemelerin ısı iletkenlik katsayısı üzerine emprenye maddelerinin etkilerinin araştırıldığı çalışmalarında, Doğu kayını odununun ısı iletkenlik katsayısı sarıçam odununkinden oldukça yüksek olduğunu belirtmişlerdir. Doğu kayını odunundan üretilen LAM' ların ısı iletkenlik katsayısının sarıçam odunundan üretilenlerden yüksek çıkmasının nedeni, kayın odununun yoğunluğunun fazla olmasına ve buna bağlı olarak da hava ile dolu hücre boşluklarının az olmasından kaynaklanabileceği belirtilmektedir.

Altınok ve arkadaşları (2009) çalışmalarında, PVAc–D4 tutkalı ile lamine edilen Doğu kayını, sapsız meşe ve sarıçam örneklerinin liflere paralel ve liflere dik yapışma dirençlerini araştırmışlardır. Liflere paralel yapışma direncinde en yüksek değeri sapsız meşenin (15,58 N/mm^2), en düşük değeri sarıçamın (3,09 N/mm^2); liflere dik yapışma direncinde ise en yüksek değeri kayının (1,8567 N/mm^2), en düşük değeri ise sarıçamın (0,9133 N/mm^2) verdiğini belirtmişlerdir.

3.3. Ahşap Kompozit Malzemeler

Efe ve Kasal (2007), çeşitli masif ve ahşap kompozit malzemelerin mobilya mühendislik tasarımında gerekli olan bazı fiziksel ve mekanik özelliklerini, ilgili standartlara göre belirlemişlerdir. Deneylerde, masif ahşap malzeme olarak Doğu kayını (*Fagus Orientalis* Lipsky) ve sarıçam (*Pinus Sylvestris* Lipsky), ahşap kompozit malzeme olarak da okume (*Aucoumea klaineana*) kontrplak (OKP), orta yoğunlukta lif levha (MDF) ve yönlendirilmiş etiket yonga levha (OSB) kullanılmıştır. Deney malzemelerinin, yoğunlukları ve rutubet oranları tespit edilmiş, mekanik özelliklerden de çekme, basınç, kesme dirençleri ile eğilme direnci ve eğilmede elastikiyet modülü değerleri belirlenmiştir. Ayrıca, literatürdeki bazı çalışmalarda kullanılmış olan emniyet katsayıları kullanılarak masif ve ahşap kompozit malzemeler için kabul edilebilir tasarım (emniyet) gerilmeleri değerleri hesaplanmış ve mobilya tasarımcılarının kullanımına sunulmuştur. Deneyler sonucunda, genellikle masif ağaç malzemeler, kompozit ağaç malzemelere göre daha yüksek direnç değerleri vermiştir. Kompozit ağaç malzemelerden özellikle OKP, bazı durumlarda da MDF kabul edilebilir değerler vermişlerdir.

Göker ve diğerleri (2002), ülkemizde orta yoğunlukta liflevha (MDF) üretimi yapan fabrikaların ürettiği genel amaçlı levhaların teknolojik özelliklerini tespit ederek, standardın öngördüğü değerlerle karşılaştırmak suretiyle levhaların kalitelerini ortaya koymuş ve daha kaliteli üretim için öneriler sunmuşlardır.

Wang ve arkadaşları (2007), ahşap esaslı malzemelerin vida tutma dirençlerinin karşılaştırıldığı bir çalışmada MDF' nin yüzeyden vida tutma direncini 1394 N olarak saptamışlardır.

İmirzi (2008), çalışmasında 18 mm MDF' nin tam kuru yoğunluk değerini 0,69 g/cm^3, tam kuru yoğunluk değerini 0,70 g/cm^3, rutubet oranını %4,98, liflere paralel çekme direncini 6,57 N/mm^2, liflere paralel basınç direncini 17,98 N/mm^2, yüzeye dik çekme direncini 0,59 N/mm^2, eğilme direncini 27,67 N/mm^2, eğilmede elastikiyet modülünü 3436 N/mm^2, yüzeyden vida tutma direnci 13,57 N/mm^2 ve kenardan vida tutma direncini 11,88 N/mm^2 olarak tespit etmiştir.

Akyıldız ve Malkoçoğlu, (2001), bazı ağaç türlerinin vida tutma dirençlerini araştırmışlar. Yüzeyden vida tutma dirençleri; Doğu kayını için 433,40 kPa, Anadolu kestanesi için 259,51 kPa, Doğu ladini için 230,00 ve sarıçam için 245,55 kPa olarak tespit edilmiş, ayrıca, ağaç malzemenin özgül ağırlığına bağlı olarak vida tutma dirençlerinin arttığı belirtmiştir.

3.4. Isıl İşlem

Kitahara ve Chugenji (1951), ısıl işlemin ağaç malzeme üzerine etkilerini araştırmışlardır. Çalışmalarında, 150 ve 200 °C sıcaklıklarda 1, 3, 5, 10 ve 20 saat süreyle ısıl işlem uygulayarak, chamaecyparis obtusa ve fagus crenata odunlarının özelliklerini incelemişlerdir. Deneyler sonucunda, ısıl işlemin ağaç malzemenin şok direncini düşürdüğünü tespit etmişlerdir. 1 saat, 200 °C sıcaklık de uygulanmış olan ısıl işlemin ağaç malzemenin şok direncini %50 oranında düşürdüğünü saptamışlardır. Aynı çalışmada ısıl işlemin ağaç malzemenin sertlik değerini arttırdığını ve 5 saat ısıl işlem uygulanmış numunelerin eğilme direncinde bir değişiklik olmamasına karşın 150 °C'den yüksek ısıl işlem uygulamalarında sıcaklığın artmasına paralel olarak eğilme direncinin azaldığı belirtilmiştir.

Hillis (1984) çalışmasında, ısıl işlemin ağaç malzemede bulunan selüloz, hemiselüloz ve lignin miktarında ve yapılarında önemli değişiklikler meydana

getirdiğini bildirmiştir. Hemiselülozların düşük sıcakta bozunmasının, oluşan yeni yapı üzerinde en belirleyici faktörlerden biri olduğunu tespit etmiştir. Ayrıca, bu değişimler sonunda ağaç malzemenin denge rutubet miktarının ve diğer özelliklerinin de değiştiği belirtilmiştir.

Feist ve Sell (1987), çalışmalarında ısıl işlemin ağaç malzemenin boyutsal stabilizasyonu üzerine etkisini araştırmışlardır. Ladin ve kayın odunları kullandıkları çalışmalarında örnekleri 175 ve 195 °C sıcaklıklarda ısıl işleme tabi tutmuşlar ve dış ortam koşullarında bekletmişlerdir. Sonuç olarak ısıl işleme tabi tutulmuş örneklerin boyutsal stabilizasyonunun ısıl işleme tabi tutulmamış kontrol örneklerinden daha iyi olduğunu belirlemişlerdir.

Rowell ve Konkol (1987), yüksek sıcaklıkta bir vakum sistemi içerisinde ısıl işleme tabi tutulan ağaç malzemede, suda çözünmeyen polimerlerin oluşumunu sağlayan hemiselülozların parçalandığını ve lignin kayıplarına sebep olduğunu bildirmişlerdir.

Viitaniemi (1993) çalışmasında, yüksek sıcaklıklarda uygulanan ısıl işlemin, ağaç malzemenin su alma özelliklerinde azalmalara neden olduğunu ve bunun da ağaç malzemenin çürümesine karşı biyolojik dayanıklılığını artırdığını belirlemiştir. Ayrıca ısıl işlemin süresi ve sıcaklığı arttıkça ağaç malzemenin fiziksel ve kimyasal özelliklerinde de değişiklikler olduğunu vurgulamıştır.

Viitaniemi (1994), ısıl işlemin ladin ağacı odununun özellikleri üzerine etkisi isimli çalışmasında ladin ağacı odunundan hazırlanan deney örneklerine 180-250 °C ısıl işlem uygulamıştır. Normal basınç altında ve su buharı koruması altında gerçekleştirdiği ısıl işleme tabi tutulan numuneler üzerinde yapmış olduğu deney sonucunda ısıl işleme tabi tutulan numunelerin eğilme dirençlerinde düşüş olduğunu gözlemlemiştir. En fazla düşüş gösteren numunelerin 250 °C sıcaklıkta ısıl işleme tabi tutulanlar olduğunu ve düşüşün %14 seviyelerinde olduğunu bildirmiştir.

Rapp (2001) çalışmasında, ısıl işlemin, şartlarına ve süresine bağlı olarak ağaç malzeme yapısında önemli değişiklikler meydana getirdiğini bildirmiştir. Sıcaklıkla doğru orantılı olarak renginin koyulaşırken denge rutubet miktarının da düştüğünü, su alma ve suda genişleme değerlerinin belli oranlarda azaldığını belirtmiştir. Isıl işlemin, şartlarına ve sıcaklığına bağlı olarak ağaç malzemeye, biyolojik olarak kararlılık kazandırdığını, mekanik özelliklerde ise ısı artımıyla birlikte düşüşler meydana getirdiğini bildirmiştir.

Yıldız (2002), Doğu kayını ve Doğu ladini odunlarını 130, 150, 180 ve 200 °C sıcaklıklarda 2, 6 ve 10 saat normal atmosfer ortamında ısıl işleme tabi tutmuş ve çalışmanın sonucunda; sıcaklık ve süre artışı ile boyutsal kararlılığın arttığını ancak mekanik dirençlerde düşüşler olduğunu belirlemiştir.

Ünsal ve Ayrılmış (2005), okaliptus (*Eucalyptus camaldulensis* Dehn.) ağacı örneklerini ısıl işleme tabi tutmuşlar. Isıl işlemi, 120 ile 180 °C arasında değişen sıcaklıklarda ve 2 ile 10 saat arasında gerçekleştirmişlerdir. Yapmış oldukları deneyler sonucunda ısıl işlem sıcaklığının ve süresinin artması ile hava kurusu yoğunluk, liflere paralel basınç direnci ve yüzey pürüzlülük değerlerinde düşmenin olduğunu saptamışlardır.

Mohebby ve Sanaei (2005) çalışmalarında, kayın odununu öncelikle 160, 180 ve 200 °C sıcaklıkta 4, 5 ve 6 saat sonra tekrar aynı sıcaklıklarda 16 saat ısıl işleme tabi tutmuşlar. Sonuç olarak su alma oranında az bir artma olmasına rağmen, şişme oranlarında bir azalma meydana geldiğini bildirmişlerdir. Bununla beraber tam kuru yoğunluk çok az derecede düşmüştür. Yoğunluğun çok az derecede düşmesi ve su alma oranının artmasında en önemli etkenler olarak ısıl işlemin neden olduğu ağaç malzemede iç pirolizler ve ısıl işlem neticesinde ağaç malzemede oluşan iç poroziteler gösterilmiştir.

Tjeerdsma ve Militz (2005), çalışmalarında kayın ve sarıçam odunlarını 145 °C sıcaklıkta 4 saat süre ile ısıl işleme tabi tuttuktan sonra FTIR spektroskopunda analizlerini yapmışlar. Analizler sonucunda, sıcaklığın artmaya başlamasıyla

hemiselüloz gruplarının parçalanmaya başladığı bildirilmiştir. Asetik gruplarının çoğunun yüksek sıcaklıklarda odunun muamelesi boyunca çatladığı gözlenmiştir. Çalışmada esterleşmenin odununun higroskoplugun azalmasında etkili olduğu, boyutsal stabilizasyon ve direnç özelliklerinde de rol oynadığı belirlenmiştir.

Yıldız ve arkadaşları (2006), ladin (*Picea orientalis*) odununu 130, 150, 180 ve 200 °C sıcaklıklarda 2, 6 ve 10 saat ısıl işleme tabi tutmuş oldukları çalışmalarında, ısıl işlem süresi ve sıcaklığına bağlı olarak ladin odununda basınç direncinin düştüğü ve ağaç hücre bileşenlerindeki hemiselüloz, lignin ve selüloz bileşenlerinin bozunduğunu belirlemişlerdir.

Boonstra ve arkadaşları (2007), radiata çamı (*Pinus radiata* D.), sarıçam (*Pinus sylvestris* L.) ve Norveç kayını (*Picea abies* Karst) örneklerini üzerinde ısıl işlem uygulaması yapmışlardır. 165 ve 185 °C sıcaklıklarda 30, 45, 60 ve 90 dakika ısıl işleme tabi tutulan örnekler daha sonra geleneksel olarak 50-60 °C kurutulmuş ve tekrar 180 °C sıcaklıkta 6 saat etkili bir ısıl işleme tabi tutulmuştur. Sonuçta, ısıl işlem uygulamasına bağlı olarak liflere paralel çekme direncinde, eğilme dirençlerinde ve yarılma dirençlerinde azalmalar meydana geldiği gözlemlenmiştir.

Korkut ve arkadaşları (2008), yüksek sıcaklıkta ısıl işlemin, sarıçam *(Pinus sylvestris* L.) odununun teknolojik özelliklerine etkilerini araştırmışlar. Sarıçam numunelerini 120 °C, 150 °C ve 180 °C sıcaklıklarda 2, 6 ve 10 saatlik ısıl işleme tabi tutmuşlar. Çalışmanın sonucunda ısıl işlemin sıcaklık ve süresinin artması ile direnç değerlerinin düştüğünü gözlemlemişlerdir. En az direnç kaybı 120 °C' de 2 saat ısıl işlem uygulamasında, en fazla direnç kaybı da 180 °C' de 10 saat ısıl işlem uygulamasında gerçekleşmiştir.

Korkut ve arkadaşları (2008a) çalışmalarında; Akçaağaç *(Acer trautvetteri* Medw.) odununun bazı mekanik özellikleri üzerine ısıl işlemin etkisini araştırmışlardır. Örnekleri 120, 150 ve 180 °C sıcaklıklarda 2, 6 ve 10 saat gibi farklı sürelerde ısıl işleme tabi tutmuşlar. Çalışma sonucunda; en fazla azalmanın radyal ve teğet sertlik değerleri ile liflere dik çekme direncinde 180 °C' de 10 saat ısıl işlem uygulaması

neticesinde elde edildiğini belirlemişlerdir. Boyutsal stabilite gerektiren pencere doğramalarında kullanılacak ağaç malzemenin ısıl işlem uygulamasına tutulmasının faydalı olacağı ifade edilmiştir.

Aydemir ve Gündüz (2009), ısıl işlem ile ağaç malzemenin renginin 150 °C ve üstündeki sıcaklıklardaki muamelelerle değiştiğini ve yine bu sıcaklık üstünde ağaç malzemenin biyolojik direnç ve boyutsal stabilizasyon kazandığını bildirmişlerdir. Yine bu sıcaklık üzerinde ağaç malzemenin mekanik özelliklerinin olumsuz yönde etkilendiğini ve bunun da ağaç malzemenin kullanım yerlerini sınırladığını vurgulamışlardır.

Altınok ve arkadaşları (2010) çalışmalarında, kayın odunundan elde edilen örnekleri, 100 ve 150 ºC'de 4 saat ısıl işleme tabi tutmuşlar. Poliüretan ve polivinilasetat tutkalı ile lamine edilmiş örneklerin eğilme, yapışma ve basınç dirençlerine ısıl işlemin etkisi araştırmışlardır. Çalışma sonunda ısıl işleme bağlı olarak bu özelliklerde artışların olduğu belirlenmiştir.

Altınok ve arkadaşları (2010a), ısıl işlemin ağaç malzemenin fiziksel özellikleri üzerindeki etkisini araştırdıkları çalışmalarında, 185 ve 212 °C'de ısıl işleme tabi tutulan karaçam *(Pinus nigra var. pallasiana)* ve dişbudak *(Fraxinus exelsior* L.*)* örneklerini incelemişlerdir. Çalışmalarının sonucunda, sıcaklığın artmasıyla yoğunluğun azaldığını, hacimsel çekme, hacimsel şişme ve su geçirgenlik değerlerinde olumlu sonuçların elde edildiğini ve ağaç malzemenin çarpılma-burulma niteliği üzerinde de ısıl işlemin olumlu etkisinin olduğunu bildirmişlerdir.

Budakçı ve arkadaşları (2011), ağaç malzemeye ısıl işlem uygulandıktan sonra farklı daire testere makinesi kesicileri ile işlenmesinin yüzey pürüzlülüğüne etkilerini belirledikleri çalışmalarında, sarıçam *(Pinus Sylvestris* L.*),* Doğu kayını (*Fagus Orientalis* L.), Uludağ Göknarı (*Abies Bornmülleriana Mattf.)ve* sapsız meşe (*Quercus Petraea* L.) odunu örnekleri kullanmışlardır. 140 ºC ve 160 ºC'lik sıcaklıklarda 3, 5 ve 7 saat süre ile ısıl işlem uygulanan örnekler, 28, 48, 60, 72, 96 dişli daire testereler ile işlenmiştir. Daha sonra örneklerin yüzey pürüzlülüğü, ISO

4287 esaslarına göre dokunmalı (iğneli) tarama cihazı (TİME TR200) kullanılarak belirlenmiştir. Araştırma sonuçlarına göre ısıl işlem, çalışmada kullanılan ağaç malzemelerin yüzey pürüzlülük değerlerini artırıcı etki yapmış, gözle görünür bir renk değişimine neden olmuştur. Uygulamada düzgün yüzeyler elde etmek için; ısıl işlem uygulanmış veya ısıl işlem uygulanmamış ağaç malzemenin ölçülendirilmesinde çift pahlı (WZ) kesici ağız profiline sahip 28 dişli daire testerenin tercih edilmesi önerilmiştir.

4. MALZEME VE YÖNTEM

4.1. Malzeme

4.1.1. Ağaç malzemeler

Çalışmada, ülkemizde doğal olarak yetişen, mobilya ve dekorasyon endüstrisinde önemli bir değere sahip iğne yapraklı ağaçlardan sarıçam (*Pinus sylvestris* L.), Uludağ göknarı (*Abies bommulleriana* Mattf.) ve ticari değere sahip tropik bölge ağaçlarından iroko (*Chlorophora excelsa*) odunları kullanılmıştır. Ağaç malzemeler Ankara' daki kereste işletmelerinden tamamen tesadüfi yöntemle temin edilmiş ve seçiminde kerestenin kusursuz olmasına, liflerin düzgün, ardaksız, reaksiyon odunu bulunmayan, mantar ve böcek zararlarına uğramamış olmasına dikkat edilmiştir.

4.1.2. Ahşap esaslı malzeme

TS 64-5 EN 622-5 standartlarında 18 mm kalınlığında, orta yoğunlukta lif levha (MDF) kullanılmıştır. MDF, temin edilmesi ve işlenmesinin kolay olması, farklı kalınlık ve yüzey kaplama malzemesi ile üretilmesi ayrıca masif ahşaba nazaran ekonomik olmasından dolayı mekanların akustik düzenlenmesinde yoğun olarak kullanılmaktadır.

4.1.3. Tutkal

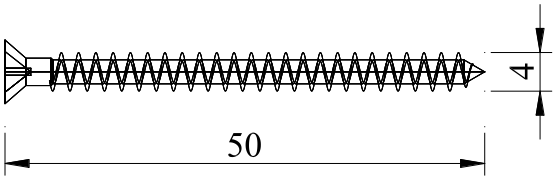
Deney örneklerinin yapıştırılmasında, çift bileşenli Polivinil asetat (*PVAc-D4*) tutkalı kullanılmıştır. Polivinil asetat (*PVAc-D4*) tutkalı, Alman Kleiberit firmasının, %5 sertleştiricili ilaveli Kleibit 303 isimli tutkalıdır. Bu tutkal BS EN 204 standardına göre tek bileşenli olarak D_3 sınıfı için kullanıma hazır halde bulunan bir tutkal olmasına rağmen sertleştirici ilavesiyle rutubete dayanıklılığı daha da arttırılarak, BS EN 204' e göre çift bileşenli D_4 yapışma kalitesine sahiptir. PVAc-D_4 tutkalının teknik özellikleri Çizelge 4.1' de verilmiştir [Üretici firma, 2005].

Çizelge 4.1. PVAc-D_4 tutkalının teknik özellikleri

Tipi	PVAc Dispersiyon
Renk	Beyaz
Viskozitesi (20 ^oC)	13000±2000 mPas (1300±200 cps)
Yoğunluk	Kompenant A=1,10 g/cm^3 Kompenant B=1,13 g/cm^3
Sertleştirici	Dorus R.397 (Karışım oranı %5)
pH değeri	3
Sürülen miktar	150-200 g/cm^2
Uygulama şekli	Fırça ve silindirli sürme makinesi
Presleme süresi	20 ^oC' de 15 dak.
	50 ^oC' de 5 dak.
	80 ^oC' de 2 dak.
Depolama süresi	12 Ay
İnceltici	Su
Donma direnci	-30 ^oC
Tebeşirleşme	±5 ^oC
Uygulama alanı	Yüzey yapıştırma, pencere, kapı imalatı, laminat yapıştırma, en ve boy birleştirmelerin yapıştırılması, yüksek frekans (20000 kHz) yapıştırma vb.
İnsan sağlığına etkisi	Karışım toksik etkisi olan izosiyanat içerdiği için insan sağlığına olumsuz etki yapmaktadır. Temas halinde eller hemen su ile yıkanmalıdır.

4.1.4. Vida

Vida tutma direncinin belirlenmesinde, özellikle masif ve odun kompoziti levhalardan üretilen panellerin bağlantı elemanı olarak kullanılan, yıldız başlı, 4 mm çapında ve 50 mm boyundaki vidalar kullanılmıştır. Kullanılan vidanın diş dibi (kök) çapı 2,4 mm, diş adımı ise 1,8 mm' dir (Şekil 4.1) [TS 80, 1988].



Şekil 4.1. Deneylerde kullanılan vida boyutları (ölçüler mm)

4.1.5. Taş yünü

Çalışmada, TS EN 13162 standartlarında 50 mm kalınlığında 50 kg/m^3 yoğunluğunda taş yünü kullanılmıştır. Taş yünü; bazal taşının öğütülüp toz haline getirilerek, çeşitli kimyasal maddeler ve geri dönüşümlü çöp maddelerinin bileşiminden oluşur. Taş yünü değişik boy elyaflardan oluşmakta, diğer malzemelerle birlikte karıştırıldığında parçalanarak içyapıya dağılmaktadır. Sıcaklığa dayanıklı, ısı ve ses izolasyonuna uygun, korozyona dayanıklı bir malzemedir. Sıcağa ve rutubete maruz kalması halinde dahi, boyutlarında bir değişme olmaz. Zamanla bozulmaz, çürümez, küf tutmaz, korozyon ve paslanma yapmaz. Bu özelliklerinden dolayı taş yünü, mekanların akustik düzenlemelerinde kaplama malzemeleri ve duvar arasına yerleştirilerek kullanılmaktadır. Kullanılan taş yününün teknik özellikleri Çizelge 4.2' de verilmiştir [Üretici Firma, 2011].

Çizelge 4.2. Taş yününün teknik özellikleri

Yoğunluk	50 kg/m^3
Isı iletkenlik katsayısı	0,04 W/mK
Özgül ısı kapasitesi	840 J/kgK
Su buharı difüzyon direnç faktörü	μ=1,1
Dayanım sıcaklığı	750 ^{o}C
Ergime sıcaklığı	1100 ^{o}C
Çekme dayanımı	7,9 kN/m^2
Yangın Dayanımı	TS EN 13501-1 A Sınıfı
Ses yutma katsayıları	125 Hz 0,30
	250 Hz 0,85
	500 Hz 1,03
	1000 Hz 1,07
	2000 Hz 1,06
	4000 Hz 1,00

4.2. Isıl İşlem ve Deney Yöntemleri

4.2.1. Isıl işlem uygulaması

Isıl işlem sadece sarıçam ve irokodan elde edilen lamine panellerin iki dış katmanı malzemelerine uygulanmıştır. Panellerin orta katmanını oluşturan Uludağ göknarı ve MDF panellere uygulanmamıştır.

Piyasadan tesadüfi olarak tedarik edilen keresteler, uygun koşullarda hava kurusu rutubet değerine (%12) ulaşıncaya kadar bekletilmiştir. Lamine ağaç panellerin iki dış katmanını oluşturan sarıçam ve iroko taslak lataları radyal kesit yüzeyine uygun olarak 30x70x910 mm ebatlarında ve yeterli sayıda kesilmiştir. Bunlardan sadece dış katman için sarıçam ve iroko lataların yarısına ısıl işlem uygulanmak üzere Resim 4.1 ve Resim 4.2' de görüldüğü gibi fırına yerleştirilmiştir.

Taslak latalara ThermoWood yöntemi ile 185 ^{o}C' de ve Çizelge 4.3' e göre üç aşamada ısıl işlem uygulanmıştır.

Çizelge 4.3. Uygulanan ısıl işlem yöntemi

Aşama	Süre (s)	Açıklama	Fırın Sıcaklığı
I	6	Farklı rutubet miktarına sahip latalar kurutulmaya başlanır. Fırın sıcaklığı hızlı bir şekilde 100 ^{o}C' ye çıkarılır. Yanmayı önlemek için su buharı kullanılır.	20 – 100 ^{o}C
	12	Beklemeden, sıcaklık tedricen 130 ^{o}C' ye yükseltilir. Su buharı eşliğinde yüksek sıcaklıklarda ağaç malzemenin kurutulmasına devam edilir.	100 – 130 ^{o}C
	6	Sıcaklık tedricen 185 ^{o}C' ye yükseltilir. Sıcak su buharı eşliğinde kurutma devam eder ve odun hücre duvarlarında kimyasal değişim başlatılır. Bu aşamada rutubet sıfıra iner.	130 – 185 ^{o}C
II	2	Yanma ve çatlamayı önlemek için su buharı vermeye devam edilir. Bu aşamada odun hücre duvarlarında kimyasal dönüşüm sağlanır.	185 – 185 ^{o}C
III	12	Su buharı kullanılarak ahşap malzemenin sıcaklığı tedricen 20 ^{o}C' ye düşürülür. Ahşap malzemenin nemi %4-6' ya ulaştırılır. Ahşap malzeme dinlendirilmeye bırakılır.	185 – 20 ^{o}C
Toplam	38		



Resim 4.1. Isıl işlem fırını [Altınok ve Perçin, 2010]



Resim 4.2. Taslakların ısıl işlem fırınına yerleştirilmesi

4.2.2. Deney örneklerinin hazırlanması

Laminasyon işlemleri TS EN 386 esaslarına uyularak yapılmıştır. Isıl işleme tabi tutulmuş ve tutulmamış sarıçam, iroko ve Uludağ göknarı taslak lataları dilimlenmiş ve yapışmanın daha iyi olması için dört yüzeyi 4 bıçaklı ve mil çapı 120 mm olan planya makinesinde rendelenerek düzeltilmiştir. Latalar radyal kesit yüzeyli olarak, sarıçam ve iroko 7x60x910 mm, Uludağ göknarı ise 6,5x60x910 mm ebatlarına getirilmiş ve latalar, herhangi bir kusur içermeyecek şekilde tasnif edilmiştir.

Elde edilen latalar kendi grupları arasında düz en birleştirme tekniği ile tutkallanarak preslenmiştir. Presleme işlemi için, yandan baskı sistemli ve 3 pistonlu özel yatay deney pres cihazı kullanılmıştır (Resim 4.3) [Altınok ve Özkaya, 2006].

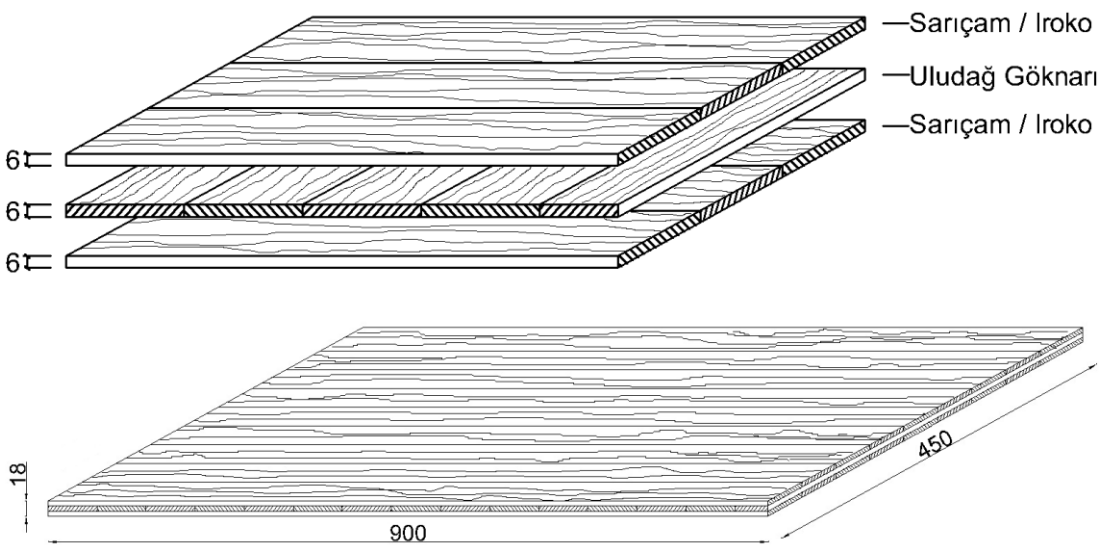


Resim 4.3. Yan yana ekleme pres cihazı [Altınok ve Özkaya, 2006]

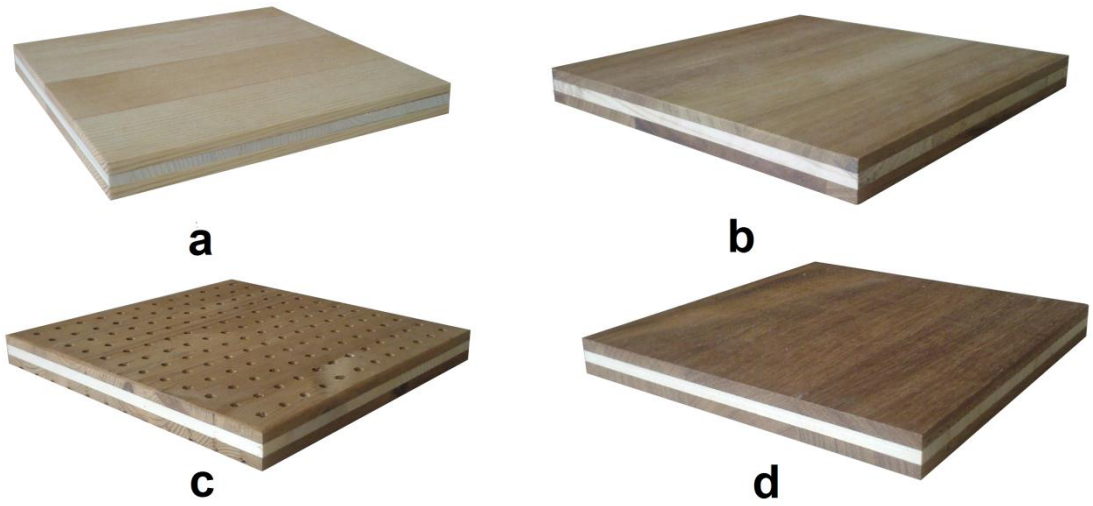
Üretimi yapılan lataların cumbalarına, 200 g/m^2 çift bileşenli Polivinil asetat (*PVAc-D4*) tutkalı fırça ile yapışma yüzeyine eşit katman oluşturacak şekilde uygulanmıştır. Presleme işlemi, sarıçam ve göknar için 0,6 N/mm^2, iroko için 0,9 N/mm^2 lik pres basıncında, atölye koşullarında (20 ± 2 ^{o}C ve %65 ± 5 bağıl nem) 12 saat süre ile yapılmıştır.

Yan yana eklenerek deney numunelerin bir katını oluşturacak levhaların kalınlıklarını homojen hale getirmek için her iki yüzeyi de düzgün satıh oluşturacak şekilde 80 kum zımpara ile zımparalamıştır. Alt ve üst tabakada kullanılacak olan sarıçam ve iroko plakaları 6,5x910x910 mm ebatlarına, orta tabakada kullanılacak olan Uludağ göknarı plakaları ise 6x910x910 mm ebatlarına getirilmiştir.

Elde edilen, ısıl işlemsiz ve ısıl işlemli sarıçam, iroko ve göknar levhaları, alt ve üst katlara birbirlerine paralel yönde sarıçam ve iroko, orta kata ise bunlara dik yönde Uludağ göknarı yerleştirilerek üç katlı kontra lamine paneller üretilmiştir (Şekil 4.2) (Resim 4.4).



Şekil 4.2. Üretilen panel örneği (Ölçüler mm'dir)



Resim 4.4. Panel örnekleri
(a) Isıl işlemsiz sarıçam panel (b) Isıl işlemsiz iroko panel
(c) Isıl işlemli delikli sarıçam panel (d) Isıl işlemli iroko panel

Levhaların yapıştırılmasında çift bileşenli Polivinil asetat (*PVAc-D4*) tutkalı kullanılmış ve tutkal çözeltisi yapıştırma yüzeylerinden yalnız bir tanesine 200 gr /m^2 hesabıyla merdaneli tutkal sürme aparatı ile sürülmüştür. Paneller hidrolik sıcak preste sıkıştırma basıncı, sarıçam panellerde 4 kg/cm^2, iroko panellerde 6 kg/cm^2 ayarlanarak tutkal firmasının önerileri doğrultusunda 80 °C'de 120 dakika bekletilerek preslenmiştir. Presten çıkarılan paneller istiflenerek dinlendirilmiştir.

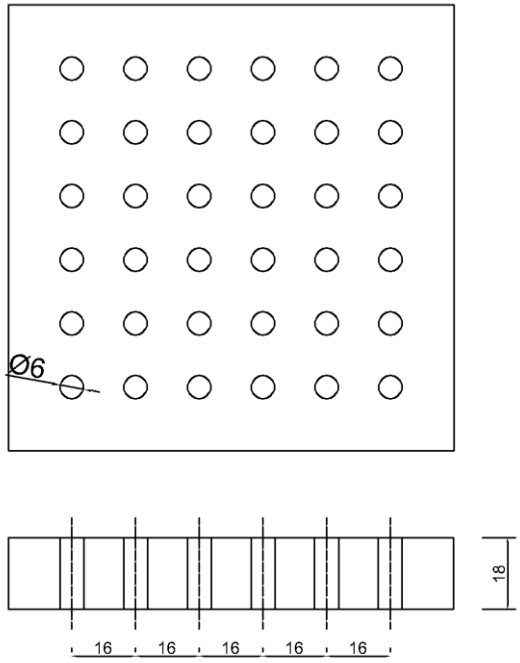
Isıl işlemsiz ve ısıl işlemli sarıçam ve iroko paneller kalibre zımpara makinesinde 6 m/dk besleme hızı ve 80 kum zımpara ile her iki yüzlerinden eşit miktarda zımparalanmıştır. Paneller ebatlanarak 18x450x900 mm ölçülerinde imal edilmiştir.

Yüzeyi delikli panellerin hazırlanması

Ses yutma katsayısı değerleri, düz yüzeyli ve delikli yüzeyli olmak üzere iki farklı yüzey şeklinde belirlenecektir. Yüzey özelliklerine göre paneller düz yüzeyli ve delikli yüzeyli olarak üretilmiştir.

Düz panel: Yüzeylerinde herhangi bir işlem yapılmayan panellerdir.

Delikli panel: Düz panel olarak üretimi tamamlandıktan sonra panellere, 6 mm çapında ve merkez aralıkları 16 mm olan 4000 adet/m^2 delikler açılmıştır (Şekil 4.3 ve Resim 4.4). Perforasyon oranı % 11,5' dir.



Şekil 4.3. Delikli panellerin delik şemasının gösterilmesi

Üretilen paneller, türlerine göre gruplandırılarak istif edilmiş ve 20 ± 2 ^oC sıcaklık ve %65 ± 5 bağıl nem şartlarında %12 ± 2 denge rutubetine gelmesi için bekletilmiştir. Daha sonra her bir levhadan istenilen deney örnekleri TS 2756 – 0 (ISO 2859 – 0) ve TS 53 standartlarına uygun olarak alınmıştır. Deney örnekleri alınırken budak ve reçine bulunmaması, lif bozukluğu olmaması, yapışma yüzeyinin bozuk olmaması gibi deney sonuçlarını etkileyecek durumlar dikkate alınmıştır.

4.2.3. Deneme deseni

Hazırlanan deney örnekleri ve özellikleri ile uygulanacak testler ve standartları Çizelge 4.4' de verilmiştir.

Çizelge 4.4. Deneme deseni

			Deney Numuneleri									
			Isıl İşlemsiz						Isıl İşlemli			
			Sarıçam		İroko		MDF		Sarıçam		İroko	
Deneyin Adı	Standart	Numune Ölçüleri (mm)	Düz	Delikli	Düz	Delikli	Düz	Delikli	Düz	Delikli	Düz	Delikli
Yoğunluk [g/cm^3]	TS 2472	20x30x18	10 Ad		10 Ad				10 Ad		10 Ad	
	TS-EN 323	50x50x18					10 Ad					
Rutubet [%]	TS 2471	20x30x18	10 Ad		10 Ad				10 Ad		10 Ad	
	TS-EN 322	50x50x18					10 Ad					
Kalınlık Değişimi [%]	TS 4084	30x30x18	10 Ad		10 Ad				10 Ad		10 Ad	
	TS EN 317	50x50x18					10 Ad					
Isı İletkenlik Katsayısı [W/mK]	TS ISO 8302	240x240x18	10 Ad		10 Ad		10 Ad		10 Ad		10 Ad	
Eğilme Direnci [N/mm^2]	TS EN 310	450x50x18	10 Ad		10 Ad		10 Ad		10 Ad		10 Ad	
Eğilmede Elastikiyet Modülü [N/mm^2]	TS EN 310	450x50x18	10 Ad		10 Ad		10 Ad		10 Ad		10 Ad	
Yüzeye Dik Çekme Direnci [N/mm^2]	TS EN 205	50x50x18	10 Ad		10 Ad				10 Ad		10 Ad	
	TS EN 319	50x50x18					10 Ad					
Yüzeyden Vida Tutma Direnci [N/mm^2]	TS EN 13446	50x50x18	10 Ad		10 Ad				10 Ad		10 Ad	
	TS EN 320	50x50x18					10 Ad					
Ses Yutum Katsayısı (E 70 Montaj)	TS EN ISO 354	450x900x18	12 Ad	12 Ad	12 Ad	12 Ad	12 Ad	12 Ad	12 Ad	12 Ad	12 Ad	12 Ad
Ses Yutum Katsayısı (E 70+ Montaj)	TS EN ISO 354	450x900x18	12 Ad	12 Ad	12 Ad	12 Ad	12 Ad	12 Ad	12 Ad	12 Ad	12 Ad	12 Ad

4.2.4. Fiziksel özelliklerin belirlenmesi

Bu çalışmada, panellerin ses yutma katsayısı değerleri üzerinde ve kullanım özelliklerini belirlemede etkili olan fiziksel özelliklerden yoğunluk, rutubet miktarı, genişleme miktarı ve ısı iletkenlik katsayıları belirlenmiştir.

Tam kuru ve hava kurusu yoğunluklar

Deney örneklerinin yoğunluklarının belirlenmesinde ahşap lamine malzemeler için TS 2472 (1976), lif levhalar için ise TS EN 323'de (1999) belirtilen esaslara uyulmuştur. Yoğunluğu belirlenecek örnekleri, ahşap lamine malzemeler için 20x30x18 mm, MDF için 50x50x18 mm ölçülerinde hazırlanmıştır. Örneklem grupları her malzeme çeşidinden 10' ar adet olmak üzere toplam 50 adet örnek hazırlanmış olup, ± 0,01 g duyarlıklı terazi ile tartılarak örneklerin ilk kütleleri (m_{12}) tespit edilmiş ve boyutları ± 0,01 mm duyarlıklı dijital kumpas ile ölçülerek hacimleri (V_{12}) hesaplanmıştır. Hava kurusu yoğunluk için, örnekler etüvde 103 ± 2 °C de 24 saat bekletilmişler, 6 saat aralıklarla yapılan iki tartı arasındaki fark, deney parçası kütlesinin % 0,5'ine eşit veya daha az olduğunda değişmez kütleye ulaştıkları kabul edilerek tam kuru kütleleri (m_o) belirlenmiştir. Tekrar dijital kumpas kullanılarak boyutlar ölçülmek suretiyle tam kuru hacimleri (V_o) hesaplanmıştır. Tam kuru (δ_o) ve hava kurusu (δ_{12}) yoğunlukların belirlenmesi için sırasıyla Eş. 4.1 ve Eş. 4.2 kullanılmıştır.

$$\delta_0 = m_0 / \ V_0 \quad (g/cm^3) \tag{4.1}$$

$$\delta_{12} = m_{12} / \ V_{12} \ (g/cm^3) \tag{4.2}$$

Burada;

δ_o : Tam kuru yoğunluk (g/cm^3)

δ_{12} : Hava kurusu yoğunluk (g/cm^3)

m_o : Tam kuru kütle (g)

m_{12} : Hava kurusu kütle (g)

V_o : Tam kuru hacim (cm^3)

V_{12} : Hava kurusu hacim (cm^3)

Rutubet tayini

Rutubet miktarının belirlenmesinde ahşap lamine malzemeler için TS 2471 (1976), lif levhalar için ise TS EN 322' de (1999) belirlenen esaslara göre işlem yapılmıştır. Panelin rutubet miktarı, her bir panel grubu için 10 adet olmak üzere, toplamda 50 adet örnek, standartlara uygun olarak ahşap lamine malzemeler 20x30x18 mm, MDF 50x50x18 mm boyutlarda hazırlanan numuneler üzerinden belirlenmiştir. Numuneler ± 0,01 g duyarlıkta terazi ile tartılmış, etüve konulmuş ve 103 ± 2 °C' de değişmez kütleye ulaşıncaya kadar kurutulmuştur. 6 saat ara ile yapılan tartımlarda, birbirini izleyen iki tartım arasındaki kütle farkının, deney parçası kütlelerinin 0,01' inden fazla olmaması durumuna geldiğinde, bu kütle değişmez kütle olarak kabul edilmiştir. Daha sonra numuneler kurutma fırınından çıkarılarak 0,01 g duyarlılıkta terazi ile tartılmıştır. Değerler Eş.4.3' de yerine konarak numunelerin rutubet miktarları bulunmuştur.

$$r = \frac{m_r - m_0}{m_0} x100 \qquad (\%) \qquad (4.3)$$

Burada;

r : Rutubet miktarı (%)

m_r : Klimatize edilmiş durumdaki numune kütlesi (g)

m_0 : Tam kuru haldeki numune kütlesi (g)

Kalınlığına Genişleme

Kalınlığına genişleme oranlarının belirlenmesinde ahşap lamine malzemeler için TS 4084 (1983), lif levhalar için ise TS EN 317 (1999) esaslarına uyulmuştur. Bu maksatla ahşap lamine paneller için 30x30x18 mm, MDF için 50x50x18 mm ebatlarında her bir deney grubu için 10'ar adet olmak üzere toplam 50 adet örnek hazırlanmıştır (Şekil 4.10). Hazırlanan deney örnekleri öncelikle 100±2 °C'de değişmez ebatlara ve kütleye gelinceye kadar bekletilmiştir. Bundan sonra 0,01 hassasiyetinde kumpasla kalınlık yöndeki ölçüleri elde edilmiştir. Bu işlemden sonra örnekler içerisinde destile su bulunan cam bölmelere konmuş ve üzerlerine tamamen suya batmaları için bir çelik tel kafes konmuştur. Bu şekildeki örnekler 24 saat bekletilmiş ve daha sonra çıkartılarak üzerindeki sular bir kağıt havlu yardımı ile alınarak tam yaş boyutları yine 0,01 hassasiyetli kumpasla ölçülerek değerler Eş. 4.4.' de yerine konularak su alma oranına bağlı olarak gerçekleşen kalınlığına genişleme yüzdesi belirlenmiştir.

$$\alpha = \frac{Vr - V_0}{Vr} x100(\%) \quad (\%) \tag{4.4}$$

α : Genişleme yüzdesi (%)
Vr : Rutubetli kalınlık (mm)
V_0 : Tam kuru kalınlık (mm)

Isı İletkenlik Katsayısının Belirlenmesi

TS ISO 8302' de (2002) belirtilen esaslar ve Dr. Block'a göre "plaka metodu" ile ısı iletkenlik katsayısının tayini için 240 x 240 x 18 mm boyutlarında her bir grup için 10 adet deney örneği hazırlanmıştır. Deney örnekleri ±0,01 g duyarlılıkta terazi ile tartılmış ve daha sonra etüve konulan numuneler 103 ± 2 ºC'de değişmez ağırlığa ulaşıncaya kadar kurutulmuştur. 6 saat ara ile yapılan tartımlarda, birbirini izleyen iki tartım arasındaki kütle farkının, deney parçası kütlelerinin 0,01'inden fazla olmaması durumuna geldiğinde, bu kütle değişmez olarak kabul edilmiştir. Daha sonra deney

numuneleri kurutma fırınından çıkartılarak soğutulmuş ve 0,01 g duyarlılıkta terazi ile tartılmıştır.

Her bir deney örneği, deney ortamındaki hava rutubetini (% 50 nispi rutubeti takriben sabit ağırlığa gelinceye kadar) aldıktan sonra 0,01 g duyarlılıkta terazi ile tartılmıştır.

Deney numunelerin rutubetleri (r), TS 2471 ve TS EN 322 standardında belirtilen esaslara uyularak belirlenmiştir (Eş. 4.5).

$$r = \frac{m_r - m_o}{m_o} x100 \qquad (\%) \tag{4.5}$$

Burada ;

r : Rutubet (%)

m_r : Hava kurusu kütle (g)

m_o : Tam kuru kütle (g)

Numune yerleştirilmeden önce temiz haldeki iki ölçme levhası doğrudan doğruya üst üste konarak kalınlık ölçme vidaları kontrol edilmiştir. Isıtma levhası kaldırılıp hareketli kola asıldıktan sonra numune, soğutma levhasına iyice oturacak ve etrafında takriben 5 mm' lik bir boşluk kalacak şekilde soğutma levhasına yavaşça konulmuştur.

Ölçü vidalarının karşısındaki vidalar, sıkı şekilde oturuncaya kadar vidalanmıştır. Isıtma ve koruyucu ısıtma levhaları da sağa ve sola kısa hareket ettirilip bastırılarak iyice temas edecek şekilde oturtulmuştur. Ölçü vidaları döndürülerek, uzatılmış karşıt vidalarla hafifçe temasa getirildikten sonra okumalar yapılmıştır (d_1, d_2, d_3, d_4). Muhafaza kutusu yerine kapandıktan sonra hazırlıklar tamamlanmıştır.

Başlangıç çalışma durumunda termostat sıvılarının ısınma süresi olan 0,5 saat ile Eş.4.6' ya göre hesaplanan Z_a başlangıç çalışma sürelerinden oluşmuştur.

$$Za = \frac{\rho c d^2}{2\lambda} \tag{4.6}$$

Burada ;

ρ : Numunenin kuru yoğunluğu (kg/m^3)

c : Aynı haldeki numunenin özgül ısısı (0,45 kcal/kgºC)

d : Ölçülen kalınlık (m)

λ : Numunenin tahmin edilmiş olan ısı iletkenliği (kcal/m h ºC)

Bu çalışma süresine takriben 0,5 saat olan termostat sıvısının ısınma süresi de ilave edilmiş ve "başlangıç çalışma durumu süresi" için yaklaşık bir değer elde edilmiştir. Burada Za değeri 0,5 saatten küçük de olsa minimum süre 1 saat hesap edilmelidir.

"Başlangıç çalışma durumunun" sona ermesinden sonra yarım saatte bir aşağıdaki ölçümler yapılmış ve kaydedilmiştir.

* Saat,
* Elektrik sayacı,
* Isıyı ileten sıvının koruyucu ısıtma levhası (tw_1 ve tw_2) giriş ve çıkış sıcaklıkları
* Soğutma levhası (tk_1 ve tk_2) na giriş ve çıkış sıcaklıkları.

Ayrıca her defasında soğutma suyu sıcaklığı ile odanın sıcaklığı da not edilmiştir.

Sayaç okuma farkı ΔE ile zaman farkı ΔZ nin oranı, en az beş okumadan elde edilen aritmetik ortalamaın % 2,5' inden fazla ayrılmadığı takdirde yeter derecede sabit sayılmış bu durumda ölçüm bitmiş kabul edilmiştir.

Daha sonra numunenin kalınlığı bir kere daha ölçülmüş ve numune aletten çıkarıldıktan sonra ağırlığı tartılarak kayıt edilmiştir. Ölçüm sonunda ısı iletkenlik katsayısı Eş. 4.7' ye göre hesap edilmiştir. Plaka metodu ile ısı iletkenliğini ölçme aletinin şeması Şekil 4.4' de verilmiştir (Özen, 2009).

$$\lambda = \frac{qd}{\Delta t - q\omega} \quad (\text{kcal/mSºC}) \tag{4.7}$$

Burada;

λ :Isı iletkenlik katsayısı (k.cal/mSºC = 1,163 W/mK)

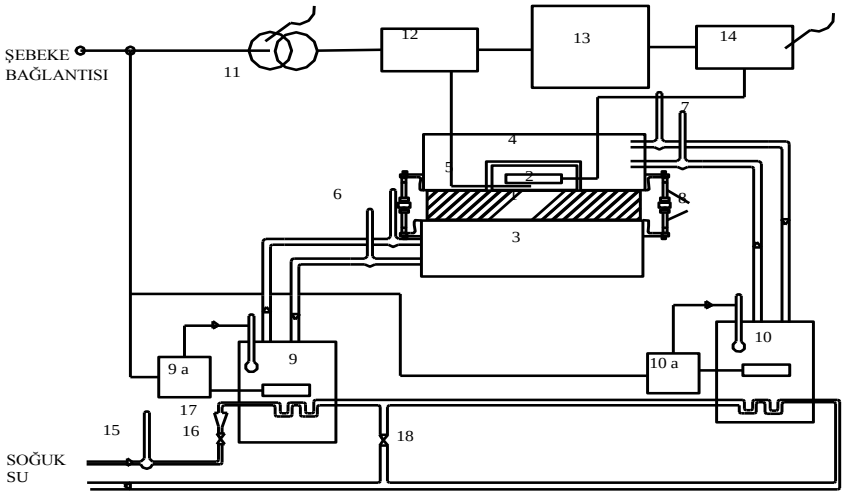
q :Toplam sayaç okuma farkının (ΔE), toplam zaman farkına oranının güç basamağı sabitesi (Ki) ile çarpımı ($q = \frac{\sum \Delta E}{\sum \Delta Z} xKi$)

d :Ölçülen kalınlık (m)

Δt :Koruyucu ısıtma levhasına giriş (a) ve çıkış (b) toplamının, soğutma levhasına giriş (c) ve çıkış (e) toplamı arasındaki farkın yarısı.

($\Delta t = \frac{(a+b)-(c+e)}{2}$)

ω :0,0022 m^2h^oC / k.cal



Şekil 4.4. Plaka metodu ile ısı iletkenliğini ölçme aletinin şeması [Özen, 2009]

1. Numune
2. Sıcak Plaka
3. Soğuk Plaka
4. Koruyucu Sıcak Plaka
5. Termo-sütun
6. Soğuk Plaka Termometresi
7. Koruyucu Sıcak Plaka Termometresi
8. Kalınlık Ölçme Mikrometreleri
9. Soğuk PlakaTermostatı

9.a. No (9) için Sıcaklık Regülatörü

10. Koruyucu Sıcak Plaka Termostatı

10.a. No (10) için Sıcaklık Regülatörü
11. Değişken Tranformatör
12. İki Nokta Ayarlacısı
13. Elektrik Sayacı
14. (12) Basamaklı Gerilim Bölücü
15. Soğutma Suyu İçin Termometre
16. Soğutma Suyu Sübabı
17. Soğutma Suyu Akış Ölçücüsü
18. Dış Devre Sübabı

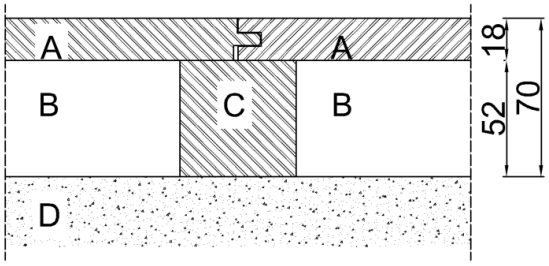
Ses yutma (absorpsiyon) katsayılarının belirlenmesi

Isıl işlemsiz ve ısıl işlemli sarıçam ve iroko paneller ile MDF panellerin ses yutma katsayıları; yüzey özellikleri ve montaj şekilleri yönleriyle ayrı ayrı değerlendirilmiştir. Yüzey özellikleri ile, düz panel ve delikli paneller kullanılmıştır. Montaj tipi olarak hava boşluklu E 70 ve taş yünü dolgulu E 70+ montaj tiplerinde ses yutma katsayısı değerleri belirlenmiştir.

Ses yutma katsayısı deneyleri için deney numunesi montajı:

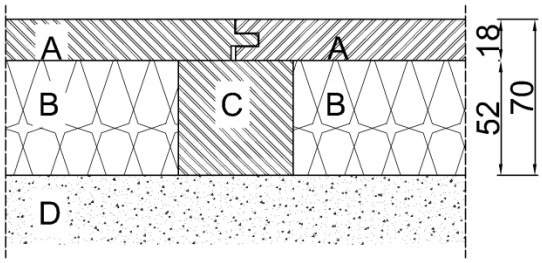
Ses yutma katsayısı deneylerinde, TS EN ISO 354' de belirtilen esaslar doğrultusunda, E 70 tipi montaj uygulanmıştır. Ölçümler, panellerin arkasında hava boşluğu olacak şekilde ve arkadaki boşluk taş yünü ile doldurulmak suretiyle iki farklı montaj tipinde gerçekleştirilmiştir.

E 70 tipi (hava boşluklu) montajda, deney numuneleri çınlama odasının zemini ve deney numunelerinin ön yüzeyleri arasındaki mesafe 70 mm olacak şekilde deney numuneleri ve zemin arasında hava boşluğu bırakılarak yerleştirilmiştir (Şekil 4.5). E 70+ tipi (taş yünü dolgulu) montajda, deney numuneleri arkalarına 50 mm kalınlığında 50 kg/m^3 yoğunluğunda taş yünü ile doldurulmuştur (Şekil 4.6). Deney numunelerin montajında çerçeve konstrüksiyon ile taşıyıcı karkas oluşturulmuştur (Şekil 4.7). Montaj bağlantısı ile oda yüzeyi arasında ve montaj bağlantısı ile deney numunesi arasında bulunan birleşme yerleri çevrelenen alan ile dışarısı arasında bir hava kaçağının önlenmesi amacıyla 18 mm MDF ile kapatılmıştır.



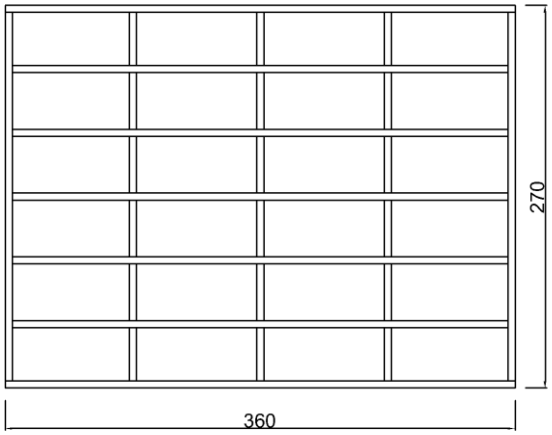
Şekil 4.5. E 70 tipi montaj gösterimi

A: Deney numunesi C: Karkas
B: Hava boşluğu D: Çınlama odasının zemini



Şekil 4.6. E 70+ tipi montaj gösterimi

A: Deney numunesi C: Karkas
B: Taş yünü D: Çınlama odasının zemini



Şekil 4.7. Taşıyıcı karkas

Ses yutma katsayısı deneyi metodu:

Ses yutma katsayılarının belirlenmesinde TS EN ISO 354 (2007)' de belirtilen esaslara uyulmuştur. Deneyler, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı Mesleki Hizmetler Genel Müdürlüğü Yapı Malzemeleri Daire Başkanlığı Laboratuvar Şube Müdürlüğü Akustik Laboratuvarında yapılmıştır. Çınlama odasının planı Şekil 4.8' de ve resmi Resim 4.5' de verilmiştir. Ölçümler esnasında, çınlama odasındaki bağıl nem %60 ve sıcaklık 17^{o}C olarak düzenlenmiştir. Her bir ölçüm öncesi çınlama odasının sıcaklığı ve bağıl nemi ölçülerek kaydedilmiştir.

Çınlama Odasının;

Hacmi : 208 m^3

Taban Alanı : 39 m^2

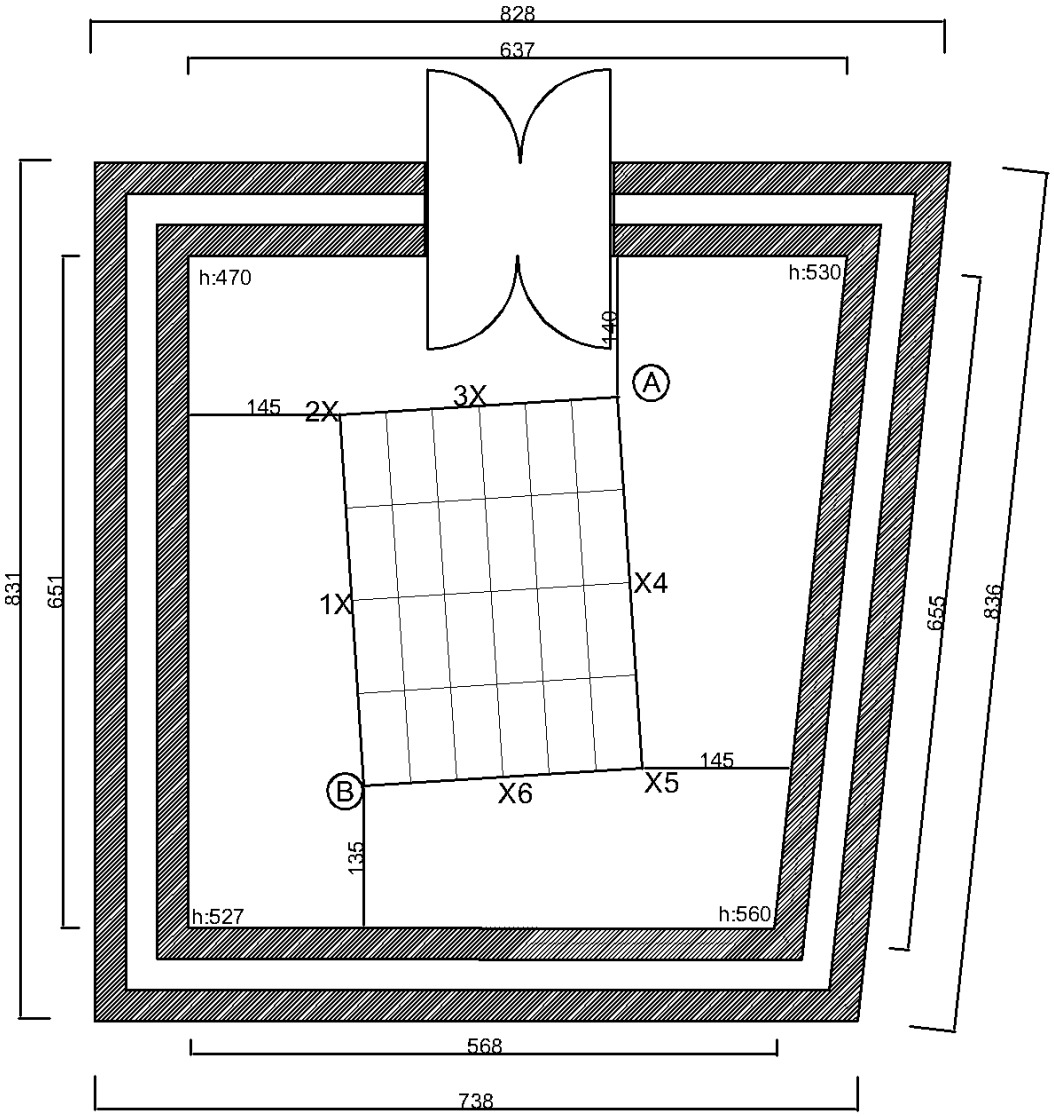
Toplam Yüzey Alanı : 211,2 m^2

Numune yüzey alanı : 9,72 m^2

Mikrofonun yerden yüksekliği : 160 cm

Ses kaynağının yerden yüksekliği : 160 cm

Ölçüm tarihi: 15.01.2012 – 05.02.2012



Şekil 4.8. Çınlama odasının ölçüleri, numune yerleşimi, mikrofon ve ses kaynağı konumları

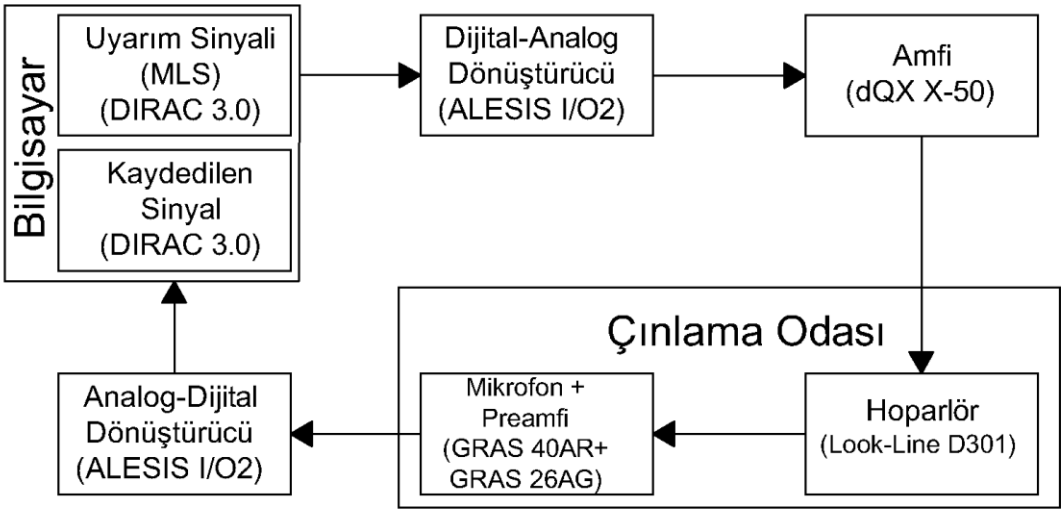
A ve B : Ses kaynağı konumları

1, 2, 3, 4, 5 ve 6 : Mikrofon konumları



Resim 4.5. Çınlama odası

Deneylerde, test sinyalinin üretilmesinde ve ses basıncı seviyelerinin analizinde bilgisayar yazılımı (Dirac 3.0) kullanılmıştır. Yazılım tarafından üretilen geniş bant MLS (En Uzun Dizi) sinyali ses arabirimi (ALESIS I/O 2 24-bit/48 kHZ) ve entegre güç amfisi (dQX X-50 iki kanallı 1800 W) kullanılarak çok yönlü hoparlöre (Look-Line D301) gönderilmiştir. Çınlama odasındaki sinyaller yönsüz mikrofon (1/2” GRAS 40 AR entegre preamfi GRAS 26AG) ile toplanarak ses arabirimine iletilmiştir. Toplanan sinyaller bilgisayar yazılımı ile kaydedilmiştir. Tüm sistemler üretici firma talimatları doğrultusunda kalibrasyonu yapılmıştır. Ölçüm prosedürünün akış şeması Şekil 4.9’ da ve kullanılan ekipmanlar Resim 4.6’ da verilmiştir.



Şekil 4.9. Ölçüm prosedürü akış şeması



Resim 4.6. Ölçümlerde kullanılan ekipmanlar

Ölçümler, her bir numune grubu için 2 farklı hoparlör ve 6 farklı mikrofon konumu olmak üzere toplam 12 kombinasyonda yapılmıştır. Hoparlör ve mikrofon konumları Şekil 4.8' de verilmiştir. Her bir ölçüm 3' er defa tekrarlanmış ve ortalamaları alınmıştır. Birbirinde bağımsız 12 azalma eğrisi ölçülmüştür. Çınlama odası, MLS sinyali ile 95 dB doyurulana kadar sinyal verilmiştir. Sinyal kesilmesinin ardından ses basıncı seviyeleri her 20 ms' de kaydedilmiş ve bilgisayar yazılımı ile 1/3 oktav bandında 100 Hz ile 5000 Hz arasında çınlama süreleri hesaplanmıştır.

Her bir frekans bandındaki çınlama süresi (*T*), bu frekans bandında alınan toplam çınlama süresi ölçümlerinin aritmetik ortalaması alınarak hesaplanmıştır. Boş çınlama odasının eş değer ses yutma alanı, A_1, metrekare cinsinden Eş. 4.8 ile hesaplanmıştır.

$$A_1 = \frac{55{,}3V}{cT_1} - 4Vm_1 \quad (\mathrm{m}^2) \tag{4.8}$$

Burada;

V : Boş çınlama odasının hacmi (m^3),

c : Sesin havada yayılma hızı (m/s),

T_1 : Boş çınlama odasının saniye cinsinden çınlama süresi (s),

m_1 : Ölçme boyunca boş çınlama odasında mevcut olan iklim şartları kullanılarak ISO 9613-1' e göre hesaplanan güç azalma kat sayısıdır (1/m).

Deney numunesi içeren çınlama odasının eş değer ses yutumu alanı, A_2, metrekare cinsinden Eş. 4.9 ile hesaplanmıştır.

$$A_2 = \frac{55{,}3V}{cT_2} - 4Vm_2 \quad (\mathrm{m}^2) \tag{4.9}$$

Burada;

V : Boş çınlama odasının hacmi (m^3),

c : Sesin havada yayılma hızı (m/s),

T_2 : Deney numunesi yerleştirildikten sonra çınlama odasının çınlama süresi (s),

m_2 : Ölçme boyunca deney numunesi bulunan çınlama odasında mevcut olan iklim şartları kullanılarak ISO 9613-1' e göre hesaplanan güç azalma kat sayısıdır (1/m).

Deney numunesi eş değer ses yutumu alanı, A_T, metrekare cinsinden Eş. 4.10 ile hesaplanmıştır.

$$A_T = A_2 - A_1 \quad (\mathrm{m}^2) \tag{4.10}$$

Burada;

A_T : Deney numunesinin eş değer ses yutumu alanı (m^2),

A_1 : Boş çınlama odasının eş değer ses yutumu alanı (m^2),

A_2 : Deney numunesi içeren çınlama odasının eş değer ses yutumu alanı (m^2).

Deney numunelerinin ses yutma kat sayıları Eş. 4.11 ile hesaplanmıştır.

$$\alpha_s = \frac{A_T}{S} \tag{4.11}$$

Burada;

α_S : Ses yutma katsayısı,

A_T : Deney numunesinin eş değer ses yutumu alanı (m^2),

S : Deney numunesinin kapladığı alan (m^2).

4.2.5. Mekanik özelliklerin belirlenmesi

Bu çalışmada, panellerin kullanım özelliklerinde etkili mekanik özelliklerden eğilme direnci, eğilmede elastikiyet modülü, yüzeye dik çekme direnci ve yüzeyden vida tutma dirençleri belirlenmiştir.

Eğilme Direnci

Eğilme direncinin belirlenmesi için TS EN 310' da (1999) belirtilen esaslara uyulmuştur.

Deney örnekleri, 410x50x18 mm ölçülerinde, her bir gruptan 10 adet olmak üzere, toplamda 50 adet deney örneği hazırlanmıştır. Destek açıklıkları (L1) kalınlığın 20 katı, numunelerin uzunlukları (L2) ise, L1 + 50 mm olarak alınmıştır. Deneylerde kullanılan desteklerin çapı 15 ± 0,5 mm, yüklemenin yapıldığı başlığın çapı ise 30 ± 0,5 mm' dir. Deney parçası boyuna ekseni desteklerin düşey eksenine dik olacak şekilde destekler üzerine düz olarak yerleştirilmiştir. Böylece deney parçasının enine ekseni ile kuvvet uygulama başlığının düşey ekseni aynı düzlemde olmuştur.

Deneylerde kuvvet, parçanın tam ortasından sabit hızla ve deney cihazının yükleme hızı 2 mm/dak olacak şekilde ayarlanmıştır. Eğilme, deney parçasının ortasından (yükleme başlığı altından) 0,1 mm hassasiyetle ölçülmüş ve ölçüm sırasında uygulanan statik yükün değeri de 0,1 g hassasiyetle ölçülerek, 'yük-sehim' diyagramı çizilmiştir. Kırılma anındaki maksimum yük (F_{max}) için, eğilme direnci (∂e) Eş.4.12 ile hesaplanmıştır.

$$\partial e = \frac{3F_{\max}L_1}{2bt^2} \quad (N/mm^2) \tag{4.12}$$

Burada;

∂e : Eğilme direnci (N/mm^2)

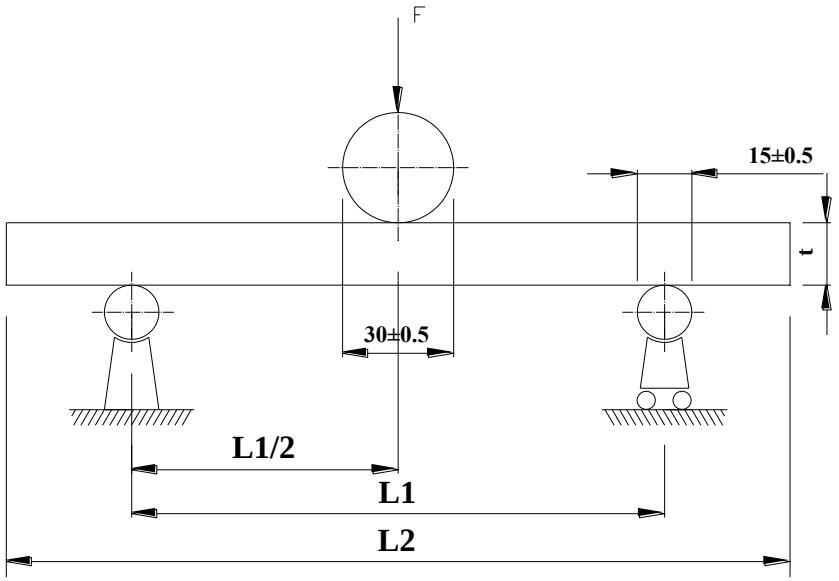
$F_{\max}$: Kırılma anındaki maksimum yük (N)

L_1 : Destek açıklıkları (mm)

b : Deney parçası genişliği (mm)

t : Deney parçası kalınlığıdır (mm)

Eğilme deney örneği ve test düzeneği Şekil 4.10' da ve Resim 4.7' de gösterilmiştir.



Şekil 4.10. Eğilme direnci deneyinin yapılış şeması



Resim 4.7. Test düzeneğinde eğilme direnci deney numuneleri

Eğilmede elastikiyet modülü

Eğilme deneylerinde, TS EN 310’ a (1999) göre eğilmede elastiklik modülü (MOE) değerleri de belirlenmiştir. Elastiklik modülü (*E*), Eş. 4.13 ile hesaplanmıştır.

$$E = \frac{L_1^{\,3}}{4bt^3} \cdot \frac{\Delta_F}{\Delta_f} \qquad (\mathrm{N/mm^2}) \qquad (4.13)$$

Burada;

E : Eğilmede elastikiyet modülü ($\mathrm{N/mm^2}$)

L1 : Destek açıklıkları (mm)

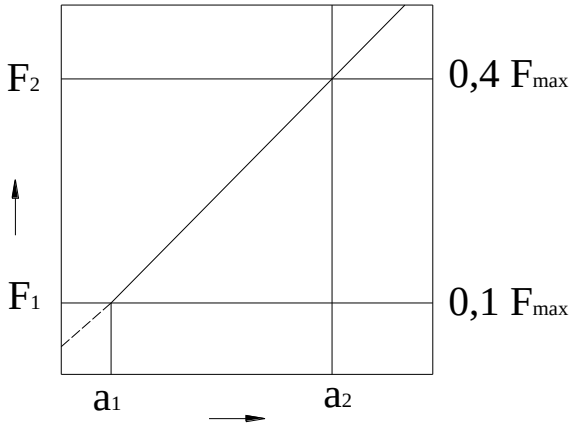
b : Deney örneği genişliği (mm)

t : Deney örneği kalınlığı (mm)

Δ_F : Yük-sehim diyagramı oranlılık bölgesindeki yük artışı (F2-F1) (N)

Δ_f : Kuvvet artışları nedeniyle deney örneği uzunluğunun ortasında meydana gelen sehim artışıdır (f2-f1)(mm)

F1 noktası değeri yaklaşık olarak maksimum yükün % 10’u, F2 noktası değeri ise % 40’ı olmalıdır (Şekil 4.11).

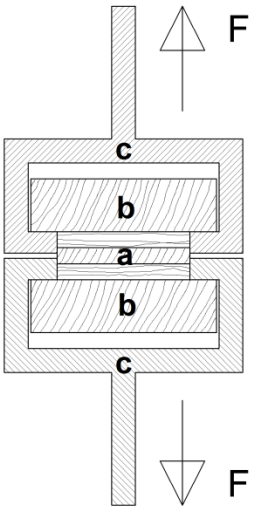


Şekil 4.11. Yük-sehim diyagramı içerisindeki elastik bölge

Yüzeye dik çekme direnci

Lamine ahşap panellerde laminasyon katmanı yapışma direnci (yüzeye dik çekme) deneyi TS EN 205 (2004) ve TS 2476, lif levhanın dik çekme deneyi TS EN 319 (1976) esaslarına göre yapılmıştır. Deney örnekleri her gruptan 10 adet olmak üzere, toplam 50 adet, 50x50x18 mm ölçülerinde hazırlanmıştır. Deney örneklerinin yüzeylerine standardında belirtilen şekilde, sert ağaçtan (kayın) 70x50x18 mm ölçülerindeki deney blokları PVAc tutkalı ile yapıştırılmıştır. Yapıştırma işleminden sonra örnekler, % 65 ± 5 bağıl nem ve 20 ± 2 °C sıcaklık şartlarındaki iklimlendirme dolabında kondisyonlanmıştır. İklimlendirme dolabından tek tek çıkarılan deney örnekleri hemen deneye tabi tutulmuşlardır.

Deney örneklerinin test cihazına bağlanmaları için metalden yapılmış özel aparatlardan yararlanılmıştır. Deney örnekleri, kuvvetin uygulama biçimi Şekil 4.12 ve deneyin yapılışı Resim 4.8'de gösterilmiştir.



Şekil 4.12. Yüzeye dik direnci deneyinin yapılış şeması
(a) deney numunesi, (b) deney blokları, (c) metal bağlama aparatları.



Resim 4.8. Yüzeye dik çekme direnci deneyinin yapılışı

Deney örnekleri, test cihazının çeneleri arasına yerleştirildikten sonra statik çekme kuvveti uygulanarak kopartılmıştır. Kuvvet, sıfırdan başlayıp tedrici olarak artan bir şekilde toplam 60 ± 3 saniyede maksimum kuvvete (koparma kuvvetine) ulaşmaya ayarlanmıştır. Deney örneğinin kopma anındaki uygulanan maksimum kuvvet cihazdan okunarak kaydedilmiştir. Deneme bölgesinin dışında meydana gelen kısmi çatlaklar, tutkallama hattında oluşan çatlaklar veya deney bloklarında meydana gelen çatlaklar değerlendirilmemiş, yeni deney örnekleri kullanılarak deney tekrarlanmıştır.

Her deney örneğinin levha yüzeyine dik yöndeki çekme direnci ($\partial_ç$) Eş. 4.14 ile hesaplanmıştır.

$$\partial_ç = \frac{F_{max}}{A} \qquad (N/mm^2) \tag{4.14}$$

Burada ;

$\partial ç$: Çekme direnci (N/mm^2)

F_{max} : Kopma yükü (N)

A : Mukavemet alanı (mm^2)

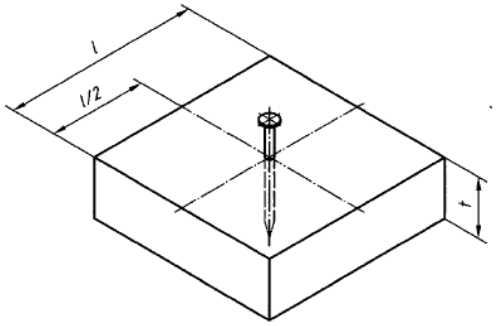
Her gruptan alınan deney örnekleri için bulunan değerin aritmetik ortalaması alınarak münferit grupların $\partial_ç$, N/mm^2 olarak ifade edilmiştir.

Yüzeyden vida tutma direnci

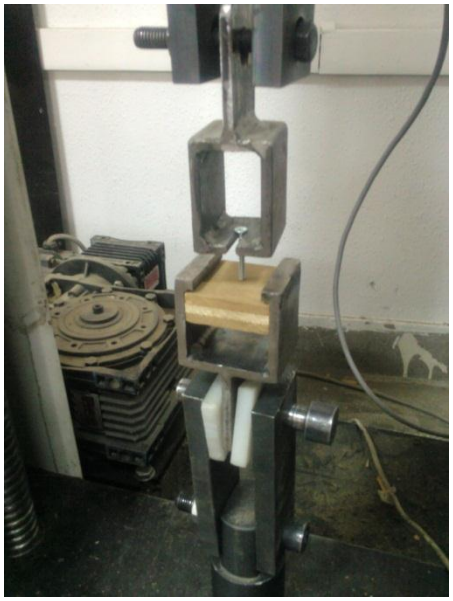
Yüzeyden vida tutma direncinin belirlenmesinde ahşap lamine malzemeler için TS EN 13446 (2005) ve lif levhalar için TS EN 320'de (1999) belirlenen esaslara uyulmuştur.

Deney örnekleri her bir gruptan 10 adet toplamda 50 adet 50x50x18 mm ölçülerinde hazırlanmıştır. Örnekler % 65 ± 5 bağıl nem ve 20 ± 2 °C sıcaklık şartlarındaki iklimlendirme dolabında, değişmez kütleye ulaşıncaya kadar kondisyonlamıştır. İklimlendirme dolabından tek tek çıkarılan deney örnekleri hemen deneye tabi tutulmuşlardır.

Deneylerde 4x50 mm ölçüsünde düşük karbon çelikli vidalar kullanılmıştır. Deney örneklerinde yüzeye, pilot delikleri açılarak vidalama işlemi yapılmıştır. Deneyler levhaların yüzeyinde test edilmiştir. Yüzeyde vida girme derinliği 15 mm'dir. Vida tutma deney örneği Şekil 4.13' de ve test düzeneği Resim 4.9' da gösterilmiştir.



Şekil 4.13. Yüzeyden vida tutma direnci deney örneği
(l : 50mm, t : 18 mm, h: 50 mm, l_p : 15 mm)



Resim 4.9. Yüzeyden vida tutma direnci deneyinin yapılışı.

Deneylerde yükleme hızı 2-3 mm/dak ve vidanın geri çekilmeye karşı gösterdiği direnç (*f*) ; Eş. 4.15 ile hesaplanmıştır.

$$f = \frac{F_{max}}{dl_p} \qquad (N/mm^2) \tag{4.15}$$

Burada;

F_{max} : Kırılma anındaki maksimum kuvvet (N)

d : Vida çapı (mm)

l_p : Levhaya girme mesafesi (mm)

Her gruptan alınan deney parçaları için bulunan değerin aritmetik ortalaması alınarak münferit grupların *f*, N/mm^2 olarak ifade edilmiştir.

4.2.6. Veri analizi

Isıl işlemsiz ve ısıl işlemli sarıçam ve iroko paneller ile MDF paneller üzerinde yapılmış deneyler sonucu elde edilen verilerin istatiksel değerlendirilmesinde SPSS 15.0 paket programı kullanılmıştır. Elde edilen verilere çoklu varyans analizi "ANOVA" (Analysis of Variance) testi uygulanmıştır. Varyans analizleri sonucunda, gruplar arası fark önemli çıktığında, grup içinde faktörlere Duncan testi ile ikili karşılaştırma yapılmıştır. Ardından, ortalama değerleri alınan faktörlerin birbirleri arasındaki başarı sıralamaları, *en küçük önemli fark (LSD)* kritik değerine göre homojenlik gruplarına ayrılarak belirlenmiştir.

Son olarak; metin yazımında Microsoft Word, grafik çizimleri ve tablo oluşturmalarda Microsoft Excel, şekil çizimlerinde ise AutoCAD programları kullanılmıştır.

5. BULGULAR

5.1. Fiziksel Özellikler

5.1.1. Yoğunluk

Tam kuru yoğunluk

Isıl işlem ve malzeme türüne göre deney örneklerinin tam kuru yoğunluk değerlerine ilişkin istatistiksel sonuçlar Çizelge 5.1' de verilmiştir.

Çizelge 5.1. Tam kuru yoğunluk değerlerine ilişkin istatiksel sonuçlar

Gruplar		**N**	**X_{min}**	**X_{max}**	**X_{ort}** (g/cm^3)	**Std. Sp.**
Isıl İşlemsiz	MDF Panel	10	0,61	0,71	0,67	0,03
	Sarıçam Panel		0,43	0,49	0,46	0,02
	İroko Panel		0,51	0,61	0,56	0,03
Isıl İşlemli	Sarıçam Panel		0,42	0,46	0,44	0,01
	İroko Panel		0,49	0,59	0,54	0,03

X_{min}: En küçük değer X_{max}: En büyük değer X_{ort}: Ortalama değer Std.Sp.: Standart Sapma

Panellerde kullanılan ağaç malzeme ve uygulanan ısıl işleme göre elde edilen tam kuru yoğunluk değerleri arasındaki farkların önemli olup olmadığını belirlemek için yapılan varyans analizi testi Çizelge 5.2' de verilmiştir.

Çizelge 5.2. Ağaç malzeme türü ve uygulanan işlemin tam kuru yoğunluk değerleri üzerinde etkisine ilişkin varyans analizi

	Serbestlik derecesi	**Kareler toplamı**	**Kareler ortalaması**	**F değeri**	**P ≤ 0,05**
Gruplar arasında	4	0,329	0,082	122,530	**0,000**
Gruplar içinde	45	0,030	0,001		
Toplam	49	0,359			

Yapılan varyans analizine göre, ağaç malzeme türü, uygulanan ısıl işlem ve bunların karşılıklı etkileşimleri arasındaki fark önemli çıkmıştır ($P \leq 0,05$).

Ağaç malzeme türü, uygulanan ısıl işlem ve bunların karşılıklı etkileşimleri arasındaki farklılıkların hangi gruplar arasında önemli olduğunu belirlemek için yapılan Duncan testi Çizelge 5.3' de verilmiştir.

Çizelge 5.3. Ağaç malzeme türü ve uygulanan ısıl işleme göre farklılık yaratan tam kuru yoğunluk değerlerinin tespitine ilişkin homojenlik testi

Gruplar		**X_{ort} (g/cm^3)**	**HG**
Isıl İşlemsiz	MDF Panel	0,67	**A***
	Sarıçam Panel	0,46	C
	İroko Panel	0,56	B
Isıl İşlemli	Sarıçam Panel	0,44	C
	İroko Panel	0,54	B
LSD: ± 0,072			

A*: En büyük değer

Çizelge 5.3' e göre tam kuru yoğunluk değeri; en yüksek MDF panel örneklerde (0,67 g/cm^3) ve en düşük ısıl işlemli sarıçam panel örneklerde (0,44 g/cm^3) bulunmuştur. Isıl işlemin ahşap panellerin tam kuru yoğunluk değerlerini %4 oranında düşürdüğü tespit edilmiştir.

Hava kurusu yoğunluk

Isıl işlem ve malzeme türüne göre deney örneklerinin hava kurusu yoğunluk değerlerine ilişkin istatistiksel sonuçlar Çizelge 5.4' de verilmiştir.

Çizelge 5.4. Hava kurusu yoğunluk değerlerine ilişkin istatiksel sonuçlar

Gruplar		**N**	**X_{min}**	**X_{max}**	**X_{ort} (g/cm^3)**	**Std. Sp.**
Isıl İşlemsiz	MDF Panel	10	0,66	0,74	0,71	0,02
	Sarıçam Panel		0,46	0,52	0,49	0,02
	İroko Panel		0,54	0,65	0,60	0,03
Isıl İşlemli	Sarıçam Panel		0,42	0,49	0,47	0,02
	İroko Panel		0,53	0,61	0,58	0,03

X_{min}: En küçük değer X_{max}: En büyük değer X_{ort}: Ortalama değer Std.Sp.: Standart Sapma

Panellerde kullanılan ağaç malzeme ve uygulanan ısıl işleme göre ortaya çıkan hava kurusu yoğunluk değerleri arasındaki farkların önemli olup olmadığını belirlemek için yapılan varyans analizi testi Çizelge 5.5' de verilmiştir.

Çizelge 5.5. Ağaç malzeme türü ve uygulanan işlemin hava kurusu yoğunluk değerleri üzerinde etkisine ilişkin varyans analizi

	Serbestlik derecesi	**Kareler toplamı**	**Kareler ortalaması**	**F değeri**	**P ≤ 0,05**
Gruplar arasında	0,375	4	0,094	146,747	**0,000**
Gruplar içinde	0,029	45	0,001		
Toplam	0,404	49			

Yapılan varyans analizine göre, ağaç malzeme türü, uygulanan ısıl işlem ve bunların karşılıklı etkileşimleri arasındaki fark önemli çıkmıştır (P ≤ 0,05).

Ağaç malzeme türü, uygulanan ısıl işlem ve bunların karşılıklı etkileşimleri arasındaki farklılıkların hangi gruplar arasında önemli olduğunu belirlemek için yapılan Duncan testi Çizelge 5.6' da verilmiştir.

Çizelge 5.6. Ağaç malzeme türü ve uygulanan ısıl işleme göre farklılık yaratan hava kurusu yoğunluk değerlerinin tespitine ilişkin homojenlik testi

Gruplar		**X_{ort} (g/cm^3)**	**HG**
Isıl İşlemsiz	MDF Panel	0,71	**A***
	Sarıçam Panel	0,49	C
	İroko Panel	0,60	B
Isıl İşlemli	Sarıçam Panel	0,47	C
	İroko Panel	0,58	B
LSD: ± 0,0821			

Çizelge 5.6' ya göre hava kurusu yoğunluk değeri; en yüksek MDF panel örneklerde (0,71 g/cm^3) ve en düşük ısıl işlemli sarıçam panel örneklerde (0,47 g/cm^3) bulunmuştur. Isıl işlemin ahşap panellerin hava kurusu yoğunluk değerlerini %4 oranında düşürdüğü tespit edilmiştir.

5.1.2. Rutubet değeri

Isıl işlem ve malzeme türüne göre deney örneklerinin rutubet değerlerine ilişkin istatistiksel sonuçlar Çizelge 5.7' de verilmiştir.

Çizelge 5.7. Rutubet değerlerine ilişkin istatistiksel sonuçlar

Gruplar		**N**	**X_{min}**	**X_{max}**	**X_{ort} (%)**	**Std. Sp.**
Isıl İşlemsiz	MDF Panel	10	5,33	7,28	6,01	1,71
	Sarıçam Panel		9,25	12,30	10,76	1,58
	İroko Panel		8,90	11,10	10,48	3,07
Isıl İşlemli	Sarıçam Panel		7,90	10,33	9,28	1,93
	İroko Panel		7,19	9,98	8,95	2,94

X_{min}: En küçük değer X_{max}: En büyük değer X_{ort}: Ortalama değer Std.Sp.: Standart Sapma

Panellerde kullanılan ağaç malzeme ve uygulanan ısıl işleme göre ortaya çıkan rutubet değerleri arasındaki farkların önemli olup olmadığını belirlemek için yapılan varyans analizi testi Çizelge 5.8' de verilmiştir.

Çizelge 5.8. Ağaç malzeme türü ve uygulanan ısıl işlemin rutubet değeri üzerinde etkisine ilişkin varyans analizi

	Serbestlik derecesi	**Kareler toplamı**	**Kareler ortalaması**	**F değeri**	**P ≤ 0,05**
Gruplar arasında	7,514	4	1,879	0,345	**0,000**
Gruplar içinde	244,772	45	5,439		
Toplam	252,286	49			

Yapılan varyans analizine göre, ağaç malzeme türü, uygulanan ısıl işlem ve bunların karşılıklı etkileşimleri arasındaki fark önemli çıkmıştır ($P \leq 0,05$).

Ağaç malzeme türü, uygulanan ısıl işlem ve bunların karşılıklı etkileşimleri arasındaki farklılıkların hangi gruplar arasında önemli olduğunu belirlemek için yapılan Duncan testi Çizelge 5.9' da verilmiştir.

Çizelge 5.9. Ağaç malzeme türü ve uygulanan ısıl işleme göre farklılık yaratan rutubet değerlerinin tespitine ilişkin homojenlik testi

Gruplar		**X_{ort}** (%)	**HG**
Isıl İşlemsiz	MDF Panel	6,01	C
	Sarıçam Panel	10,48	**A***
	İroko Panel	10,76	**A***
Isıl İşlemli	Sarıçam Panel	9,28	B
	İroko Panel	8,95	B
LSD: ± 0,823			

Çizelge 5.9' a göre rutubet değeri en yüksek; ısıl işlemsiz sarıçam ve ısıl işlemsiz iroko panel örneklerde (%10,62), en düşük MDF panel örneklerde (%6,01) bulunmuştur. Isıl işlemin ahşap panellerin rutubet değerlerini %4 oranında düşürdüğü tespit edilmiştir.

5.1.3. Kalınlığına genişleme

Isıl işlem ve malzeme türüne göre deney örneklerinin kalınlığına genişleme değerlerine ilişkin istatistiksel sonuçlar Çizelge 5.10' da verilmiştir.

Çizelge 5.10. Kalınlığına genişleme değerlerine ilişkin istatistiksel sonuçlar

Gruplar		**N**	**X_{min}**	**X_{max}**	**X_{ort}** (%)	**Std. Sp.**
Isıl İşlemsiz	MDF Panel	10	16,50	18,00	17,37	0,60
	Sarıçam Panel		9,30	10,30	9,85	0,33
	İroko Panel		5,70	6,50	6,11	0,27
Isıl İşlemli	Sarıçam Panel		7,95	9,05	8,48	0,45
	İroko Panel		3,70	4,60	5,13	0,30

X_{min}: En küçük değer X_{max}: En büyük değer X_{ort}: Ortalama değer Std.Sp.: Standart Sapma

Panellerde kullanılan ağaç malzeme ve uygulanan ısıl işleme göre ortaya çıkan rutubet değerleri arasındaki farkların önemli olup olmadığını belirlemek için yapılan varyans analizi testi Çizelge 5.11' de verilmiştir.

Çizelge 5.11. Ağaç malzeme türü ve uygulanan işlemin kalınlığına genişleme değerleri üzerinde etkisine ilişkin varyans analizi

	Serbestlik derecesi	**Kareler toplamı**	**Kareler ortalaması**	**F değeri**	**P ≤ 0,05**
Gruplar arasında	530,005	4	132,501	797,587	**0,000**
Gruplar içinde	7,476	45	0,166		
Toplam	537,481	49			

Yapılan varyans analizine göre, ağaç malzeme türü, uygulanan ısıl işlem ve bunların karşılıklı etkileşimleri arasındaki fark önemli çıkmıştır (P ≤ 0,05).

Ağaç malzeme türü, uygulanan ısıl işlem ve bunların karşılıklı etkileşimleri arasındaki farklılıkların hangi gruplar arasında önemli olduğunu belirlemek için yapılan Duncan testi Çizelge 5.12' de verilmiştir.

Çizelge 5.12. Ağaç malzeme türü ve uygulanan ısıl işleme göre farklılık yaratan kalınlığına genişleme değerlerinin tespitine ilişkin homojenlik testi

Gruplar		**X_{ort}** (%)	**HG**
Isıl İşlemsiz	MDF Panel	17,37	**A***
	Sarıçam Panel	9,85	B
	İroko Panel	6,11	D
Isıl İşlemli	Sarıçam Panel	8,48	C
	İroko Panel	5,13	E
LSD: ± 0,699			

Çizelge 5.12' ye göre kalınlığına genişleme değeri; en yüksek MDF panel örneklerde (%17,37) ve en düşük ısıl işlemli iroko panel örneklerde (%8,13) bulunmuştur. Isıl işlemin ahşap panellerin kalınlığına genişleme değerlerini sarıçam panellerde %14, iroko panellerde %16 oranlarında düşürdüğü tespit edilmiştir.

5.1.4. Isı iletkenlik katsayısı

Isıl işlem ve malzeme türüne göre deney örneklerinin ısı iletkenlik katsayısı değerlerine ilişkin istatistiksel sonuçlar Çizelge 5.13' de verilmiştir.

Çizelge 5.13. Isı iletkenlik katsayısı değerlerine ilişkin istatistiksel sonuçlar

Gruplar		N	X_{min}	X_{max}	X_{ort} (W/mK)	Std. Sp.
Isıl İşlemsiz	MDF Panel	10	0,13	0,15	0,14	0,02
	Sarıçam Panel		0,15	0,17	0,15	0,02
	İroko Panel		0,15	0,17	0,17	0,02
Isıl İşlemli	Sarıçam Panel		0,14	0,16	0,14	0,02
	İroko Panel		0,16	0,18	0,16	0,02

X_{min}: En küçük değer X_{max}: En büyük değer X_{ort}: Ortalama değer Std.Sp.: Standart Sapma

Panellerde kullanılan ağaç malzeme ve uygulanan ısıl işleme göre ortaya çıkan rutubet değerleri arasındaki farkların önemli olup olmadığını belirlemek için yapılan varyans analizi testi Çizelge 5.14' de verilmiştir.

Çizelge 5.14. Ağaç malzeme türü ve uygulanan işlemin ısı iletkenlik katsayısı değerlerine üzerinde etkisine ilişkin varyans analizi

	Serbestlik derecesi	Kareler toplamı	Kareler ortalaması	F değeri	P ≤ 0,05
Gruplar arasında	4	0,005	0,001	37,521	**0,000**
Gruplar içinde	45	0,002	0,000		
Toplam	49	0,007			

Yapılan varyans analizine göre, ağaç malzeme türü, uygulanan ısıl işlem ve bunların karşılıklı etkileşimleri arasındaki fark önemli çıkmıştır ($P \leq 0,05$).

Ağaç malzeme türü, uygulanan ısıl işlem ve bunların karşılıklı etkileşimleri arasındaki farklılıkların hangi gruplar arasında önemli olduğunu belirlemek için yapılan Duncan testi Çizelge 5.15' de verilmiştir.

Çizelge 5.15. Ağaç malzeme türü ve uygulanan ısıl işleme göre farklılık yaratan ısı iletkenlik katsayısı değerlerinin tespitine ilişkin homojenlik testi

Gruplar		**X_{ort}** (W/mK)	**HG**
Isıl İşlemsiz	MDF Panel	0,14	D
	Sarıçam Panel	0,15	C
	İroko Panel	0,17	**A***
Isıl İşlemli	Sarıçam Panel	0,14	D
	İroko Panel	0,16	B
LSD: ± 0,001			

Çizelge 5.15' e göre ısı iletkenlik katsayısı değeri; en yüksek ısıl işlemsiz iroko panel örneklerde (0,17 W/mK), en düşük ısıl işlemli sarıçam panel ve MDF panel örneklerde (0,14 W/mK) bulunmuştur. Isıl işlemin ahşap panellerin ısı iletkenlik katsayısı değerlerini sarıçam panellerde %7, iroko panellerde %6 oranlarında düşürdüğü tespit edilmiştir.

5.1.5. Ses yutma (Absorpsiyon) katsayısı

Ses yutma katsayısı değerlerine ilişkin istatistiksel sonuçlar Çizelge 5.16'da verilmiştir.

Çizelge 5.16. Ses yutma katsayısı değerlerine ilişkin istatiksel sonuçlar

Yüzey Şekli	Malzeme Türü	Montaj Tipi	Frekans	N	X_{min}	X_{max}	X_{ort}	Std.
Düz Panel	MDF	E 70	125	10	0,13	0,17	0,15	0,01
			250		0,15	0,19	0,17	0,01
			500		0,09	0,13	0,11	0,01
			1000		0,08	0,11	0,09	0,01
			2000		0,10	0,13	0,11	0,01
			4000		0,12	0,16	0,14	0,01
		E 70+	125	10	0,32	0,43	0,37	0,03
			250		0,29	0,40	0,34	0,03
			500		0,17	0,22	0,19	0,02
			1000		0,10	0,14	0,12	0,01
			2000		0,11	0,15	0,13	0,01
			4000		0,14	0,18	0,16	0,01
	Isıl İşlemsiz Sarıçam Panel	E 70	125	10	0,13	0,18	0,15	0,01
			250		0,18	0,25	0,22	0,02
			500		0,13	0,17	0,15	0,01
			1000		0,09	0,12	0,10	0,01
			2000		0,12	0,16	0,14	0,01
			4000		0,14	0,18	0,16	0,01
		E 70+	125	10	0,37	0,50	0,43	0,04
			250		0,32	0,44	0,38	0,04
			500		0,17	0,23	0,20	0,02
			1000		0,11	0,15	0,13	0,01
			2000		0,12	0,16	0,14	0,01
			4000		0,15	0,21	0,18	0,02
	Isıl İşlemli Sarıçam Panel	E 70	125	10	0,16	0,22	0,19	0,02
			250		0,21	0,28	0,25	0,02
			500		0,15	0,21	0,18	0,02
			1000		0,14	0,19	0,16	0,02
			2000		0,15	0,21	0,18	0,02
			4000		0,18	0,24	0,21	0,02
		E 70+	125	10	0,42	0,57	0,49	0,04
			250		0,37	0,50	0,43	0,04
			500		0,21	0,28	0,25	0,02
			1000		0,14	0,19	0,17	0,02
			2000		0,15	0,21	0,18	0,02
			4000		0,20	0,26	0,23	0,02
	Isıl İşlemsiz İroko Panel	E 70	125	10	0,12	0,16	0,14	0,01
			250		0,15	0,21	0,18	0,02
			500		0,10	0,13	0,11	0,01
			1000		0,08	0,10	0,09	0,01
			2000		0,09	0,12	0,10	0,01
			4000		0,10	0,14	0,12	0,01

Çizelge 5.16. (Devam) Ses yutma katsayısı değerlerine ilişkin istatiksel sonuçlar

Yüzey Şekli	Malzeme Türü	Montaj Tipi	Frekans	N	X_{min}	X_{max}	X_{ort}	Std.
Düz Panel	Isıl İşlemsiz İroko Panel	E 70+	125	10	0,34	0,46	0,40	0,04
			250		0,30	0,41	0,35	0,03
			500		0,17	0,23	0,20	0,02
			1000		0,11	0,15	0,13	0,01
			2000		0,11	0,15	0,13	0,01
			4000		0,14	0,19	0,17	0,02
	Isıl İşlemli İroko Panel	E 70	125	10	0,14	0,19	0,16	0,01
			250		0,19	0,26	0,22	0,02
			500		0,12	0,16	0,14	0,01
			1000		0,09	0,13	0,11	0,01
			2000		0,12	0,16	0,14	0,01
			4000		0,14	0,18	0,16	0,01
		E 70+	125	10	0,38	0,52	0,45	0,04
			250		0,34	0,46	0,40	0,03
			500		0,20	0,27	0,23	0,02
			1000		0,13	0,17	0,15	0,01
			2000		0,13	0,17	0,15	0,01
			4000		0,16	0,22	0,19	0,02
Delikli Panel	MDF	E 70	125	10	0,18	0,27	0,23	0,02
			250		0,31	0,47	0,40	0,04
			500		0,38	0,57	0,48	0,05
			1000		0,25	0,39	0,33	0,02
			2000		0,20	0,30	0,25	0,03
			4000		0,19	0,29	0,24	0,03
		E 70+	125	10	0,23	0,34	0,29	0,03
			250		0,41	0,61	0,52	0,06
			500		0,47	0,70	0,59	0,06
			1000		0,39	0,59	0,49	0,05
			2000		0,28	0,42	0,35	0,04
			4000		0,22	0,34	0,28	0,03
	Isıl İşlemsiz Sarıçam Panel	E 70	125	10	0,25	0,37	0,31	0,03
			250		0,37	0,56	0,47	0,05
			500		0,45	0,67	0,57	0,06
			1000		0,36	0,54	0,46	0,05
			2000		0,25	0,37	0,31	0,03
			4000		0,24	0,36	0,31	0,03
		E 70+	125	10	0,28	0,42	0,36	0,04
			250		0,45	0,68	0,57	0,06
			500		0,54	0,81	0,68	0,07
			1000		0,48	0,71	0,60	0,07
			2000		0,30	0,46	0,38	0,04
			4000		0,26	0,40	0,33	0,04

Çizelge 5.16. (Devam) Ses yutma katsayısı değerlerine ilişkin istatiksel sonuçlar

Yüzey Şekli	Malzeme Türü	Montaj Tipi	Frekans	N	X_{min}	X_{max}	X_{ort}	Std.
Delikli Panel	Isıl İşlemli Sarıçam Panel	E 70	125	10	0,25	0,39	0,32	0,04
			250		0,40	0,61	0,51	0,06
			500		0,48	0,72	0,61	0,07
			1000		0,38	0,57	0,48	0,05
			2000		0,27	0,41	0,35	0,04
			4000		0,27	0,40	0,34	0,04
		E 70+	125	10	0,33	0,50	0,42	0,05
			250		0,48	0,73	0,62	0,07
			500		0,58	0,88	0,74	0,08
			1000		0,51	0,76	0,64	0,07
			2000		0,35	0,52	0,44	0,05
			4000		0,29	0,43	0,36	0,04
	Isıl İşlemsiz İroko Panel	E 70	125	10	0,21	0,31	0,26	0,03
			250		0,33	0,49	0,41	0,04
			500		0,39	0,59	0,49	0,05
			1000		0,27	0,41	0,34	0,04
			2000		0,19	0,29	0,24	0,03
			4000		0,21	0,31	0,26	0,03
		E 70+	125	10	0,23	0,35	0,29	0,03
			250		0,42	0,63	0,53	0,06
			500		0,49	0,73	0,62	0,07
			1000		0,41	0,63	0,53	0,06
			2000		0,25	0,39	0,32	0,04
			4000		0,24	0,36	0,30	0,03
	Isıl İşlemli İroko Panel	E 70	125	10	0,23	0,35	0,29	0,03
			250		0,35	0,52	0,44	0,05
			500		0,44	0,66	0,56	0,06
			1000		0,33	0,50	0,42	0,05
			2000		0,23	0,35	0,30	0,03
			4000		0,23	0,35	0,30	0,03
		E 70+	125	10	0,24	0,37	0,31	0,04
			250		0,46	0,69	0,58	0,06
			500		0,52	0,78	0,66	0,07
			1000		0,44	0,66	0,56	0,06
			2000		0,29	0,44	0,37	0,04
			4000		0,25	0,37	0,31	0,03

X_{min}: En küçük değer X_{max}: En büyük değer X_{ort}: Ortalama değer Std.Sp.: Standart Sapma

Yüzey şekli, malzeme türü, montaj tipi ve frekansın ses yutma katsayısı değerine etkisi

Yüzey şekli, malzeme türü, montaj tipi ve frekansın ses yutma katsayısı değerleri üzerinde etkili olup olmadığına ilişkin varyans analizi testi Çizelge 5.17' de verilmiştir.

Çizelge 5.17. Yüzey şekli, malzeme türü, montaj tipi ve frekansın ses yutma katsayısı değerine etkisine ilişkin varyans analizi

Faktör	Ser. Derece.	Kareler Toplamı	Kareler Ort.	F Değeri	P≤0,05
Yüzey Şekli (A)	1	14,7076	14,7076	10688,1609	0,0000*
Malzeme Türü (B)	4	1,2948	0,3237	235,2383	0,0000*
Montaj Tipi (C)	1	2,7161	2,7161	1973,7855	0,0000*
Frekans (D)	5	4,9484	0,9897	719,2120	0,0000*
Yüzey Şekli * Malzeme Türü (A*B)	4	0,1143	0,0286	20,7704	0,0000*
Yüzey Şekli * Montaj Tipi (A*C)	1	0,0023	0,0023	1,6889	0,1940
Yüzey Şekli * Frekans (A*D)	5	5,5440	1,1088	805,7765	0,0000*
Malzeme Türü * Montaj Tipi (B*C)	4	0,0085	0,0021	1,5466	0,1865
Malzeme Türü * Frekans (B*D)	20	0,0278	0,0014	1,0095	0,4473
Montaj Tipi * Frekans (C*D)	5	0,6552	0,1310	95,2273	0,0000*
Yüzey * Malzeme * Montaj (A*B*C)	4	0,0111	0,0028	2,0082	0,0912
Yüzey * Malzeme * Frekans (A*B*D)	20	0,0525	0,0026	1,9071	0,0094*
Yüzey * Montaj * Frekans (A*C*D)	5	0,9467	0,1893	137,5984	0,0000*
Malzeme * Montaj * Frekans (B*C*D)	20	0,0360	0,0018	1,3064	0,1648
Yüzey*Malzeme*Montaj*Frekans (A*B*C*D)	20	0,0221	0,0011	0,8048	0,7098
Hata	1080	1,4862	0,0014		
Toplam	1200	148,8939			

*=0,05'e göre önemli

Çizelge 5.17' ye göre yüzey şekli, malzeme türü, montaj tipi, frekans, yüzey şekli-malzeme türünün ikili etkileşimi, yüzey şekli-frekansın ikili etkileşimi, montaj tipi-frekansın ikili etkileşimi, yüzey şekli-malzeme türü-frekansın üçlü etkileşimi ve yüzey şekli-montaj tipi-frekansın üçlü etkileşimi ses yutma katsayısı değeri üzerinde etkili olduğu görülmektedir (P≤0,05). Bununla birlikte; yüzey şekli-montaj tipinin ikili etkileşimi, malzeme türü-montaj tipinin ikili etkileşimi, malzeme türü-frekansın ikili etkileşimi, yüzey şekli-malzeme türü-montaj tipinin üçlü etkileşimi, malzeme

türü-montaj tipi-frekansın üçlü etkileşimi ve yüzey şekli-malzeme türü-montaj tipi-frekansın dörtlü etkileşiminin ses yutma katsayısı değeri üzerinde etkili olmadığı görülmektedir.

Ses yutma katsayısı değeri üzerinde en etkili faktörün yüzey şekli olduğu tespit edilmiştir (F=10688,1609). Bunu sırasıyla; montaj tipi, frekans ve malzeme türü takip etmektedir. İkili etkileşimlerde en etkili faktörün yüzey şekli*frekans olduğu tespit edilmiştir.

Ses yutma katsayısı değerlerine göre farklılık yaratan faktörlerin tespitine ilişkin homojenlik testleri Çizelge 5.18 – 26' da verilmiştir.

Yüzey şeklinin ses yutma katsayısı değerine etkisi

Ses yutma katsayısı değerlerine göre farklılık yaratan yüzey şekillerinin tespitine ilişkin homojenlik testi Çizelge 5.18' de verilmiştir.

Çizelge 5.18. Ses yutma katsayısı değerlerine göre farklılık yaratan yüzey şekillerinin tespitine ilişkin homojenlik testi

Yüzey Şekli	**N**	**Xort**	**H.G.**
Düz Panel	600	0,20	B
Delikli Panel		0,42	**A***
LSD: ±0,1664			

Çizelge 5.18' e göre yüzey şekli esas alındığında ses yutma katsayısı değeri; delikli panel örneklerde (0,42) düz panel örneklerden (0,20) daha yüksek bulunmuştur. Yüzeyde delik uygulaması, ses yutma katsayısı değerini % 100' den daha fazla arttırdığı görülmektedir.

Montaj tipinin ses yutma katsayısı değerine etkisi

Ses yutma katsayısı değerlerine göre farklılık yaratan montaj tiplerinin tespitine ilişkin homojenlik testi Çizelge 5.19' da verilmiştir.

Çizelge 5.19. Ses yutma katsayısı değerlerine göre farklılık yaratan montaj tiplerinin tespitine ilişkin homojenlik testi

Montaj Tipi	**N**	**Xort**	**H.G.**
E 70	600	0,26	B
E 70+		0,36	**A***
LSD: ±0,0307			

Çizelge 5.19' a göre montaj tipi esas alındığında ses yutma katsayısı değeri; E 70+ montaj tipinde (0,36), E 70 montaj tipinden (0,26) daha yüksek bulunmuştur. Montajda taş yünü uygulaması, ses yutma katsayısı değerini % 28 arttırdığı görülmektedir.

Malzeme türünün ses yutma katsayısı değerine etkisi

Ses yutma katsayısı değerlerine göre farklılık yaratan malzeme türlerinin tespitine ilişkin homojenlik testi Çizelge 5.20' de verilmiştir.

Çizelge 5.20. Ses yutma katsayısı değerlerine göre farklılık yaratan malzeme türlerinin tespitine ilişkin homojenlik testi

Malzeme Türü	**N**	**Xort**	**H.G.**
MDF Panel	240	0,27	D
Isıl İşlemsiz Sarıçam Panel		0,32	B
Isıl İşlemli Sarıçam Panel		0,36	**A***
Isıl İşlemsiz İroko Panel		0,28	C
Isıl İşlemli İroko Panel		0,32	B
LSD: ±0,006			

Çizelge 5.20' ye göre malzeme türü esas alındığında ses yutma katsayısı değeri; en yüksek ısıl işlemli sarıçam panel örneklerde (0,36), en düşük MDF panel örneklerde (0,27) bulunmuştur. Ağaç malzemeye ısıl işlem uygulaması, her bir ağaç türünde ses yutma katsayısı değerini yaklaşık % 12 oranında arttırdığı görülmektedir.

Frekansın ses yutma katsayısı değerine etkisi

Ses yutma katsayısı değerlerine göre farklılık yaratan frekansların tespitine ilişkin homojenlik testi Çizelge 5.21' de verilmiştir.

Çizelge 5.21. Ses yutma katsayısı değerlerine göre farklılık yaratan frekansların tespitine ilişkin homojenlik testi

Frekans (Hz)	**N**	**Xort**	**H.G.**
125	200	0,30	C
250		0,40	**A***
500		0,39	AB
1000		0,30	C
2000		0,24	D
4000		0,24	D
LSD: ±0,0194			

Çizelge 5.21' e göre frekans esas alındığında ses yutma katsayısı değeri; en yüksek 250 Hz' de (0,40), en düşük 2000 Hz ve 4000 Hz' de (0,24) bulunmuştur. Frekans değişimi 125 Hz' den 250 Hz' e çıkarıldığında ses yutma katsayısı değerinde % 25' lik bir artış olduğu, 250 Hz' den sonraki artışlarda ses yutma katsayısı değerinde 250 Hz değerine göre % 40' lık bir azalma gerçekleştiği görülmektedir.

Yüzey şekli ve malzeme türünün ses yutma katsayısı değerine etkisi

Ses yutma katsayısı değerlerine göre farklılık yaratan yüzey şekli ve malzeme türlerinin tespitine ilişkin homojenlik testi Çizelge 5.22' de verilmiştir.

Çizelge 5.22. Ses yutma katsayısı değerlerine göre farklılık yaratan yüzey şekli ve malzeme türlerinin tespitine ilişkin homojenlik testi

Yüzey Şekli	Malzeme Türü	N	Xort	H.G.
Düz Panel	MDF	120	0,17	F
	Isıl İşlemsiz Sarıçam		0,20	EF
	Isıl İşlemli Sarıçam		0,24	D
	Isıl İşlemsiz İroko		0,18	F
	Isıl İşlemli İroko		0,21	E
Delikli Panel	MDF	120	0,37	C
	Isıl İşlemsiz Sarıçam		0,45	B
	Isıl İşlemli Sarıçam		0,49	**A***
	Isıl İşlemsiz İroko		0,38	C
	Isıl İşlemli İroko		0,42	B
LSD: ±0,0723				

Çizelge 5.22' ye göre yüzey şekli ve malzeme türünün ikili etkileşimi esas alındığında ses yutma katsayısı değeri; en yüksek delikli ısıl işlemli sarıçam panel örneklerde (0,49), en düşük düz MDF ve iroko panel örneklerde (0,17) bulunmuştur.

Yüzey şekli ve frekansın ses yutma katsayısı değerine etkisi

Ses yutma katsayısı değerlerine göre farklılık yaratan yüzey şekli ve frekansların tespitine ilişkin homojenlik testi Çizelge 5.23' de verilmiştir.

Çizelge 5.23. Ses yutma katsayısı değerlerine göre farklılık yaratan yüzey şekli ve frekansların tespitine ilişkin homojenlik testi

Yüzey Şekli	Frekans (Hz)	N	Xort	H.G.
Düz Panel	125	100	0,29	D
	250		0,29	D
	500		0,18	E
	1000		0,13	F
	2000		0,14	F
	4000		0,17	E
Delikli Panel	125	100	0,31	D
	250		0,50	B
	500		0,60	**A***
	1000		0,48	B
	2000		0,33	C
	4000		0,30	D
LSD: ±0,0307				

Çizelge 5.23’ e göre yüzey şekli ve frekansın ikili etkileşimi esas alındığında ses yutma katsayısı değeri; en yüksek delikli panel örneklerde 500 Hz’ de (0,60), en düşük düz panel örneklerde 1000 ve 2000 Hz’ de (0,14) bulunmuştur.

Montaj tipi ve frekansın ses yutma katsayısı değerine etkisi

Ses yutma katsayısı değerlerine göre farklılık yaratan montaj tipi ve frekansların tespitine ilişkin homojenlik testi Çizelge 5.24’ de verilmiştir.

Çizelge 5.24. Ses yutma katsayısı değerlerine göre farklılık yaratan montaj tipi ve frekansların tespitine ilişkin homojenlik testi

Montaj Tipi	**Frekans (Hz)**	**N**	**Xort**	**H.G.**
E 70	125	100	0,22	DE
	250		0,33	C
	500		0,34	BC
	1000		0,26	D
	2000		0,21	E
	4000		0,22	DE
E 70+	125	100	0,38	B
	250		0,47	**A***
	500		0,43	**A***
	1000		0,35	BC
	2000		0,26	D
	4000		0,25	DE
LSD: ±0,0363				

Çizelge 5.24’ e göre montaj tipi ve frekansın ikili etkileşimi esas alındığında ses yutma katsayısı değeri; en yüksek E 70+ tipi montajda 250 Hz ve 500 Hz’ de (0,47), en düşük E 70 tipi montajda 2000 Hz’ de (0,21) bulunmuştur.

Yüzey şekli, malzeme türü ve frekansın ses yutma katsayısı değerine etkisi

Ses yutma katsayısı değerlerine göre farklılık yaratan yüzey şekli, malzeme türü ve frekansların tespitine ilişkin homojenlik testi Çizelge 5.25’ de verilmiştir.

Çizelge 5.25. Ses yutma katsayısı değerlerine göre farklılık yaratan yüzey şekli malzeme türü ve frekansların tespitine ilişkin homojenlik testi

Yüzey Şekli	Malzeme Türü	Frekans (Hz)	N	Xort	H.G.
Düz Panel	MDF Panel	125	20	0,26	RSTU
		250		0,26	STU
		500		0,15	ZZ1Z2Z3Z4
		1000		0,11	Z4
		2000		0,12	Z2Z3Z4
		4000		0,15	ZZ1Z2Z3Z4
	Isıl İşlemsiz Sarıçam Panel	125	20	0,29	NOPRS
		250		0,30	MNOPRS
		500		0,18	VYZZ10
		1000		0,12	Z3Z4
		2000		0,14	ZZ1Z2Z3Z4
		4000		0,17	VYZZ1Z2
	Isıl İşlemli Sarıçam Panel	125	20	0,34	LMN
		250		0,34	LMN
		500		0,21	UVY
		1000		0,16	YZZ1Z2Z3
		2000		0,18	VYZZ10
		4000		0,22	TUV
	Isıl İşlemsiz İroko Panel	125	20	0,27	PRST
		250		0,27	PRST
		500		0,16	ZZ1Z2Z3Z4
		1000		0,11	Z4
		2000		0,12	Z3Z4
		4000		0,14	ZZ1Z2Z3Z4
	Isıl İşlemli İroko Panel	125	20	0,31	MNOPRS
		250		0,31	MNOPR
		500		0,19	VYZ
		1000		0,13	Z1Z2Z3Z4
		2000		0,15	ZZ1Z2Z3Z4
		4000		0,18	VYZZ10

Çizelge 5.25. (Devam) Ses yutma katsayısı değerlerine göre farklılık yaratan yüzey şekli malzeme türü ve frekansların tespitine ilişkin homojenlik testi

Yüzey Şekli	Malzeme	Frekans (Hz)	N	Xort	H.G.
Delikli Panel	MDF Panel	125	20	0,26	RSTU
		250		0,46	HI
		500		0,54	DEF
		1000		0,41	İJ
		2000		0,30	MNOPRS
		4000		0,26	RSTU
	Isıl İşlemsiz Sarıçam Panel	125	20	0,33	LMNO
		250		0,52	DEF
		500		0,62	B
		1000		0,53	DEF
		2000		0,35	KLM
		4000		0,32	MNOP
	Isıl İşlemli Sarıçam Panel	125	20	0,37	JKL
		250		0,56	CD
		500		0,67	**A***
		1000		0,56	CD
		2000		0,39	İJK
		4000		0,35	KLM
	Isıl İşlemsiz İroko Panel	125	20	0,28	PRS
		250		0,47	GHI
		500		0,56	DE
		1000		0,44	İİ
		2000		0,28	OPRS
		4000		0,28	OPRS
	Isıl İşlemli İroko Panel	125	20	0,30	MNOPRS
		250		0,51	EFG
		500		0,61	BC
		1000		0,49	FGH
		2000		0,33	LMNO
		4000		0,30	MNOPRS
LSD: ±0,0163					

Çizelge 5.25’ e göre yüzey şekli, malzeme türü ve frekansın üçlü etkileşimi esas alındığında ses yutma katsayısı değeri; en yüksek delikli ısıl işlemli sarıçam panel

örneklerde 500 Hz' de (0,67), en düşük düz MDF ve düz ısıl işlemsiz iroko panel örneklerde 1000 Hz' de (0,12) bulunmuştur.

Yüzey şekli, montaj tipi, ve frekansın ses yutma katsayısı değerine etkisi

Ses yutma katsayısı değerlerine göre farklılık yaratan yüzey şekli, montaj tipi ve frekansların tespitine ilişkin homojenlik testi Çizelge 5.26' da verilmiştir.

Çizelge 5.26. Ses yutma katsayısı değerlerine göre farklılık yaratan yüzey şekli, montaj tipi ve frekansların tespitine ilişkin homojenlik testi

Yüzey Şekli	**Montaj Tipi**	**Frekans (Hz)**	**N**	**Xort**	**H.G.**
Düz Panel	E 70	125	50	0,16	J
		250		0,21	I
		500		0,14	JK
		1000		0,11	L
		2000		0,13	K
		4000		0,16	J
	E 70+	125	50	0,43	D
		250		0,38	F
		500		0,21	I
		1000		0,14	JK
		2000		0,15	JK
		4000		0,19	İ
Delikli Panel	E 70	125	50	0,28	H
		250		0,45	D
		500		0,54	C
		1000		0,41	E
		2000		0,29	H
		4000		0,29	H
	E 70+	125	50	0,33	G
		250		0,56	B
		500		0,66	**A***
		1000		0,56	B
		2000		0,38	F
		4000		0,32	G
LSD: ±0,0743					

Çizelge 5.26' ya göre yüzey şekli, montaj tipi ve frekansın üçlü etkileşimi esas alındığında ses yutma katsayısı değeri; en yüksek delikli panellerin E 70+ tipi

montajda 1000 Hz' de (0,66), en düşük düz panellerin E 70 tipi montajda 1000 Hz' de (0,11) bulunmuştur.

Malzeme türlerinde yüzey şekli, montaj tipi, ve frekansın ses yutma katsayısına etkisi

Malzeme türlerinde yüzey şekli, montaj tipi ve frekansın ses yutma katsayısı üzerinde etkili olup olmadığına ilişkin varyans analizi testi Çizelge 5.27' de verilmiştir.

Çizelge 5.27. Malzeme türlerinde yüzey şekli, montaj tipi ve frekansın ses yutma katsayısı üzerinde etkili olup olmadığına ilişkin varyans analizi

Malzeme	Faktör	Ser. Derece.	Kareler Top.	Kareler Ort.	F Değeri	P≤0,05
MDF Panel	Yüzey Şekli (A)	1	2,3226	2,3226	2202,9987	0,0000*
	Montaj Tipi (B)	1	0,5349	0,5349	507,3201	0,0000*
	Frekans (C)	5	0,8196	0,1639	155,4724	0,0000*
	Yüzey * Montaj (A*B)	1	0,0010	0,0010	0,9489	0,0311
	Yüzey * Frekans (A*C)	5	0,9356	0,1871	177,4844	0,0000*
	Montaj * Frekans (B*C)	5	0,1023	0,0205	19,4056	0,0000*
	Yüzey*Montaj*Frekan (A*B*C)	5	0,1432	0,0286	27,1699	0,0000*
	Hata	216	0,2277	0,0011		
	Toplam	240	22,9139			
Isıl İşlemsiz Sarıçam Panel	Yüzey Şekli (A)	1	3,6433	3,6433	2449,3337	0,0000*
	Montaj Tipi (B)	1	0,4446	0,4446	298,9138	0,0000*
	Frekans (C)	5	1,0324	0,2065	138,8093	0,0000*
	Yüzey * Montaj (A*B)	1	0,0008	0,0008	0,5672	0,0452
	Yüzey * Frekans (A*C)	5	1,1991	0,2398	161,2329	0,0000*
	Montaj * Frekans (B*C)	5	0,1394	0,0279	18,7491	0,0000*
	Yüzey*Montaj*Frekan (A*B*C)	5	0,2061	0,0412	27,7089	0,0000*
	Hata	216	0,3213	0,0015		
	Toplam	240	31,9163			
Isıl İşlemli Sarıçam Panel	Yüzey Şekli (A)	1	3,5114	3,5114	1939,3664	0,0000*
	Montaj Tipi (B)	1	0,6050	0,6050	334,1488	0,0000*
	Frekans (C)	5	1,0442	0,2088	115,3392	0,0000*
	Yüzey * Montaj (A*B)	1	0,0007	0,0007	0,3868	0,0435
	Yüzey * Frekans (A*C)	5	1,2813	0,2563	141,5338	0,0000*
	Montaj * Frekans (B*C)	5	0,2073	0,0415	22,9015	0,0000*
	Yüzey*Montaj*Frekan (A*B*C)	5	0,2093	0,0419	23,1146	0,0000*
	Hata	216	0,3911	0,0018		
	Toplam	240	39,1003			

*=0,05'e göre önemli

Çizelge 5.27. (Devam) Malzeme türlerine göre yüzey şekli, montaj tipi ve frekansın ses yutma katsayısı üzerinde etkili olup olmadığına ilişkin varyans analizi

Malzeme	Faktör	Ser. Derece.	Kareler Toplamı	Kareler Ort.	F Değeri	P≤0,05
Isıl İşlemsiz İroko Panel	Yüzey Şekli (A)	1	2,5668	2,5668	2241,7482	0,0000*
	Montaj Tipi (B)	1	0,6080	0,6080	531,0277	0,0000*
	Frekans (C)	5	0,9866	0,1973	172,3310	0,0000*
	Yüzey * Montaj (A*B)	1	0,0017	0,0017	1,4905	0,0223
	Yüzey * Frekans (A*C)	5	0,9749	0,1950	170,2897	0,0000*
	Montaj * Frekans (B*C)	5	0,0893	0,0179	15,5988	0,0000*
	Yüzey*Montaj*Frekan (A*B*C)	5	0,1998	0,0400	34,9001	0,0000*
	Hata	216	0,2473	0,0011		
	Toplam	240	24,5914			
Isıl İşlemli İroko Panel	Yüzey Şekli (A)	1	2,7778	2,7778	2008,5872	0,0000*
	Montaj Tipi (B)	1	0,5320	0,5320	384,7114	0,0000*
	Frekans (C)	5	1,0935	0,2187	158,1378	0,0000*
	Yüzey * Montaj (A*B)	1	0,0091	0,0091	6,5994	0,0109
	Yüzey * Frekans (A*C)	5	1,2055	0,2411	174,3399	0,0000*
	Montaj * Frekans (B*C)	5	0,1528	0,0306	22,0943	0,0000*
	Yüzey*Montaj*Frekan (A*B*C)	5	0,2105	0,0421	30,4424	0,0000*
	Hata	216	0,2987	0,0014		
	Toplam	240	30,3720			

*=0,05'e göre önemli

Çizelge 5.27' ye göre ses yutma katsayısı değerinde yüzey şekli, montaj tipi, frekans, yüzey şekli-frekansın ikili etkileşimi, montaj tipi-frekansın ikili etkileşimi, yüzey şekli-montaj tipi-frekansın üçlü etkileşimi istatiksel olarak önemli çıkmıştır ($P \leq 0,05$). Her bir malzeme türünde ses yutma katsayısı değeri üzerinde en etkili faktörün yüzey şekli olduğu tespit edilmiştir.

Farklılığın hangi gruplar arasında önemli olduğunu belirlemek için yapılan Duncan testi sonuçları Çizelge 5. 28 - 36' da verilmiştir.

Malzeme türlerinde yüzey şeklinin ses yutma katsayısı değerine etkisi

Malzeme türlerinde ses yutma katsayısı değerlerine göre farklılık yaratan yüzey şekillerinin tespitine ilişkin homojenlik testi Çizelge 5.28' de verilmiştir.

Çizelge 5.28. Malzeme türlerinde ses yutma katsayısı değerlerine göre farklılık yaratan yüzey şekillerinin tespitine ilişkin homojenlik testi

Malzeme Türü	Yüzey Şekli	N	Xort	H.G.
MDF Panel	Düz Panel	120	0,17	B
	Delikli Panel		0,37	**A***
LSD: ±0,05877				
Isıl İşlemsiz Sarıçam Panel	Düz Panel	120	0,20	B
	Delikli Panel		0,45	**A***
LSD: ±0,0922				
Isıl İşlemli Sarıçam Panel	Düz Panel	120	0,24	B
	Delikli Panel		0,49	**A***
LSD: ±0,0885				
Isıl İşlemsiz İroko Panel	Düz Panel	120	0,18	B
	Delikli Panel		0,38	**A***
LSD: ±0,0649				
Isıl İşlemli İroko Panel	Düz Panel	120	0,21	B
	Delikli Panel		0,42	**A***
LSD: ±0,0703				

Çizelge 5.28' e göre yüzey şekli esas alındığında ses yutma katsayısı değeri; tüm malzeme türleri için delikli panel örneklerde, düz panel örneklere göre daha yüksek bulunmuştur.

Yüzey şeklinin her bir malzeme türü ve frekansta ses yutma katsayısı değerine etkisi Çizelge 5.29' da verilmiştir. Buna göre; yüzey şekli en yüksek ısıl işlemsiz sarıçam panellerde 1000 Hz' de etkili olmuştur.

Çizelge 5.29. Yüzey şeklinin ses yutma katsayısı değerine etkisi

	α Değerleri						
	Frekans						
Gruplar	**125**	**250**	**500**	**1000**	**2000**	**4000**	**Ort.**
Düz E 70 MDF	0,15	0,17	0,11	0,09	0,11	0,14	0,13
Delikli E 70 MDF	0,23	0,39	0,48	0,32	0,25	0,24	0,32
% Değişim	53,33	129,41	336,36	255,56	127,27	71,43	162,23
Düz E 70+ MDF	0,37	0,34	0,19	0,12	0,13	0,16	0,22
Delikli E 70+ MDF	0,28	0,51	0,58	0,49	0,35	0,28	0,42
% Değişim	-24,32	50,00	205,26	308,33	169,23	75,00	130,58
Düz E 70 Isıl İşlemsiz Sarıçam	0,15	0,22	0,15	0,10	0,14	0,16	0,15
Delikli E 70 Isıl İşlemsiz Sarıçam	0,31	0,47	0,56	0,45	0,31	0,30	0,40
% Değişim	106,67	113,64	273,33	350,00	121,43	87,50	175,43
Düz E 70+ Isıl İşlemsiz Sarıçam	0,43	0,38	0,20	0,13	0,14	0,18	0,24
Delikli E 70+ Isıl İşlemsiz Sarıçam	0,35	0,57	0,67	0,59	0,38	0,33	0,48
% Değişim	-18,60	50,00	235,00	353,85	171,43	83,33	145,83
Düz E 70 Isıl İşlemli Sarıçam	0,19	0,25	0,18	0,16	0,18	0,21	0,20
Delikli E 70 Isıl İşlemli Sarıçam	0,32	0,50	0,60	0,48	0,34	0,33	0,43
% Değişim	68,42	100,00	233,33	200,00	88,89	57,14	124,63
Düz E 70+ Isıl İşlemli Sarıçam	0,49	0,43	0,25	0,17	0,18	0,23	0,29
Delikli E 70+ Isıl İşlemli Sarıçam	0,42	0,61	0,73	0,63	0,44	0,36	0,53
% Değişim	-14,29	41,86	192,00	270,59	144,44	56,52	115,19
Düz E 70 Isıl İşlemsiz İroko	0,14	0,18	0,11	0,09	0,10	0,12	0,12
Delikli E 70 Isıl İşlemsiz İroko	0,26	0,41	0,49	0,34	0,24	0,26	0,33
% Değişim	85,71	127,78	345,45	277,78	140,00	116,67	182,23
Düz E 70+ Isıl İşlemsiz İroko	0,40	0,35	0,20	0,13	0,13	0,17	0,23
Delikli E 70+ Isıl İşlemsiz İroko	0,29	0,53	0,61	0,52	0,32	0,30	0,43
% Değişim	-27,50	51,43	205,00	300,00	146,15	76,47	125,26
Düz E 70 Isıl İşlemli İroko	0,16	0,22	0,14	0,11	0,14	0,16	0,16
Delikli E 70 Isıl İşlemli İroko	0,29	0,43	0,55	0,42	0,29	0,29	0,38
% Değişim	81,25	95,45	292,86	281,82	107,14	81,25	156,63
Düz E 70+ Isıl İşlemli İroko	0,45	0,40	0,23	0,15	0,15	0,19	0,26
Delikli E 70+ Isıl İşlemli İroko	0,31	0,58	0,65	0,55	0,37	0,31	0,46
% Değişim	-31,11	45,00	182,61	266,67	146,67	63,16	112,16

Malzeme türlerinde frekansın ses yutma katsayısı değerine etkisi

Malzeme türlerinde ses yutma katsayısı değerlerine göre farklılık yaratan frekansların tespitine ilişkin homojenlik testi Çizelge 5.30' da verilmiştir.

Çizelge 5.30. Malzeme türlerinde ses yutma katsayısı değerlerine göre farklılık yaratan frekansların tespitine ilişkin homojenlik testi

Malzeme Türü	**Frekans (Hz)**	**N**	**Xort**	**H.G.**
MDF Panel	125	40	0,26	B
	250		0,36	**A***
	500		0,34	**A***
	1000		0,26	B
	2000		0,21	C
	4000		0,21	C
LSD: ±0,0718				
Isıl İşlemsiz Sarıçam Panel	125	40	0,31	B
	250		0,41	**A***
	500		0,40	**A***
	1000		0,32	B
	2000		0,24	C
	4000		0,24	C
LSD: ±0,0705				
Isıl İşlemli Sarıçam Panel	125	40	0,36	B
	250		0,45	**A***
	500		0,44	**A***
	1000		0,36	B
	2000		0,28	C
	4000		0,28	C
LSD: ±0,0715				
Isıl İşlemsiz İroko Panel	125	40	0,27	B
	250		0,37	**A***
	500		0,36	**A***
	1000		0,27	B
	2000		0,20	C
	4000		0,21	C
LSD: ±0,0665				
Isıl İşlemli İroko Panel	125	40	0,30	B
	250		0,41	**A***
	500		0,40	**A***
	1000		0,31	B
	2000		0,24	C
	4000		0,24	C
LSD: ±0,0658				

Çizelge 5.30’ a göre frekans esas alındığında ses yutma katsayısı değeri; tüm malzeme türleri için en yüksek 250 Hz ve 500 Hz’ de, en düşük 2000 Hz ve 4000 Hz’ de bulunmuştur.

Malzeme türlerinde montaj tipinin ses yutma katsayısı değerine etkisi

Malzeme türlerinde ses yutma katsayısı değerlerine göre farklılık yaratan montaj tiplerinin tespitine ilişkin homojenlik testi Çizelge 5.31' de verilmiştir.

Çizelge 5.31. Malzeme türlerinde ses yutma katsayısı değerlerine göre farklılık yaratan montaj tiplerinin tespitine ilişkin homojenlik testi

Malzeme Türü	**Montaj Tipi**	**N**	**Xort**	**H.G.**
MDF Panel	E 70	120	0,23	B
	E 70 +		0,32	**A***
LSD: ±0,0953				
Isıl İşlemsiz Sarıçam Panel	E 70	120	0,28	B
	E 70 +		0,37	**A***
LSD: ±0,0925				
Isıl İşlemli Sarıçam Panel	E 70	120	0,31	B
	E 70 +		0,41	**A***
LSD: ±0,0930				
Isıl İşlemsiz İroko Panel	E 70	120	0,23	B
	E 70 +		0,33	**A***
LSD: ±0,0838				
Isıl İşlemli İroko Panel	E 70	120	0,27	B
	E 70 +		0,36	**A***
LSD: ±0,1046				

Çizelge 5.31' e göre montaj tipi esas alındığında ses yutma katsayısı değeri; tüm malzeme türleri için E 70+ tipi montajlarda, E 70 tipi montajlara göre daha yüksek bulunmuştur.

Montaj tipinin, her bir malzeme türü ve frekansta ses yutma katsayısı değerine etkisi Çizelge 5.32' de verilmiştir. Buna göre; montaj tipi en yüksek düz panellerde 125 Hz' de etkili olmuştur.

Çizelge 5.32. Montaj tipinin ses yutma katsayısı değerine etkisi

	α Değerleri						
	Frekans						
Gruplar	**125**	**250**	**500**	**1000**	**2000**	**4000**	**Ort.**
Düz E 70 MDF	0,15	0,17	0,11	0,09	0,11	0,14	0,13
Düz E 70+ MDF	0,37	0,34	0,19	0,12	0,13	0,16	0,22
% Değişim	146,67	100,00	72,73	33,33	18,18	14,29	64,20
Delikli E 70 MDF	0,23	0,39	0,48	0,32	0,25	0,24	0,32
Delikli E 70+ MDF	0,28	0,51	0,58	0,49	0,35	0,28	0,42
% Değişim	21,74	30,77	20,83	53,13	40,00	16,67	30,52
Düz E 70 Isıl İşlemsiz Sarıçam	0,15	0,22	0,15	0,10	0,14	0,16	0,15
Düz E 70+ Isıl İşlemsiz Sarıçam	0,43	0,38	0,20	0,13	0,14	0,18	0,24
% Değişim	186,67	72,73	33,33	30,00	0,00	12,50	55,87
Delikli E 70 Isıl İşlemsiz Sarıçam	0,31	0,47	0,56	0,45	0,31	0,30	0,40
Delikli E 70+ Isıl İşlemsiz Sarıçam	0,35	0,57	0,67	0,59	0,38	0,33	0,48
% Değişim	12,90	21,28	19,64	31,11	22,58	10,00	19,59
Düz E 70 Isıl İşlemli Sarıçam	0,19	0,25	0,18	0,16	0,18	0,21	0,20
Düz E 70+ Isıl İşlemli Sarıçam	0,49	0,43	0,25	0,17	0,18	0,23	0,29
% Değişim	157,89	72,00	38,89	6,25	0,00	9,52	47,43
Delikli E 70 Isıl İşlemli Sarıçam	0,32	0,50	0,60	0,48	0,34	0,33	0,43
Delikli E 70+ Isıl İşlemli Sarıçam	0,42	0,61	0,73	0,63	0,44	0,36	0,53
% Değişim	31,25	22,00	21,67	31,25	29,41	9,09	24,11
Düz E 70 Isıl İşlemsiz İroko	0,14	0,18	0,11	0,09	0,10	0,12	0,12
Düz E 70+ Isıl İşlemsiz İroko	0,40	0,35	0,20	0,13	0,13	0,17	0,23
% Değişim	185,71	94,44	81,82	44,44	30,00	41,67	79,68
Delikli E 70 Isıl İşlemsiz İroko	0,26	0,41	0,49	0,34	0,24	0,26	0,33
Delikli E 70+ Isıl İşlemsiz İroko	0,29	0,53	0,61	0,52	0,32	0,30	0,43
% Değişim	11,54	29,27	24,49	52,94	33,33	15,38	27,83
Düz E 70 Isıl İşlemli İroko	0,16	0,22	0,14	0,11	0,14	0,16	0,16
Düz E 70+ Isıl İşlemli İroko	0,45	0,40	0,23	0,15	0,15	0,19	0,26
% Değişim	181,25	81,82	64,29	36,36	7,14	18,75	64,94
Delikli E 70 Isıl İşlemli İroko	0,29	0,43	0,55	0,42	0,29	0,29	0,38
Delikli E 70+ Isıl İşlemli İroko	0,31	0,58	0,65	0,55	0,37	0,31	0,46
% Değişim	6,90	34,88	18,18	30,95	27,59	6,90	20,90

Malzeme türlerinde yüzey şekli ve montaj tipinin ses yutma katsayısı değerine etkisi

Malzeme türlerinde ses yutma katsayısı değerlerine göre farklılık yaratan yüzey şekli ve montaj tiplerinin tespitine ilişkin homojenlik testi Çizelge 5.33' de verilmiştir.

Çizelge 5.33. Malzeme türlerinde ses yutma katsayısı değerlerine göre farklılık yaratan yüzey şekli ve montaj tiplerinin tespitine ilişkin homojenlik testi

Malzeme Türü	Yüzey Şekli	Montaj Tipi	N	Xort	H.G.
MDF Panel	Düz Panel	E 70	60	0,13	D
		E 70 +		0,22	C
	Delikli Panel	E 70		0,32	B
		E 70 +		0,42	**A***
LSD: ±0,0357					
Isıl İşlemsiz Sarıçam Panel	Düz Panel	E 70	60	0,15	D
		E 70 +		0,24	C
	Delikli Panel	E 70		0,40	B
		E 70 +		0,49	**A***
LSD: ±0,0301					
Isıl İşlemli Sarıçam Panel	Düz Panel	E 70	60	0,19	D
		E 70 +		0,29	C
	Delikli Panel	E 70		0,43	B
		E 70 +		0,54	**A***
LSD: ±0,0250					
Isıl İşlemsiz İroko Panel	Düz Panel	E 70	60	0,12	D
		E 70 +		0,23	C
	Delikli Panel	E 70		0,34	B
		E 70 +		0,43	**A***
LSD: ±0,0610					
Isıl İşlemli İroko Panel	Düz Panel	E 70	60	0,16	D
		E 70 +		0,26	C
	Delikli Panel	E 70		0,38	B
		E 70 +		0,47	**A***
LSD: ±0,0326					

Çizelge 5.33' e göre yüzey şekli ve montaj tipi esas alındığında en yüksek ses yutma katsayısı değeri; tüm malzeme türleri için E 70+ tipi montaj ile delikli panellerde bulunmuştur.

Malzeme türlerinde yüzey şekli ve frekansın ses yutma katsayısı değerine etkisi

Malzeme türlerinde ses yutma katsayısı değerlerine göre farklılık yaratan yüzey şekli ve frekansların tespitine ilişkin homojenlik testi Çizelge 5.34' de verilmiştir.

Çizelge 5.34. Malzeme türlerinde ses yutma katsayısı değerlerine göre farklılık yaratan yüzey şekli ve frekansların tespitine ilişkin homojenlik testi

Malzeme	Yüzey Şekli	Frekans (Hz)	N	Xort	H.G.
MDF Panel	Düz Panel	125	20	0,26	E
		250		0,26	E
		500		0,15	F
		1000		0,11	G
		2000		0,12	G
		4000		0,15	F
	Delikli Panel	125		0,26	E
		250		0,46	B
		500		0,54	**A***
		1000		0,41	C
		2000		0,30	D
		4000		0,26	E
LSD: ±0,01160					
Isıl İşlemli Sarıçam Panel	Düz Panel	125	20	0,29	EF
		250		0,30	EF
		500		0,18	G
		1000		0,12	H
		2000		0,14	H
		4000		0,17	G
	Delikli Panel	125		0,32	CD
		250		0,52	B
		500		0,62	**A***
		1000		0,53	B
		2000		0,35	C
		4000		0,30	DE
LSD: ±0,01486					
Isıl İşlemsiz Sarıçam Panel	Düz Panel	125	20	0,34	E
		250		0,34	E
		500		0,21	F
		1000		0,17	G
		2000		0,18	G
		4000		0,22	F
	Delikli Panel	125		0,37	CD
		250		0,56	B
		500		0,67	**A***
		1000		0,56	B
		2000		0,39	C
		4000		0,35	DE
LSD: ±0,01588					

Çizelge 5.34. (Devam) Malzeme türlerinde ses yutma katsayısı değerlerine göre farklılık yaratan yüzey şekli ve frekansların tespitine ilişkin homojenlik testi

Malzeme	Yüzey Şekli	Frekans (Hz)	N	Xort	H.G.
Isıl İşlemsiz İroko Panel	Düz Panel	125	20	0,27	D
		250		0,27	D
		500		0,16	E
		1000		0,11	F
		2000		0,12	F
		4000		0,14	E
	Delikli Panel	125		0,28	D
		250		0,47	B
		500		0,56	**A***
		1000		0,44	C
		2000		0,28	D
		4000		0,28	D
LSD: ±0,01809					
Isıl İşlemli İroko Panel	Düz Panel	125	20	0,31	CD
		250		0,31	CD
		500		0,19	E
		1000		0,13	F
		2000		0,15	F
		4000		0,18	E
	Delikli Panel	125		0,30	CD
		250		0,51	B
		500		0,61	**A***
		1000		0,49	B
		2000		0,33	C
		4000		0,30	CD
LSD: ±0,01494					

Çizelge 5.34’ e göre yüzey şekli ve frekans esas alındığında en yüksek ses yutma katsayısı değeri tüm malzeme türleri için delikli panellerde ve 500 Hz’ de bulunmuştur.

Malzeme türlerinde montaj tipi ve frekansın ses yutma katsayısı değerine etkisi

Malzeme türlerinde ses yutma katsayısı değerlerine göre farklılık yaratan montaj tipi ve frekansların tespitine ilişkin homojenlik testi Çizelge 5.35' de verilmiştir.

Çizelge 5.35. Malzeme türlerinde ses yutma katsayısı değerlerine göre farklılık yaratan montaj tipi ve frekansların tespitine ilişkin homojenlik testi

Malzeme Türü	**Montaj Tipi**	**Frekans (Hz)**	**N**	**Xort**	**H.G.**
MDF Panel	E 70	125	20	0,19	HI
		250		0,28	DE
		500		0,30	DE
		1000		0,21	GH
		2000		0,18	HI
		4000		0,19	HI
	E 70 +	125		0,33	C
		250		0,43	**A***
		500		0,39	B
		1000		0,31	D
		2000		0,24	F
		4000		0,22	G
LSD: ±0,0127					
Isıl İşlemsiz Sarıçam Panel	E 70	125	20	0,23	FG
		250		0,35	D
		500		0,36	D
		1000		0,28	E
		2000		0,23	G
		4000		0,23	FG
	E 70 +	125		0,39	C
		250		0,48	**A***
		500		0,44	B
		1000		0,36	D
		2000		0,26	E
		4000		0,26	EF
LSD: ±0,0173					
Isıl İşlemli Sarıçam Panel	E 70	125	20	0,26	FG
		250		0,38	D
		500		0,39	D
		1000		0,32	E
		2000		0,26	FG
		4000		0,27	FG
	E 70 +	125		0,46	C
		250		0,52	**A***
		500		0,49	B
		1000		0,41	D
		2000		0,31	E
		4000		0,30	EF
LSD:± 0,0257					

Çizelge 5.35. (Devam) Malzeme türlerinde ses yutma katsayısı değerlerine göre farklılık yaratan montaj tipi ve frekansların tespitine ilişkin homojenlik testi

MALZEME	YÜZEY ŞEKLİ	Frekans (Hz)	N	Xort	H.G.
Isıl İşlemsiz İroko Panel	E 70	125	20	0,20	FD
		250		0,30	D
		500		0,30	D
		1000		0,22	EF
		2000		0,17	H
		4000		0,19	GH
	E 70 +	125		0,35	C
		250		0,44	**A***
		500		0,41	B
		1000		0,33	C
		2000		0,23	E
		4000		0,24	E
LSD: ±0,0111					
Isıl İşlemli İroko Panel	E 70	125	20	0,23	F
		250		0,33	D
		500		0,35	D
		1000		0,27	E
		2000		0,22	F
		4000		0,23	F
	E 70 +	125		0,38	C
		250		0,49	**A***
		500		0,44	B
		1000		0,35	D
		2000		0,26	E
		4000		0,25	E
LSD: ±0,0189					

Çizelge 5.35’ e göre montaj tipi ve frekans esas alındığında en yüksek ses yutma katsayısı değeri; tüm malzeme türleri için E 70+ tipi montajda ve 250 Hz’ de bulunmuştur.

Malzeme türlerinde yüzey şekli, montaj tipi ve frekansın ses yutma katsayısına etkisi

Malzeme türlerinde ses yutma katsayısı değerlerine göre farklılık yaratan yüzey şekli montaj tipi ve frekansların tespitine ilişkin homojenlik testi Çizelge 5.36’ da verilmiştir.

Çizelge 5.36. Malzeme türlerinde ses yutma katsayısı değerlerine göre farklılık yaratan yüzey şekli montaj tipi ve frekansların tespitine ilişkin homojenlik testi

Malzeme Türü	Yüzey Şekli	Montaj Tipi	Frekans (Hz)	N	Xort	H.G.
MDF Panel	Düz Panel	E 70	125	10	0,15	JKL
			250		0,17	IJ
			500		0,11	LK
			1000		0,09	M
			2000		0,11	LM
			4000		0,14	JKL
		E 70 +	125		0,37	DE
			250		0,34	E
			500		0,19	HI
			1000		0,12	KLM
			2000		0,13	JKL
			4000		0,16	IJK
	Delikli Panel	E 70	125		0,23	H
			250		0,40	D
			500		0,48	C
			1000		0,33	F
			2000		0,25	G
			4000		0,24	G
		E 70 +	125		0,29	F
			250		0,52	B
			500		0,59	**A***
			1000		0,49	BC
			2000		0,35	DE
			4000		0,28	G
LSD: ±0,0251						
Isıl İşlemsiz Sarıçam Panel	Düz Panel	E 70	125	10	0,15	JK
			250		0,22	H
			500		0,15	JK
			1000		0,10	L
			2000		0,14	K
			4000		0,16	JK
		E 70 +	125		0,43	D
			250		0,38	E
			500		0,20	HI
			1000		0,13	KL
			2000		0,14	K
			4000		0,18	IJ
	Delikli Panel	E 70	125		0,31	FG
			250		0,47	C
			500		0,57	B
			1000		0,46	CD
			2000		0,31	FG
			4000		0,31	FG
		E 70 +	125		0,36	EF
			250		0,57	B
			500		0,68	**A***
			1000		0,60	B
			2000		0,38	E
			4000		0,33	FG
LSD: ±0,0361						

Çizelge 5.36. (Devam) Malzeme türlerinde ses yutma katsayısı değerlerine göre farklılık yaratan yüzey şekli montaj tipi ve frekansların tespitine ilişkin homojenlik testi.

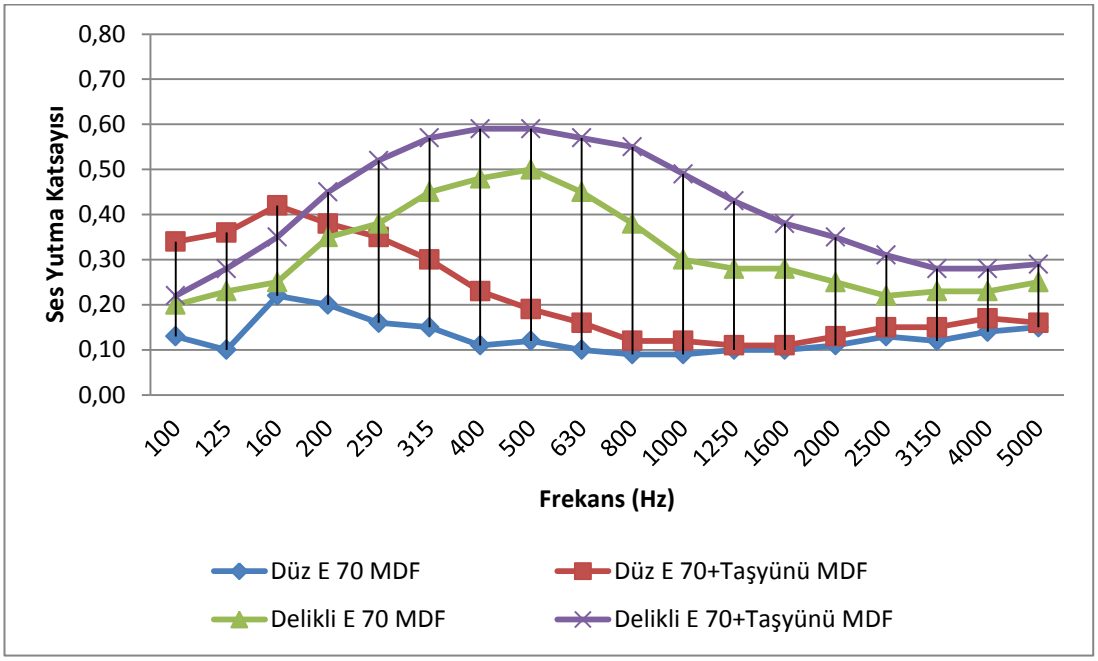
Malzeme Türü	Yüzey Şekli	Montaj Tipi	Frekans (Hz)	N	Xort	H.G.
Isıl İşlemli Sarıçam Panel	Düz Panel	E 70	125	10	0,19	GH
			250		0,25	F
			500		0,18	GH
			1000		0,16	H
			2000		0,18	GH
			4000		0,21	FG
		E 70 +	125		0,49	C
			250		0,43	D
			500		0,25	F
			1000		0,17	GH
			2000		0,18	GH
			4000		0,23	F
	Delikli Panel	E 70	125		0,32	E
			250		0,51	C
			500		0,61	B
			1000		0,48	C
			2000		0,35	E
			4000		0,34	E
		E 70 +	125		0,42	D
			250		0,62	B
			500		0,74	**A***
			1000		0,64	B
			2000		0,44	D
			4000		0,36	E
LSD: ±0,0367						
Isıl İşlemsiz İroko Panel	Düz Panel	E 70	125	10	0,14	LM
			250		0,18	JK
			500		0,11	MNO
			1000		0,09	O
			2000		0,10	NO
			4000		0,12	MNO
		E 70 +	125		0,40	D
			250		0,35	E
			500		0,20	J
			1000		0,13	MN
			2000		0,13	MN
			4000		0,17	KL
	Delikli Panel	E 70	125		0,26	HI
			250		0,41	D
			500		0,49	C
			1000		0,34	E
			2000		0,24	I
			4000		0,26	HI
		E 70 +	125		0,29	GH
			250		0,53	B
			500		0,62	**A***
			1000		0,53	B
			2000		0,32	EF
			4000		0,30	FG
LSD: ±0,0350						

Çizelge 5.36. (Devam) Malzeme türlerinde ses yutma katsayısı değerlerine göre farklılık yaratan yüzey şekli montaj tipi ve frekansların tespitine ilişkin homojenlik testi

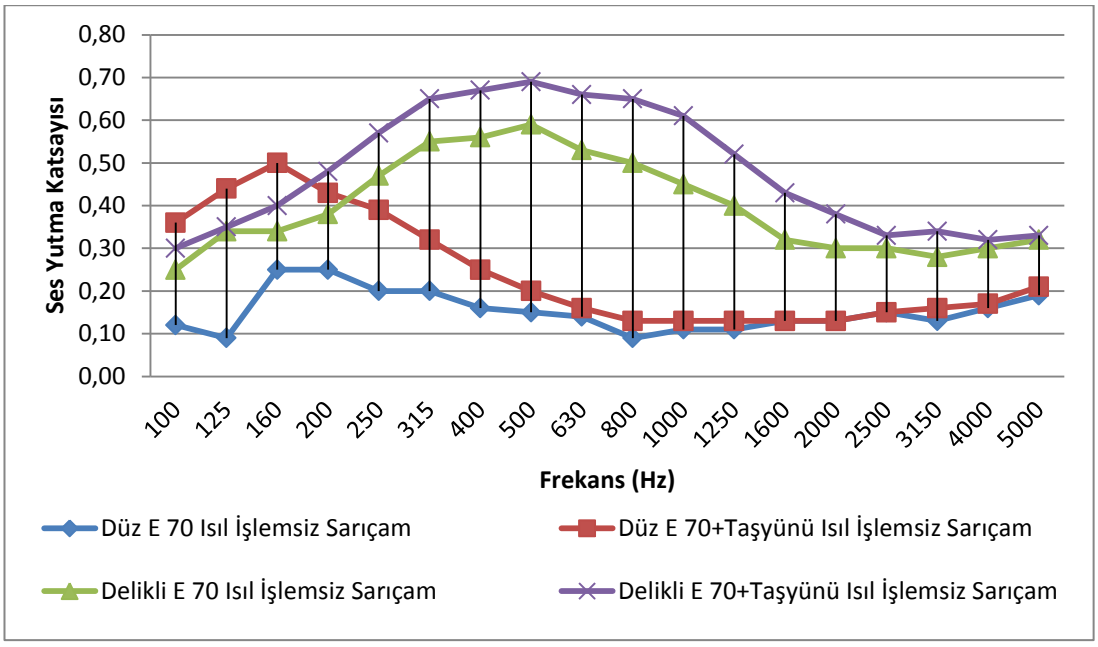
Malzeme Türü	Yüzey Şekli	Montaj Tipi	Frekans (Hz)	N	Xort	H.G.
Isıl İşlemli İroko Panel	Düz Panel	E 70	125	10	0,16	IJ
			250		0,22	GH
			500		0,14	JK
			1000		0,11	K
			2000		0,14	JK
			4000		0,16	IJ
		E 70 +	125		0,45	C
			250		0,40	DE
			500		0,23	G
			1000		0,15	J
			2000		0,15	J
			4000		0,19	HI
	Delikli Panel	E 70	125		0,29	F
			250		0,44	C
			500		0,56	B
			1000		0,42	CD
			2000		0,30	F
			4000		0,30	F
		E 70 +	125		0,31	F
			250		0,58	B
			500		0,66	**A***
			1000		0,56	B
			2000		0,37	E
			4000		0,31	F
LSD: ±0,0369						

Çizelge 5.36’ ya göre yüzey şekli, montaj tipi ve frekans esas alındığında en yüksek ses yutma katsayısı değeri; tüm malzeme türleri için delikli panellerin E 70+ tipi montaj uygulamasında 500 Hz’ de bulunmuştur.

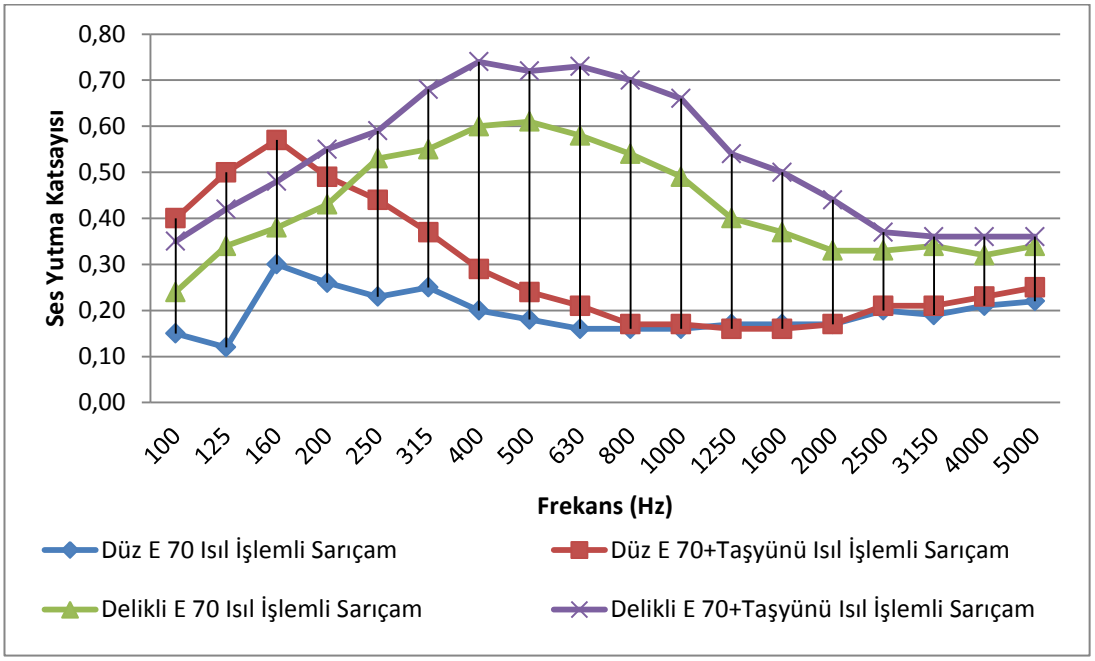
Malzeme türlerinde, panellerin yüzey şekli ve montaj tipine göre ses yutma katsayısı değerlerini gösteren grafikler Şekil 5.1-5’ de verilmiştir.



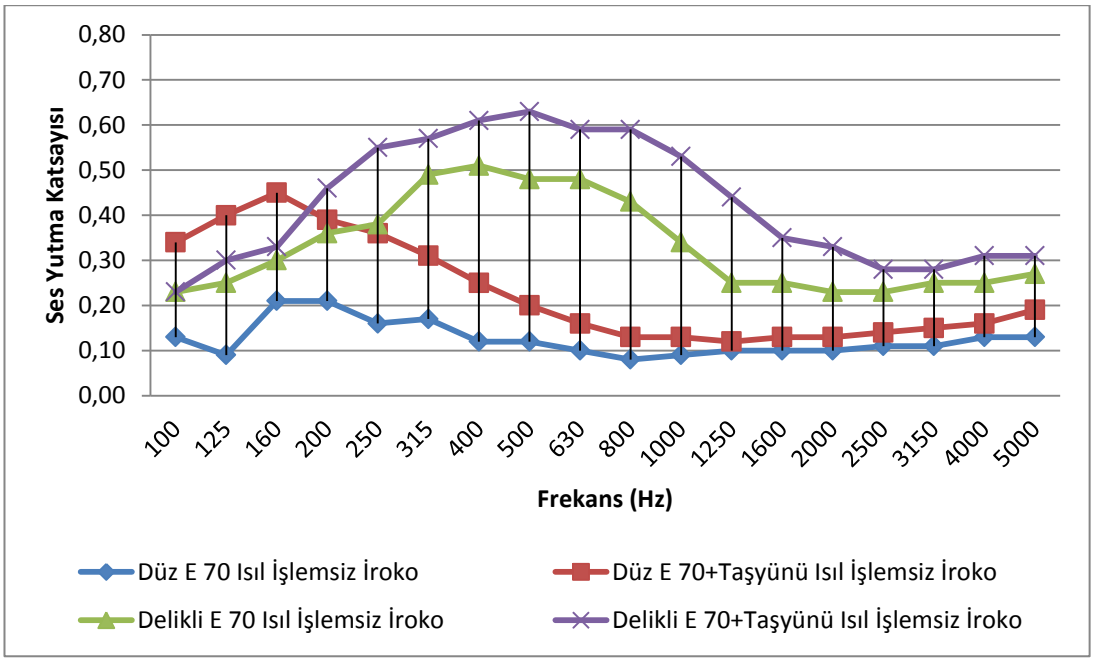
Şekil 5.1. MDF panellerin ses yutma katsayısı değerleri



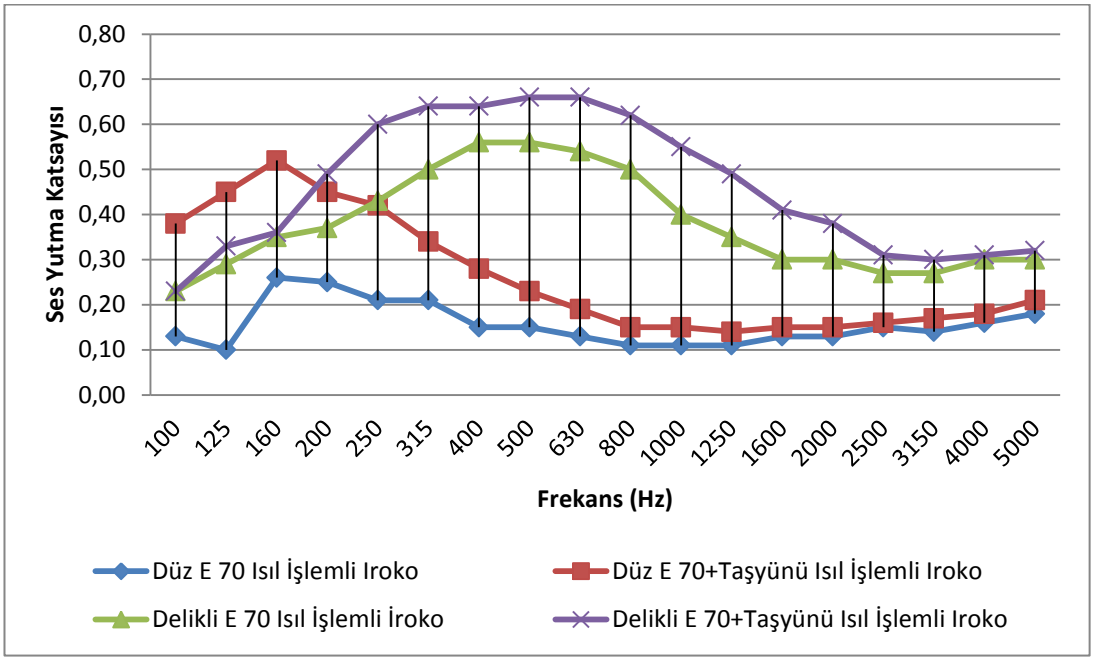
Şekil 5.2. Isıl işlemsiz sarıçam panellerin ses yutma katsayısı değerleri



Şekil 5.3. Isıl işlemli sarıçam panellerin ses yutma katsayısı değerleri

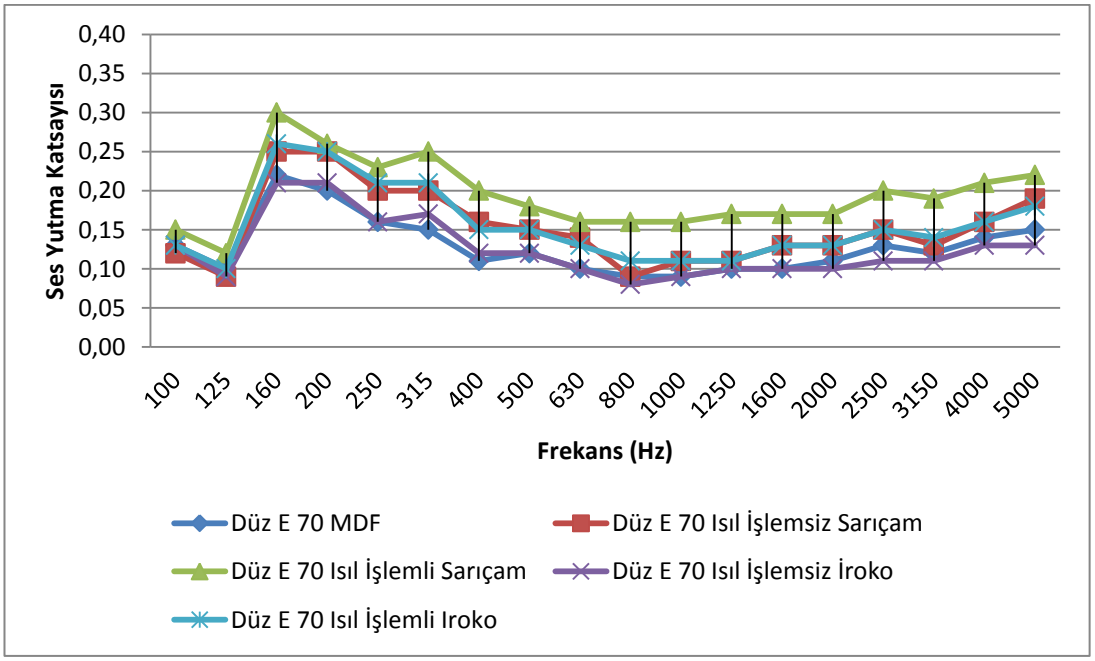


Şekil 5.4. Isıl işlemsiz iroko panellerin ses yutma katsayısı değerleri

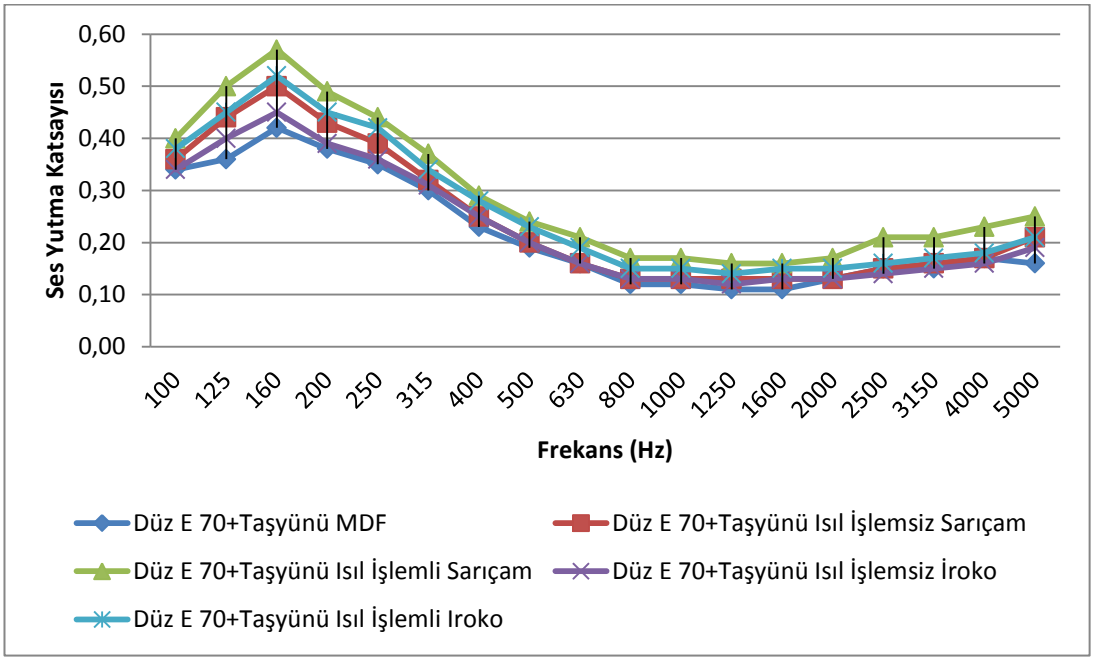


Şekil 5.5. Isıl işlemli iroko panellerin ses yutma katsayısı değerleri

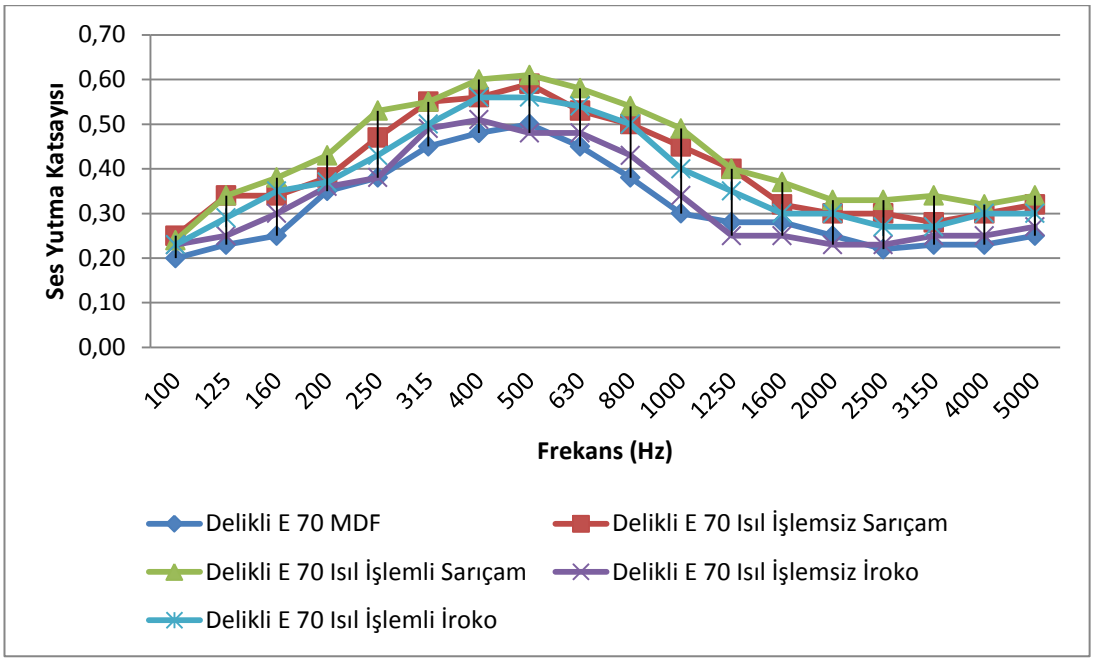
Yüzey şekilleri ve montaj tiplerinde, panellerin malzeme türüne göre ses yutma katsayısı değerlerini gösteren grafikler Şekil 5.6-9' da verilmiştir.



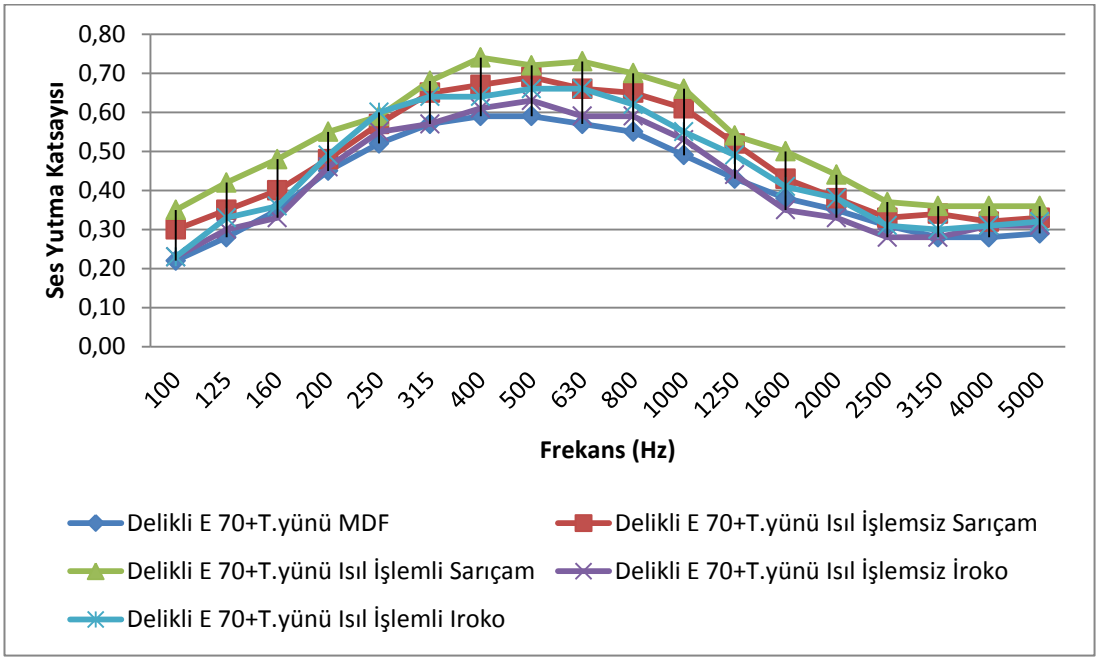
Şekil 5.6. Düz yüzeyli panellerin E 70 tipi montajda ses yutma katsayısı değerleri



Şekil 5.7. Düz yüzeyli panellerin E 70+ tipi montajda ses yutma katsayısı değerleri



Şekil 5.8. Delikli yüzeyli panellerin E 70 tipi montajda ses yutma katsayısı değerleri



Şekil 5.9. Delikli yüzeyli panellerin E 70+ tipi montajda ses yutma katsayısı değerleri

Frekans, yüzey şekli ve montaj tipinde malzeme türünün ses yutma katsayısına etkisi

Frekans, yüzey şekli ve montaj tipinde malzeme türünün ses yutma katsayısı üzerinde etkili olup olmadığına ilişkin varyans analizi testi Çizelge 5.37' de verilmiştir.

Çizelge 5.37. Frekans, yüzey şekli ve montaj tipinde malzeme türünün ses yutma katsayısı üzerinde etkili olup olmadığına ilişkin varyans analizi

Frekans	Yüzey Şekli	Montaj Tipi	Faktör	Serbestlik Derecesi	Kareler Toplamı	Kareler Ort.	F Değeri	P≤0,05
125	Düz	E 70	MalzemeTürü	4	0,0138	0,0035	17,3035	0,0000*
			Hata	45	0,0090	0,0002		
			Toplam	50	1,2964			
		E 70 +	MalzemeTürü	4	0,0856	0,0214	14,4504	0,0000*
			Hata	45	0,0666	0,0015		
			Toplam	50	9,3800			
	Delikli	E 70	MalzemeTürü	4	0,0581	0,0145	14,6114	0,0000*
			Hata	45	0,0447	0,0010		
			Toplam	50	4,1584			
		E 70 +	MalzemeTürü	4	0,1308	0,0327	24,0130	0,0000*
			Hata	45	0,0613	0,0014		
			Toplam	50	5,7365			
250	Düz	E 70	MalzemeTürü	4	0,0414	0,0104	29,1249	0,0000*
			Hata	45	0,0160	0,0004		
			Toplam	50	2,2165			
		E 70 +	MalzemeTürü	4	0,0529	0,0132	11,1304	0,0000*
			Hata	45	0,0534	0,0012		
			Toplam	50	7,3872			
	Delikli	E 70	MalzemeTürü	4	0,0822	0,0205	8,4493	0,0000*
			Hata	45	0,1094	0,0024		
			Toplam	50	10,1374			
		E 70 +	MalzemeTürü	4	0,0616	0,0154	4,0472	0,0069*
			Hata	45	0,1712	0,0038		
			Toplam	50	16,1037			
500	Düz	E 70	MalzemeTürü	4	0,0340	0,0085	49,4012	0,0000*
			Hata	45	0,0077	0,0002		
			Toplam	50	1,0050			
		E 70 +	MalzemeTürü	4	0,0235	0,0059	15,7138	0,0000*
			Hata	45	0,0168	0,0004		
			Toplam	50	2,3429			
	Delikli	E 70	MalzemeTürü	4	0,1068	0,0267	7,5872	0,0001*
			Hata	45	0,1583	0,0035		
			Toplam	50	14,9100			
		E 70 +	MalzemeTürü	4	0,1352	0,0338	6,5732	0,0003*
			Hata	45	0,2314	0,0051		
			Toplam	50	21,8179			

*=0,05'e göre önemli

Çizelge 5.37. (Devam) Frekans, yüzey şekli ve montaj tipinde malzeme türünün ses yutma katsayısı üzerinde etkili olup olmadığına ilişkin varyans analizi

Frekans	Yüzey Şekli	Montaj Tipi	Faktör	Serbestlik Derecesi	Kareler Toplamı	Kareler Ort.	F Değeri	P≤0,05
1000	Düz	E 70	MalzemeTürü	4	0,0338	0,0085	70,3697	0,0000*
			Hata	45	0,0054	0,0001		
			Toplam	50	0,6553			
		E 70 +	MalzemeTürü	4	0,0154	0,0039	24,4485	0,0000*
			Hata	45	0,0071	0,0002		
			Toplam	50	0,9997			
	Delikli	E 70	MalzemeTürü	4	0,1872	0,0468	23,1826	0,0000*
			Hata	45	0,0908	0,0020		
			Toplam	50	8,5036			
		E 70 +	MalzemeTürü	4	0,1346	0,0337	8,8321	0,0000*
			Hata	45	0,1715	0,0038		
			Toplam	50	16,1771			
2000	Düz	E 70	MalzemeTürü	4	0,0369	0,0092	61,8214	0,0000*
			Hata	45	0,0067	0,0001		
			Toplam	50	0,9522			
		E 70 +	MalzemeTürü	4	0,0173	0,0043	24,6502	0,0000*
			Hata	45	0,0079	0,0002		
			Toplam	50	1,0939			
	Delikli	E 70	MalzemeTürü	4	0,0730	0,0182	17,5041	0,0000*
			Hata	45	0,0469	0,0010		
			Toplam	50	4,3191			
		E 70 +	MalzemeTürü	4	0,0766	0,0192	10,8032	0,0000*
			Hata	45	0,0798	0,0018		
			Toplam	50	7,1877			
4000	Düz	E 70	MalzemeTürü	4	0,0448	0,0112	57,2727	0,0000*
			Hata	45	0,0088	0,0002		
			Toplam	50	1,3018			
		E 70 +	MalzemeTürü	4	0,0295	0,0074	26,5965	0,0000*
			Hata	45	0,0125	0,0003		
			Toplam	50	1,7681			
	Delikli	E 70	MalzemeTürü	4	0,0534	0,0133	13,3263	0,0000*
			Hata	45	0,0451	0,0010		
			Toplam	50	4,2399			
		E 70 +	MalzemeTürü	4	0,0387	0,0097	7,5374	0,0001*
			Hata	45	0,0577	0,0013		
			Toplam	50	5,2036			

*=0,05'e göre önemli

Çizelge 5.37' ye göre ses yutma katsayısı değerinde, frekans, yüzey şekli ve montaj tipine bağlı olarak malzeme türünün etkisi istatiksel olarak önemli çıkmıştır ($P \leq 0,05$). Frekans, yüzey şekli ve montaj tipinde ses yutma katsayısı değerlerine göre farklılık yaratan malzeme türlerinin tespitine ilişkin homojenlik testi Çizelge 5. 38' de verilmiştir.

Çizelge 5.38. Frekans, yüzey şekli ve montaj tipinde ses yutma katsayısı değerlerine göre farklılık yaratan malzeme türlerinin tespitine ilişkin homojenlik testi

			Frekans (Hz)				**Frekans (Hz)**				**Frekans (Hz)**		
Yüzey Şekli	**Montaj Tipi**	**Malzeme Türü**	**125**				**250**				**500**		
			N	**Xort**	**H.G.**		**N**	**Xort**	**H.G.**		**N**	**Xort**	**H.G.**
Düz Panel	E 70	MDF	10	0,15	BC		10	0,17	C		10	0,11	C
		İşlemli Sarıçam		0,15	BC			0,22	B			0,15	B
		İşlemsiz S.çam		0,19	**A***			0,25	**A***			0,18	**A***
		İşlemli İroko		0,14	C			0,18	C			0,11	C
		İşlemsiz İroko		0,16	B			0,22	B			0,14	B
			LSD: ±0,0030				LSD: ±0,0091				LSD: ±0,0074		
	E 70 +	MDF	10	0,37	D		10	0,34	D		10	0,19	B
		İşlemli Sarıçam		0,43	BC			0,38	BC			0,20	B
		İşlemsiz S.çam		0,49	**A***			0,43	**A***			0,25	**A***
		İşlemli İroko		0,40	CD			0,35	CD			0,20	B
		İşlemsiz İroko		0,45	B			0,40	AB			0,23	A
			LSD: ±0,0188				LSD: ±0,0116				LSD: ±0,0051		
Delikli Panel	E 70	MDF	10	0,23	D		10	0,39	C		10	0,48	B
		İşlemli Sarıçam		0,31	AB			0,47	AB			0,56	A
		İşlemsiz S.çam		0,32	**A***			0,50	**A***			0,60	**A***
		İşlemli İroko		0,26	C			0,41	C			0,49	B
		İşlemsiz İroko		0,29	B			0,43	BC			0,55	A
			LSD: ±0,0127				LSD: ±0,0180				LSD: ±0,0234		
	E 70 +	MDF	10	0,28	C		10	0,51	C		10	0,58	C
		İşlemli Sarıçam		0,35	B			0,57	ABC			0,67	AB
		İşlemsiz S.çam		0,42	**A***			0,61	**A***			0,73	**A***
		İşlemli İroko		0,29	C			0,53	BC			0,61	BC
		İşlemsiz İroko		0,31	C			0,58	AB			0,65	B
			LSD: ±0,0287				LSD: ±0,0135				LSD: ±0,0296		

Çizelge 5.38. (Devam) Frekans, yüzey şekli ve montaj tipinde ses yutma katsayısı değerlerine göre farklılık yaratan malzeme türlerinin tespitine ilişkin homojenlik testi

			Frekans (Hz)				**Frekans (Hz)**			**Frekans (Hz)**		
Yüzey Şekli	**Montaj Tipi**	**Malzeme Türü**	**1000**				**2000**			**4000**		
			N	**Xort**	**H.G.**		**N**	**Xort**	**H.G.**	**N**	**Xort**	**H.G.**
Düz Panel	E 70	MDF	10	0,09	C		10	0,11	C	10	0,14	C
		İşlemli Sarıçam		0,10	B			0,14	B		0,16	B
		İşlemsiz S.çam		0,16	**A***			0,18	**A***		0,21	**A***
		İşlemli İroko		0,09	C			0,10	C		0,12	D
		İşlemsiz İroko		0,11	B			0,14	B		0,16	B
	LSD: ±0,0074						LSD: ±0,0081			LSD: ±0,0098		
	E 70 +	MDF	10	0,12	C		10	0,13	C	10	0,16	D
		İşlemli Sarıçam		0,13	C			0,14	BC		0,18	BC
		İşlemsiz S.çam		0,17	**A***			0,18	**A***		0,23	**A***
		İşlemli İroko		0,13	C			0,13	C		0,17	CD
		İşlemsiz İroko		0,15	B			0,15	B		0,19	B
LSD: ±0,0034							LSD: ±0,0038			LSD: ±0,0065		
Delikli Panel	E 70	MDF	10	0,32	C		10	0,25	C	10	0,24	C
		İşlemli Sarıçam		0,45	AB			0,31	B		0,30	B
		İşlemsiz S.çam		0,48	**A***			0,34	**A***		0,33	**A***
		İşlemli İroko		0,34	C			0,24	C		0,26	C
		İşlemsiz İroko		0,42	B			0,29	B		0,29	B
	LSD: ±0,0410						LSD: ±0,0160			LSD: ±0,0117		
	E 70 +	MDF	10	0,49	D		10	0,35	BC	10	0,28	C
		İşlemli Sarıçam		0,59	AB			0,38	B		0,33	AB
		İşlemsiz S.çam		0,63	**A***			0,44	**A***		0,36	**A***
		İşlemli İroko		0,52	CD			0,32	C		0,30	BC
		İşlemsiz İroko		0,55	BC			0,37	B		0,31	BC
LSD: ±0,295							LSD: ±0,0168			LSD: ±0,0085		

Çizelge 5.38’ e göre tüm gruplar içinde en yüksek ses yutma katsayısı değeri ısıl işlemli sarıçam panellerde bulunmuştur.

Isıl işlemin ses yutma katsayısı değerine etkisi Çizelge 5.39’ da verilmiştir. Buna göre, ısıl işlem en yüksek düz yüzeyli E 70 tipi montajda ısıl işlemsiz sarıçam panellerde 1000 Hz’ de etkili olmuştur.

Çizelge 5.39. Isıl işlemin ses yutma katsayısı değerine etkisi

	α Değerleri						
	Frekans						
Gruplar	**125**	**250**	**500**	**1000**	**2000**	**4000**	**Ort.**
Düz E 70 Isıl İşlemsiz Sarıçam	0,15	0,22	0,15	0,10	0,14	0,16	0,15
Düz E 70 Isıl İşlemli Sarıçam	0,19	0,25	0,18	0,16	0,18	0,21	0,20
% Değişim	26,67	13,64	20,00	60,00	28,57	31,25	30,02
Düz E 70+ Isıl İşlemsiz Sarıçam	0,43	0,38	0,20	0,13	0,14	0,18	0,24
Düz E 70+ Isıl İşlemli Sarıçam	0,49	0,43	0,25	0,17	0,18	0,23	0,29
% Değişim	13,95	13,16	25,00	30,77	28,57	27,78	23,20
Delikli E 70 Isıl İşlemsiz Sarıçam	0,31	0,47	0,56	0,45	0,31	0,30	0,40
Delikli E 70 Isıl İşlemli Sarıçam	0,32	0,50	0,60	0,48	0,34	0,33	0,43
% Değişim	3,23	6,38	7,14	6,67	9,68	10,00	7,18
Delikli E 70+ Isıl İşlemsiz Sarıçam	0,35	0,57	0,67	0,59	0,38	0,33	0,48
Delikli E 70+ Isıl İşlemli Sarıçam	0,42	0,61	0,73	0,63	0,44	0,36	0,53
% Değişim	20,00	7,02	8,96	6,78	15,79	9,09	11,27
Düz E 70 Isıl İşlemsiz İroko	0,14	0,18	0,11	0,09	0,10	0,12	0,12
Düz E 70 Isıl İşlemli İroko	0,16	0,22	0,14	0,11	0,14	0,16	0,16
% Değişim	14,29	22,22	27,27	22,22	40,00	33,33	26,56
Düz E 70+ Isıl İşlemsiz İroko	0,40	0,35	0,20	0,13	0,13	0,17	0,23
Düz E 70+ Isıl İşlemli İroko	0,45	0,40	0,23	0,15	0,15	0,19	0,26
% Değişim	12,50	14,29	15,00	15,38	15,38	11,76	14,05
Delikli E 70 Isıl İşlemsiz İroko	0,26	0,41	0,49	0,34	0,24	0,26	0,33
Delikli E 70 Isıl İşlemli İroko	0,29	0,43	0,55	0,42	0,29	0,29	0,38
% Değişim	11,54	4,88	12,24	23,53	20,83	11,54	14,09
Delikli E 70+ Isıl İşlemsiz İroko	0,29	0,53	0,61	0,52	0,32	0,30	0,43
Delikli E 70+ Isıl İşlemli İroko	0,31	0,58	0,65	0,55	0,37	0,31	0,46
% Değişim	6,90	9,43	6,56	5,77	15,63	3,33	7,94

Çizelge 5.39' a göre ısıl işlem tüm gruplarda ses yutma katsayısı değerini belirli oranlarda artırmaktadır.

5.2. Mekanik Özellikler

5.2.1. Eğilme direnci

Eğilme direnci değerlerine ilişkin istatistiksel sonuçlar Çizelge 5.40' da verilmiştir.

Çizelge 5.40. Eğilme direnci değerlerine ilişkin istatistiksel sonuçlar

Gruplar		**N**	**X_{min}**	**X_{max}**	**X_{ort}** (N/mm^2)	**Std. Sp.**
Isıl İşlemsiz	MDF Panel	10	24,95	30,30	27,99	1,65
	Sarıçam Panel		67,70	81,30	72,60	3,76
	İroko Panel		61,75	80,50	70,52	5,18
Isıl İşlemli	Sarıçam Panel		62,80	69,55	66,58	2,26
	İroko Panel		58,80	77,65	65,90	4,99

X_{min}: En küçük değer X_{max}: En büyük değer X_{ort}: Ortalama değer Std.Sp.: Standart Sapma

Panellerde kullanılan ağaç malzeme ve uygulanan ısıl işleme göre ortaya çıkan eğilme direnci değerleri arasındaki farkların önemli olup olmadığını belirlemek için yapılan varyans analizi testi Çizelge 5.41' de verilmiştir.

Çizelge 5.41. Ağaç malzeme türü ve uygulanan işlemin eğilme direnci değerleri üzerinde etkisine ilişkin varyans analizi

	Serbestlik derecesi	**Kareler toplamı**	**Kareler ortalaması**	**F değeri**	**P ≤ 0,05**
Gruplar arasında	13509,403	4	3377,351	229,171	**0,000**
Gruplar içinde	663,176	45	14,737		
Toplam	14172,579	49			

Yapılan varyans analizine göre, ağaç malzeme türü, uygulanan ısıl işlem ve bunların karşılıklı etkileşimleri arasındaki fark önemli çıkmıştır ($P \leq 0,05$).

Ağaç malzeme türü, uygulanan ısıl işlem ve bunların karşılıklı etkileşimleri arasındaki farklılıkların hangi gruplar arasında önemli olduğunu belirlemek için yapılan Duncan testi Çizelge 5.42' de verilmiştir.

Çizelge 5.42. Ağaç malzeme türü ve uygulanan ısıl işleme göre farklılık yaratan eğilme direnci değerlerinin tespitine ilişkin homojenlik testi

Gruplar		**X_{ort}** (N/mm^2)	**HG**
Isıl İşlemsiz	MDF Panel	27,99	C
	Sarıçam Panel	72,60	**A***
	İroko Panel	69,52	AB
Isıl İşlemli	Sarıçam Panel	66,58	B
	İroko Panel	65,90	B
LSD: ± 0,699			

Çizelge 5.42' ye göre eğilme direnci değeri; en yüksek ısıl işlemsiz sarıçam panel örneklerde (72,60 N/mm^2) ve en düşük MDF panel örneklerde (27,99 N/mm^2) bulunmuştur. Isıl işlemin ahşap panellerin eğilme direnci değerlerini sarıçam panellerde %8, iroko panellerde %5 oranlarında düşürdüğü tespit edilmiştir.

5.2.2. Eğilmede elastikiyet modülü

Eğilmede elastikiyet modülü değerlerine ilişkin istatistiksel sonuçlar Çizelge 5.43' de verilmiştir.

Çizelge 5.43. Eğilmede elastikiyet modülü değerlerine ilişkin istatistiksel sonuçlar

Gruplar		**N**	**X_{min}**	**X_{max}**	**X_{ort}**(N/mm^2)	**Std. Sp.**
Isıl İşlemsiz	MDF Panel	10	3215,15	3645,50	3407,61	138,59
	Sarıçam Panel		8756,90	9932,50	9445,61	437,10
	İroko Panel		11004,85	13548,80	12454,97	747,73
Isıl İşlemli	Sarıçam Panel		8223,50	9265,80	8881,17	430,48
	İroko Panel		10365,85	12650,30	11272,36	682,61

X_{min}: En küçük değer X_{max}: En büyük değer X_{ort}: Ortalama değer Std.Sp.: Standart Sapma

Panellerde kullanılan ağaç malzeme ve uygulanan ısıl işleme göre ortaya çıkan eğilmede elastikiyet modülü değerleri arasındaki farkların önemli olup olmadığını belirlemek için yapılan varyans analizi testi Çizelge 5.44' de verilmiştir.

Çizelge 5.44. Ağaç malzeme türü ve uygulanan işlemin eğilmede elastikiyet modülü değerleri üzerinde etkisine ilişkin varyans analizi

	Serbestlik derecesi	**Kareler toplamı**	**Kareler ortalaması**	**F değeri**	**P ≤ 0,05**
Gruplar arasında	485453721,993	4	121363430,49	427,156	**0,000**
Gruplar içinde	12785391,387	45	284119,809		
Toplam	498239113,380	49			

Yapılan varyans analizine göre, ağaç malzeme türü, uygulanan ısıl işlem ve bunların karşılıklı etkileşimleri arasındaki fark önemli çıkmıştır (P ≤ 0,05).

Ağaç malzeme türü, uygulanan ısıl işlem ve bunların karşılıklı etkileşimleri arasındaki farklılıkların hangi gruplar arasında önemli olduğunu belirlemek için yapılan Duncan testi Çizelge 5.45' de verilmiştir.

Çizelge 5.45. Ağaç malzeme türü ve uygulanan ısıl işleme göre farklılık yaratan eğilmede elastikiyet modülü değerlerinin tespitine ilişkin homojenlik testi

Gruplar		**X_{ort}** (N/mm^2)	**HG**
Isıl İşlemsiz	MDF Panel	3407,61	E
	Sarıçam Panel	9445,61	C
	İroko Panel	12454,97	**A***
Isıl İşlemli	Sarıçam Panel	8881,17	D
	İroko Panel	11272,36	B
LSD: ± 374,419			

Çizelge 5.45' e göre eğilmede elastikiyet modülü değeri; en yüksek ısıl işlemsiz iroko panel örneklerde (12454,97 N/mm^2) ve en düşük MDF panel örneklerde (3407,61 N/mm^2) bulunmuştur. Isıl işlemin ahşap panellerin eğilme direnci değerlerini sarıçam panellerde %6, iroko panellerde %9 oranlarında düşürdüğü tespit edilmiştir.

5.2.3. Yüzeye dik çekme direnci

Yüzeye dik çekme direnci değerlerine ilişkin istatistiksel sonuçlar Çizelge 5.46' da verilmiştir.

Çizelge 5.46. Yüzeye dik çekme direnci değerlerine ilişkin istatistiksel sonuçlar

Gruplar		**N**	**X_{min}**	**X_{max}**	**X_{ort}**(N/mm^2)	**Std. Sp.**
Isıl İşlemsiz	MDF Panel	10	0,45	0,69	0,59	0,07
	Sarıçam Panel		1,38	1,93	1,76	0,16
	İroko Panel		1,17	1,86	1,70	0,21
Isıl İşlemli	Sarıçam Panel		1,46	1,89	1,75	0,13
	İroko Panel		1,56	1,90	1,76	0,10

X_{min}: En küçük değer X_{max}: En büyük değer X_{ort}: Ortalama değer Std.Sp.: Standart Sapma

Panellerde kullanılan ağaç malzeme ve uygulanan ısıl işleme göre ortaya çıkan yüzeye dik çekme direnci değerleri arasındaki farkların önemli olup olmadığını belirlemek için yapılan varyans analizi testi Çizelge 5.47' de verilmiştir.

Çizelge 5.47. Ağaç malzeme türü ve uygulanan işlemin yüzeye dik çekme direnci değerleri üzerinde etkisine ilişkin varyans analizi

	Serbestlik derecesi	**Kareler toplamı**	**Kareler ortalaması**	**F değeri**	**P ≤ 0,05**
Gruplar arasında	10,723	4	2,681	132,721	**0,000**
Gruplar içinde	0,909	45	0,020		
Toplam	11,632	49			

Yapılan varyans analizine göre, ağaç malzeme türü, uygulanan ısıl işlem ve bunların karşılıklı etkileşimleri arasındaki fark önemli çıkmıştır ($P \leq 0,05$).

Ağaç malzeme türü, uygulanan ısıl işlem ve bunların karşılıklı etkileşimleri arasındaki farklılıkların hangi gruplar arasında önemli olduğunu belirlemek için yapılan Duncan testi Çizelge 5.48' de verilmiştir.

Çizelge 5.48. Ağaç malzeme türü ve uygulanan ısıl işleme göre farklılık yaratan yüzeye dik çekme direnci değerlerinin tespitine ilişkin homojenlik testi

Gruplar		**X_{ort}** (N/mm^2)	**H.G.**
Isıl İşlemsiz	MDF Panel	0,59	B
	Sarıçam Panel	1,76	**A***
	İroko Panel	1,70	**A***
Isıl İşlemli	Sarıçam Panel	1,75	**A***
	İroko Panel	1,77	**A***
LSD: ± 1,160			

Çizelge 5.48' e göre ahşap lamine panellerde yüzeye dik çekme değeri 1,77 N/mm2 ile aynı homojenlik grubunda yer almaktadır, MDF panellerde yüzeye dik çekme direnci değeri 0,59 N/mm^2 elde edilmiştir. Isıl işlemin ahşap panellerde yüzeye dik çekme direnci değerlerinde etkili olmadığı tespit edilmiştir.

5.2.4. Yüzeyden vida tutma direnci

Yüzeyden vida tutma direnci değerlerine ilişkin istatistiksel sonuçlar Çizelge 5.49' da verilmiştir.

Çizelge 5.49. Yüzeyden vida tutma direnci değerlerine ilişkin istatistiksel sonuçlar

Gruplar		**N**	**X_{min}**	**X_{max}**	**X_{ort}**(N/mm^2)	**Std. Sp.**
Isıl İşlemsiz	MDF Panel	10	11,09	16,50	13,88	1,63
	Sarıçam Panel		16,67	18,98	17,55	0,77
	İroko Panel		18,51	21,88	20,51	1,16
Isıl İşlemli	Sarıçam Panel		14,15	15,55	14,82	0,47
	İroko Panel		16,20	18,24	17,06	0,59

X_{min}: En küçük değer X_{max}: En büyük değer X_{ort}: Ortalama değer Std.Sp.: Standart Sapma

Panellerde kullanılan ağaç malzeme ve uygulanan ısıl işleme göre ortaya çıkan yüzeyden vida tutma direnci değerleri arasındaki farkların önemli olup olmadığını belirlemek için yapılan varyans analizi testi Çizelge 5.50' de verilmiştir.

Çizelge 5.50. Ağaç malzeme türü ve uygulanan işlemin yüzeyden vida tutma direnci değerleri üzerinde etkisine ilişkin varyans analizi

	Serbestlik derecesi	**Kareler toplamı**	**Kareler ortalaması**	**F değeri**	**P ≤ 0,05**
Gruplar arasında	267,820	4	66,955	64,790	**0,000**
Gruplar içinde	46,504	45	1,033		
Toplam	314,324	49			

Yapılan varyans analizine göre, ağaç malzeme türü, uygulanan ısıl işlem ve bunların karşılıklı etkileşimleri arasındaki fark önemli çıkmıştır (P ≤ 0,05).

Ağaç malzeme türü, uygulanan ısıl işlem ve bunların karşılıklı etkileşimleri arasındaki farklılıkların hangi gruplar arasında önemli olduğunu belirlemek için yapılan Duncan testi Çizelge 5.51' de verilmiştir.

Çizelge 5.51. Ağaç malzeme türü ve uygulanan ısıl işleme göre farklılık yaratan yüzeyden vida tutma direnci değerlerinin tespitine ilişkin homojenlik testi

Gruplar		**X_{ort}** (N/mm^2)	**H.G.**
Isıl İşlemsiz	MDF Panel	13,88	D
	Sarıçam Panel	17,55	B
	İroko Panel	20,51	**A***
Isıl İşlemli	Sarıçam Panel	14,82	C
	İroko Panel	17,06	B
LSD: ± 0,905			

Çizelge 5.51' e göre yüzeyden vida tutma direnci değeri; en yüksek ısıl işlemsiz iroko panel örneklerde (20,51 N/mm^2), en düşük MDF panel örneklerde (13,88 N/mm^2) bulunmuştur. Isıl işlemin ahşap panellerin yüzeyden vida tutma direnci değerlerini sarıçam panellerde %17, iroko panellerde %18 oranlarında düşürdüğü tespit edilmiştir.

6. SONUÇ, TARTIŞMA ve ÖNERİLER

Bu çalışmada, ısıl işlemsiz ve ısıl işlemli ağaç malzemelerden üretilmiş ahşap lamine paneller ve 18 mm kalınlığındaki MDF panellerin iki farklı montaj tipinde ve iki farklı yüzey şeklinde ses yutma katsayısı değerleri belirlenmiştir. Bu panellerin kullanım yerlerinde etkili olan bazı fiziksel ve mekanik özellikleri de belirlenmiştir.

Tam kuru yoğunluk ve hava kurusu yoğunluk: Isıl işlemin tam kuru yoğunluk ve hava kurusu yoğunluk değeri üzerinde etkili olmadığı, ısıl işleme bağlı olarak tam kuru yoğunluk ve hava kurusu yoğunluk değerinde bir azalma olmadığı tespit edilmiştir. Bu sonucun, ısıl işlemsiz ve ısıl işlemli panellerde, her iki grubun orta katmanında ısıl işlemsiz göknar ağacı odunu kullanılmasından ve yapıştırmada kullanılan tutkal katmanından kaynaklandığı düşünülmektedir. En yüksek tam kuru yoğunluk ve hava kurusu yoğunluk değeri MDF panellerde elde edilirken en düşük tam kuru yoğunluk ve hava kurusu yoğunluk değeri ısıl işlemsiz ve ısıl işlemli sarıçam panellerde elde edilmiştir. Masif ve kompozit malzemelerin bazı fiziksel ve mekanik özelliklerinin araştırıldığı bir çalışmada, MDF panellerin tam kuru yoğunluk değeri 0,67 g/cm^3 ve hava kurusu yoğunluk değerleri 0,69 g/cm^3 olarak tespit edilmiştir [Efe ve Kasal, 2007]. Literatürde, ısıl işlemde sıcaklığa bağlı olarak tam kuru yoğunluk değerlerinde belirli oranlarda azalma olduğu bu azalmanın ısıl işleme bağlı olarak ağaç malzemedeki kütle kayıplarından meydana geldiği belirtilmektedir [Vital ve Lucia, 1982; Rusche, 1973].

Rutubet: Aynı ağaç türüne ait ısıl işlemsiz ve ısıl işlemli panellerin rutubet değerleri arasında farklılık tespit edilmiş, ısıl işlemin denge rutubet değerini %4 düşürdüğü gözlemlenmiştir. En yüksek rutubet değeri ısıl işlemsiz sarıçam ve iroko panellerde en düşük MDF panellerde elde edilmiştir. Yüksek sıcaklıklarda uygulanan ısıl işlemin, ağaç malzemenin su alma özelliklerinde azalmalara neden olduğunu belirtilmiştir [Rapp, 2001; Viitaniemi 1993]. Ayrıca, farklı sıcaklık ve sürelerde ısıl işleme tabi tutulmuş odununun su alma oranında az bir artma olmasına rağmen, genişleme oranlarında bir azalma meydana geldiği belirlenmiştir. Bununla beraber fırın kurusu yoğunluk çok az derecede düşmüştür. Yoğunluğun çok az derecede

düşmesi ve su alma oranının artmasında en önemli etken ısıl işlemin neden olduğu ağaç malzemede iç pirolizler ve ısıl işlem neticesinde ağaç malzemede oluşan iç poroziteler gösterilmiştir [Mohebby ve Sanaei, 2005; Ünsal ve Ayrılmış, 2005].

Kalınlığına genişleme: Isıl işlemin ahşap panellerin kalınlığına genişleme değerlerini sarıçam panellerde %14, iroko panellerde %16 düşürdüğü tespit edilmiştir. Ağaç malzeme türünün ve ısıl işlemin kalınlığına genişleme değerleri üzerinde düşürücü etkisi olduğu görülmüştür. En yüksek kalınlığına genişleme değeri MDF panellerde en düşük kalınlığına genişleme değeri ısıl işlemli iroko panellerde elde edilmiştir. Isıl işlemin ağaç malzemenin boyutsal kararlılığı üzerine etkisinin araştırdığı bir çalışmada, ladin ve kayın odunları örnekleri 175 ve 195 °C sıcaklıklarda ısıl işleme tabi tutulmuş ve dış ortam koşullarında bekletilmiştir. Sonuç olarak ısıl işleme tabi tutulmuş örnekleri boyutsal kararlılığının ısıl işleme tabi tutulmamış kontrol örneklerinden daha iyi olduğunu belirlemişlerdir [Feist ve Sell, 1987]. Yüksek sıcaklıklarda uygulanan ısıl işlemin, sıcaklık ve süre artışı ile boyutsal kararlılığının arttığını belirtilmektedir [Yıldız, 2002; Korkut, 2012].

Isı iletkenlik katsayısı: En yüksek ısı iletkenlik katsayısı değeri ısıl işlemsiz iroko panelde, en düşük ısı iletkenlik katsayısı değeri MDF panellerde elde edilmiştir. Isıl işlemin ahşap panellerin ısı iletkenlik katsayısı değerlerini sarıçam panellerde %7, iroko panellerde %6 düşürdüğü tespit edilmiştir. Isıl işleme bağlı olarak sıcaklıkla birlikte ağacın temel yapı taşlarından olan lignin ve hemiselülozların yıkımlanması ve su bağlama kapasitesinin düşmesinden dolayı ağaç malzeme içerisinde hava boşluğunun arttığı ve bunun da ısı iletkenlik katsayısını düşürdüğü düşünülmektedir. Ahşap ve ahşap esaslı bazı malzemelerin ısı iletkenlik katsayılarının karşılaştırıldığı çalışmada, 16 mm kalınlığında ve 744 kg/m^3 yoğunlukta MDF' nin ısı iletkenlik katsayısı 0,11 W/mK olarak bildirilmiştir [Sonderegger ve ark. 2006]. Çalışmada elde edilen değerin yüksek çıkması MDF' nin üretiminde kullanılan hammadde ve tutkal olabileceği düşünülebilir. Literatürde, bazı ağaç türlerinin ısı iletkenlik katsayılarının belirlendiği çalışmada; yoğunluğu 0,72 g/cm^3 olan beyaz meşenin ısı iletkenlik katsayısı 0,16 W/mK ve yoğunluğu 0,46 g/cm^3 olan kızılçamın ısı iletkenlik katsayısı 0,11 W/mK olarak bildirilmiştir [Wood Handbook, 1999]. Farklı

tutkal türleri ile üretilen lamine ahşap malzemelerin ısı iletkenlik katsayısı üzerine emprenye maddelerinin etkilerinin araştırıldığı çalışmada, Doğu kayını odununun ısı iletkenlik katsayısı sarıçam odununun kinden oldukça yüksek olduğu bildirilmiştir. Doğu kayını odunundan üretilen LAM' ların ısı iletkenlik katsayısının sarıçam odunundan üretilenlerden yüksek çıkmasının nedeni, kayın odununun yoğunluğunun fazla olmasına ve buna bağlı olarak da hava ile dolu hücre boşluklarının az olmasından kaynaklanabileceği belirtilmektedir [Kol ve ark. 2008]. Hava boşluğu arttıkça ısı iletkenliğinin düştüğü başka bir çalışmada vurgulanmaktadır [Suleiman ve ark.,1999].

Yüzey şekillerine göre ses yutma katsayısı: Delikli panellerin ses yutma katsayısı değerinin, düz panellerin ses yutma katsayısı değerinden daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Yüzeyde delik uygulaması, ses yutma katsayısı değerini % 100' den daha fazla arttırdığı görülmektedir. Ahşap ve ahşap esaslı malzemelerin akustik yutucu özelliklerinin araştırıldığı bir çalışmada, ahşap ve ahşap esaslı malzemelerin delikli olan örneklerinin ses yutma özelliklerinin deliksiz olan örneklerden daha iyi sonuçlar verdiği bildirilmiştir [Godshall ve Davis, 1969]. Yüzeydeki delik oranlarının ses yutma katsayısına etkisinin araştırıldığı benzer çalışmalarda delik oranlarının artmasıyla ses yutma katsayısını olumlu yönde etkilediği bildirilmiştir [Zulkifli ve ark. ,2009; Wassilieff, 1996; Lee ve Chen 2001].

Montaj tiplerine göre ses yutma katsayısı: E 70+ tipi montaj uygulanan panellerin ses yutma katsayısı değerinin, E 70 tipi montaj uygulanan panellerin ses yutma katsayısı değerinden daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Montajda taş yünü uygulaması, ses yutma katsayısı değerini % 28 arttırdığı görülmektedir. Delikli plakaların, hava boşluğu katmanının ve gözenekli malzemelerin, ses yutma katsayısı değerine etkilerinin araştırıldığı bir çalışmada, delik oranlarının ve panel arkasında kullanılan gözenekli malzemelerin yoğunluklarının, rezonans frekansına yakın frekans bantlarında daha yüksek ses yutma katsayısı elde edildiği bildirilmiştir [Chen ve ark., 2000; Davern, 1977]. Perfore panelin ses yutma performansının frekans aralığını genişletmek için, duvarın arkasındaki hava boşluğu gözenekli fiberle doldurulmalıdır. Gözenekli fiber ile duvar arasındaki hava boşluğu korunmalıdır.

Perfore panelin kalınlığının ve hava boşluğunun derinliğinin arttırılması rezonans frekansını düşürecektir. Dolayısıyla, hava sahasının derinliğini ve perfore panelin kalınlığını değiştirerek ses yutma performansının frekans aralığı genişletilebilir [Maekawa ve Lord, 1994].

Malzeme türlerine göre ses yutma katsayısı: En yüksek ses yutma katsayısı değeri ısıl işlemli sarıçam panellerde, en düşük ses yutma katsayısı değeri MDF panellerde elde edilmiştir. Ahşap ve ahşap esaslı malzemelerin akustik yutucu özelliklerinin araştırıldığı bir çalışmada, ahşap ve ahşap esaslı malzemelerin yoğunluk değerlerine bağlı olarak düşük yoğunluktaki malzeme örneklerinin yüksek yoğunluktaki malzeme örneklerinden daha iyi sonuçlar verdiği bildirilmiştir [Godshall ve Davis, 1969]. Malezya ağaçlarının ses yutma özelliklerinin araştırıldığı çalışmada; genel olarak, Malezya odununun daha düşük frekanslarda (< 500 Hz), beklendiği gibi, ses yutum katsayısı daha düşük bulunurken, yüksek frekansta (> 500 Hz) ses yutum katsayısı daha yüksek bulunmuştur. Ayrıca, daha yüksek frekans ve daha yüksek yoğunluk değerinde bir örnekleme ait ses yutum katsayısı daha düşük yoğunluğa sahip bir başka örneklemle karşılaştırılarak daha düşük bulunmuştur [Mohammad ve arkadaşları, 2010].

Ses yutma katsayısı değeri, ısıl işlemli panellerde ısıl işlemsiz panellere nazaran daha yüksek elde edilmiştir. Isıl işlemin ses yutma katsayısı değeri üzerinde etkili olduğu tespit edilmiştir. Isıl işleme bağlı olarak sıcaklıkla birlikte ağacın temel yapı taşlarından olan lignin ve hemiselülozların yıkımlanması ve su bağlama kapasitesinin düşmesinden dolayı ağaç malzeme içerisinde hava boşluğunun artması ve yoğunluğunun azalması, ses yutma değerini arttırmasına neden olduğu düşünülmektedir.

Frekansa göre ses yutma katsayısı: En yüksek ses yutma katsayısı değeri 250 Hz' de, en düşük ses yutma katsayısı 2000 ve 4000 Hz' de elde edilmiştir. Perfore kontrplağın ses yutma katsayısı değerlerinin araştırıldığı bir çalışmada; düz yüzeyli kontrplağın 125 ile 4000 Hz aralığında ses yutma katsayısının 0,02 ile 0,04 arasında değiştiğini, % 6, % 7 ve % 12 perforasyon oranında delinmiş kontrplakların en

yüksek ses yutma katsayısı değerlerinin 500 ve 1000 Hz' de 1,1 olarak tespit edildiğini bildirmişlerdir [Negro ve ark. 2010]. Frekans değerlerine göre ses yutma katsayısı değerleri malzemelerin özelliklerine, yüzey şekillerine, ve montaj tiplerine göre farklılık gösterdiği, literatürdeki bir çok çalışmada belirtilmiştir [Chen ve ark., 2000; Davern, 1977; Godshall ve Davis, 1969].

Yüzey şekli ve malzeme türünün ikili etkileşiminde en yüksek ses yutma katsayısı değeri delikli ısıl işlemli sarıçam panellerde, yüzey şekli ve frekansın ikili etkileşiminde en yüksek ses yutma katsayısı değeri delikli panellerde 500 Hz' de, montaj tipi ve frekansın ikili etkileşiminde en yüksek ses yutma katsayısı değeri E 70+ tipi montajda 250 Hz ve 500 Hz' de elde edilmiştir.

Yüzey şekli, malzeme türü ve frekansın üçlü etkileşiminde en yüksek ses yutma katsayısı değeri delikli ısıl işlemli sarıçam panellerde 500 Hz' de ve yüzey şekli, montaj tipi ve frekansın üçlü etkileşiminde en yüksek ses yutma katsayısı değeri delikli panellerde E 70+ tipi montajda 1000 Hz' de elde edilmiştir.

Eğilme direnci: En yüksek eğilme direnci değeri ısıl işlemsiz sarıçam ve iroko panellerde, en düşük eğilme direnci değeri MDF panellerde elde edilmiştir. Isıl işlemli lamine ağaç malzemelerde, ısıl işlemsiz örneklerinden sarıçamda %8, irokoda %5 daha düşük eğilme direnci değerleri elde edilmiştir. Isıl işlemin eğilme direnci üzerinde olumsuz yönde etkili olduğu tespit edilmiştir. Literatürde, ısıl işlem süresi ve sıcaklığı artıkça ağaç malzemenin eğilme direncinde kayıpların yaşandığını, eğilme direnci kayıplarının yaşanmasında, ısıl işleme maruz kalan odun örneklerinde termal bozunma sonucunda meydana gelen ağırlık kayıplarının oluşması, yapısında bulunan hemiselüloz oranındaki azalmalar ayrıca lignin ve selüloz yapılarında meydana gelen bozunmaların etkin rol oynadığını belirlenmiştir [Korkut ve ark., 2008; Yıldız, 2002; Boonstra ve ark., 2007]. Efe ve Kasal (2007) çalışmalarında 18 mm MDF' nin yatay eğilme direnci değerini 32,12 N/mm^2 olarak bildirmişlerdir. Türkiye' de üretilen MDF levhaların teknolojik özelliklerinin belirlendiği bir çalışmada 18 mm MDF levhaların eğilme direnci değerini 30,16 N/mm^2 olarak tespit etmişlerdir [Göker ve diğerleri, 2002]. MDF panellerin eğilme direnci değerlerinin

belirlenmesine yönelik çalışmalar mevcuttur [Maloney, 1996; Haygreen, 1996]. PVAc tutkalı ile R-T-R düzeninde üç katlı lamine edilmiş sarıçamda eğilme direnci 92,7 N/mm^2 olarak tespit edilmiştir [Dilik,1997]. İrokonun eğilme direnci 87,1 N/mm^2 olarak bildirilmektedir [Wood Handbook, 1999]. Uludağ göknarının eğilme direnci 73 N/mm^2 olarak verilmiştir [Bozkurt ve Erdin, 2000]. Deneyler sonucunda, ısıl işlemsiz sarıçam ve iroko panellerinin eğilme direnci değerleri literatürde belirlenmiş değerlerden daha düşük olduğu görülmektedir. Bunun nedeni olarak, orta katmanda göknar ağacı odunu kullanılmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

Eğilmede elastikiyet modülü: En yüksek eğilmede elastikiyet modülü değeri ısıl işlemsiz iroko panelde, en düşük elastikiyet modülü değeri MDF panellerde elde edilmiştir. Isıl işlemli panellerin eğilmede elastikiyet modülü değerlerinde sarıçam panellerde % 6' ve iroko panallerde % 9' luk bir azalma tespit edilmiştir. Isıl işlemin eğilmede elastikiyet modülü değeri üzerinde olumsuz yönde etkili olduğu görülmüştür. Isıl işlem süresi ve sıcaklığı artıkça ağaç malzemenin eğilme direncinde ve buna paralel olarak eğilmede elastikiyet modülü değerlerinde kayıpların yaşandığı, birçok çalışmada tespit edilmiştir. [Korkut ve ark., 2008; Yıldız, 2002; Boonstra ve ark., 2007].

Yüzeye dik çekme: Ağaç malzeme türünün ve ısıl işlemin, yüzeye dik çekme direnci değerinde etkisi olmadığı tespit edilmiştir. Bu durumun, panellerin orta katmanlarında göknar kullanılmasından dolayı ortaya çıktığı düşünülmektedir. Deneyler sonucunda, malzemedeki yarılmaların tamamının göknar katmanında meydana geldiği gözlemlenmiştir. Literatürde göknarın yüzeye dik çekme direnci 2,064 N/mm^2 olarak bildirilmiştir [Korkut, 2006].

Yüzeyden vida tutma direnci: En yüksek yüzeyden vida tutma direnci değeri ısıl işlemsiz iroko panellerde, en düşük vida tutma direnci MDF panellerde elde edilmiştir. Çalışmada yoğunluğu yüksek olan iroko panellerin vida tutma dirençleri sarıçam panellerden yüksek elde edilmiştir. Ayrıca, ısıl işlemin ahşap panellerin yüzeyden vida tutma direnci değerlerini sarıçam panellerde %17, iroko panellerde %18 düşürdüğü tespit edilmiştir. Isıl işlemin vida tutma direnci değerleri üzerinde

olumsuz etkisi olduğu görülmektedir. Isıl işleme bağlı olarak sıcaklıkla birlikte ağacın temel yapı taşlarından olan lignin ve hemiselülozların yıkımlanması, ağaç malzemede lifler arasındaki bağların zayıflaması ve daha kırılgan olması ile birlikte lif demetlerinin de gevrekleşmesi böyle bir sonucu neden olduğu düşünülebilir. Ahşap esaslı malzemelerin vida tutma dirençlerinin karşılaştırıldığı bir çalışmada MDF' nin yüzeyden vida tutma direncini 1394 N olarak bildirilmiştir [Wang ve ark. 2007]. Başka bir çalışmada, MDF' nin yüzeyden vida tutma direnci 13,57 N/mm^2 olarak verilmiştir [İmirzi, 2008]. Bazı ağaç türlerinin vida tutma dirençlerinin araştırıldığı bir çalışmada, yüzeyden vida tutma dirençleri; Doğu kayını için 433,40 kPa, Anadolu kestanesi için 259,51 kPa, Doğu ladini için 230,00 ve sarıçam için 245,55 kPa olarak tespit edilmiş, ayrıca, ağaç malzemenin özgül ağırlığına bağlı olarak vida tutma dirençlerinin arttığı bildirilmiştir [Akyıldız ve Malkoçoğlu, 2001]. Çam örnekleri 220 ºC'de 1-2 saat ısıl işleme tabi tutulmuş, ve çivi tutma dirençleri araştırılmıştır. Lifler arasındaki bağların zayıflaması, lignin ve hemiselülozların bozunmasından kaynaklanan çivi tutma dirençlerinde % 40'lara varan direnç kayıplarının yaşandığı belirtilmiştir [Wang, 2007].

Öneriler

Isıl işlemin, panellerin tam kuru yoğunluk, hava kurusu yoğunluk ve denge rutubet miktarı değerini düşürdüğü görülmüştür. Bunun yanında kalınlığa genişleme oranlarında memnuniyet verici sonuçlar elde edilmiştir. Isıl işlem uygulaması; panellerin daha hafif ve stabil olmasını sağladığından, toplantı salonları, kongre salonları, konferans salonları, alışveriş merkezleri ve genel mekanların yanı sıra rutubet oranı yüksek yüzme havuzları, spor salonları, eğlence yerleri gibi mekanların akustik düzenlenmesinde kullanılacak ağaç malzemeye uygulanması önerilmektedir.

Isıl işlemin, panellerin mekanik özelliklerinde belirli oranlarda direnç kayıplarına neden olduğu görülmüştür. Bu kayıpların, kullanım yerinde olumsuz bir etki yapmamasına rağmen yeni çalışmalarda bu olumsuz özelliklerin en alt seviyeye indirilmesinin hedeflenmesi önerilmektedir.

Isı iletkenlik katsayısı değerleri üzerinde ısıl işlem arzu edilen bir sonuç vermiştir. Isı iletkenlik katsayısı değerini düşürerek ısı yalıtımında etkili olmuştur. Bu özelliği ile de ısıl işlem uygulaması dikkat çekmektedir.

Ağaç malzemenin yoğunluğunu düşürmesiyle birlikte, ses yutma katsayısı değerleri üzerinde ısıl işlemin etkisi tespit edilmiştir. Mekanların akustik düzenlenmesine yardımcı olacak, farklı malzeme türlerinde, yüzey şekillerinde ve montaj tiplerinde oktav bant frekanstaki ses yutma katsayısı değerleri belirlenmiştir. Türkiye' de, gerek ahşap malzemelerin akustik özelliklerin belirlenmesine yönelik gerekse de ısıl işlemin ahşap malzemenin akustik değerlerine etkilerine yönelik çalışmaların yetersiz olduğu literatür araştırmasında görülmüştür. Ağaç malzemenin ve uygulanan ısıl işlemin bu sonuçlara etkinliğinin ortaya konulması, çıkan sonuçlarla bu çalışmadan elde edilen sonuçların desteklenip desteklenilmediğinin araştırılması önemle vurgulanmaktadır.

Çalışmada elde edilen verilere göre; montaj uygulamasında, panellerin arka yüzlerinde taş yünü uygulaması ve panellerde delikler açılarak perforasyon sağlanması ses yutma katsayısı değerini arttırmaktadır. Frekans ve malzemeye göre bu artış değerleri farklılıklar göstermektedir. Yüksek ses yutma performası arandığı uygulamalarda panel yüzeylerinde delik açılması ve panel ve duvar arasındaki boşluklara taş yünü yerleştirilmesi önerilmektedir. Uygulayıcıların, ihtiyaç ve kullanım yerlerine göre malzeme, yüzey şekli ve montaj tipinin belirlemesinde faydalı olacağı düşünülmektedir.

Materyallerin ses yutma katsayıları; tiyatro, sınıf, stüdyolar, alışveriş merkezleri genel mekanları, spor tesisleri ve bunlar gibi iç mekanların yankılanma (reverberasyon) süresinin belirlenmesinde mimar, mühendis ve müzisyenler için en önemli bilgilerden biridir. Bu bilgiye göre, iç mekan tasarım yoluyla uygulamaya bağlı olarak (sadece müzik mi, konuşma mı, yoksa her ikisi için mi) dinleyicilere uygun akustik ortamı sunmalıdır. Yapılan bu çalışmada elde edilen verilerin, mekanların mimari ve akustik tasarımlarında kullanım yeri bulacağı düşünülmektedir.

Ahşap malzemenin dış etkilerden dolayı bozulması, bozulan bu kıymetli ahşap malzemenin yerine konulması oldukça zahmetli ve maliyeti yüksektir. Tiyatro, opera salonu, konferans salonu gibi yapılar birer kültür eserleridir. Bu yapıların çok uzun yıllar bozulmadan kullanılabilmelidir. Kapalı yüzme havuzları ve spor salonlarında ihtiyaç duyulan su buharına karşı dirençli ve ses yutma özellikleri uygun olan yapı malzemelerinin kullanılması gerekmektedir. Ayrıca son zamanlarda uygulamaya başlanan yasal düzenlemeler ile açık hava eğlence mekanlarının çevreyi rahatsız etmemesi için gürültü kirliliğine yönelik önlemler alınmaya başlamıştır. Üretimi yapılan ve ses yutma katsayısı değerleri belirlenen ısıl işlemli ahşap panellerin bu tip mekanlarda kullanımı önerilmektedir.

KAYNAKLAR

Akyıldız, M., H., Malkoçoğlu, A., "Doğu Karadeniz Bölgesinde Yetişen Önemli Bazı Ağaç Odunlarının Vida Tutma Dirençleri", ***Kafkas Üniversitesi Artvin Orman Fakültesi Dergisi***, 1: 54-60 (2001)

Altınok, M., "Ahsap Tutkallı Birleştirmelerde Yapışma Performansına Sıcaklık Artışının Etkileri", ***Politeknik Dergisi***, 5 (4): 341-345 (2002).

Altınok, M., "Lamine Ağaç Malzemede Katman Simetrisinin Eğilme Direncine Etkileri", ***Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi***, 15 (2): 385-392 (2002a).

Altınok, M., "Lamine Ahşapta Katman Teşekkülünün Mekanik Performansa Etkilerinin Belirlenmesi", ***Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi***, 16 (1): 217-224 (2003).

Altınok, M., Özdemir, K., "Farklı Yapım Teknikleri ile Üretilen Masif Ahşap Panellerin Bazı Fiziksel ve Mekanik Özelliklerinin Araştırılması", ***Gazi Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projesi***, 07/2006-18 (2006).

Altınok, M., Söğütlü, C., Kahraman, N., "Vakumlu Membran Preste Üretilmiş Ahşap Lamine Elemanların Yapışma Performanslarının Belirlenmesi", ***Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Dergisi***, 1: 51-59 (2009)

Altınok, M., Perçin, O., "Lamine Ahşap Malzemede Termo İşlem Uygulamasının Deneysel İncelenmesi", ***TUBİTAK Projesi***, 110O020 (2010).

Altınok, M., Özalp,M., Korkut,S., "The Effects of Heat Treatment on Some Mechanical Properties of Laminated Beech (fagus orientalis l.) Wood", ***Wood Research***, 55 (3): 131-142 (2010).

Altınok, M., Perçin, O., Doruk,Ş., "Isıl İşlemin (Thermo-Process) Ağaç Malzemenin Teknolojik Özelliklerine Etkisinin İncelenmesi", ***D.P.Ü., Fen Bilimleri Dergisi***, 23: 71-84 (2010a).

Atalla, N., Sgard, F., "Modeling of Perforated Plates and Screens Using Rigid Frame Porous Models", ***Journal of Sound and Vibration***, 303: 195–208 (2007).

Atar, M., Özçifçi, A., "Lamine Edilmiş Ağaç Malzemede Farklı Test Ortamlarının ve Ağaç Türlerinin Yapışma Direncine Etkisi", ***Technology***, 8(4): 305-310 (2005).

Atmaca, A., "Laminasyonlu Ahşap Kirişlerin Çeşitli Yapılarda Kullanımı", Yüksek Mühendislik Tezi, ***Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü***, Bartın, 34-45 (2005).

Aydemir, D., "Göknar (Abies bornmülleriana Mattf.) ve Gürgen (Carpinus betulus L.) Odunlarının Bazı Fiziksel, Mekanik ve Teknolojik Özellikleri Üzerine Isıl İşlemin Etkisi", Yüksek Lisans Tezi***, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü,*** 9-18 (2007).

Aydemir, D., Gündüz, G., "Ahşabın Fiziksel, Kimyasal, Mekaniksel ve Biyolojik Özellikleri Üzerine Isıyla Muamelenin Etkisi", ***Bartın Orman Fakültesi Dergisi*** , 11 (15): 71-81 (2009).

Baytın T., "Binalarda Akustik Tedbirler", ***İstanbul Teknik Üniversitesi Matbaası,*** İstanbul, 14-55 (1963).

Berkel, A., "Ağaç Malzeme Teknolojisi", ***İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Yayını***, İstanbul, 147: 412-421 (1970).

Boonstra, M.J., Acker, J,V., Tjeerdsma, B.F., Kegel, K,V., "Strength Properties of Thermally Modified Softwoods and its Relation to Polymeric Structural Wood Constituents", ***Annals of Forest Science***, 64: 679–690 (2007).

Boonstra, M. J. ve Tjeerdsma, B., "Chemical Analysis of Heat Treated Softwoods", ***Holz als Roh- und Werkstoff***, 64: 204–211, (2006).

Bozkurt, Y., "Ağaç Teknolojisi", ***İstanbul Üniveristesi Orman Fakültesi Yayını,*** İstanbul, 3403 :28-30 (1986).

Bozkurt, Y., Göker, Y., "Fiziksel ve Mekanik Ağaç Teknolojisi", ***İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Yayını,*** İstanbul, 3445 :34-35 (1987).

Bozkurt, A.Y., Erdin, N., ''Odun Anatomisi'', ***İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi***, Yayın No:466, İstanbul, 360 (2000).

BS EN 204, "Classification of Thermoplastic Wood Adhesives for Non-Structural Applications", ***British Standarts***, England, 12 (2001).

Budakçı, M., İlçe, A.,C., Korkut, D.,S., Gürleyen, T., "Evaluting the Surface Roughness of Heat-Treated Wood Cut with Different Circular Saws", ***BioResources***, 6(4), 4247-4258 (2011).

Chen, W. H., Lee, F. C., Chıang D. M., "On The Acoustic Absorption of Porous Materials with Different Surface Shapes and Perforated Plates", ***Journal of Sound and Vibration***, 237 (2): 337-355 (2000).

Cremer, L., Muller, H.,A., "Principles and Application of Room Acoustics.", ***Applied Science Publishers,*** 1: 139-141 (1982).

Cox, T.,J., D'Antonio, P., "Acoustic Absorbers and Diffusers", ***SPON Press. Taylor& Francis Group***, 12-21 (2004).

Davern, W. A., "Perforated Facings Backed with Porous Materials as Sound Absorbers—An Experimental Study", ***Applied Acoustics***, 10: 85–112 (1977).

Demirkale, Y., "Çevre ve Yapı Akustiği", ***Birsen Yayınevi***, İstanbul, 14-29 (2007).

DIN 1052, "Structural Use of Timber (Design and Construction), Longitudinal Joints: 12/3", ***Deutsche Norm***, Berlin, Germany (1988).

DIN 68140, "Finger Joints in Wood, Part 1: Finger-Jointed Structural Timber", ***Deutsche Norm***, Berlin, Germany (1998).

Dilik, T., "Lamine Ağaç Malzemeden Pencere Profili Üretimi ve Bazı Kalite Özelliklerinin Belirlenmesi", Doktora Tezi, ***İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü***, 24-28 (1997).

Dimon, M., N., Hashim, A., W., I., Hamid, S., Z., A., "Normal Incidence Sound Absorption Coefficient of Direct Piercing Carved Wood Panel with Star and Diamond Dominated Geometric Patterns", ***Producing of Acoustic***, Adelaide, Australia (2009).

Doelle, L., L., "Environmental Acoustics", ***Mc Graw Hill Company***, ABD, 102-103 (1972).

Doruk, Ş., "Lamine Ağaç Malzemede Vernik ve Emprenye İşlemlerinin Yaşlandırmaya Etkisinin Belirlenmesi", Doktora Tezi, ***Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü***, 129-158 (2009).

Eckelman, C. A., "Potential Uses of Laminated Veneer Lumber in Furniture, Department of Foresty and Natural Resources", ***Purdue University, Forest Product Society Journel***, U.S.A., 43, 19-24 (1993).

Efe, H., Kasal, A., "Çeşitli Masif ve Kompozit Ağaç Malzemelerin Bazı Fiziksel ve Mekanik Özelliklerinin Belirlenmesi", ***Politeknik Dergisi***, 10(3): 303-311 (2007).

Ersoy, S., Küçük, H., "Investigation of Industrial Tea-Leaf-Fibre Waste Material for its Sound Absorption Properties", ***Applied Acoustic***, 70: 215-220 (2009).

Everest, F.A., "The Master Handbook of Acoustics, Third Edition", ***TAB Book***, NewYork, 152-153 (1994).

Feist, W, C., Sell, J., "Weathering Behaviour of Dimensionally Stabilized Wood by Heating Under Pressure of Nitrogen Gas", ***Wood and Fiber Science***, 19(2): 183–195 (1987).

Göker, Y., Akbulut, T., Ayrılmış, N., "Türkiye'de Üretilen MDF Levhaların Teknolojik Özellikleri", ***İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*** ,13-33, (2002).

Göker, Y., Kurtoğlu, A., ‘’Bazı Önemli Koyu Renkli Afrika Ağaç Türleri’’, ***İ.Ü. Orman Fakültesi Dergisi,*** İstanbul, 2: 37 (1987).

Green, D.W., Winandy, J.E., Kretschmann, D.E., “Mechanical Properties of Wood (General Technical Report)”, ***USDA Forest Service, Forest Products Laboratory,*** (1999).

Godshall, W. D., Davis, J. H., “Acoustical Absorption Properties of Wood-Base Panel Materials”, ***U.S.D.A. Forest Service, Forest Products Laboratory,*** (1969).

Haygreen, J. G., Bowyer, J. L., “Forest Products and Wood Science Third Edition” ***Iowa State Üniversity Press,*** Ames, Iowa, USA, 145-190 (1996).

Hillis, W.E., “High Temperature And Chemical Effects On Wood Stability”, ***Wood Science and Technology,*** 18: 281–93 (1984).

İmirzi, H., Ö., “Farklı Yapım Teknikleri Ve Değişik Kalınlıklardaki Levhalar İle Üretilmiş Kutu Tipi Mobilyaların Mukavemet Özellikleri”, Doktora Tezi, ***Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü***, Ankara, 91-105 (2008).

Kamdem, D. P., Pizzi, A., Jermannaud, A., “Durability of Heat-Treated Wood”, ***Holz als Roh- und Werkstoff,*** 60: 1-6, (2002).

Kang, C., Matsumura, J., Oda, K., “A Comparison of The Standing Wave and Two Microphone Methods in Measuring the Sound Absorption Coefficient of Wood” ***Journel of Faculty Agr. Kyushu University***, 51 (1): 1-4 (2006).

Karabiber, Z., “Mimari Akustikle İlgili Başlıca Tanım, Terim, Formül ve Büyüklükler”, ***Yıldız Teknik Üniversitesi Yayınları***, İstanbul, 8-48 (1991).

Karabiber, Z., “Mimari Akustikte Ses Ölçmeleri” ***Yıldız Teknik Üniversitesi Yayınları***, İstanbul, 26-56 (1992).

Kegel, E., “The Plato Technology”, ***A Novel Wood Upgrading Technology***, Plato International BV, Netherlands (2006).

Keskin, H., “Lamine Ağaç Malzemelerin Teknolojik Özellikleri ve Ağaç İşleri Endüstrisinde Kullanım İmkanları”, Doktora Tezi, ***Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü***, Ankara (2001).

Kılıç, Y., “Lamine Edilmiş Kızılağacın (Alnus Glutinosa) Fiziksel ve Mekanik Özellikleri ile Mobilya Endüstrisinde Kullanım Olanaklarının Araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, ***Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü***, Ankara (1997).

Kitahara, K., Chugenji, M., “Effects of Heat Treatment On The Mechanical Properties of Wood”, ***Japanese Forest Society***, 33: 414-419 (1951).

Kol, H., Ş.,, Özçifçi, A., Altun, S., "Üre Formaldehit ve Fenol Formaldehit Tutkalı ile Üretilen Lamine Ağaç Malzemelerin Isı İletkenliği Katsayısı Üzerine Emprenye Maddelerinin Etkileri", ***Kastamonu Üni., Orman Fakültesi Dergisi***, 8(2): 125-130 (2008).

Korkut, S., "The Effects Of Heat Treatment On Some Technological Properties In Uludağ Fir (Abies Bornmuellerinana Mattf.) Wood", ***Building and Environment***, 41 (7): 887-892 (2006).

Korkut, S., Akgül, M., Dündar, T., "The Effects of Heat Treatment On Some Technological Properties Of Scots Pine *(Pinus sylvestris* L.) Wood", ***Bioresource Technology***, 99 (6): 1861-1868 (2008).

Korkut, S., Kök, M, S., Korkut, D, S., Gürleyen, T., "The Effects of Heat Treatment on Technological Properties in Red-bud Maple (Acer trautvetteri Medw.) Wood", ***Bioresource Technology***, 99: 1538–1543 (2008a).

Korkut, S., "Performance of Three Thermally Treated Tropical Wood Species Commonly Used in Turkey", ***Industrial Crops and Products***, 36: 355– 362 (2012).

Kurtoğlu, A., "Ağaç Malzemenin Kimyasal Olmayan Yolla Korunması Olanakları", ***İ.Ü. Orman Fakültesi Dergisi***, 4(34): 27-29 (1984).

Kurtoğlu, A., "Ağaç Malzeme Yüzey İşlemleri, Genel Bilgiler", ***İstanbul Üniversitesi, Orman Fakültesi Orman Endüstri Mühendisliği Bölümü***, İstanbul, I: 31-32 (2000).

Kutruff, H., "Room Acoustics 2nd Edition", ***Applied Science Publishers Ltd.***, London 138-141, (1979).

Lai, J.,C.,S., Burgess, M., "Application of Sound Intensity Technique to Measure of Field Sound Transmission Loss", ***Applied Acoustic***, 34: 77-87 (1991).

Lawrence, A., "Architectural Acoustics", ***Applied Science Publishers***., London, 172-174 (1970).

Lawrence, A., "Acoustic and the Built Environment", ***Elsevier Applied Science***, London, 156-168 (1992).

Lee, F. C., Chen, W. H. "Acoustic Transmission Analysis of Multi-Layer Absorbers", ***Journal of Sound and Vibration,*** 248 (4): 621–634 (2001).

Leonard, R., W., Delsasso, L., P., Knudsen, V., O., "Diffraction of Sound by an Array of Rectangular Reflective Panels", ***Journal Acoustic Society of America***, 36: 2328-2333 (1964).

Maekawa, Z., Lord, P., "Environmental and Architectural Acoustics", ***E & FN SPON***. London, 11-12 (1994).

Maloney,T. M.,"The Family of Wood Composite Materials", ***Forest Products Journal***, 46 (2): 19-26 (1996).

Mohammad, J., I., Johari N., Fouladi, M., H., "Numerical Investigation on the Sound Absorption Coefficients of Malaysian Wood", ***Proceedings of 20th International Congress on Acoustics***, ICA, Sydney, Australia (2010).

Mohebby, B., Sanaei, İ., "Influences of The Hydro-Thermal Treatment on Physical Properties of Beech Wood (Fagus orientalis)", ***36. Annual Meeting***, Bangalore, India, (2005).

Negro, F., Cremonini, C., Properzi, M., Zanuttini, R., "Sound Absorption Coefficient of Perforated Plywood: An Experimental Case Study", ***World Congress On Timber Engineering***, İtalya (2010).

Nor, M., J., M., Jamaluddin, N., Tamiri, F., M., "A Preliminary Study of Sound Absorption Using Multi-Layer Coconut Coir Fibres", ***Electronic Journal Technical Acoustics***, 3: (2003).

Örs, Y., Keskin, H., "Ağaç Malzeme Bilgisi", I. Baskı, Isb In:975-6574-01-1, ***Atlas Yayın Dağıtım***, İstanbul, 33-34 (2001).

Özen, E., "Bağ Budama Artıklarından Üretilen Yonga Levhaların Bazı Fiziksel Ve Mekanik Özellikleri İle Bu Levhalarla Oluşturulan Mobilya Köşe Birleştirmelerinin Moment Taşıma Kapasitesinin Belirlenmesi", Doktora Tezi, ***Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü***, Ankara, 71 (2009).

Özer, M., "Yapı Akustiği ve Ses Yalıtımı", İstanbul, 15-17 (1979).

Özçifçi, A., Özen, R., Altınok, M., "Determine of Strength Join of Polimarin Adhesive in Boiling, Cold and Hot Water Conditions of Wooden Material"***, Dünya Ormancılık Kongresi***, 45-46, Antalya (1997).

Özçifçi, A., "Emprenye Edilmiş Ağaç Malzemelerin Teknolojik Özellikleri", Doktora Tezi, ***Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü***, Ankara (2001).

Özçifçi, A., Altun, S., Yapıcı, F., "Isıl İşlem Uygulamasının Ağaç Malzemenin Teknolojik Özelliklerine Etkisi", ***Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu***, Karabük, (2009).

Öztürk, R.,B., "Türkiye' de Yetişen Sarıçamdan Üretilen Lamine Ahşap Kirişlerin Mekanik Özelliklerinin Araştırılması", Doktora Tezi, ***İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü***, İstanbul (2005).

Rapp, A, O., Sailer, M., "Oil Heat Treatment of Wood in Germany-State of The Art", ***Proceedings Of Special Seminar Held İn Antibes,*** France, (2001).

Rowell, R.M., Konkol, P., **"**Treatments That Enhance Physical Properties of Wood", ***Department of Agricuiture, Forest Service, Forest Products Laboratory***, Gen. Tech. Rep. FPL–GTR–55. Madison, WI: *U.S.* (1987).

Sirel, Ş.," Yapı Akustiği I–Temel Bilgiler", ***İstanbul Devlet Mühendislik ve Mimarlık Akademisi Yayınları***, İstanbul, 12-26 (1974).

Stevens, W. C., Turner, N., "Wood Bending Handbook", London, 90-110, (1970).

Spannagel, F., "Der Möbel Bau, Zehnte, Vollstandig Neu Bearbeitete Auflage", ***Otto Maier Verlag Ravensburg***, Stuttgart (1974).

Suleiman B.M., Larfeldt J., Leckner B., Gustavsson M., "Thermal Conductivity and Diffusivity of Wood", ***Wood Science and Technology***, 33 (6): 465-473 (1999).

Şenay, Y., "Lamine Edilmiş Ağaç Malzemenin Teknolojik Özellikleri", Doktora Tezi***, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü***, İstanbul (1996).

Tjeerdsma, B, F., Militz, H., "Chemical Changes in Hydrothermal Treated Wood: FTIR Analysis of Combined Hydrothermal and Dry Heat Treated Wood", ***Holz als Rohund Werkstoff***, 63: 102–111 (2005).

TS 53, "Odunun Fiziksel Özelliklerini Tayin İçin Numune Alma, Muayene ve Deney Metodları", ***TSE Standardı,*** Ankara, (1981).

TS 2471, "Odunda, Fiziksel ve Mekaniksel Deneyler İçin Rutubet Miktarı Tayini", ***TSE Standardı***, Ankara, (1976).

TS 2472 "Odunda Fiziksel ve Mekanik Deneyler İçin Birim Hacim Ağırlığı Tayini", ***TSE Standardı,*** Ankara, (1976).

TS 2756 – 0 (ISO 2859 – 0), "Muayene ve Deney İçin Numune Alma Metodları – Nitel Özelliklerine Göre, Bölüm 0: Numune Alma Sistemine Giriş", ***TSE Standardı,*** Ankara, (1995).

TS 3842, "Yapıştırılmış Lamine Ahşap Yapı Elemanları", ***TSE Standardı***, Ankara, (1983).

TS 4084, "Odunda Radyal ve Teğet Doğrultuda Şişmenin Tayini", ***TSE Standardı***, Ankara, (1983).

TS 11878, "Ahşap Mobilya-Koltuk Lamine Ahşaptan İmal Edilmiş", ***TSE Standardı***, Ankara, (1995).

TS EN 205, "Yapıştırıcılar -Yapısal Olmayan Uygulamalar İçin Ahşap Yapıştırıcılar – Bindirmeyle Yapıştırılmış Eklerin Çekmeyle Kayma Mukavemetinin Tayini", ***TSE Standardı,*** Ankara, (2004).

TS-EN 310, "Ahşap Esaslı Levhalar, Eğilme ve Eğilme Direnci Elastikiyet Modülünün Tayini", ***TSE Standardı,*** Ankara, (1999).

TS EN 317, Yonga Levhalar ve Lif Levhalar-Su İçerisine Daldırma İşleminden Sonra Kalınlığına Şişme Tayini, ***T.S.E. Standardı,*** Ankara, (1999).

TS-EN 319, "Yonga ve Lif Levhalar, Levha Yüzeyine Dik Çekme Direncinin Tayin Edilmesi", ***TSE Standardı,*** Ankara, (1999).

TS EN 320, "Lif Levhalar - Vida Tutma Kabiliyetinin (Mukavemetinin) Tayini", ***T.S.E. Standardı,*** Ankara, (1999).

TS-EN 322, "Ahşap Levhalar, Rutubet Miktarının Tayini", ***TSE Standardı,*** Ankara, (1999).

TS-EN 323, "Ahşap Yonga Levhalar, Özgül Kütlenin tayin edilmesi", ***TSE Standardı,*** Ankara, (1999).

TS EN 386, "Yapıştırılmış Lamine Ahşap Performans Özellikleri ve Asgari Üretim Şartları", ***T.S.E***. ***Standardı,*** Ankara (1999).

TS EN 1194, "Yapı Keresteleri-Yapıştırılmış Lamine Kereste-Mukavemet Sınıfları ve Karakteristik Değerlerinin Tayini", ***T.S.E***. ***Standardı,*** Ankara (2002).

TS EN 13446, "Wood-Based Panels – Determination of Withdrawal Capacity of Fasteners", ***T.S.E***. ***Standardı,*** Ankara,(2005).

TS EN ISO 354, "Akustik – Çınlama Odasında Ses Absorpsiyonunun Ölçülmesi", ***T.S.E. Standardı,*** Ankara, (2007).

Ünsal, Ö., Ayrılmış, N., "Variations in Compression Strength and Surface Roughness of Heat-Treated Turkish River Red Gum (Eucalyptus Camaldulensis)" ***Journel of Wood Science,*** 51: 405–409 (2005).

Üretici Firma Dökümantasyonu, "303 Kataloğu" ,***Kleiberit,*** Ankara, 23-24 (2004).

Üretici Firma Dökümantasyonu, "ODE Taş Yünü", ***ODE Yalıtım***, İstanbul, 8 (2011).

Viitaniemi, P., "Wood Modification Using Heat Treatment, Espoo", ***Research Projects of the Forest Products Laboratory***, Finland (1993).

Viitanen, H., Jamsa, S., Paajanen, L., Nurmi, A., ve Viitaniemi, P., "The Effect of Heat Treatment on the Properties of Spruce", ***IRG/WP/40032 Annual Meeting***, Indonesia, 4: 1-4 (1994).

Wang, X., Salenikovich, A., Mohammad, M., "Localized Density Effects on Fastener Holding Capacities in Wood-Based Panels", ***Forest Products Journal,*** 57(1/2): 103-109 (2007).

Waldemar, J, H., André J, M, J., "Wood Modification Developments", ***Heron,*** 49(4): 96-108 (2004).

Wassilieff, C., "Sound Absorption of Wood-Based Materials", ***Applied Acoustics***, 48 (4): 339-356 (1996).

Wood Handbook, "Wood as an Engineering Material", ***Forest Product Laboratory USDA Forest Service***, USA, 463 (1999).

Yang, T.,L., Chiang, D.,M., Chen, R., "Development of a Novel Porous Laminated Composite Material for High Sound Absorption" ***Journal of Vibration Control***, 7 (5): 675–678 (2001).

Yang, H., S., Kim, D., J., Kim, H., J., "Rice Straw–Wood Particle Composite for Sound Absorbing Wooden Construction Materials" ***Bioresource Technology***, 86: 117–121 (2003).

Yıldız, S., "Isıl İşlem Uygulanan Doğu Kayını ve Doğu Ladini Odunlarının Fiziksel, Mekanik, Teknolojik ve Kimyasal Özellikleri", Doktora Tezi, ***Karadeniz Teknik Üniversitesi***, ***Fen Bilimleri Enstitüsü***, Trabzon (2002).

Yıldız, S., Gezer, E, D., Yıldız, Ü, C., "Mechanical and Chemical Behavior of Spruce Wood Modified by Heat", ***Building and Environment***, 4: 1762–1766 (2006).

Yılmaz, S.; Budak, A., "Ses Emici Malzemeler, Özellikleri, Sınıflandırılmaları ve Gruplanmaları", ***IV. Uluslararası Yapı ve Yaşam 98 Kongresi Bildiriler Kitabı,*** İstanbul, 251-265 (1998).

Yoshikawa, S., "Acoustical Classification of Woods for String Instruments" ***Journal of the Acoustical Society of America,*** 122 (1): 568-573 (2007).

Yücel, Ç., "Oditoryumlarda Akustik Önlemler ve Çoklu Kullanım", Yüksek Lisans Tezi, ***Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü***, Ankara (1987).

Zorlu, İ., "Ağaç İşleri Konstrüksiyon Bilgisi, Temel Ders Kitabı", ***M.E.B. Yayını***, No: 2354, İstanbul (1995).

Zulkifli, R., Nor, M. J. M., Ismail, A. R., Nuawi M. Z., Tahir, M. F. M., "Effect of Perforated Size and Air Gap Thickness on Acoustic Properties of Coir Fibre Sound

Absorption Panels", ***European Journal of Scientific Research***, 28 (2): 242-252 (2009).

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı	: AYAN, Suat
Uyruğu	: T.C.
Doğum tarihi ve yeri	: 24.12.1975 ANKARA
Medeni hali	: Evli
Telefon	: 0 (312) 2028828
e-mail	: suatayan@gazi.edu.tr suatayan@gmail.com

Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet tarihi
Yüksek lisans	A. İzzet Baysal Üni. /Fen Bil. Ens. Orm.End.Müh.	2006
Lisans	Hacettepe Üni./ Ağaçişleri End. Müh.	1998
Lise	Ankara İnönü Liseli	1993

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2006-2012	Gazi Üniversitesi	Araştırma Görevlisi
2003-2006	Düzce Üniversitesi	Araştırma Görevlisi

Yabancı Dil

İngilizce

Yayınlar

1- Özkan, A., Ayan, S., "Daire Testere Makinesi Sürücü ve Kontrol Sistemi Tasarımı", ***4. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu***, 693-699 (2005).

2- Ayan, S., Duru, M.,N., "Düzce' de Panel Mobilya Üreten Granit Mobilya Şirketi Fabrikasının Fizibilite Çalışması Üzerine Bir Değerlendirme", ***Abant İzzet Baysal Üniversitesi Ormancılık Dergisi***, V: 1 (2):21-37, 2005.

3- Özkan, A., Baba, F., Ayan, S., "Seramiklerin Makine Elemanları ve Mekanizmaları Üzerine Uygulanabilirliği ve İmalat Yöntemlerinin İredelenmesi", ***TİMAK Kongresi***, (2006).

4- Arslan., A.,R., Doruk, Ş., Ayan, S., "Tutkal Hattına Katılan Sodyumborat Çözeltisinde Bazı Ağaç Türlerinin Yanma Dirençlerinin Belirlenmesi", ***5. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu***, (2009).

5- Arslan., A.,R., Doruk, Ş., Ayan, S., "Tutkal Hattına Katılan Sodyumboratın Yapışma Direncine Etkisi", ***5. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu***, (2009).

6- Ayan, S., Doruk, Ş., Arslan, A.R., Perçin, O., "Effect of Sodium Borate Solution Added in the Adhesive Line and Used as Impregnation Material On Combustion Properties of Laminated Limba Wood (LVL)", ***Technology***, 14(4):107-114, (2011).

Hobiler

Bilgisayar Teknolojileri, Sinema, Spor.