ISIL İŞLEMİN LAMİNE AHŞAP MALZEMENİN BAZI TEKNOLOJİK ÖZELİKLERİNE ETKİLERİNİN İNCELENMESİ

Osman PERÇİN

DOKTORA TEZİ
MOBİLYA VE DEKORASYON EĞİTİMİ

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

HAZİRAN 2012
ANKARA

Osman PERÇİN tarafından hazırlanan "ISIL İŞLEMİN LAMİNE AHŞAP MALZEMENİN BAZI TEKNOLOJİK ÖZELİKLERİNE ETKİLERİNİN İNCELENMESİ" adlı bu tezin Doktora tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Prof. Dr. Mustafa ALTINOK ..……
Tez Danışmanı, Ağaç İşleri Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

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

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

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

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

Prof. Dr. Hakan KESKİN ……..……
Ağaç İşleri Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, G.Ü.

Yrd. Doç. Dr. Sait Dündar SOFUOĞLU ……
Mobilya ve Dekorasyon Eğitimi Anabilim Dalı, D.Ü.

Tarih: 20/06/2012

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.

Osman PERÇİN

ISIL İŞLEMİN LAMİNE AHŞAP MALZEMENİN BAZI TEKNOLOJİK ÖZELİKLERİNE ETKİLERİNİN İNCELENMESİ

(Doktora Tezi)

Osman PERÇİN

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
Haziran 2012

ÖZET

Bu çalışmada, lamine edilmiş ağaç malzemeye uygulanan ısıl işlemin, bazı teknolojik özelliklere etkilerinin belirlenmesi amaçlanmıştır.

Bu amaçla, Doğu kayını (*Fagus orientalis* L.), sapsız meşe (*Quercus petraea* L.*)* sarıçam (*Pinus sylvetsris* L.) ve karakavak (*Populusnigra* L.) odunlarından kesilmiş, 2 mm kalınlığındaki papel kaplamalar, TS EN 386 esaslarına göre Polivinilasetat (PVAc) D4, Poliüretan (PU) ve Melamin Formaldehit (MF) tutkalları ile yapıştırılarak 20 mm kalınlığında lamine ağaç malzeme elde edilmiştir. Daha sonra bu lamine ağaç malzemelere Thermowood yöntemine göre 185 ve 212 ºC'de 2 saat, toplamda ise 38 saat süren, sıcak buhar koruması altında ısıl işlem uygulanmıştır. Lamine edilmiş ve ısıl işlem uygulanmış levhalardan, TS 2472'ye göre hava kurusu ve tam kuru yoğunluk, TS 2474'e göre eğilme direnci, TS 2478'e göre eğilmede elastikiyet modülü, TS 2595'e göre liflere paralel basınç direnci, TS EN 13446'ya göre liflere dik (radyal kesit) ve paralel (enine kesit) vida çekme direnci, liflere dik (radyal kesit) ve paralel (enine kesit) kavela tutma direnci, TS 2479'a göre Brinell sertlik direnci, TS 4084'e göre boyutsal değişim, TS EN 205 göre yüzeye paralel yapışma direnci, TS EN 205 ve TS 2476'ya göre yüzeye dik yapışma direnci ve ASTM E 160–50'ye göre yanma performanslarını belirlemek için deney örnekleri hazırlanmış ve ısıl işlem ve kontrol grubu örnekleri karşılaştırmalı olarak araştırılmıştır.

Bu testlerin sonuçlarına göre; ısıl işleme tabi tutulan örneklerde, fiziksel özelliklerden hava kurusu ve tam kuru yoğunluklarda azalmalar meydana gelirken, % 40 oranında boyutsal stabilizasyon sağlanmıştır. Mekanik özelliklerde sıcaklığa bağlı olarak direnç kayıpları gerçekleşirken, sıcaklık yükseldikçe direnç kayıplarıda artmıştır. Teknolojik özelliklerden sertlik değerlerinde artan sıcaklığa bağlı olarak düşüşler kaydedilirken, ısıl işlemli örneklerin yanma performansları genel olarak daha iyi sonuçlar vermiştir.

Sonuç olarak; yoğunluğu yüksek olan Doğu kayını ve sapsız meşenin, tutkal çeşidinde ise melamin formaldehit (MF) tutkalının daha iyi sonuçlar verdiği tespit edilmiştir. Bu nedenle özelliklede mekanik performansın önemli olduğu uygulamalarda, ısıl işlem uygulanmış lamine ağaç malzemenin kullanılması durumunda, yoğunluğu yüksek olan türlerin tercih edilmesi, tutkal çeşidi olarak MF tutkalının kullanılması önerilebilir. Ayrıca ağaç malzemelerdeki gerçekleşen direnç kayıplarının minimize edilebilmesi ve varolan özelliklerin daha da iyileştirilebilmesi için farklı ısıl işlem uygulama yöntemlerinin araştırılması önerilebilir.

Bilim Kodu : **500.1.013**
Anahtar Kelimeler : **Isıl işlem, laminasyon tekniği, ağaç malzeme, tutkal, mukavamet özellikleri, fiziksel özellikler, mekanik özellikler, teknolojik özellikler**
Sayfa Adedi : **274**
Tez Yöneticisi : **Prof. Dr. Mustafa ALTINOK**

INVESTIGATION OF SOME TECHNOLOGICAL PROPERTIES OF THE LAMINATED WOOD MATERIAL APPLIED HEAT TREATMENT

(Ph.D. Thesis)

Osman PERÇİN

GAZI UNIVERSITY
INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY
June 2012

ABSTRACT

In this study, to determine of some physical, mechanical and technological properties of lamineted wood materials applied heat treatment with different adhesives were aimed.

For this purpose, the laminated wood materials were prepared from scotch pine (*Pinus sylvetsris* L.), Oriental beech (*Fagus orientalis* L.), sensile oak (*Quercus petraea* L.) and poplar (*Populus nigra* L.) woods which have been glued by using PVAc-D4, PU and MF adhesives in accordance with TS EN 386. The laminated wood materials were obtained in the form of ten layers by using wood veener at thickness of 2 mm. Prepared the panels at 185 and 212 ºC for 2 hours and total for 38 hours under the protection of vapour heat treatment was applied according to the thermowood method.

Test samples were prepared in order to determine the performances of air-dried density and oven-dried density according to TS 2472, bending strength according to TS 2474, modulus of elasticity according to TS 2478, comppessive strength parallel to fibers according to TS 2595, screw withdrawal strength perpendicular to fibers (radial sections) and paralel to fibers (transverse section) according to TS EN 13446, dowel holding strength perpendicular to

fibers (radial sections) and paralel to fibers (transverse section), Brinell hardness strength according to TS 2479, dimensional stabilization according to TS 4084, paralel to the surface adhesion strength TS EN 205 and TS 2475, perpendicular to the surface adhesion strength according to TS EN 205 and TS 2476, combustion performances according to ASTM E 160-50, prepared tests samples from these panels and treated with control samples as comparing were studied.

According to the results of these tests, in subjected to heat treatment samples, in air-dry and oven-dried densities decreased of physical properties, improved the dimensional stability 40 %. There was loss of resistance depending on temperature in mechanical properties, while the high-up temperature increased resistance loses. Technological properties of decline were determining depending on temperature, in generally combustion properties better results were obtained from the heat treated specimens.

As result, high density Oriental beech and sessile oak in terms of adhesive species melamine-formaldehyde (MF) have been identified gave better results than others. Therefore, especially important of mechanical properties applications, aplied heat treatment laminated wood material for use, prefering of high density typies, as adhesive MF adhesive use be recommended. In addition to, in order to minimize resistance losses and to improve further the exiting properties, investigate different heat treatment processes applications be recommmended.

Science Code : **500.1.013**
Key Words : **Heat treatment, lamination technique, wood material, adhesive, resistance properties, physical properties, mechanical properties, technological properties**
Page Number : **274**
Adviser : **Prof.Dr. Mustafa ALTINOK**

TEŞEKKÜR

Çalışmalarım boyunca değerli yardım ve katkılarıyla beni yönlendiren Sayın Hocam ve Tez Danışmanım Prof. Dr. Mustafa ALTINOK'a tez izleme komitesindeki hocalarım Prof. Dr. Musa ATAR ve Prof. Dr. Ayhan ÖZÇİFÇİ'ye, tez jürisindeki değerli katkılarından dolayı Prof. Dr. Hakan KESKİN ve Yrd.Doç.Dr. Sait Dündar SOFUOĞLU'ya deneylerimin yapılışı sırasındaki yardımlarından dolayı Yrd. Doç. Dr. Şemsettin DORUK'a, Yrd. Doç. Dr. Ali Rıza ARSLAN'a, Yrd. Doç. Dr. H. Özgür İMİRZİ'ye, Arş.Gör. Suat AYAN'a, istatiksel analizlerin yapılmasında değerli katkılarından dolayı Arş. Gör. A. Cihangir YALINKILIÇ'a, Öğr. Gör. Zafer KAYA'ya, Mobilya ve Dekorasyon Eğitimi akademik ve idari personeline, yine Mobilya ve Dekorasyon Eğitimi öğrencilerine ve her türlü maddi, manevi destekleri ile bana yardımcı olan eşim, oğlum ve kızıma yine manevi desteklerini esirgemeyen aileme teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET iv

ABSTRACT vi

TEŞEKKÜR viii

İÇİNDEKİLER ix

ÇİZELGELERİN LİSTESİ xiii

ŞEKİLLERİN LİSTESİ xxvi

RESİMLERİN LİSTESİ xxviii

SİMGELER VE KISALTMALAR xxix

1. GİRİŞ 1

2. LİTERATÜR ÖZETİ 8

3. GENEL BİLGİLER 16

3.1. Çalışmada Kullanılan Ağaç Malzemeler 16

3.1.1. Sarıçam 16

3.1.2. Sapsız meşe 17

3.1.3. Doğu kayını 18

3.1.4. Kara kavak 19

3.2. Laminasyon Tekniği 20

3.2.1. Laminasyonda katların düzenlenmesi 21

3.2.2. Laminasyonun yararları 22

3.2.3. Laminasyonun sakıncaları 23

3.2.4. Laminasyonda asgari üretim şartları 23

3.2.5. Laminasyonda ağaç malzeme seçimi 24

Sayfa

3.3. Yapışma Teorisi 26

3.3.1. Tutkal çeşitleri ve kullanım alanları 28

3.3.2. Tutkallı birleştirmelerde yapışma direnci 32

3.4. Isıl İşlem Metodları.....35

3.4.1. Plato metodu 35

3.4.2. Sıcak yağ metodu (OHT) 36

3.4.3. Retification metodu (Retified Wood) 37

3.4.4. ThermoWood metodu 38

3.5. Isıl İşlemin Ağaç Malzemenin Bazı Kimyasal Özellikleri Üzerine Etkisi 40

4. MATERYAL VE METOD 46

4.1. Ağaç Malzeme 46

4.2. Tutkallar 46

4.2.1. Polivinil asetat -D4 (D4) tutkalı 46

4.2.2. Melamin formaldehit tutkalı (MF) 47

4.2.3. Desmodur-VTKA tutkalı (PU) 49

4.3. Deney Örneklerinin Hazırlanması 50

4.4. Lamine Ağaç Malzemelere Isıl İşlem Uygulanması 50

4.5. Metod 52

4.5.1. Yoğunluk 52

4.5.2. Eğilme direnci 53

4.5.3. Eğilmede elastikiyet modülü 54

4.5.4. Liflere paralel basınç direnci 54

4.5.5. Liflere dik ve paralel yönde vida tutma direnci 55

Sayfa

4.5.6. Liflere dik ve paralel yönde kavela tutma direnci 56

4.5.7. Brinell sertlik 58

4.5.8. Yüzeye paralel yapışma direnci 59

4.5.9. Yüzeye dik yapışma direnci 60

4.5.10. Boyutsal değişim 61

4.5.11. Yanma özellikleri 62

4.5.12. Verilerin değerlendirilmesi 63

5. BULGULAR 64

5.1. Hava Kurusu Yoğunluk 64

5.2. Tam Kuru Yoğunluk 70

5.3. Eğilme Direnci 76

5.4. Eğilmede Elastikiyet Modülü.....82

5.5. Liflere Paralel Basınç Direnci 88

5.6. Liflere Dik Kavela Tutma Direnci.....94

5.7. Liflere Paralel Kavela Tutma Direnci 100

5.8. Liflere Dik Vida Tutma Direnci 106

5.9. Liflere Paralel Vida Tutma Direnci 112

5.10. Sertlik Direnci 118

5.11. Yüzeye Dik Yapışma Direnci 124

5.12. Yüzeye Paralel Yapışma Direnci 130

5.13. Boyutsal Kararlılık 136

5.13.1. Kalınlık artışı 136

5.13.2. Genişlik artışı 142

Sayfa

5.15. Yanma Özellikleri 147
5.15.1. Alev kaynaklı yanma sıcaklığı 147
5.15.2. Kendi kendine yanma sıcaklığı 153
5.15.3. Kor hali yanma sıcaklığı 159
5.15.4. Alev kaynaklı yanmada ışık yoğunluğu 164
5.15.5. Kendi kendine yanmada ışık yoğunluğu 170
5.15.6. Kor hali yanmada ışık yoğunluğu 176
5.15.7. Kendi kendine yanma süresi 182
5.15.8. Kor hali yanma süresi 187
5.15.9. Yıkılma süresi 193
5.15.10. Ağırlık kaybı 199
5.16. SEM Analizleri 205
6. SONUÇ TARTIŞMA VE ÖNERİLER 214
KAYNAKLAR 258

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge **Sayfa**

Çizelge 3.1. Sarıçam odununun bazı fiziksel ve mekanik özellikleri 16

Çizelge 3.2. Sapsız meşe odununun fiziksel ve mekanik özellikleri 18

Çizelge 3.3. Doğu kayını odununun fiziksel ve mekanik özellikleri 19

Çizelge 3.4. Bazı kavak türlerine ait fiziksel ve mekaniksel özellikler 20

Çizelge 3.5. Tutkal çeşitleri ve kullanım alanları.....29

Çizelge 3.6. Ağaç işleri endüstrisinde kullanılan tutkalların direnç özelliklerine göre sınıflandırılması 29

Çizelge 3.7. Bazı tutkalların teknik özellikleri 31

Çizelge 4.1. PVAc- D_4 Tutkalının teknik özellikleri 47

Çizelge 5.1. Hava kurusu yoğunluklara ilişkin istatiksel sonuçlar 64

Çizelge 5.2. Hava kurusu yoğunluklara ait çoklu varyans analizi 65

Çizelge 5.3. Ağaç malzeme türüne göre hava kurusu yoğunluklar 66

Çizelge 5.4. Tutkal çeşidine göre hava kurusu yoğunluklar 66

Çizelge 5.5. Isıl işlem sıcaklığına göre hava kurusu yoğunluklar 66

Çizelge 5.6. Hava kurusu yoğunlukta ağaç malzeme türü-tutkal çeşidi ikili etkileşime ait Duncan testi sonuçları 67

Çizelge 5.7. Hava kurusu yoğunlukta ağaç malzeme türü-ısıl işlem sıcaklığı ikili etkileşime ait Duncan testi sonuçları 67

Çizelge 5.8. Hava kurusu yoğunlukta tutkal çeşidi-ısıl işlem sıcaklığı ikili etkileşime ait Duncan testi sonuçları 68

Çizelge 5.9. Hava kurusu yoğunlukta ağaç malzeme türü-tutkal çeşidi-ısıl işlem sıcaklığı üçlü etkileşime ait Duncan testi sonuçları 68

Çizelge 5.10. Tam kuru yoğunluklara ilişkin istatiksel sonuçlar 70

Çizelge 5.11. Tam kuru yoğunluklara ait çoklu varyans analizi 71

Çizelge **Sayfa**

Çizelge 5.12. Ağaç malzeme türüne göre tam kuru yoğunluklar 72

Çizelge 5.13. Tutkal çeşidine göre tam kuru yoğunluklar 72

Çizelge 5.14. Isıl işlem sıcaklığına göre tam kuru yoğunluklar 72

Çizelge 5.15. Tam kuru yoğunlukta ağaç malzeme türü-tutkal çeşidi ikili etkileşime ait Duncan testi sonuçları 73

Çizelge 5.16. Tam kuru yoğunlukta ağaç malzeme türü-ısıl işlem sıcaklığı ikili etkileşime ait Duncan testi sonuçları 73

Çizelge 5.17. Tam kuru yoğunlukta tutkal çeşidi-ısıl işlem sıcaklığı ikili etkileşimine ait Duncan testi sonuçları 74

Çizelge 5.18. Tam kuru yoğunlukta ağaç malzeme türü-tutkal çeşidi-ısıl işlem sıcaklığı üçlü etkileşime ait Duncan testi sonuçları 74

Çizelge 5.19. Eğilme direncine ilişkin istatiksel sonuçlar 76

Çizelge 5.20. Eğilme dirençlerine ait çoklu varyans analizi 77

Çizelge 5.21. Ağaç malzeme türüne göre eğilme direnci 78

Çizelge 5.22. Tutkal çeşidine göre eğilme direnci 78

Çizelge 5.23. Isıl işlem sıcaklığına göre eğilme direnci 78

Çizelge 5.24. Eğilme direncinde ağaç malzeme türü-tutkal çeşidi ikili etkileşime ait Duncan testi sonuçları 79

Çizelge 5.25. Eğilme direncinde ağaç malzeme türü-ısıl işlem sıcaklığı ikili etkileşime ait Duncan testi sonuçları 79

Çizelge 5.26. Eğilme direncinde tutkal çeşidi-ısıl işlem sıcaklığı ikili etkileşime ait Duncan testi sonuçları 80

Çizelge 5.27. Eğilme direncinde ağaç malzeme türü-tutkal çeşidi-ısıl işlem sıcaklığı üçlü etkileşime ait Duncan testi sonuçları 80

Çizelge 5.28. Eğilmede elastikiyet modülüne ilişkin istatiksel sonuçlar 82

Çizelge 5.29. Eğilmede elastikiyet modülüne ilişkin çoklu varyans analizi 83

Çizelge 5.30. Ağaç malzeme türüne göre eğilmede elastikiyet modülü 84

Çizelge **Sayfa**

Çizelge 5.31. Tutkal çeşidine göre eğilmede elastikiyet modülü 84

Çizelge 5.32. Isıl işlem sıcaklığına göre eğilmede elastikiyet modülü 84

Çizelge 5.33. Eğilmede elastikiyet modülünde ağaç malzeme türü-tutkal çeşidi ikili etkileşime ait Duncan testi sonuçları 85

Çizelge 5.34. Eğilmede elastikiyet modülünde ağaç malzeme türü-ısıl işlem sıcaklığı ikili etkileşime ait Duncan testi sonuçları 85

Çizelge 5.35. Eğilmede elastikiyet modülünde tutkal çeşidi-ısıl işlem sıcaklığı ikili etkileşime ait Duncan testi sonuçları 86

Çizelge 5.36. Eğilmede elastikiyet modülünde ağaç malzeme türü-tutkal çeşidi-ısıl işlem sıcaklığı üçlü etkileşime ait Duncan testi sonuçları 86

Çizelge 5.37. Liflere paralel basınç direncine ilişkin istatiksel sonuçlar 88

Çizelge 5.38. Liflere paralel basınç direncine ilişkin çoklu varyans analizi 89

Çizelge 5.39. Ağaç malzeme türlerine göre liflere paralel basınç direnci 90

Çizelge 5.40. Tutkal çeşidine göre liflere paralel basınç direnci 90

Çizelge 5.41. Isıl işlem sıcaklığına göre liflere paralel basınç direnci 90

Çizelge 5.42. Liflere paralel basınç direncinde ağaç malzeme türü-tutkal çeşidi ikili etkileşime ait Duncan testi sonuçları 91

Çizelge 5.43. Liflere paralel basınç direncinde ağaç malzeme türü-ısıl işlem sıcaklığı ikili etkileşime ait Duncan testi sonuçları 91

Çizelge 5.44. Liflere paralel basınç direncinde tutkal çeşidi-ısıl işlem sıcaklığı ikili etkileşime ait Duncan testi sonuçları 92

Çizelge 5.45. Liflere paralel basınç direncinde ağaç malzeme türü-tutkal testi sonuçları çeşidi-ısıl işlem sıcaklığı üçlü etkileşime ait Duncan 92

Çizelge 5.46. Liflere dik kavela tutma direncine ilişkin istatiksel sonuçlar 94

Çizelge 5.47. Liflere dik kavela tutma direncine ait çoklu varyans analizi 95

Çizelge 5.48. Ağaç malzeme türüne göre liflere dik kavela tutma direnci ……96

Çizelge **Sayfa**

Çizelge 5.49. Tutkal çeşidine göre liflere dik kavela tutma direnci 96

Çizelge 5.50. Isıl işlem sıcaklığına göre liflere dik kavela tutma direnci 96

Çizelge 5.51. Liflere dik kavela tutma direncinde ağaç malzeme türü-tutkal çeşidi ikili etkileşime ait Duncan testi sonuçları 97

Çizelge 5.52. Liflere dik kavela tutma direncinde ağaç malzeme türü-ısıl işlem sıcaklığı ikili etkileşime ait Duncan testi sonuçları 97

Çizelge 5.53. Liflere dik kavela tutma direncinde tutkal çeşidi-ısıl işlem sıcaklığı ikili etkileşime ait Duncan testi sonuçları 98

Çizelge 5.54. Liflere dik kavela tutma direncinde ağaç malzeme türü-tutkal çeşidi-ısıl işlem sıcaklığı üçlü etkileşime ait Duncan testi sonuçları 98

Çizelge 5.55. Liflere paralel kavela tutma direncine ilişkin istatiksel sonuçlar 100

Çizelge 5.56. Liflere paralel kavela tutma direncine ait çoklu varyans analizi 101

Çizelge 5.57. Ağaç malzeme türüne göre liflere paralel kavela tutma direnci 102

Çizelge 5.58. Tutkal çeşidine göre liflere paralel kavela tutma direnci 102

Çizelge 5.59. Isıl işlem sıcaklığına göre liflere paralel kavela tutma direnci 102

Çizelge 5.60. Liflere paralel kavela tutma direncinde ağaç malzeme türü-tutkal çeşidi ikili etkileşime ait Duncan testi sonuçları …… 103

Çizelge 5.61. Liflere paralel kavela tutma direncinde ağaç malzeme türü-ısıl işlem sıcaklığı ikili etkileşime ait Duncan testi sonuçları 103

Çizelge 5.62. Liflere paralel kavela tutma direncinde tutkal çeşidi-ısıl işlem sıcaklığı ikili etkileşime ait Duncan testi sonuçları 104

Çizelge 5.63. Liflere paralel kavela tutma direncinde ağaç malzeme türü-tutkal çeşidi-ısıl işlem sıcaklığı üçlü etkileşime ait Duncan testi sonuçları 104

Çizelge 5.64. Liflere dik vida tutma direncine ilişkin istatiksel sonuçlar 106

Çizelge 5.65 Liflere dik vida tutma direncine ait çoklu varyans analizi 107

Çizelge **Sayfa**

Çizelge 5.66. Ağaç malzeme türüne göre liflere dik vida tutma direnci 108

Çizelge 5.67. Tutkal çeşidine göre liflere dik vida tutma direnci 108

Çizelge 5.68. Isıl işlem sıcaklığına göre liflere dik vida tutma direnci 108

Çizelge 5.69. Liflere dik vida tutma direncinde ağaç malzeme türü-tutkal çeşidi ikili etkileşime ait Duncan testi sonuçları 109

Çizelge 5.70. Liflere dik vida tutma direncinde ağaç malzeme türü-ısıl işlem sıcaklığı ikili etkileşime ait Duncan testi sonuçları 109

Çizelge 5.71. Liflere dik vida tutma direncinde tutkal çeşidi-ısıl işlem sıcaklığı ikili etkileşime ait Duncan testi sonuçları 110

Çizelge 5.72. Liflere dik vida tutma direncinde ağaç malzeme türü-tutkal çeşidi-ısıl işlem sıcaklığı üçlü etkileşime ait Duncan testi sonuçları 110

Çizelge 5.73. Liflere paralel vida tutma direncine ilişkin istatiksel sonuçlar 112

Çizelge 5.74. Liflere paralel vida tutma direncine ait çoklu varyans analizi 113

Çizelge 5.75. Ağaç malzeme türüne göre liflere paralel vida tutma direnci 114

Çizelge 5.76. Tutkal çeşidine göre liflere paralel vida tutma direnci 114

Çizelge 5.77. Isıl işlem sıcaklığına göre liflere paralel vida tutma direnci 114

Çizelge 5.78. Liflere paralel vida tutma direncinde ağaç malzeme türü-tutkal çeşidi ikili etkileşime ait Duncan testi sonuçları 115

Çizelge 5.79. Liflere paralel vida tutma direncinde ağaç malzeme türü-ısıl işlem sıcaklığı ikili etkileşime ait Duncan testi sonuçları 115

Çizelge 5.80. Liflere paralel vida tutma direncinde tutkal çeşidi-ısıl işlem sıcaklığı ikili etkileşime ait Duncan testi sonuçları 119

Çizelge 5.81. Liflere paralel vida tutma direncinde ağaç malzeme türü-tutkal çeşidi-ısıl işlem sıcaklığı üçlü etkileşime ait Duncan testi sonuçları 116

Çizelge 5.82. Sertlik direncine ilişkin istatiksel sonuçlar 118

Çizelge **Sayfa**

Çizelge 5.83. Sertlik direncine ait çoklu varyans analizi 119

Çizelge 5.84. Ağaç malzeme türüne göre sertlik direnci 120

Çizelge 5.85. Tutkal çeşidine göre sertlik direnci 120

Çizelge 5.86. Isıl işlem sıcaklığına göre sertlik direnci 120

Çizelge 5.87. Sertlik direncinde ağaç malzeme türü-
tutkal çeşidi ikili etkileşime ait Duncan testi sonuçları 121

Çizelge 5.88. Sertlik direncinde ağaç malzeme türü-ısıl
işlem sıcaklığı ikili etkileşime ait Duncan testi sonuçları 121

Çizelge 5.89. Sertlik direncinde tutkal çeşidi-ısıl işlem
sıcaklığı ikili etkileşime ait Duncan testi sonuçları 122

Çizelge 5.90. Sertlik direncinde ağaç malzeme türü-tutkal çeşidi-
ısıl işlem sıcaklığı üçlü etkileşime ait Duncan testi sonuçları 122

Çizelge 5.91. Yüzeye dik yapışma direncine ilişkin istatiksel sonuçlar 124

Çizelge 5.92. Yüzeye dik yapışma direncine ait çoklu varyans analizi 125

Çizelge 5.93. Ağaç malzeme türüne göre yüzeye dik yapışma direnci 126

Çizelge 5.94. Tutkal çeşidine göre yüzeye dik yapışma direnci 126

Çizelge 5.95. Isıl işlem sıcaklığına göre yüzeye dik yapışma direnci 126

Çizelge 5.96. Yüzeye dik yapışma direncinde ağaç malzeme türü-tutkal
çeşidi ikili etkileşime ait Duncan testi sonuçları 127

Çizelge 5.97. Yüzeye dik yapışma direncinde ağaç malzeme türü-ısıl işlem
sıcaklığı ikili etkileşime ait Duncan testi sonuçları 127

Çizelge 5.98. Yüzeye dik yapışma direncinde tutkal çeşidi-ısıl işlem
sıcaklığı ikili etkileşime ait Duncan testi sonuçları 128

Çizelge 5.99. Yüzeye dik yapışma direncinde ağaç malzeme türü-tutkal
çeşidi-ısıl işlem sıcaklığı üçlü etkileşime ait Duncan testi 128

Çizelge 5.100. Yüzeye paralel yapışma direncine ilişkin istatiksel sonuçlar 130

Çizelge **Sayfa**

Çizelge 5.101. Yüzeye paralel yapışma direncine ait çoklu varyans analizi 131

Çizelge 5.102. Ağaç malzeme türüne göre yüzeye paralel yapışma direnci 132

Çizelge 5.103. Tutkal çeşidine göre yüzeye paralel yapışma direnci 132

Çizelge 5.104. Isıl işlem sıcaklığına göre yüzeye paralel yapışma direnci 132

Çizelge 5.105. Yüzeye paralel yapışma direncinde ağaç malzeme türü-tutkal çeşidi ikili etkileşime ait Duncan testi sonuçları 133

Çizelge 5.106. Yüzeye paralel yapışma direncinde ağaç malzeme türü-ısıl işlem sıcaklığı ikili etkileşime ait Duncan testi sonuçları 133

Çizelge 5.107. Yüzeye paralel yapışma direncinde tutkal çeşidi-ısıl işlem sıcaklığı ikili etkileşime ait Duncan testi sonuçları 134

Çizelge 5.108. Yüzeye paralel yapışma direncinde ağaç malzeme türü-tutkal çeşidi-ısıl işlem sıcaklığı üçlü etkileşime ait Duncan testi sonuçları 134

Çizelge 5.109. Kalınlık artışına ilişkin istatiksel sonuçlar 136

Çizelge 5.110. Kalınlık artışına ait çoklu varyans analizi 137

Çizelge 5.111. Ağaç malzeme türüne göre kalınlık artışı 138

Çizelge 5.112. Tutkal çeşidine göre kalınlık artışı 138

Çizelge 5.113. Isıl işlem sıcaklığına göre kalınlık artışı 138

Çizelge 5.114. Kalınlık artışında ağaç malzeme türü-tutkal çeşidi ikili etkileşime ait Duncan testi sonuçları 139

Çizelge 5.115. Kalınlık artışında ağaç malzeme türü-ısıl işlem sıcaklığı ikili etkileşime ait Duncan testi sonuçları 139

Çizelge 5.116. Kalınlık artışında tutkal çeşidi-ısıl işlem sıcaklığı ikili etkileşime ait Duncan testi sonuçları 140

Çizelge 5.117. Kalınlık artışında ağaç malzeme türü-tutkal çeşidi-ısıl işlem sıcaklığı üçlü etkileşime ait Duncan testi sonuçları …....140

Çizelge 5.118. Genişlik artışına ilişkin istatiksel sonuçlar 142

Çizelge **Sayfa**

Çizelge 5.119. Genişlik artışına ait çoklu varyans analizi 143

Çizelge 5.120. Ağaç malzeme türüne göre genişlik artışı 144

Çizelge 5.121. Tutkal çeşidine göre genişlik artışı 144

Çizelge 5.122. Isıl işlem sıcaklığına göre genişlik artışı 144

Çizelge 5.123. Genişlik artışında ağaç malzeme türü-ısıl işlem sıcaklığı ikili etkileşime ait Duncan testi sonuçları 145

Çizelge 5.124. Genişlik artışında ağaç malzeme türü-tutkal çeşidi-ısıl işlem sıcaklığı üçlü etkileşime ait Duncan testi sonuçları 145

Çizelge 5.125. Alev kaynaklı yanma sıcaklığına ilişkin istatiksel sonuçlar 147

Çizelge 5.126. Alev kaynaklı yanma sıcaklığına ait çoklu varyans analizi 148

Çizelge 5.127. Ağaç malzeme türüne göre alev kaynaklı yanma sıcaklığı 149

Çizelge 5.128. Tutkal çeşidine göre alev kaynaklı yanma sıcaklığı 149

Çizelge 5.129. Isıl işlem sıcaklığına göre alev kaynaklı yanma sıcaklığı 149

Çizelge 5.130. Alev kaynaklı yanma sıcaklığında ağaç malzeme türü-tutkal çeşidi ikili etkileşime ait Duncan testi sonuçları 150

Çizelge 5.131. Alev kaynaklı yanma sıcaklığında ağaç malzeme türü-ısıl işlem sıcaklığı ikili etkileşime ait Duncan testi sonuçları 150

Çizelge 5.132. Alev kaynaklı yanma sıcaklığında tutkal çeşidi-ısıl işlem sıcaklığı ikili etkileşime ait Duncan testi sonuçları 151

Çizelge 5.133. Alev kaynaklı yanma sıcaklığında ağaç malzeme türü-tutkal çeşidi-ısıl işlem sıcaklığı üçlü etkileşime ait Duncan testi sonuçları 151

Çizelge 5.134. Kendi kendine yanma sıcaklığı ilişkin istatiksel sonuçlar 153

Çizelge 5.135. Kendi kendine yanma sıcaklığına ait çoklu varyans analizi 154

Çizelge 5.136. Ağaç malzeme türüne göre kendi kendine yanma sıcaklığı 155

Çizelge 5.137. Tutkal çeşidine göre kendi kendine yanma sıcaklığı 155

Çizelge **Sayfa**

Çizelge 5.138. Isıl işlem sıcaklığına göre kendi kendine yanma sıcaklığı 155

Çizelge 5.139. Kendi kendine yanma sıcaklığında ağaç malzeme türü-tutkal çeşidi ikili etkileşime ait Duncan testi sonuçları 156

Çizelge 5.140. Kendi kendine yanma sıcaklığında ağaç malzeme türü-ısıl işlem sıcaklığı ikili etkileşime ait Duncan testi sonuçları 156

Çizelge 5.141. Kendi kendine yanma sıcaklığında tutkal çeşidi-ısıl işlem sıcaklığı ikili etkileşime ait Duncan testi sonuçları 157

Çizelge 5.142. Kendi kendine yanma sıcaklığında ağaç malzeme türü-tutkal çeşidi-ısıl işlem sıcaklığı üçlü etkileşime ait Duncan testi sonuçları 157

Çizelge 5.143. Kor hali yanma sıcaklığına ilişkin istatiksel sonuçlar..... 159

Çizelge 5.144. Kor hali yanma sıcaklığına ait çoklu varyans analizi 160

Çizelge 5.145. Ağaç malzeme türüne göre kor hali yanma sıcaklığı 161

Çizelge 5.146. Isıl işlem sıcaklığına göre kor hali yanma sıcaklığı 161

Çizelge 5.147. Kor hali yanma sıcaklığında ağaç malzeme türü-tutkal çeşidi ikili etkileşime ait Duncan testi sonuçları 161

Çizelge 5.148. Kor hali yanma sıcaklığında ağaç malzeme türü-ısıl işlem sıcaklığı ikili etkileşime ait Duncan testi sonuçları 162

Çizelge 5.149. Alev kaynaklı yanmada ışık yoğunluğuna ilişkin istatiksel sonuçlar 164

Çizelge 5.150. Alev kaynaklı yanmada ışık yoğunluğuna ait çoklu varyans analizi 165

Çizelge 5. 151. Ağaç malzeme türüne göre alev kaynaklı yanmada ışık yoğunluğu 166

Çizelge 5.152. Tutkal çeşidine göre alev kaynaklı yanmada ışık yoğunluğu 166

Çizelge 5.153. Isıl işlem sıcaklığına göre alev kaynaklı yanmada ışık yoğunluğu 166

Çizelge 5.154. Alev kaynaklı yanmada ışık yoğunluğunda ağaç malzeme türü-tutkal çeşidi ikili etkileşime ait Duncan testi sonuçları 167

Çizelge **Sayfa**

Çizelge 5.155. Alev kaynaklı yanmada ışık yoğunluğunda ağaç malzeme türü-ısıl işlem sıcaklığı ikili etkileşime ait Duncan testi sonuçları 167

Çizelge 5.156. Alev kaynaklı yanmada ışık yoğunluğunda ağaç malzeme türü-tutkal çeşidi-ısıl işlem sıcaklığı üçlü etkileşime ait Duncan testi sonuçları 168

Çizelge 5.157. Kendi kendine yanmada ışık yoğunluğuna ilişkin istatiksel sonuçlar 170

Çizelge 5. 158. Kendi kendine yanmada ışık yoğunluğuna ait çoklu varyans analizi 171

Çizelge 5.159. Ağaç malzeme türüne göre kendi kendine yanmada ışık yoğunluğu 172

Çizelge 5.160. Tutkal çeşidine göre kendi kendine yanmada ışık yoğunluğu 172

Çizelge 5.161. Isıl işlem sıcaklığına göre kendi kendine yanmada ışık yoğunluğu 172

Çizelge 5.162. Kendi kendine yanmada ışık yoğunluğunda ağaç malzeme türü-tutkal çeşidi ikili etkileşime ait Duncan testi sonuçları 173

Çizelge 5.163. Kendi kendine yanmada ışık yoğunluğunda ağaç malzeme türü-ısıl işlem sıcaklığı ikili etkileşime ait Duncan testi sonuçları 173

Çizelge 5.164. Kendi kendine yanmada ışık yoğunluğunda tutkal çeşidi-ısıl işlem sıcaklığı ikili etkileşime ait Duncan testi sonuçları 174

Çizelge 5.165. Kendi kendine yanmada ışık yoğunluğunda ağaç malzeme türü-tutkal çeşidi-ısıl işlem sıcaklığı üçlü etkileşime ait Duncan testi sonuçları 174

Çizelge 5.166. Kor hali yanmada ışık yoğunluğuna ilişkin istatiksel sonuçlar……176

Çizelge 5.167. Kor hali yanmada ışık yoğunluğuna ait çoklu varyans analizi 177

Çizelge 5.168. Ağaç malzeme türüne göre kor hali yanmada ışık yoğunluğu 178

Çizelge 5.169. Tutkal çeşidine göre kor hali yanmada ışık yoğunluğu 178

Çizelge **Sayfa**

Çizelge 5.170. Isıl işlem sıcaklığına göre kor hali yanmada ışık yoğunluğu 178

Çizelge 5.171. Kor hali yanmada ışık yoğunluğunda ağaç malzeme türü-tutkal çeşidi ikili etkileşime ait Duncan testi sonuçları 179

Çizelge 5.172. Kor hali yanmada ışık yoğunluğunda ağaç malzeme türü-ısıl işlem sıcaklığı ikili etkileşime ait Duncan testi sonuçları 179

Çizelge 5.173. Kor hali yanmada ışık yoğunluğunda tutkal çeşidi-ısıl işlem sıcaklığı ikili etkileşime ait Duncan testi sonuçları 180

Çizelge 5.174. Kor hali yanmada ışık yoğunluğunda ağaç malzeme türü-tutkal çeşidi-ısıl işlem sıcaklığı üçlü etkileşime ait Duncan testi sonuçları 180

Çizelge 5.175. Kendi kendine yanma sürelerine ait istatiksel sonuçlar..... 182

Çizelge 5.176. Kendi kendine yanma sürelerine ait çoklu varyans analizi 183

Çizelge 5.177. Ağaç malzeme türüne göre kendi kendine yanma süresi 184

Çizelge 5.178. Tutkal çeşidine göre kendi kendine yanma süresi 184

Çizelge 5.179. Isıl işlem sıcaklığına göre kendi kendine yanma süresi 184

Çizelge 5.180. Kendi kendine yanma süresinde ağaç malzeme türü-tutkal çeşidi ikili etkileşime ait Duncan testi sonuçları 185

Çizelge 5.181. Kendi kendine yanma süresinde tutkal çeşidi-ısıl işlem sıcaklığı ikili etkileşime ait Duncan testi sonuçları 185

Çizelge 5.182. Kor hali yanma sürelerine ait istatiksel sonuçlar 187

Çizelge 5.183. Kor halinde yanma süresine ait çoklu varyans analizi 188

Çizelge 5.184. Ağaç malzeme türüne göre kor hali yanma süresi 189

Çizelge 5.185. Tutkal çeşidine göre kor hali yanma süresi 189

Çizelge 5.186. Isıl işlem sıcaklığına göre kor hali yanma süresi 189

Çizelge 5.187. Kor hali yanma süresinde ağaç malzeme türü-tutkal çeşidi ikili etkileşime ait Duncan testi sonuçları 190

Çizelge **Sayfa**

Çizelge 5.188. Kor hali yanma süresinde ağaç malzeme türü-ısıl işlem sıcaklığı ikili etkileşime ait Duncan testi sonuçları 190

Çizelge 5.189. Kor hali yanma süresinde ağaç malzeme türü-tutkal çeşidi-ısıl işlem sıcaklığı üçlü etkileşime ait Duncan testi sonuçları 191

Çizelge 5.190. Yıkılma sürelerine ilişkin istatiksel sonuçlar 193

Çizelge 5.191. Yıkılma süresine ait çoklu varyans analizi 194

Çizelge 5. 192. Ağaç malzeme türüne göre yıkılma süresi 195

Çizelge 5.193. Tutkal çeşidine göre yıkılma süresi 195

Çizelge 5.194. Isıl işlem sıcaklığına göre yıkılma süresi 195

Çizelge 5.195. Yıkılma süresinde ağaç malzeme türü-tutkal çeşidi ikili etkileşime ait Duncan testi sonuçları 196

Çizelge 5.196. Yıkılma süresinde ağaç malzeme türü-ısıl işlem sıcaklığı ikili etkileşime ait Duncan testi sonuçları 196

Çizelge 5.197. Yıkılma süresinde tutkal çeşidi-ısıl işlem sıcaklığı ikili etkileşime ait Duncan testi sonuçları 197

Çizelge 5.198. Yıkılma süresinde ağaç malzeme türü-tutkal çeşidi-ısıl işlem sıcaklığı üçlü etkileşime ait Duncan testi sonuçları 197

Çizelge 5.199. Ağırlık kayıplarına ilişkin istatiksel sonuçlar 199

Çizelge 5.200. Ağırlık kayıplarına ait çoklu varyans analizi 200

Çizelge 5. 201. Ağaç malzeme türüne göre ağırlık kaybı 201

Çizelge 5.202. Tutkal çeşidine göre ağırlık kaybı 201

Çizelge 5.203. Isıl işlem sıcaklığına göre ağırlık kaybı 201

Çizelge 5.204. Ağırlık kaybında ağaç malzeme türü-tutkal çeşidi ikili etkileşime ait Duncan testi sonuçları 202

Çizelge 5.205. Ağırlık kaybında ağaç malzeme türü-ısıl işlem sıcaklığı ikili etkileşime ait Duncan testi sonuçları 202

Çizelge **Sayfa**

Çizelge 5.206. Ağırlık kaybında tutkal çeşidi-ısıl işlem sıcaklığı ikili etkileşime ait Duncan testi sonuçları 203

Çizelge 5.207. Ağırlık kaybında ağaç malzeme türü-tutkal çeşidi-ısıl işlem sıcaklığı üçlü etkileşime ait Duncan testi sonuçları 203

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil **Sayfa**

Şekil 3.1. Laminasyonda katların düzenlenmesi 22

Şekil 3.2. Yapıştırıcı katmanın yapısı 27

Şekil 3.3. Plato yönteminin şematik olarak gösterilmesi 36

Şekil 3.4. Yağla ısıl işlem yöntemin şematik olarak gösterilmesi 37

Şekil 3.5. Termowood uygulama yönteminin şematiksel diyagramı 40

Şekil 3.6. Ağaç malzemenin ana bileşiklerinde ısıl işlem ve yüksek sıcaklık uygulamasından dolayı meydana gelen değişimler 42

Şekil 3.7. Isıl işlem uygulanmış ağaç malzemede reaksiyon mekanizması 42

Şekil 4.1. Üretilen lamine masif ağaç malzeme 50

Şekil 4.2. Isıl işlem uygulamasının şematik gösterimi 51

Şekil 4.3. Hava kurusu ve tam kuru yoğunluk deney örneği 53

Şekil 4.4. Eğilme direnci deney örneği 54

Şekil 4.5. Liflere paralel basınç direnci örneği 55

Şekil 4.6. Liflere dik ve paralel yönde vida tutma direnci örneği 56

Şekil 4.7. Liflere dik ve paralel yönde kavela tutma direnci örneği 57

Şekil 4.8. Brinell-Mörath metoduna göre sertlik deneyi 58

Şekil 4.9. Yüzeye paralel yapışma direnci örneği 59

Şekil 4.10. Yüzeye dik yapışma direnci örneği 60

Şekil 4.11. Boyutsal stabilizasyon deney örneği 62

Şekil 4.12. Yanma test cihazı 63

Şekil 5.1. Lamine ağaç malzemelerin hava kurusu yoğunlukları 69

Şekil 5.2. Lamine ağaç malzemelerin tam kuru yoğunlukları 75

Şekil **Sayfa**

Şekil 5.3. Lamine ağaç malzemelerin eğilme direnci 81

Şekil 5.4. Lamine ağaç malzemelerin eğilmede elastikiyet modülü 87

Şekil 5.5. Lamine ağaç malzemelerin liflere paralel basınç direnci 93

Şekil 5.6. Lamine ağaç malzemelerin liflere dik kavela tutma direnci 99

Şekil 5.7. Lamine ağaç malzemelerin liflere paralel kavela tutma direnci 105

Şekil 5.8. Lamine ağaç malzemelerin liflere dik vida tutma direnci 111

Şekil 5.9. Lamine ağaç malzemelerin liflere paralel vida tutma direnci 117

Şekil 5.10. Lamine ağaç malzemelerin sertlik direnci 123

Şekil 5.11. Lamine ağaç malzemelerin yüzeye dik yapışma direnci 129

Şekil 5.12. Lamine ağaç malzemelerin yüzeye paralel yapışma direnci 136

Şekil 5.13. Lamine ağaç malzemede kalınlık artışı 141

Şekil 5.14. Lamine ağaç malzemede genişlik artışı 146

Şekil 5.15. Lamine ağaç malzemelerin alev kaynaklı yanma sıcaklığı 152

Şekil 5.16. Lamine ağaç malzemelerin kendi kendine yanma sıcaklığı 158

Şekil 5.17. Lamine ağaç malzemelerin kor hali yanma sıcaklığı 163

Şekil 5.18. Lamine ağaç malzemelerin alev kaynaklı yanmada ışık yoğunluğu 169

Şekil 5.19. Lamine ağaç malzemelerin kendi kendine yanmada ışık yoğunluğu ... 175

Şekil 5.20. Lamine ağaç malzemelerin kor hali yanmada ışık yoğunluğu 181

Şekil 5.21. Lamine ağaç malzemelerin kendi kendine yanma süresi 186

Şekil 5.22. Lamine ağaç malzemelerin kor hali yanma süresi 192

Şekil 5.23. Lamine ağaç malzemelerin yıkılma süresi 198

Şekil 5.24. Lamine ağaç malzemelerin ağırlık kayıpları 204

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim **Sayfa**

Resim 5.1. D4 tutkalı ile lamine edilen kontrol kavakta SEM görüntüsü 205

Resim 5.2. MF tutkalı ile lamine edilen 185 °C ısıl işlemli kavakta SEM görüntüsü 205

Resim 5.3. PU tutkalı ile lamine edilen 212 °C ısıl işlemli kavakta SEM görüntüsü 206

Resim 5.4. D4 tutkalı ile lamine edilen kontrol sarıçamda SEM görüntüsü 206

Resim 5.5. MF tutkalı ile lamine edilen 185 °C ısıl işlemli sarıçamda SEM görüntüsü 207

Resim 5.6. PU tutkalı ile lamine edilen 212 °C ısıl işlemli sarıçamda SEM görüntüsü 207

Resim 5.7. MF tutkalı ile lamine edilen kontrol sapsız meşede SEM görüntüsü 208

Resim 5.8. MF tutkalı ile lamine edilen 185 °C ısıl işlemli sapsız meşede SEM görüntüsü 208

Resim 5.9. PU tutkalı ile lamine edilen 212 °C ısıl işlemli sapsız meşede SEM görüntüsü 209

Resim 5.10. PU tutkalı ile lamine edilen kontrol Doğu kayınında SEM görüntüsü 210

Resim 5.11. PU tutkalı ile lamine edilen 185 °C ısıl işlemli Doğu kayınında SEM görüntüsü 210

Resim 5.12. PU tutkalı ile lamine edilen 212 °C ısıl işlemli Doğu kayınında SEM görüntüsü 211

SİMGELER VE KISALTMALAR

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

Simgeler	**Açıklama**
$\mathbf{H_B}$	Brinell sertlik
Em	Elastikiyet modülü
Fmax	Kopma anındaki maksimum kuvvet
g	Gram
M	Örnek ağırlığı
N	Newton
r	Rutubet
V	Hacim
$\boldsymbol{\delta_o}$	Tam kuru yoğunluk
$\boldsymbol{\delta_{12}}$	Hava kurusu yoğunluk
βr	Radyal yönde daralma yüzdesi
βt	Teğet yönde daralma yüzdesi
βv	Hacmen daralma yüzdesi
$\boldsymbol{\sigma e}$	Eğilme direnci
$\boldsymbol{\sigma ç}$	Çekme direnci
$\boldsymbol{\sigma_b}$	Basınç direnci
σk	Kavela çekme direnci
σv	Vida çekme direnci
σy	Yapışma direnci

Kısaltmalar	Açıklama
ASTM	American Society for Testing and Materials
D4	Çift bileşenli Polivinil asetat tutkalı
EDS	Enerji dağılımlı izge ölçümü
LSD	En küçük önemli aralık
MF	Melamin formaldehit
Mo	Örneğin emprenye öncesi hava kurusu ağırlığı
Moe	Örneğin emprenye sonrası hava kurusu ağırlığı
PVAc	Polivinil asetat tutkalı
PU	Poliüretan tutkalı
Std.sap	Standart sapma
TS EN	Türk Standartları Enstitüsü Euro Norm
TSE	Türk Standartları Enstitüsü
UV	Ultraviole
VTKA	Vinyl tree ketonol acetate
V	Varyasyon katsayısı
$\mathbf{X_{max}}$	En büyük değer
$\mathbf{X_{min}}$	En küçük değer
$\mathbf{X_{ort}}$	Ortalama

1. GİRİŞ

Tarih boyunca insanoğlunun yaşamında vazgeçilmez bir hammadde kaynağı olan ağaç malzemenin; günümüzde giderek azalan orman varlığı nedeniyle, daha verimli işlenmesi ve daha uzun süre kullanımı zorunlu hale gelmiştir. Demir ve çelik gibi yapı malzemeleri ile karşılaştırıldığında, yoğunluğunun düşük olmasına ragmen; kolay taşınabilmesi, hafif bir malzeme olmasına karşın direncinin yüksek olması, kolay işlenmesi, işlenme sırasında enerji tüketiminin az olması önemli avantajlarındandır. Değişik renk ve desene sahip olması, ses, ısı ve elektriği az iletmesi, kimyasal maddelerden az etkilenmesi, renklendirme, vernikleme gibi yüzey işlemleri uygulanarak daha çekici hale getirilebilmesi ve eskidikçe koyu renk ve güzel görünüm kazanması gibi nedenlerle ağaç malzeme, başta doğrama endüstrisi olmak üzere mobilya ve dekorasyonda tercih edilen bir materyal olarak karşımıza çıkmaktadır [Kurtoğlu, 2000].

Ağaç malzemenin yukarıda belirtilen olumlu özelliklerinin yanı sıra organik bir malzeme olmasından kaynaklanan yanabilme özelliği, böcekler tarafından tahrip edilebilmesi, mantarlar tarafından çürütülebilmesi, havanın sıcaklık ve bağıl nemine bağlı olarak değişen denge rutubetine göre boyutlarının değişmesi ve güneş ışınlarının etkisiyle renginin solması onun sakıncalı özellikleri olarak kabul edilmektedir [Kurtoğlu, 2000].

Ahşabın yapılarda taşıyıcı malzeme olarak kullanılması 19. yy başlar. Endüstri devriminden sonra malzeme teknolojilerindeki gelişmelere paralel olarak mimari anlayış belirli ölçüde özgürlük kazanmıştır. Gelişen ekonominin ve tekniklerin etkisiyle doğal ahşap yeniden yorumlanarak, ahşaptan kompozit malzemeler elde edilmeye başlanmış, kullanım alanı genişlemiş ve esneklik kazanmıştır. II. Dünya savaşı ve onu izleyen yıllarda sanayi kollarında geliştirilmiş olan tutkal çeşitleri ile birlikte "tutkallı lamine konstrüksiyonlar" ortaya çıkmış ve bu da mimaride ahşap kullanımına farklı boyutlar getirmiştir [Beceren, 2000].

Lamine ağaç malzeme yapı sektöründe ticari olarak kullanılan eski bir malzemedir. Lamine ağaç malzeme ile masif malzeme karşılaştırıldığında, lamine ağaç malzeme, masiften daha büyük boyutlarda ve daha kusursuz malzeme olarak ön plana çıkmaktadır [Bozkurt ve Göker, 1987; Dilik, 1997].

Ağaç malzemenin verimli kullanılabilmesi kusurlarından arındırılması ve eğri formlu imalatlarda diyagonal liflilik oluşmaması için laminasyon tekniği geliştirilmiştir. Böylece küçük boyutlu ağaç malzemelerden yüksek kalitede ve istenilen formda lamine ağaç malzeme üretilebilmektedir. Laminasyon tekniği ağaç malzemenin kusurlarından arındırılarak kullanılmasına imkan sağlamakta ve üretilen malzemenin kalite özellikleri masif ağaç malzemeden daha iyi olabilmektedir.

Lamine ağaç malzemenin bir diğer önemli avantajı ise, çok çeşitli kesitlerde kullanılabilmesidir. Lif yönü, tutkal tipi, ağacın yoğunluğu ve lamel kalınlığı gibi üretim parametreleri ve hammaddelerin çeşitliliği, lamine oluşturulmasında ve son ürünün kalitesinde önemli bir rol oynar [Kurtoglu, 1979; Youngquist ve ark., 1984].

Ağaç malzemede bulunan olumsuz özelliklerin mümkün olduğu kadar en aza indirilmesi bununla birlikte olumlu özelliklerinin daha da araştırılması için bu alanda birçok bilimsel araştırmalar ve çalışmalar yapılmaktadır. Bu araştırmalarda ağaç malzemenin yapısında fiziksel ve kimyasal anlamda değişiklikler amaçlanmaktadır. Yapılan tüm bilimsel araştırmalar ve çalışmalar sonucunda ortaya çıkan yöntemlere genel anlamda "Odun Modifikasyonu Yöntemleri" denilmektedir.

Ağaç malzemenin modifiye edilmesi alanında son yıllarda önemli gelişmeler ve çalışmalar olmaktadır. Buna neden olarak; ağaç malzemeye olan talebin sürekli artması, yüksek kalitede ürün talebi, dünyadaki orman varlığının sürekli olarak azalması, buna bağlı olarak çevre bilincinin artması, ağaç malzemenin temininde artan fiyat talepleri, havanın bozucu etkilerine karşı ağaç malzemenin korunaksız olarak uzun süre dayanamaması, böcek ve mantarlar tarafından tahrip edilmesi gibi bazı nedenler gösterilmektedir. Bunların sonucunda da bu sektörde kullanılmak üzere birçok değişik odun modifikasyon yöntemi geliştirilmiştir. Geliştirilen yöntemlerde

aranan en önemli amaç tek bir modifikasyon yöntemi ile mümkün olduğu kadar özelliğin iyileştirilmesidir. Bunlardan en yaygın olarak kullanılan yöntem ağaç malzemelerin çeşitli kimyasal maddelerle muamele edilmesidir. Kimyasal yoldan ağaç malzemenin muamele edilmesi avantaj ve dezavantajları ile birlikte değerlendirildiğinde bozulma ve çürümelere karşı ağaç malzemenin kararlı bir hal alması, uygulamasının kolay olması ile birlikte toksik madde içermeleri ve uygulamanın maliyetli olması istenmeyen bir durumdur. Son yıllarda çevreyle dost ürünlerin kullanılması artmakta ve teşviklerde devam etmektedir. Çevreye zarar veren birçok kimyasal maddenin kullanımı da azaltılmış veya yasaklanmıştır. Bu durum, ağaç malzemenin boyutsal kararlılık ve biyolojik olarak bozulması alanında yeni çalışmalara zemin hazırlamıştır. Bu alanda geliştirilen en son teknoloji ve yöntem, ahşabın termal olarak modifiye edilmesidir.

Odunun ısıl isleme tabii tutulması bilimsel olarak ilk defa Almanya'da 1930'lu yıllarda [Stamm ve Hansen 1935] tarafında yapılmıştır. 1940'lı yıllarda Amerika'da White ve 1950'li yıllarda Almanya'da Bavendam, Rundel ve Buro bu konuda araştırmalar yapmışlardır. Kollman ve Schnoider 1960'lı yıllarda buldukları bilgileri yayınlamışlar ve bilimsel olarak daha fazla kişi tarafından tartışılmaya başlanmıştır [Mayes ve Oksanen, 2002]. Bu alanda yapılan çalışmalar özellikle 1990'lı yıllardan sonra Finlandiya, Hollanda ve Fransa'da bilim adamları tarafından daha ayrıntılı olarak gerçekleştirilmiş son 10-15 yılda yoğunlaşmıştır. Günümüzde ısıl işlem uygulanışı birçok ülkede değişik isim ve yöntemle gerçekleştirilmektedir. Bunlar; ağaç malzemenin ısıtılması için buhar kullanılan Finlandiya'da Thermowood yöntemi, Hollanda'da buhar ve sıcak havanın birlikte kullanıldığı Plato yöntemi, Fransa'da (Rectification) inert gaz kullanılan yöntem ve sıcak yağ kullanılan Alman (OHT) yöntemleridir. 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 ve ark., 2009] .

Bu yöntemde ahşap malzemeler 150-250 ºC arasında değişen yüksek sıcaklıklarda mümkün olduğu kadar oksijensiz bir ortamda buhar koruması altında ahşabın ısıtılmasıdır. Ağaç malzeme, yeterli sıcaklıklarda muamele edilirse çürüme direnci önemli oranlarda artmaktadır. Isıl işlem süresince biyolojik direnç ve kararlılık artarken özellikle 200 ºC sıcaklıklardan sonra mekaniksel özelliklerde önemli düşüşler meydana gelebilmektedir. Prensipte tüm odun türleri ısıl işlem için kullanılabilmesine rağmen genelde kullanılan ağaç türleri; Çam (*Pinus sylvestris* L.), Ladin (*Picea abies*), Huş (*Betula pendula*), Kavak (*Populus tremula*)'tır. Avrupa genelinde ısıl işlem fabrikalarının kapasiteleri 2000 yılında 35,000 m^3/yıl, 2004 yılında 75,000 m^3/yıl, 2005 yılında 88,000 m^3/yıl üretim ve 2006 yılında 95,000–100,000 m^3 üretim gerçekleştirdiği tahmin edilmektedir [Aydemir, 2007; Mayes ve Oksanen, 2002].

Problemin Tanımlanması

Anatomik ve kimyasal yapısı, fiziksel ve mekanik özellikleri çok farklı olan ağaç malzemenin 5000'den fazla kullanım yeri bulunmaktadır. Ağaç malzeme her türlü açık hava şartlarında doğrudan olduğu gibi diğer yapı malzemeleri ile birlikte yardımcı malzeme olarak da kullanılmaktadır. Bu durumda, bozunan malzemenin yenilenme maliyetinin giderek yükselmesi çok önemlidir. Bu nedenle, günümüzde ağaç malzemeyi uygun koşullarda kullanarak dayanıklı bir malzeme haline getirme çalışmaları hız kazanmıştır. Tüm bu çalışmalarda güvenilir ve tutarlı sonuçlar ile birlikte uygun standart, uygun malzeme ve uygulanma usullerinin ortaya konması esas alınmıştır.

Herhangi bir koruyucu ile korunmadan ve değişik yöntemlerle modifiye edilmeden kullanılan ağaç malzemenin fiziki ve ekonomik ömrü sınırlıdır. Ağaç malzemenin çeşitli teknikler yardımıyla koruyucu kimyasal maddelerle muamele edilerek kullanım süresinin uzatılması ve değişik odun modifikasyonu yöntemleri ile niteliklerinin iyileştirilmesi ise önemli bir gelişmedir.

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].

Ağaç malzemeye uygulanan ısıl işlem, ağaç malzemenin modifikasyonu olarak değerlendirildiğinde odunun 150-250 ºC derecelerde normal atmosferde, azot gazı, su buharı veya herhangi bir inert gaz ortamında belli bir süre bekletilmesi ısıl işlem olarak adlandırılmaktadır. Ağaç malzemenin kimyasal maddelerle modifikasyonunda yönteme özel ayrı ayrı uygulamalar, çok farklı işlem teçhizatları, teknik kurutma, farklı bir kalite kontrol, maliyet artışı gibi durumlarla karşı karşıya kalınırken, Thermowood yönteminde bu türden gereksinimler bulunmamaktadır. Bununla birlikte kimyasal madde kullanılmaması hem çevre bilinci açısından hem de sağlık açısından önemli bir yer teşkil etmektedir.

Günümüzde teknolojinin ilerlemesi ve ağaç işlerindeki gelişmelere paralel olarak ahşap malzemenin kullanım ömrü artmakla birlikte tüketilen ağaç malzeme miktarıda artmaktadır. Ağaç malzeme biyolojik devamlılığı olan heterojen bir madde olarak sürekli kendine yeni kullanım alanı oluşturmaktadır. Bunlarla birlikte bünyesinde bulunan nem miktarının sürekli olarak değişmesi, anizotropik şişme ve daralmayla oluşan değişimler bir sorun olarak belirtilmektedir. Ayrıca ağaç malzemede bulunan gereksiz miktardaki nem, odun üzerinde belli bir etkisi olurken biyolojik saldırılar gibi çeşitli sorunlarla da karşılaşılmaktadır. Uzun süre kullanımdan dolayı ağaç malzemenin renginin güneş ışınlarının etkisiyle birlikte solması veya değişmesi, kullanım ömrü boyunca çeşitli iç ve dış etkilere maruz kalarak zamanla direncinin azalması önemli bir sorun olarak görülmektedir [Aydemir, 2007; Mayes ve Oksanen, 2002].

Hipotez

Lamine ağaç malzeme gerek iç mekanlarda gerekse dış ortamlarda yaygın bir kullanıma sahiptir. Kamelya, bahçe ve teras mobilyası, ahşap ev ve köprü yapımı dış

ortamda ki uygulamalarından bazılarıdır. Herhangi bir işlem ile muamele edilmeyen ağaç malzeme biyotik ve abiyotik faktörlerin etkisinde kalarak değişimlere uğramaktadır. Uzun süreli periyotlar içerisinde gerçekleşen bozunumlar (degradasyon) ağaç malzemenin yüzeyinde renk değisimi ile başlar ve bu değişimler ileri aşamalarda fiziksel, kimyasal ve anatomik yapılarda da görülür. Ayrıca lamine ağaç malzemede katmanların birbirinden ayrılmasına kadar gelişme devam edebilir.

Isıl işlem görmüş ağaç malzeme dış cephe kaplaması, kapı, pencere, bahçe mobilyası gibi dış mekan uygulamalarında, yer döşemesi, lambri, banyo ve sauna gibi iç mekan uygulamalarında gittikçe genişleyen kullanıma sahiptir. Isıl işlem görmüş malzemenin fiziksel ve mekanik özellikleri, malzemenin bu kullanım alanlarındaki performansını etkilemektedir. Elastikiyet modülü (EM), eğilme direnci (ED) ve basınç direnci (BD) gibi mekanik özellikler yük taşıyıcı yapı elemanları için önemlidir. Boyutsal stabilizasyon ise sauna, banyo ve bahçe mobilyaları gibi rutubetli ortamlarda kullanılan ağaç malzeme için önemli bir faktördür. Ağaç malzemenin ısıl işleme tabi tutulması birden çok amaca yönelik olabilir. Isıl işlemle 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. Ayrıca değişik ısıl işlem uygulama prosesleri geliştirilerek meydana gelen mekanik direnç kayıplarının bir kısmı telafi edilebilmektedir.

Çalışmanın Amacı

Bu çalışmanın amacı; Doğu kayını (*Fagus orientalis* Lipsky), Sapsız meşe (*Quercus petraea* Liebl.), Sarıçam (*Pinus sylvestris* Lipsky) ve Karakavak (*Populus nigra* Lipsky) odunlarından kesme yöntemiyle elde edilen papel kaplamaların, çift bileşenli Polivinil asetat (PVAc-D4), Poliüretan esaslı Desmodur-VTKA (PU) ve Melamin formaldehit (MF) tutkalları ile lamine edilen malzemeye ısıl işlemin etkilerinin belirlenmesidir.

Çalışmanın Kapsam ve Yöntemi

Bu çalışmada belirtilen amaçlara ulaşmak için izlenen yöntemler sistematik olarak şu şekilde ifade edilebilir:

- Literatür araştırmasının yapılması**,**
- Sarıçam, sapsız meşe, Doğu kayını ve karakavak odunlarından kesme yöntemi ile elde edilmiş 2 mm kalınlığındaki papel kaplamalar temin edilerek hava kurusu hale getirilmesi,
- Hava kurusu haline getirilen papel kaplamaların, PU, D4 ve MF tutkalları ile yapıştırılarak 950x150x20 mm boyutlarında lamine levhaların üretilmesi,
- Üretilen bu levhalara 185 °C ve 212 °C'de su buharı koruması altında ısıl işlem uygulanması
- Yapılacak testlerin standartlarına uygun deney örneklerinin hazırlanması,
- Elde edilen deney örnekleri üzerinde;
  - Hava kurusu ve tam kuru yoğunluklar
  - Eğilme dirençleri,
  - Eğilmede elastikiyet modülü,
  - Yüzeye dik ve paralel kavela tutma dirençleri,
  - Yüzeye dik ve paralel vida çekme dirençleri,
  - Yüzeye paralel yapışma dirençleri,
  - Yüzeye dik yapışma dirençleri,
  - Boyutsal stabilizasyon (genişlik ve kalınlık artışı) oranları,
  - Yüzey sertlik değerleri,
  - Yanma özellikleri belirlenecektir.

  Deney sonuçlarının literetürle karşılaştırılması
- Sonuçların yorumlanması ve değerlendirilmesi
- Tartışma

2. LİTERATÜR ÖZETİ

Kayın odunundan elde edilen örneklere, 100 ve 150 ºC'de 4 saat ısıl işlem uygulandıktan sonra, poliüretan (PU) ve polivinilasetat (PVAc) tutkalının kış uygulamaları için geliştirilmiş olan pembe renkli versiyonu ile lamine edilerek eğilme, yapışma ve basınç dirençleri araştırılmıştır. Çalışma sonunda ısıl işleme bağlı olarak bu özelliklerde artışların olduğu belirlenmiştir [Altınok ve ark., 2010].

Sarıçam (*Pinus sylvestris L.*) ve kavak (*Populus tremula*) odunlarından elde edilmiş lamine ağaç malzemede, farklı katman teşekkülünün yapışma ve eğilme dirençlerine etkilerinin belirlendiği çalışmada en yüksek değerler çam örneklerde elde edilmiştir [Altınok, 2003].

Doğu kayını, sarıçam, meşe ve akasya odunlarından hazırlanan odun örnekleri 20, 40, 60 ve 80 ^{o}C'lik ortamlarda iki saat beklettikten sonra yapışma dirençleri belirlenmiş, çalışma sonunda PVAc ve UF tutkallı deney örneklerinde, sıcaklık arttıkça yapışma performansının azaldığı belirlenmiştir [Altınok, 2002].

Fenol formaldehit ve melamin formaldehit tutkalları ile lamine edilen Doğu kayının hava kurusu yoğunluğu sırasıyla 0,60 g/cm^3, 0,60 g/cm^3, sarıçam odununda ise 0,50 g/cm^3, 0,50 g/cm^3 olarak belirlenmiştir. Aynı çalışmada liflere paralel yapışma direnci 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 direnci 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 belirlenmiştir [Özçifçi, 2001].

Doğu kayını, sapsız meşe, sarıçam ve Toros sediri odunlarından PAVc-D4 tutkalı ile lamine edilen örneklerde bazı teknolojik özellikler belirlenmiş ve çalışma sonunda lamine edilen ağaç malzemelerin kendi türünü temsil eden masif ağaç malzemeden daha iyi sonuçlar verdiği belirlenmiştir [Keskin, 2001].

150 °C ve üstündeki ısıl işlem uygulamalarında ağaç malzemenin rengi değişebilmekte, biyolojik direnç ve boyutsal stabilizasyon iyileştirilebilmektedir.

Bununla beraber sıcaklık arttıkca mekanik özelliklerde kayıplar olmakta ve odunun kimyasal yapısı değişmektedir. Dezavantaj olarak değerlendirilen bu durum, ısıl işlem uygulanmış ağaç malzemenin kullanım yerini sınırlamaktadır [Aydemir ve Gündüz, 2009].

185 ve 212 °C'de ısıl işleme tabi tutulan karaçam ve dişbudak örneklerde, sıcaklıkla birlikte yoğunluğun azaldığı, hacimcel çekme, hacimsel şişme ve su geçirgenlik değerlerinde memnuniyet verici sonuçların elde edildiği ayrıca, ısıl işlemin ağaç malzemenin çarpılma-burulma özelliği üzerinde de olumlu etkisinin olduğu belirlenmiştir [Altınok ve ark., 2010 (a)]

Doğu kayını, sapsız meşe ve sarıçamdan elde edilen örnekler PVAc–D4 tutkalı ile lamine edildikten sonra, en yüksek liflere paralel yapışma direncini sapsız meşede (15,58 N/mm^2), en düşük sarıçamda (3,09 N/mm^2); liflere dik yapışma direnci en yüksek kayında (1,8567 N/mm^2) en düşük ise sarıçamda (0,9133 N/mm^2) elde edilmiştir [Altınok ve ark., 2009].

%5 boraks ilaveli polivinilsetat (PVAc), üreformaldehit (UF) ve poliüretan (PU) tutkallarının liflere paralel yapışma direnci, en yüksek üreformaldehitte (8,59 N/mm^2), en düşük ise poliüretan tutkalında (2,50 N/mm^2) tespit edilmiştir [Altınok ve ark., 2009 (a)].

Yetişme muhitinin, lamine kara kavak (*Populus nigra L.*) odununun bazı mekanik özelliklerine etkisinin araştırıldığı çalışmada, hava kurusu yoğunluk Ege bölgesinde yetişen kavakta 0,445 g/cm^3, Karadeniz bölgesinde ise 0,417 g/cm^3; eğilme direnci Ege bölgesinde 78,196 N/mm^2, Karadeniz bölgesinde ise 75,210 N/mm^2; liflere paralel basınç direnci Ege bölgesinde 35,399 N/mm^2, Karadeniz bölgesinde ise 33,924 N/mm^2; yapışma direnci Ege bölgesinde 5,79 N/mm^2, Karadeniz bölgesinde ise 6,16 N/mm^2 olarak elde edilmiştir [Altınok ve ark., 2009 (b)].

Isıl işlem uygulanmış kayın odununda mekanik özelliklerin % 5-40 oranında azaldığı, sıcaklığa bağlı olarak boyutsal stabilizasyonun arttığı ve renginin koyulaştığı belirlenmiştir [Bekhta ve Niemz, 2003].

Doğu kayını, sarıçam, sapsız meşe odunlarından hazırlanan deney örnekleri Desmodur-VTKA tutkalı ile lamine edildikten sonra, klimatize etme, soğuk suda bekletme, kaynatma ve münavebeli kaynatma işlemlerinden sonra yapışma dirençleri belirlenmiş, en yüksek sapsız meşede 24 saat soğuk suda bekletmede (11,73 N/mm^2) elde edilirken, uzun süreli münavebeli kaynatma işleminde yapışma direncinde % 50 direnç kaybı olduğu belirlenmiştir [Özçifçi ve ark., 1997].

Sarıçam ve ladin odunlarına 4 saat süreyle 220 °C' de ısıl işlem uygulandıktan sonra, 2 yıl süreyle yapılan fiziksel incelemelerde, örneklerde hiçbir çürüme veya renk degişiminin olmadığını belirlenmiştir [Edlund ve Jermer, 2004].

Avrupa ladini (*Picea abies*) ve Avrupa kayını (*Fagus sylvatica*) odunlarından hazırlanan örnekler 175 ve 195 °C'de ısıl işlem uygulandıktan sonra, örnekler doğal ve yapay dış ortam koşullarına bırakılmıştır. Isıl işlem görmüş örneklerin kontrol örneğiyle karşılaştırıldığında daha iyi performans sergilediği, ayrıca ısıl işleme bağlı olarak örneklerin boyutsal kararlılığının arttığı belirlenmiştir [Feist ve Sell, 1987].

Lamine edilen Batı kayını ve sarıçam odunları, 4 farklı ortamda bekletildikten sonra yapışma dirençleri belirlenmiş ve kayın odununun yapışma performansının daha iyi olduğu bildirilmiştir [Atar ve Özçifçi, 2005].

Çam odunundan hazırlanan deney örneklerine normal basınç altında, su buharı koruması altında 180-250 °C'de ısıl işlem uygulanmıştır. Deney sonunda ısıl işlem uygulanan çam örneklerinin eğilme direnci kontrollere göre % 14'lük bir azalma sergilemiştir [Viitaniemi, 1997].

Isıl işlem uygulama ortamının, ağaç malzemede meydana getirdiği etkilerinin belirlenmesi için yapılan çalışmada ağaç malzeme hem hem su buharı ortamında hem de hava ortamında 100-300 ºC'de ısıl işleme tabi tutulmuştur. Çalışma sonunda ısıl işlem uygulama ortamının ağaç malzemenin özellikleri üzerinde etkili olduğu en fazla hasarın ve termal bozunmanın 300 °C'de olduğu belirtilmiştir [Rozsa ve Fortes,1989].

8 saat süreyle sıcak buhar ortamında 100-160 °C arasında değişen sıcaklıklarda ısıl işlem uygulanan Avrupa göknarı (*abies alba*), Kara kavak (*populus nigra*), Avrupa kayını (*fagus sylvatica)* ve Sarıçam (*pinus sylvestris*) odunlarında ısıl işlemden sonra odunun su alma yeteneğinin ani bir şekilde değiştiği ve bağlanma açısı ortalama 90 dereceye ulaştığı, deneylerde ayrıca herhangi bir kütle kaybı olmadan önce 100-160°C'ler arası sıcaklık aralarında ıslanabilirlik değişimlerinin belirlendiği bildirilmiştir [Hakkou ve ark., 2005].

Ladin, çam, köknar, titrek kavak ve huş ağacı 200 ºC ve üzeri değişik sıcaklıklarda 3 saat ısıl işleme tabi tutulmuşlardır. Ladin odununda ısıl işleme bağlı olarak kontrol örneklerine göre kırılma modülünde % 49'luk bir düşme gerçekleşirken, elastikiyet modülünde % 14'lük bir azalma meydana gelmiştir. Çam türünde ise kırılma ve elastikiyet modüllerinde sıcaklığa bağlı olarak kırılmada % 28, % 22 ve % 26 oranlarında düşme, elastikiyet modülündeki azalma çok az gerçekleşmiştir. Köknar odununda sıcaklığa bağlı olarak kırılma modülünde değişme olmazken, elastikiyet modülünde % 25 ve % 17' lik bir artma meydana gelmiştir. Titrek kavak odununda kırılma modülünde kontrol örneklerine göre bir azalma meydana gelirken, elastikiyet modülünde % 15 'lik bir artış gözlemlenmiştir. Huş ağacında ise sıcaklığa bağlı olarak kırılma modülünde % 6, elastikiyet modülünde ise % 30 'luk bir artmanın meydana geldiği belirtilmiştir [Shi ve ark., 2007].

Radiata çamı (*Pinus radiata* D.), sarıçam (*Pinus sylvestris* L.) ve Norveç kayınına (*Picea abies* Karst) 165 ve 185 °C'de 30, 45, 60 ve 90 dakika ısıl işlem uygulanmıştır. Örnekler daha sonra geleneksel olarak tekrar 50-60 °C kurutulmuşlar ve tekrar 180 °C sıcaklıkta 6 saat etkili bir ısıl işlemin uygulanmıştır. Sonuç olarak

liflere paralel çekme direncinde düşmeler belirlenirken, liflere paralel basınç direncinde bir miktar artma olmuştur. Eğilme direnci ve yarılma direncinde de ısıl işleme bağlı olarak bir azalma meydana gelmiştir [Boonstra ve ark., 2007].

Sahil çamı (*Pinus pinaster*), ladin (*Picea sp*.), kayın (*Fagus orientalis* L.) ve kavak (*Populus nigra*) odunlarına 200-260 °C arasında ve 1-24 saat değişen sürelerde ısıl işlem uygulanmıştır. Çalışma sonunda ısıl işlemin, sert ağaçlarda daha fazla mekanik kayıplara neden olduğu, ayrıca ısıl işlemle birlikte tüm ağaç malzemelerin çürümeye karşı belli oranda direnç kazandığı belirtilmiştir [Kamdem ve ark., 2002].

Farklı atmosfer şartlarında odunun boyutsal kararlılığı ve lignoselülozik materyallerin rutubet absorpsiyonunun sınırlarını belirlemek için 180 °C'den 250 °C'ye kadar odun örneklerine ısıl işlem uygulanmıştır. Yüksek sıcaklıkta ısıl işlem gerçekleşirken rutubet absorpsiyonunun kinetiği, muamelenin uygulanmasıyla modifiye olan ahşap materyalin mekanik özelliklerinde de ciddi oranlarda düşüş gözlenmiştir. Ayrıca ağaç malzemeye uygulanan sıcaklığın 200 °C üzerine çıkmasıyla kırılma veya kopmanın daha kolay meydana geldiği bununla beraber boyutsal kararlılığın arttığı belirtilirken, önemli oranlarda kütle kayıplarının yaşandığı belirtilmiştir [Vernois, 2000].

Kayın ve sarıçam odunları 145 °C sıcaklıkta 4 saat süre ile ısıl işleme tabi tutulduktan sonra FTIR spektroskopunda analiz yapılmıştır. Sıcaklığın artmaya başlamasıyla hemiselüloz gruplarının parçalanmaya başladığı belirtilmiştir. 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 [Tjeerdsma ve Militz, 2005].

Isıl işlemin süresi ve sıcaklığı arttıkça ağaç malzemenin fiziksel ve kimyasal özelliklerinde de değişiklikler olmaktadır. Yüksek sıcaklıklarda uygulanan ısıl işlem sonucu, ağaç malzemenin su alma niteliğinde azalmalarla birlikte çürümelere karşı biyolojik dayanıklılık göstermektedir [Viitaniemi ve Jämsä, 1996].

Isıl işleme bağlı olarak ağaç malzemenin özeliklerinde meydana gelen değişiklikler; ısıl işlem metodunun farklılığına, ağaç malzemenin türüne ve karakteristik özelliklerine, başlangıç nemine, çevreleyen atmosferik şartlara, ısıl işlemin süresine ve sıcaklığına bağlıdır. Sıcaklık artışları süre artışlarına göre ağaç malzemeyi daha fazla etkilemektedir. Düşük sıcaklıklardaki ısıl işlem ağaç malzemede fazla bir değişikliğe neden olmazken, özellikle 150 °C üzerindeki sıcaklıklar ağaç malzemenin fiziksel ve kimyasal özeliklerini sürekli olarak etkilemektedir. Bununla beraber mekanik özeliklerde direnç kayıpları meydana gelmektedir [Syrjänen ve Oy, 2001; Mitchell, 1988].

Doğu kayını ve Doğu ladini odunları 130, 150, 180 ve 200 °C'de 2, 6 ve 10 saat normal atmosfer ortamında ısıl işleme maruz bırakılmışlardır. Çalışmada boyutsal kararlılık bakımından memnuniyet verici sonuçlar elde edilirken, sıcaklık ve süre arttıkça mekanik dirençlerde düşüşlerin olduğu belirtilmiştir [Yıldız, 2002].

Kayın odununa öncelikle 160, 180 ve 200 °C sıcaklıkta 4, 5 ve 6 saat sonra tekrar aynı sıcaklıklarda ısıl işlem uygulandıktan sonra su alma oranında az bir artma olmasına rağmen, şişme oranlarında bir azalma meydana gelmiştir. 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 gösterilmektedir [Mohebby ve Sanaei, 2005].

Isıl işlemle birlikte ağaç malzemede bulunan selüloz, hemiselüloz ve lignin miktarında ve yapılarında önemli değişiklikler meydana gelmektedir. Hemiselülozların düşük sıcakta degrade olması, oluşan yeni yapı üzerinde en belirleyici faktörlerden birisidir. Ayrıca bu değişimler sonunda ağaç malzemenin denge rutubet miktarının ve diğer özelliklerininde değiştiği belirtilmiştir [Hillis, 2004].

Düşük sıcaklıkta ve uzun sürelerde, duman ortamında yapılan ısıl işlem uygulamalarında denge rutubet miktarının düştüğü, yüksek sürelerde

hemiselülozların degrade olmaya başladığı, bunun sonucunda da çok az bir renk değişiminin gerçekleştiği belirtilmiştir [Ishiguri ve ark., 2005].

Farklı ısıl işlem uygulama yöntemlerinin ağaç malzeme üzerindeki etkileride farklı derecelerde olmaktadır. Ağaç malzemenin mekanik dirençleri hemen hemen tüm ısıl işlem uygulamalarında değişmekle birlikte kısmen sabit kalabilmektedir. Bu değişiklikten odun türleride sorumlu tutulmaktadır. Ağaç malzemede en fazla etkilenen şok dirençlerdir. Isıl işlemden sonra ağaç malzeme daha az higroskopik olmakta ve denge rutubet miktarı azalmaktadır. Ayrıca ağaç malzemede düşük sıcaklıktan itibaren renk değişimleri görülmeye başlar ve sıcaklık ve süre artıkça bu renk değişimleri daha koyu bir hal almaktadır [Militz, 2002].

Isıl işlem sıcaklığına ve şartlarına bağlı olarak meydana gelen direnç kayıpları, ısıl işlem görmüş olan ahşap malzemenin ahşap yapılarda, yük kaldırma özelliği olan yapılarda ve direnç özelliği istenen uygulama yerlerinde kullanılmasını kısıtlayabilmektedir. Fakat uygun ısıl işlem metotları ve şartları kullanılarak odunun direncindeki kayıplar en iyi şekilde engellenebilirse bazı kullanım yerleri olabilmektedir [Winandy, 1996].

Ağaç malzemeye yüksek ve düşük sıcaklıkta ısıl işlem uygulandıktan sonra deney ve kontrol örnekleri üzerinde sertlik deneyi, yarılma direnci, makaslama direnci, su alma deneyleri gerçekleştirilmiştir. Sonuç olarak ısıl işleme bağlı olarak makaslama direncinde, su alma ve denge rutubet değerlerinde düşmeler olduğu belirtilmiştir. Ayrıca su alma oranları yüksek sıcaklıklarda, düşük sıcaklıklarda yapılan muamelelere göre %3–4 oranın da daha az olduğu ve histeresin yüksek sıcaklıkta kurutulan örneklere göre daha fazla olduğu vurgulanmıştır [Persson, 1995].

Yüksek sıcaklıkta bir vakum sistemi içerisinde ısıl işleme tabi tutulan ağaç malzemede, suda çözünmeyen polimerlerin oluşumunu sağlayan hemiselülozların parçalanmasına ve lignin kayıplarına sebep olmuştur. Isıl işlem süresince odunun kararlılığı artmasına rağmen, direncinde belirli oranlarda kayıplar yaşanmaktadır. Isıl işlem uygulamasında, ağaç malzemede boyutsal stabilizasyon, ısıtma süresi ve

sıcaklığa bağlı olarak değişmektedir. Isıl işlem uygulanmış ağaç malzemede şişme ve daralmanın % 40 oranında azaldığı, yüzey pürüzlülüğünün değiştiği ve arabinozun direnci düşürdüğü belirlenmiştir. Isıl işlem görmüş ağaç malzemelerin sıcaklığa bağlı olarak higroskopluğunda önemli sayılabilecek derecelerde azalmaların yaşandığı buna bağlı olarak çürümeye karşı yeteri kadar korunmanın sağlandığı belirtilmiştir [Rowell ve Konkol, 1987].

Ladin (*Picea abies* L.), İskoç çamı (*Pinus sylvestris* L.) ve Radiata Çamına (*Pinus radiata* D.) 165–185 °C arasındaki sıcaklıklarda ısıl işlem uygulanmış ve ağaç malzeme bünyesinde meydana gelen değişimlerde rutubetin, asetil gruplarının parçalanmasıyla asetik asit oluşumunda önemli bir rolünün varlığı belirlenmiştir. Ayrıca rutubet, karbonhidratların parçalanmasında kataliz görevi yaptığı belirlenmiştir. Karbonhidratların parçalanmaya başlamasıyla odunun lignin içeriğinde bir artışın olduğu ve lignin artışındaki nedenlerinden birinin de karbonhidrat parçalanmasıyla paralel gerçeklesen kondenizasyon reaksiyonlarının katkısı olduğu vurgulanmıştır. Bu oluşan polikondenizasyon, lignin matriksinde çapraz bağlanma oluşumuna sebep olmaktadır. UV analizleri bu reaksiyonların, diğer aromatik yapılar ve furfural ve metil furfural arasında da gerçekleştiğini göstermiştir. Ayrıca ağaç malzemelerde sorpsiyon değişimleri ligninde çapraz bağlanmadan dolayı azaldığı belirtilmiştir [Boonstra ve Tjeerdsma, 2006].

3. GENEL BİLGİLER

3.1. Çalışmada Kullanılan Ağaç Malzemeler

Bu çalışmada ağaçişleri ve mobilya endüstrisinde yaygın olarak kullanılan iğne yapraklı ağaçlardan sarıçam (*Pinus sylvetsris* Lipsky) ve geniş yapraklı ağaçlardan sapsız meşe (*Quercus petreae* Liebl.), Doğu kayını (*Fagus Orientalis* Lipsky) ve karakavak (*Populus nigra* Lipsky.) odunlarından kesme yöntemiyle elde edilmiş papel kaplamalar kullanılmıştır. Ağaç malzemelere ait bilgiler aşağıda verilmiştir.

3.1.1. Sarıçam (*Pinus sylvetsris* Lipsky)

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 bazı fiziksel ve mekanik özellikleri Çizelge 3.1'de verilmiştir.

Çizelge 3.1. Sarıçam odununun bazı fiziksel ve mekanik özellikleri [Bozkurt, 2000]

Yoğunluk	Do	0,49	gr/cm^3
	D_{12}	0,52	gr/cm^3
Daralma Yüzdesi	βr	4,0	**%**
	βt	7,7	**%**
	βv	12,1	**%**
Elastikiyet Modülü	E-Mod	11,700	N/mm^2
Eğilme Direnci	σ***e***	98	N/mm^2
Çekme Direnci	σç//	102	N/mm^2
Basınç Direnci	σ_b//	54	N/mm^2
Dinamik Eğilme Direnci	a	0,39	kN/cm

Kolay kurutulur, çatlamaya ve dönüklüğe eğilimi azdır, iyi işlenir ve yapıştırılır. Yüzey işlemlerinde reçine sızıntısı nedeniyle güçlük çıkar. Zor 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].

Yıllık halka sıraları belirgin olup yaz odunu traheidleri radyal yönde çok yassılaşmış, kalın çeperli, dar lümenlidir. İlkbahar odununda traheidler geniş lümenli ve ince çeperlidir. İlkbahar odunundan yaz odununa geçiş oldukça hızlıdır. İlkbahar odunu traheidlerinin radyal çeperlerinde kenarlı geçitler büyük ve tek sıralıdır [Bozkurt ve Erdin, 2000].

Dar yıllık halkalı malzemeden doğramacılıkta, daha geniş yıllık halkalı malzemeden ise binaların karkas kısmında, toprak ve su tahkimatında, kaplama levha olarak ve kontrplakta, mobilyacılıkta, maden direği, tel direği, travers, lif ve yonga levha ile kağıt endüstrisinde kullanılmaktadır [Bozkurt ve Erdin, 2000].

3.1.2. Sapsız meşe (*Quercus petreae* Liebl.)

Diri odunları dar, sarımsı beyaz renkte, öz odunları sarımsı kahve renklidir. Yıllık halka sınırları belirli, ilkbahar odununda büyük traheler birkaç sıra halinde, gözenekli bir halka teşkil ederler. Yaz odunu daha koyu renktedir. İletim dokuları radyal kesitte ve teğet kesitte çizikler halinde görülür. Enine kesitte merkezden çevreye doğru uzanan öz ışınları, biçilmiş parça yüzeyinde parlak aynalar halinde görülür. Yaz odunu traheleri, ilkbahar odunu trahelerini hemen takip etmeyip bir boşluk bulunur. Yaz odunu traheleri aynı irilikte olup, radyal yönde daha geniş, açık renkli şeritler teşkil eder [Bozkurt ve Erdin, 2000].

İşlenme özellikleri yıllık halka genişliğine bağlı olarak değişir. Aletler keskin olmalıdır. Çivileme güç ve ön delme işlemine gerek vardır. Yapıştırılması iyidir, ancak alkali tutkallarda lekelenme meydana gelebilir. Renklendirilebilir. Yüzeyler doldurulduktan sonra iyi cila kabul eder. Metallerle temasta mavi renk oluşur. Kurutmanın ilk safhalarında çok yavaş bir program uygulanmalıdır. Çatlamaya ve yarılmaya eğilimi nedeniyle çok yavaş kurutulur. Açık havada kurutmada ince istif lataları kullanılmalı ve enine kesitlerin korunması için önlem alınmalıdır. Fırında

kurutmada, hızlı kurutma söz konusu olduğundan İç çatlakları ve çarpılmalar görülebilir. Kullanım yerinde stabilitesi orta derecededir [Bozkurt ve Erdin, 2000].

Sapsız meşe odununun fiziksel ve mekanik özellikleri Çizelge 3.2'de verilmiştir.

Çizelge 3.2. Sapsız meşe odununun fiziksel ve mekanik özellikleri [Bozkurt ve Erdin, 2000]

Yoğunluk	Do	0,67	gr/cm^3
	D_{12}	0,69	gr/cm^3
Daralma Yüzdesi	βr	5,08	**%**
	βt	9,18	**%**
	βv	14,51	**%**
Elastikiyet Modülü	E-Mod	11300	N/mm^2
Eğilme Direnci	σ_e	118	N/mm^2
Çekme Direnci	σç//	88	N/mm^2
Basınç Direnci	σ_b//	60	N/mm^2
Dinamik Eğilme Direnci	a	0,68	kN/cm

Trahelerin tüllerle tıkalı olması sıvıların geçmesini engellediği için konyak, şarap ve bira fıçılarının yapımında ideal bir malzemedir. Masif olarak mobilya, küçük gemi yapımında, doklarda, limanlarda, su içi inşaatlarda, vagon yapımında ve toprakla temas eden her çeşit kullanım yerinde değerlendirilir. Yüksek kalite marangozluk işlerinde, oymacılık, parke, karoser yapımı ve kesme kaplama levhaları olarak mobilya ile lambrilerde kullanılır [Bozkurt ve Erdin, 2000].

3.1.3. Doğu kayını *(Fagus Orientalis* Lipsky*)*

Doğu kayını, genel görünüşü bakımından kardeş tür olan Avrupa kayını'na çok benzer. Hatta bazı botanikçiler tarafından onun bir formu olarak kabul edilmektedir. 30–40 m ye kadar boy, 1 m ye kadar çap yapabilen Doğu kayını, dolgun ve düzgün gövdeli I. sınıf orman ağaçlarımızdandır [Hafızoğlu ve ark., 1994].

Kabuğu açık kül renginde olup, ince ve düzgün yapıdadır. Genç sürgünler kırmızımsı kahverengi renktedir. Yapraklar elips veya ters yumurta biçiminde olup, kenarları

tam veya hafif dalgalıdır. Yaprak uçları, sivri uzun veya kısa olup, körpe iken kenarları kirpiklidir [Hafızoğlu ve ark., 1994].

Doğu kayını odununun, doğal görünümü kırmızımsı beyazdır. Doğu kayını odunu, dağınık küçük traheli olup, küçük traheler bütün yıllık halka içerisinde dağınık durumda, özışınları kalın ve çok belirgin, radyal kesitte iri özışını levhaları, teğet kesitte iki ucu sivri iğ öz çizgileri bulunmaktadır. Traheler küçük olduğu için çıplak gözle görülememektedir. Enine kesitte, yıllık halkanın her tarafına dağılmış durumda ve yaz odununa gidildikçe sayı ve çapları yavaş yavaş azalmaktadır. Kalın ve parlak özışınları göze çarpıcı, aralarında düzenli olmak üzere 0,5–1 mm lik aralıklar bulunur. Yıllık halka sınırları belirgin ve yaz odunu ilkbahar odununa göre daha koyu renktedir. İki kalın öz ışını arasında yıllık halka biraz dışarıya doğru çıkık ve bombelidir [Hafızoğlu ve ark., 1994].

Radyal kesitte özışını levhaları parlak koyu renkte ve yüzeyin yaklaşık olarak 1/10 unu kaplamaktadır [Yaltırık, 1988]. Doğu kayını odununun fiziksel ve mekanik özellikleri Çizelge 3.3'te verilmiştir.

Çizelge 3.3. Doğu kayını odununun fiziksel ve mekanik özellikleri [Malkoçoğlu, 1994]

Yoğunluk	Do	0,68	gr/cm3
	D12	0,72	gr/cm3
Daralma Yüzdesi	βr	4,95	%
	βt	11,04	%
	βv	16,21	%
Elastikiyet Modülü	E-Mod	13082,2	N/mm^2
Eğilme Direnci	σ***e***	112,3	N/mm^2
Çekme Direnci	σç//	131,6	N/mm^2
Basınç Direnci	σ_b//	57,2	N/mm^2
Dinamik Eğilme Direnci	a	0,95	kN/cm

3.1.4. Karakavak (*Populus nigra* Lipsky)

Karakavak (*Populus nigra* Lipsky) ülkemizin ormanca fakir bölgelerinde odun hammaddesi gereksinimini karşılamaktadır. Karakavak odunu büyük ölçüde inşaat

sektöründe yük taşıyıcı malzeme olarak kullanılmaktadır. İnşaat sektöründeki yeri ikinci sınıftır. Yumuşak olduğundan dolayı kolay biçilir. Kavak odunu taze kesildiği zaman genellikle açık renklidir. Kavak türlerine göre diri odun renkleri değişkendir. Kavak odunun kurutulmaya başlanması ile renginde daha da açıklık meydana gelmektedir. Kavak odunu ince tekstürlü ve düzgün liflidir. Yıllık halkalarında ilkbahar ve yaz odunu belirsiz olmasına karşın, enine kesitte yıllık halkalar kolaylıkla seçilebilir. Boyuna kesitte yıllık halkaların kolaylıkla seçilebilmesi mümkün değildir [Anonim, 1994].

Kavak odununun liflere paralel basınç direnci, 25-48 N/mm^2, eğilme direnci 50-80 N/mm^2 arasında değişmektedir. Yapılan bir çalışmada kavak türlerinden I-214 klonunun özgül ağırlığı 0,332 gr/cm^3, ortalama basınç direnci 29,3 N/mm^2, statik eğilme direnci ortalama 52,9 N/mm^2 olarak bulunmuştur [Sertmehmetoğlu, 1967]. Bazı kavak türlerine ait fiziksel ve mekaniksel özellikler Çizelge 3.4'te verilmiştir.

Çizelge 3.4. Bazı kavak türlerine ait mekanik ve fiziksel özellikler [Acar,1973; Odabaşı ve Acar,1975; Tunçtaner ve ark.1994]

Tür ve klon	Özgül ağırlık gr/cm^3	Basınç direnci N/mm^2	Eğilme direnci N/mm^2	Şok direnci N/mm^2	Yarılma direnci N/mm^2	Sertlik Değeri (E)	Sertlik Değeri (R)	Sertlik Değeri (T)
77/51	0,397	33,3	65,15	16,3	0,43	38,5	23,8	20,6
S.177-3	0,374	30,1	52,23	17,0	0,36	34,8	19,4	17,0
45/51	0,394	29,3	51,58	22,3	0,44	33,5	19,6	17,2
I-214	0,376	27,3	50,25	24,7	0,37	32,9	17,9	16,4
P.nigra	0,397	41,5	69,00	49,0	-	-	-	-
P.euphratica	0,480	40,9	73,30	62,0	0,28	-	-	-

3.2. Laminasyon Tekniği

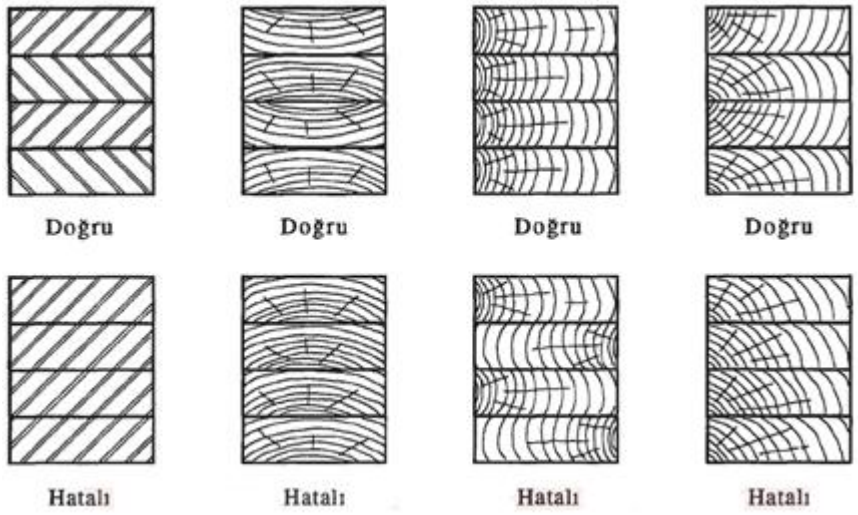
Ağaç işleri endüstrisinde her geçen gün daha yaygın kullanım alanı bulan lamine ağaç malzeme, TS EN 386'a göre; odun lamellerin özellikle lifleri paralel olarak birbirine yapıştırılmasıyla elde edilen yapı elemanı olarak tanımlanmaktadır. Laminasyon tekniğinde; farklı ağaç türü, değişen kat adedi, farklı boyut, şekil ve kat kalınlıkları uygulanabilmektedir.

Lamine ahşap elemanlar 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 lamine edilmiş kaplama ahşap elemanlar (LVL = Laminated Veneer Lumber) ya da MICROLAM olarak adlandırılmaktadır [Stevens ve Turner, 1970].

3.2.1. Laminasyonda katların düzenlenmesi

Lamine edilmiş masif ağaç malzemede biçim değişmeleri oluşmaması için lamine katlarının düzenlenmesinde, yıllık halkalann konumuna dikkat etmek gerekmektedir. Bunun sebebi ağaç malzemenin yıllık halkalara teğet ve radyal yönlerde farklı çalışmasıdır. Ağaç türlerine göre daralma miktarları, yıllık halkalara teğet yönde %3,5-15, radyal yönde %2,4-11, liflere paralel yönde %0,1-0,9 arasında değişir [Bozkurt ve Göker, 1987].

Lamine katlarının düzenlenmesinde farklı çalışma sonucu ortaya çıkan gerilmeleri dengeleyecek kat düzenlemesi yapılmalıdır. Aksi takdirde düzeltilemeyen biçim değişmeleri meydana gelebilir. Bu maksatla yapılacak kat düzenlemesi Şekil 3.1'de gösterilmiştir.



Şekil 3.1. Laminasyonda katların düzenlenmesi [Zorlu, 1995; Spannagel, 1974]

3.2.2. Laminasyonun yararları

- Masif ağaç malzemeden üretilecek yapı malzemelerinin boyutları sınırlıdır. Oysa laminasyon sistemi ile daha büyük boyutlu ürünlerde elde etmek mümkündür.
- Gerek mimaride gerekse iç dekorasyonda istenilen stilde de ve sınırsız formlarda çalışma imkanı sağlamaktadır.
- Yapısal elemanların tasarımında, yüke bağlı olarak kesit alanında farklılık yapmak mümkündür. Örneğin; kavisli elemanlarda yükün geldiği yerde (kritik kesitte) daha büyük boyut uygulanabilmektedir.
- En ve boy birleştirme yüklerinin uygulanması ile çok küçük boyutlardaki (minimum 20 cm) ağaç malzemenin kullanımına imkan sağladığından, zayiat oranı azaltmaktadır. Ayrıca masif malzeme, bünyesindeki kusurlarından (budak, çatlak, kurt yeniği, lif kıvrıklığı, çürüklük, reaksiyon odunu, sulama vb.) arındırılarak değerlendirilebilir.
- Aynı ahşap lamine eleman üzerinde çeşitli katlarda farklı kalınlık ve renkte ağaç malzemenin kullanımına imkan sağladığından daha fazla estetik oluşum temin edilebilir.

- Tabakalı ağaç malzeme aynı cins masif ağaç malzemeye göre daha az çalışmaktadır. (Şişme-Daralma). Buna neden olarak laminasyonda ağaç malzemenin katları arasında kullanılan tutkal su itici özelliği gösterilebilir. Bunun sonucu tabakalı ağaç malzeme, aynı cins masif malzemeye nazaran boyutsal bakımdan daha stabildir.
- Geniş ve tek açıklıklı yapılarda kubbe, piramit, tonoz vb. geometrik strüktür oluşturulmasına imkan sağlamaktadır.
- Kolon, kiriş, kemer, makas ve aşık gibi parçalar üretilebilmekte, birleşmeleri için gerekli tüm detaylar ve metal aksesuarlar fabrikada tamamlana-bilmektedir [Atmaca, 2005].

3.2.3. Laminasyonun sakıncaları

- Ahşabın tutkallanmaya hazırlanması ve tutkallanması, son ürün üzerinde ek bir işçilik maliyeti getirmektedir. Fakat aynı boyutlardaki yekpare bir ağaç malzemeye göre bu kabul edilebilir bir durumdur.
- Tabakalı ağaç malzemenin direnci, en-boy birleştirmede ve yapıştırmada kullanılan tutkalın kalitesine de bağlıdır. Yüksek dayanımlı tutkalların fiyatlarının fazla olması da ek bir maliyet getirmektedir.
- Tabakalı ağaç malzeme üretimi için, fabrika binasının özel planda yapılması, özel ekipmanlar getirmesi ve kalifiye işçiye olan ihtiyacın fazla olması da dezavantaj olmaktadır.
- Yüksek kaliteli tabakalı ağaç malzemenin üretilmesi imalatın bütün aşamalarında yapılan işlemlerin özenle ve dikkatli bir şekilde yapılmasıyla mümkün olmaktadır.
- Büyük boyutlu kavisli taşıyıcı elemanların nakliye sırasında büyük güçlüklerle karşılaşılmaktadır.
- Lamine edilecek ağaç malzemenin belirli sonuç rutubete kadar kurutulması gerektiğinden kurutma tesisi ve ek bir işçilik maliyeti gerektirmektedir [Atmaca, 2005].

3.2.4. Laminasyonda asgari üretim şartları

TS EN 386'ya göre, 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, birbirini takip eden katlarda üst üste gelmemeli ve mümkün olduğunca şaşırtmalı olarak düzenlenmelidir. DIN 1052 ve DIN 68140 'a göre; birbirini takip eden katlarda iki birleşme arasındaki uzaklık >300 mm olmalıdır. Lamine elamanı oluşturan katlar arasında rutubet farkı %4'den fazla olmamalıdır.

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].

3.2.5. Laminasyonda ağaç malzeme seçimi

Lamine masif ağaç malzeme üretiminde kullanılacak ağaç malzemenin seçiminde dikkat edilmesi gereken hususlar şunlardır:

- Tanenli ve reçineli odun, tutkalın yapışma gücünü azaltacağından üretilen lamine malzemenin mekanik özelliklerini olumsuz etkilemektedir.
- Laminasyon için seçilen ağaç türünün hafif olması istenir. Taşıyıcı ahşap elemanlar kiriş, kolon vb.) büyük boyutlu olduğundan TS 3842'ye göre bu maksatla; karaçam, sarıçam, göknar ve ladin odunlarının kullanılması önerilmektedir.
- Üretimin aksamaması için seçilen ağaç türü, bol ve kolayca temin edilebilmelidir.
- Kavisli lamine ağaç malzeme üretimi için bükülebilme özelliği iyi olan ağaç türleri tercih edilmelidir.

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, 1963].

Lamine ağaç malzemenin direnci büyük ölçüde ağaç malzemenin elde edildiği odunun özelliklerine bağlıdır. Bünyesinde değişik kusurlar (lif kıvrıklığı, çatlak, budak, mantarlaşma vb.) içeren odun lâmine ağaç malzemenin direnç özelliklerini olumsuz yönde etkiler. Bu nedenle ağaç malzeme, kusurlarından arındırıldıktan sonra lâmine ağaç malzeme üretiminde kullanılmaktadır.

Odunda, irsel ve ekolojik etkenlerin neden olduğu lif kıvrıklığı, lamine ağaç malzemenin direnç değerlerini önemli ölçüde azaltır. Basınç yüküne maruz kalan kolonlarda, lif açısının uygulanan kuvvet yönünden sapma derecesi arttıkça direnci azalmaktadır. Lif açısının 45° lik açıya kadar artması ile eğilme direncinde kuvvetli bir düşüş görülmektedir [Berkel, 1970].

Lamine masif ağaç malzeme bünyesinde bulunan budak çapı arttıkça direnci azalmaktadır. Nokta ve küçük budaklar bazen estetik olarak kabul edilseler de teknik yönden kusur sayılmaktadır. Budaklar, ağaç malzemedeki bulunma yerine, büyüklüğüne ve lâmine elemanın maruz kaldığı yük tipine göre önemli derecede direnç azalmasına neden olurlar. 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 geçemez.

Reaksiyon odunu oluşumları lamine ağaç malzeme özelliklerini olumsuz etkilemektedir. Basınç odunu normal odundan daha ağır olup eğilme ve şok direnci düşüktür. Kurutulması sırasında kolaylıkla çarpılır ve çatlar. Çekme odunu pürüzlü ve tiftikli yüzey oluşmasına sebep olur. Çivilenmesi güç olup işlenmesi zordur. Üst yüzey işlemleri uygulanmasında problemlidir. Kurutulması sırasında sonradan düzeltilmesi mümkün olmayan hücre çökmeleri (kollaps) oluşmasına sebep olur [Bozkurt, ve ark., 2000].

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.

Lamine elemanların üretiminde kullanılan ağaç malzemenin öz içermesi direnç azalmasına neden olmaktadır. Özün hücre yapısı çevresindeki odundan önemli derecede farklı olduğundan, çalışma miktarı çevresindeki odun ile uyumlu değildir. Bu durum sakıncalı iç gerilmelere neden olduğu gibi yapışma direncini azaltıcı etki yapmaktadır.

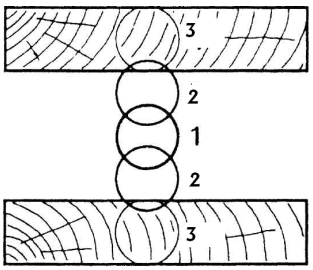
Mantarlar, ağaç malzemede renk değişikliğine ve çürümelere neden olmaktadır. Mantarların meydana getirdiği en önemli renk değişimi iğne yapraklı ağaçlarda görülen mavi renk oluşumudur. Taze kesilmiş ağaç sıcak ve rutubetli ortamda kaldığında ve tomruktan elde edilen keresteler arasına lata konulmadan istif edildiğinde, diri odun kısmında odunun derinliklerine nüfuz eden mavileşme meydana gelmektedir. Mavileşme, şok direncini %25'e varan oranda azaltmakta, diğer mekanik özelliklerde ise önemli bir değişmeye neden olmamaktadır [Bozkurt, ve ark., 2000].

Mantarlar hem dikili ağaçta hem de tomruk ve kereste hâline getirilen ağaç malzemede çürüklüğe neden olabilmektedir. Dikili ağaçlarda, mantarlaşma genelde özde meydana gelmekte, diri odunda ise çürüklüğün ileri aşamalarında görülmektedir. Bunun nedeni, yaşlanmış özde bulunan ekstraktif maddelerin koruyucu özelliğinin azalması ve diri odunun öz odundan daha fazla oranda su içermesidir.

3.3. Yapışma Teorisi

Yapışma; cisimlerin kendi atom ve molekülleri arasındaki çekim gücü (kohezyon) ve birbirine tamamen çakışmış yüzeyde iki ayrı cisim molekülerinin karşılıklı olarak

birbirlerini çekim gücü (adezyon) ile bağlanmasıdır [Altınok, 1995]. Tutkallar, iki malzemeyi birbirine yapıştırmada kullanılan sıvı kıvamda metalik olmayan maddelerdir. Sertleşmiş bir tutkal katmanı herbiri birleştirmenin performansında önemli rol oynayan, 3 farklı halkadan meydana gelmektedir (Şekil 3.2).



Şekil 3.2. Yapıştırıcı katmanın yapısı [Şenay, 1996]

I. halka, yapıştırılacak ağaç malzemelerden bağımsız olup yapıştırıcı filmini gösterir. Bu halkanın mukavemeti, tamamiyle yapıştırıcının yapısal özelliklerine bağlı olup, kohezyon kuvveti ile açıklanmaktadır. Bütün maddeler gibi, yapıştırıcılar da gerek sıvı, gerek katı durumda olsun, kendi molekülleri arasında elektromanyetik kurallara bağlı olarak belli bir çekim kuvvetine sahiptir. Katı ve sıvı maddelerin kendi molekülleri arasındaki bu çekim kuvvetine kohezyon kuvveti denir. Kohezyon kuvveti, bir anlamda malzemenin mekanik özelliklerini belirler. Kohezyon kuvvetinin büyüklüğü ise yapıştırıcının kimyasal yapısına bağlı olup ortalama %30'dan fazla dolgu maddesi kullanılması kohezyon kuvvetini olumsuz yönde etkiler. Tutkal katmanında hapsedilen hava veya buhar miktarı da, bu halkanın mukavemetini önemli miktarda etkilemektedir [Şenay, 1996].

Tutkal çözeltisinin hazırlanması ve yüzeye sürülmesi sırasında, yani sıvı halde iken moleküllerle beraber hareketli olan kohezyon kuvveti, yapıştırıcının sertleşmesinden sonra sabitleşir. Yapıştırıcılardan beklenen başarının sağlanabilmesi için üretimlerinde kullanılan yüksek moleküllü maddelerdeki kohezyon kuvvetleri, diğer maddelerden daha büyük olmalıdır.

Yeterli miktarda yapıştırıcı kullanılmayan birleştirmelerde, I. halka kısmen ya da tamamen yoktur. II. halka, yapıştırıcı ve birleşimi yapılacak ağaç malzeme yüzeyleri arasında oluşturulması gereken bağı göstermektedir. Birbirine temas eden iki maddenin molekülleri arasındaki atomik çekim kuvvetine adhezyon kuvveti denir. Yapışma işleminde mekanik adhezyon ve spesifik adhezyon olmak üzere iki adhezyon kuvveti etkilidir. Akışkanlığa bağlı olarak, yapıştırıcının ağaç malzeme içerisine nüfuz edip sertleşmesiyle oluşan bağ sonucu elektrostatik kurallara bağlı atomik çekim kuvvetine spesifik adhezyon denilmektedir. Asıl yapışmayı gerçekleştiren ve yeterli direnci sağlayan spesifik adhezyondur. III. halkalar, yapıştırılacak ağaç malzemenin özelliğine bağlı olarak gelişir. Yapıştırılacak ağaç malzemenin kendi molekülleri arasında oluşan bağ, yani moleküler çekim kuvveti toplamı kohezyondur.

Yapıştırıcı sürülmüş karşılıklı iki yüzeye basınç uygulandığında, tutkal girinti ve çıkıntılara doğru kendiliğinden dağılır. Tutkal her iki ağaç malzeme yüzeyine hemen hemen aynı anda transfer olur. Akış ve transfer aşamalarını tutkalın ağaç malzeme gözeneklerine nüfuz etmesi izler, nüfuz etme işlemi akışkanlık ve transfer sona erinceye kadar devam eder. Kısaca yapıştırıcı yüzeye sürüldükten ve diğer kuru yüzey ile birbirlerine kapatıldıktan sonra yapışma;

- Tutkal katmanının sürüldüğü ahşap yüzeyinden diğer kuru yüzeye transferi,
- Tutkalın her iki yüzeyi ıslatması
- Tutkalın yüzeyler ile kuvvetli mekanik ve spesifik (kimyasal) bağlar kurması

şeklinde gerçekleşir [Altınok, 1995].

3.3.1. Tutkal çeşitleri ve kullanım alanları

Ağaç işleri endüstrisinde en çok kullanılan tutkal çeşitleri ve kullanım alanları Çizelge 3.5'te verilmiştir.

Çizelge 3.5. Tutkal çeşitleri ve kullanım alanları [Trada, 1992]

Tutkal Çeşidi	Sembol	Kullanım Alanları	Kullanım yerleri
Epoksi	E	Ahşap ile metal, cam, seramik, duroplastik vb, birleştirmeler	Yarı açık ve rutubetli iç mekanlarda, direnç gerektiren yerlerde
Poliüretan	PU	Laminasyon ve tüm ahşap birleştirmeler	
Melamin Formaldehid	MF	Kontrplak, yonga levha ve kavisli elemanlar	
Melamin Üre Formaldehid	MÜF	Laminasyon, yonga levha ve kontrplâk ve ahşap birleştirmeler	
Resorsi Formaldehid	RF	Laminasyon, kamadişli birleştirme ve tüm ahşap birleştirmeler	Tamamen açıkta, yüksek direnç gerektiren yerlerde
Fenol - Resorsin Formaldehid	FRF	Laminasyon, kama dişli birleştirme, kayık yapımı ve tüm ahşap birleştirmeler	
Fenol Formaldehid	FF	Kontrplak ve bazı yongalevhalar	
Üre Formaldehid	UF	Kontrplak, yonga levhalar, MDF ve panel yüzeyler	İç mekanlarda, direnç gerektiren yerlerde
Kazein	K	Laminasyon ve ahşap birleştirmeler	
Polivinilasetat	PVAc	Ahşap birleştirmeler ve küçük boyutlu tutkallamalar	İç mekanlarda, yüksek direnç gerektirmeyen yerlerde
Kauçuk Esaslı	KE	Kısmi tutkallama, çivi ve tutkallı birleştirme	

Ağaç işleri endüstrisinde kullanılan tutkallar, TS 5430'da direnç özelliklerine göre sınıflandırılmıştır (Çizelge 3.6).

Çizelge 3.6. Ağaç işleri endüstrisinde kullanılan tutkalların direnç özelliklerine göre sınıflandırılması [TS 5430]

SINIFLAR	DİRENÇ İLKELERİ
A	Sıcaklık ve hava rutubetiyle temas halinde olmayan, genellikle düşük rutubetli kapalı yerlerdeki şartlara dayanıklı olup, kuru ortamdaki oda kapılarında ve mobilyalarda kullanılır.
B	Mutfak ve banyo gibi kısa süreli yüksek rutubet ve zaman zaman su etkilerine maruz kalan kapalı yerlerdeki hava şartlarına karşı dayanıklıdır.
C	Pencere, dış kapı ve dış merdiven gibi zaman zaman yüksek rutubet ve kısa süreli su tesirlerine maruz kalan ortamlardaki şartlara dayanıklıdır.
D	Banyo ve duş kabinleri gibi ekstrem klima değişiklikleri ve su etkilerine maruz kalan kapalı ortam şartlarıyla; dış pencere, dış kapı gibi ekstrem klima şartlarına sahip olan açık hava ortamındaki kullanımlara dayanıklıdır.

D sınıfı tutkallar dayanıklılıklarına göre; D1,D2, D3 veD4 olarak gruplandırılır [BS EN 204]. Bu tutkalların kullanım alanları ise;

D1: Sıcaklığın 50°C civarında, rutubetin maksimum %15 olduğu iç mekanlarda

D2: Akan veya yoğunlaşan suya kısa aralıklarla maruz kalan iç mekanlarda

D3: Kısa aralıklarla akan yada yoğunlaşan suya veya rutubete maruz kalan iç mekanlarda
D4: Sık sık, uzun süre ile akan ya da yoğunlaşan suya maruz kalan iç ve dış mekanlarda.

Ağaçişleri endüstrisinde kullanılan bazı tutkalların teknik özellikleri Çizelge 3.7'de verilmiştir.

Çizelge 3.7. Bazı tutkalların teknik özellikleri [Forest Product Lab., 1974]

Genel Özellikler	**PVA**	**Poliüretan**	**Epoxy**	**Üre Formaldehit**	**Melamin Formaldehit**	**Resorsin Formaldehit**	**Fenol Formaldehit**
Ticari şekli	sıvı	Sıvı-katı	Sıvı-macun	Sıvı-toz	Sıvı-toz	sıvı	Sıvı-toz
Depolama süresi-ay	6-12	6-9	12	3(sıvı)	6(sıvı)	3	2-4
Renk	renksiz	koyu kahve	renksiz	renksiz	renksiz	koyu kahve	kahve
Sağlığa etkisi	yok	60^{o} C< etkili	tehlikeli	Deride tahriş	Deride tahriş	Deri ve solunum y.	Deri ve solunum y.
Teknik Özellikleri							
Ağaç rutubeti %	5-12	max 10	6-12	4-12	4-12	8-14	3-8
Kuru madde %	40-60	20-90		50-70	40-70	45-60	40-50
Kullanım miktarı gr/m^2	150-200	200-250	150-200	100-200	100-150	200-300	100-150
Montaj zamanı (saat)	5-15	30-60	30-240	10-15	<24	10-40	40-50
Presleme süresi (soğuk) saat	1,5-2		12-18		<8	10	
Presleme süresi (sıcak) dk	3-7		30	1,5+0,5/mm	4+1/mm		3+1,2/mm
Basınç (kgf/cm^2)		3-8	2-12	6-18	5-20	2-10	12-20
Sıcaklık (^{o}C)	20-80	10-60	20-280	110-140	90-140	20-80	120-180
Tutkal katının özellikleri							
Su dayanımı	3	1	1	2-3	1	1	1
Sıcaklık dayanımı	3	3	2	2	2	1	1
Mikroorganizma dayanımı	1	1	1	1	1	1	1
Organik solvent dayanımı	2	1	1	1	1	1	1
Asidite (pH)	5-7			6-8	3-6	11-12	10-13
Renk hataları	yok	yok	yok	az	yok	bazen	bazen
Bıçakları körletme	az	az	Çok fazla	normal	az	fazla	fazla

Suya dayanımı:1-Kaynar suya dayanıklı, 2-Suya dayanıklı, 3-Rutubete dayanıklı
Sıcak mikro organizma ve organik solventlere: 1-Ekstra, 2-İyi, 3-Orta

3.3.2. Tutkallı birleştirmelerde yapışma direnci

Tutkallı birleştirmelerin performansı üzerinde, tutkalın özellikleri yanında, yapıştırılan malzemenin yapısı, tutkal bileşimi, tutkal tabakasının nitelikleri etkili olmaktadır. Tutkallı birleştirmelerin başarısını etkileyen tutkal özelliklerinden katı madde oranı, viskozite, kül miktarı ve pH önemli sayılırken, birleştirmelerin performansını değerlendirmek için standartlara uygun test metotları kullanılır [Tank, 1995].

Ağaç malzemede yapışma direncini etkileyen faktörler

Ağaç malzemede yapışma direncini; odun yapısı, yüzey düzgünlüğü ve yapısı, pres basıncı, pres süresi ve kullanılan tutkal özellikleri etkilemektedir.

Odun yapısı: Dağınık traheli ağaç odunları, halkalı traheli ağaç odunlarından farklı yapışma özellikleri göstermektedir. İlkbahar ve yaz odunlarının yıllık halka içindeki katılım oranı (tekstür) ile diri ve öz odun miktarı tutkal hattı dayanımında etkilidir. Diğer taraftan tutkallanma diri odun ve ilkbahar odununda genellikle daha kolay, odun yoğunluğu arttıkça daha zor olmaktadır [Chung, 1968].

Yüzey yapısı ve düzgünlüğü: Tutkal sürülecek yüzeylerde makine izleri, ezilme, yanma, dalgalı yüzey vb. işleme kusurları olmamalıdır. Ayrıca tutkallama yüzeyinde bulunan yan bileşiklerin çeşidi ve miktarı ile toz ve yağ gibi artıklar yapışmayı olumsuz etkiler [Duran, 2005]. Kuvvetli bir yapışma için; ahşap yüzeyinin keskin kesicilerle düzgün bir şekilde işlenmesi, yapıştırıcının bütün yüzeye eşit miktarda sürülmesi ve birbirlerine kapatılan ahşap elemanların üzerine düzgün dağılımlı bir kuvvet uygulanması gerekir. İlk bilgilere göre yüzeylerin pürüzlü olması ve çizilmesi iyi bir yapışma için gerekli sanılıyordu. Ancak, yapılan laboratuar çalışmaları sonucu düz ve pürüzsüz yüzeylerin yapışmasının daha iyi olduğu ortaya çıkmıştır [Selbo, 1975].

Ağaç malzemenin yan bileşikleri yapışma direncini azaltmaktadır. Yan bileşiklerce zengin ağaç malzemeler yapıştırılmadan önce özel işlemden geçirilmeli ve soğuk olarak preslenmelidir. Aksi halde ekstraktif maddeler sıcaklığın etkisi ile yüzeye sızmakta ve tutkallanmayı engellemektedir.

Pres basıncı ve presleme süresi: Yapıştırılacak ağaç malzemede iyi adezyon sağlanması için basınç gereklidir. Basınç, tutkalın yapıştırılan yüzeye tam temasını sağlarken, ince bir kat oluşmasına yardımcı olur. Ayrıca tutkalın açık hücre boşluklarına girmesini ve en önemlisi tutkal sertleşene kadar birleştirilecek iki ağaç malzemenin aynı pozisyonda tutulmasını sağlar. Uygulanan basınç, sıkılacak parçanın her noktasında uniform olmalı ve tutkal hattında eşit kalınlıkta ince bir film katmanı oluşturacak şekilde ayarlanmalıdır. Pres basıncı, ağaç cinsi ve yüzey özeliklerine göre değişir. Farklı ağaç türlerinin aynı anda preslenmesi halinde pres basıncı yumuşak oduna göre belirlenir. Ağaç türüne göre pres basınçları yumuşak ağaçlarda 0,8–1 N/mm^2, sert ağaçlarda ise 0,2- 1,6 N/mm^2 arasında olmalıdır [Göker ve Bozkurt, 1986].

Düzgün yüzeyli parçaların yapıştırılmasında yeterli basınç uygulandığında, tutkalın bir yüzeyden diğer yüzeye transferi yeknesak olmakta ve yapışma direnci en iyi sonucu vermektedir. Kusursuz yüzeylerin birleştirilmesinde 0,7 N/mm^2 basınç uygulandığında, yapışma direnci en yüksek değere ulaşmaktadır [Franklin, 1989].

Soğuk preslemede uygulanan pres süresi, tutkal çeşidine ve ortamın sıcaklığına göre değişmektedir. Sıcak preslemede ise tutkalın çeşidinden başka, uygulanan sıcaklık ve preslenecek parça kalınlığı da presleme süresini etkilemektedir. Sıcak presleme süresinin hesaplanmasında, tutkalın sertleşme süresine orta tabakaya kadar her 1 mm kalınlık için 1dakika ilave edilmektedir. Pres süresinin bu şekilde hesaplanması 12 mm kalınlığındaki levhalarda iyi sonuç vermektedir [Göker ve Bozkurt, 1986]. Presleme süresinin kısa tutulması durumunda iç tabakadaki tutkal hatları tam olarak sertleşemeyeceğinden birleştirme zayıf olacak ya da hiç gerçekleşmeyecektir. Tutkal yüzeye sürüldükten sonra birleştirilecek ağaç malzemeler fazla bekletilmeden (en geç açık süre sonuna kadar) preslenmiş olmalıdır. Ancak, işin büyüklüğü, tutkal sürülen

parça sayısı ve ek yerlerinin biçimi bir süre beklemeyi zorunlu kılar. Bu gibi zorunlu hallerde tutkalın yapışma özelliğini olumsuz etkilemeyecek şekilde, katkı maddesi kullanarak açık süreyi uzatmak mümkündür. Tutkallamada kaçınılmaz olan bu süre gelişi güzel uzatılmamalıdır. Aksi takdirde ahşap yüzeyine sürülen tutkalın yapısal özelliklerinde değişim başlar ve tutkal sıvısının yüzeyinde çok ince bir kabuk oluşur. Bu kabuklaşma, tutkalın kendi molekülleri arasında çekim kuvvetini (kohezyon kuvvetini) olumsuz etkiler ve yapıştırma işleminden istenilen başarı sağlanamaz [Özçifçi, 2005].

Tutkal özellikleri ile ilgili faktörler: Ağaç malzeme yapışma direncini etkileyen faktörlerden birisi de tutkal ile ilgili faktörlerdir. Bunlar, yapıştırıcı türü ve karakteristikleri, tutkal karışım formülü (viskozite, dolgu ve katkı maddesinin miktarları) ve yüzeye sürülen tutkal miktarı ve uygulama şeklidir. Bunun uygun değer miktarı tutkal-odun ve dolgu maddesi cinsine ve pres teknolojisine bağlı olup denemelerle belirlenmiştir [Çolakoğlu, 1998]. Yapıştırmada kullanılan tutkalın fiziksel veya kimyasal özellikte olması, yapışma dayanımında etkili olmaktadır. Kimyasal özellikteki tutkalların mekanik dayanımları fiziksel esaslı tutkallara göre daha yüksektir. Yüzeyi düzgün olmayan ağaç malzemelerin birleştirilmesinde, kimyasal esaslı tutkallarda daha güçlü yapıştırma yapılabilmektedir. Kimyasal esaslı tutkallar, fiziksel esaslı tutkallara göre rutubete ve suya karsı daha dayanıklıdır. Tutkal seçimi yapılırken, nerede ve nasıl kullanılacağı belirlendikten sonra uygun tutkal seçimi yapılmalıdır [Şenay, 1996].

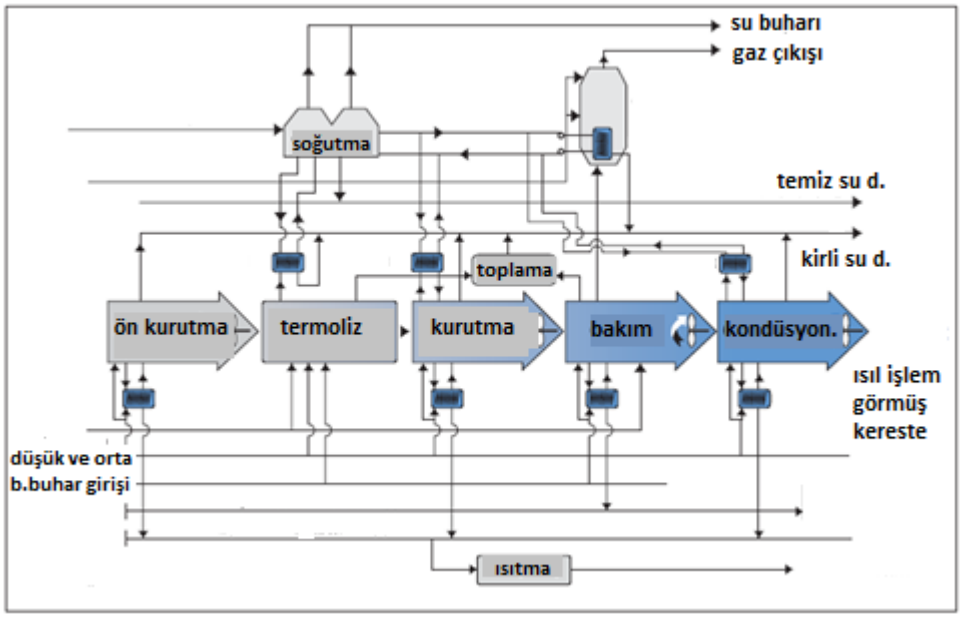
3.4. Isıl İşlem Metodları

Ağaç malzemenin ısıl işleme tabi tutulmasında önemli bazı kusurlarının bertaraf edilmesi ile bu alanda yapılan bilimsel çalışmalar desteklenmiş, Avrupa pazarında geçerliliğini kanıtlamış birçok ısıl işlem metodu geliştirilmiştir. Bunlar; ağaç malzemenin ısıtılması için buhar kullanılan Finlandiya (Thermowood) yöntemi, Hollanda'da buhar ve sıcak havanın birlikte kullanıldığı Plato yöntemi, Fransa'da (Rectification) inert gaz kullanılan yöntem ve sıcak yağ kullanılan Alman (OHT) yöntemidir. Kullanılan bu ısıl işlem metodları, düşük oksijen içeriğine sahip

atmosferde 200^{o}C'nin altında ve üstünde farklı sürelerde ısıl işleme tabi tutulmasında yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu ısıl işlem metodları, insan sağlığına ve çevreye zararlı olan kimyasalların kullanımına gerek kalmadan ahşabın boyutsal stabilitesini ve biyolojik dayanıklılığın arttırmaktadır [Özçifçi ve ark., 2009; Rapp, 2001].

3.4.1. Plato metodu

Plato metodu temel olarak ara bir kurutma işlemi ile birlikte iki safhadan oluşmaktadır. Birinci aşamada taze halde veya hava kurusu haldeki ahşap çok kuvvetli bir atmosferik basınç altında 160-190^{o}C sıcaklıklarda ısıl işleme tabi tutulmaktadır. Böylelikle ahşap malzemenin hücre duvarlarındaki fazla suyun uzaklaştırılması sağlanmaktadır. Ağaç malzemenin kurutulması için geleneksel kurutma işlemi uygulanır. Kurutma işlemi özellikle 2. safhada oluşabilecek iç çatlakları önlemek için gereklidir. İkinci adımda ağaç malzemeler tekrar 170-190^{o}C arasında ısıl işleme tabi tutulmaktadır. Bu adımdan sonra soğutma ve denkleştirme safhasına geçilir. Isıl işlem süresi kullanılan ağaç türüne, kalınlığına, ahşabın formuna vb özelliklerine bağlıdır. Genel uygulamada termoliz safhası 4-5 saat sürmektedir. Bu safhadan sonraki kurutma adımı 3-5 gün sürmektedir. Daha sonraki kurutma adımı ise 14-16 saat sürmektedir. En son ısıl işlem adımıda denkleştirme safhasıdır ki buda 2-3 gün sürmektedir. Ağaç malzemenin türü, yapısı ve kalınlığına bağlı olarak bu süreler değişebilmektedir. Isıtma şekli buhar yada sıcak hava olabilmektedir [Kegel, 2006]. Şekil 3.3'te Plato metodunun şematik görüntüsü verilmiştir.

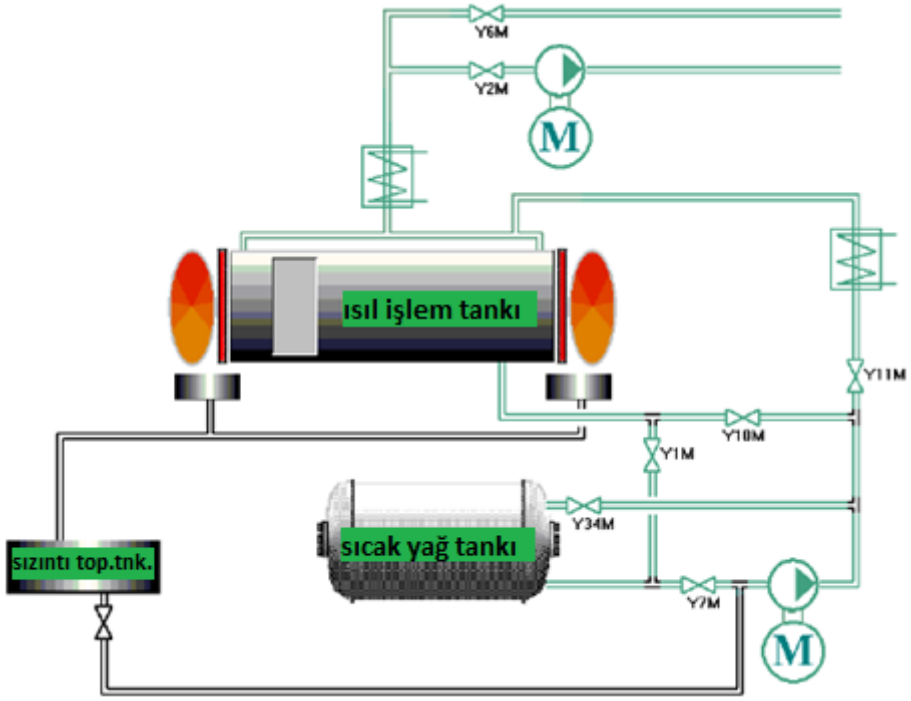


Şekil 3.3. Plato yönteminin şematik olarak gösterilmesi [Kegel, 2006]

3.4.2. Sıcak yağ metodu (OHT)

Isıl işlem 180-260 ^{o}C'de inert gaz atmosferinde uygulanır [Leithoff ve Peek, 2001]. Birçok doğal yağ ve reçinenin kaynama noktası ahşabın ısıl işleme tabi tutulması için gerekli olan sıcaklıktan daha yüksektir. Bu durum sıcak yağ banyosunda ahşabın ısıl işleme tabi tutulmasına olanak sağlamaktadır. Bu metotta ısıl işlem 3 safhada gerçekleşmektedir. Birinci safha ısıtma ve kurutma safhası olup sıcaklık 60 ^{o}C'den 160-200 ^{o}C'ye kadar çıkmaktadır. İkinci safhada ahşabın kalınlığının orta noktası maksimum sıcaklığa ulaştığında asıl ısıl işlem basamağı uygulanmaktadır. Üçüncü safhada ise soğutma işlemi gerçekleştirilmektedir. Isıl işlem kapalı bir tankta gerçekleştirilmektedir. Ahşap bu tanka yerleştirildikten sonra stok tankından ısıl işlem tankına sıcak yağ pompalanmakta, bu yağ ahşabın etrafında yüksek sıcaklık sirkülasyonu sağlamaktadır. Isıl işlem uygulaması bittikten sonra ahşabı ısıl işlem tankından çıkarmadan önce sıcak yağ stok tankına geri gönderilmektedir. Bu metotta malzeme kalitesine göre farklı sıcaklık uygulanmaktadır. Isıl işlemde maksimum dayanıklılık ve minimum yağ tüketimi isteniyorsa ısıl işlem sıcaklığı 220^{o}C, maksimum dayanıklılık ve maksimum direnç değerleri isteniyorsa 180-200^{o}C olmalıdır. 220^{o}C'de ısıl işlem uygulamasında ahşabın kalınlığının orta noktası bu

sıcaklığa ulaştığında ısıtma ve soğutma zamanları hariç 2-4 saatlik ısıl işlem süresi uygulanmaktadır. Toplam ısıl işlem süresi 17-19 saat kadardır. Isıtmada ham bitkisel yağ (şalgam tohumu, keten tohumu ve ayçiçeği yağı) kullanılmaktadır [Rapp ve Sailer, 2001]. Şekil 3.4'te yağla ısıl işlem metodunun uygulanması şematik olarak verilmiştir.



Şekil 3.4. Yağla ısıl işlem yöntemin şematik olarak gösterilmesi [Rapp and Sailer, 2001]

3.4.3. Retification metodu (Retified Wood)

Fransa'da Retification ve Bois Perdure yöntemi adı altında iki farklı yöntem kullanılmaktadır. Retification metodu, Ecole des Mines de Saint-Etienne tarafından geliştirilen ve New Option Wood şirketi tarafından patenti alınan bir metottur. Ahşap önce % 12 rutubete kadar kurutulmakta daha sonra % 2'den daha az oksijenin bulunduğu inert nitrojen gazı içeren atmosfer şartlarında ısıl işleme tabi tutulmaktadır. Isıl işlem sıcaklığı 210-240 ^{o}C'dir. Bu yöntem 1997 yılında endüstriyel bir pazar kazanmıştır.

Le Bois Perdure yöntemi ise; BCI-MBS şirketi tarafından geliştirilmiştir. Bu metotta taze haldeki keresteler ısıl işleme tabi tutulabilmektedir. Öncelikli olarak ahşap kurutulmakta daha sonra doymuş su buharı atmosferi altında 230 ^{o}C'de asıl ısıl işlem safhası gerçekleştirilmektedir. Retification ve Bois Perdure metodunun ikisinde de ısıl işlem sıcaklığı 230-240 ^{o}C arasında olursa ahşabın biyolojik dayanıklılığı artmakta fakat direnç özellikleri azalmaktadır [Bruno ve ark., 2009; Waldemar ve Andrè, 2004].

3.4.4. ThermoWood metodu

Finlandiya'da Teknik Araştırma Merkezi (The Technical Research Centre of Finland=Valtion Teknillinen Tutkimuskeskus (VTT)) tarafından geliştirilmiş bir metot olup Finlandiya ThermoWood Derneği üyeleri tarafından lisanslı olarak kullanılmaktadır. Bu yöntemde ahşap malzemeler 180-250 ºC arasında değişen yüksek sıcaklıklarda mümkün olduğu kadar oksijensiz bir ortamda buhar koruması altında ısıtılmaktadır [Militz, 2002; Rapp and Sailer, 2001].

Bu yöntem üç aşamada gerçekleştirilir.

1. Aşama; Yüksek ısıda kurutma periyodu

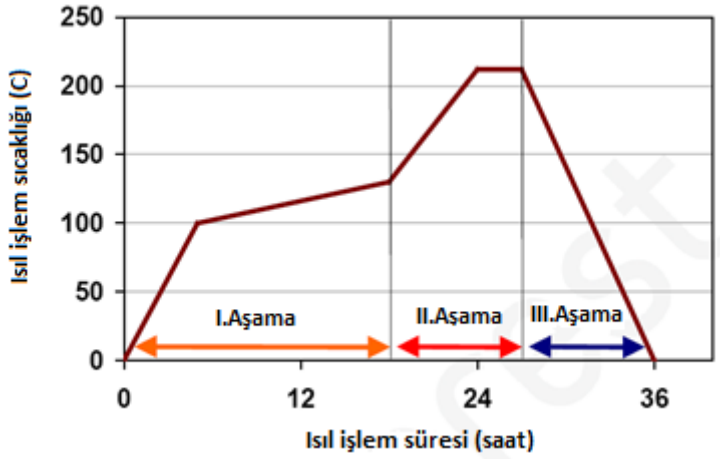
Isıl işlem uygulamasında en fazla zaman alan periyottur. Bu periyot ayrıca yüksek sıcaklıkta kurutma olarak da adlandırılmaktadır. Kuruma periyodunun başlangıcında ahşap malzeme kuru yada yaş halde olabilir. Başarılı bir kurutmada iç çatlamaların olmaması önemlidir. Sıcaklık arttırılarak su buharı ortamında yüksek sıcaklıkta kurutma yapılır. Burada önce ahşabın sıcaklığı hızla 100 ºC'ye çıkarılır, daha sonra yavaş yavaş 130 ºC'ye kadar yükseltilir. Aynı zamanda da ashapta çatlakları önlemek için, ahşabı ön koruma amaçlı olarak ortama su buharı tatbik edilir. Nem miktarı hemen hemen sıfıra indirilir [Aydemir, 2007; Mayes ve Oksanen, 2002.]

2. Aşama; Thermo Wood periyodu

Bu aşama yoğun ısıtma işlemi olarakta adlandırılır. Son kullanım amacına göre fırın içindeki sıcaklık 185-230 ºC'ye kadar arttırılır. Önceden belirlenen hedef sıcaklığına ulaşıldığında, fırın sıcaklığı bu sıcaklıkta sabit tutulur. Bu periyot ortalama olarak 2-3 saat sürmektedir. Yanmasını engellemekte kullanılan gaz veya su buharı hem odunun korunmasında hemde odunda gerçeklesen kimyasal değişime etkisi bulunmaktadır [Aydemir, 2007; Mayes ve Oksanen, 2002].

3. Aşama; Soğutma ve kondüsyonlama periyodu

Son bölümde de su spreyi veya buharı ile ahşabın sıcaklığı 50-60 ºC'ye kadar düşürülür. Yeniden rutubetlendirme ve kondisyonlama işlemi ile odun rutubeti % 4 civarına getirilir. Isı arttırıldığında veya azaltıldığında, dış ve iç yüzey çatlamalarını önlemek ve kontrol etmek için özel bir uyum yolu kullanılır. Uyum değerleri ağaç türleri ve ebatlarına (genişlik, kalınlık) göre düzenlenir. Hammadde taze kesilmiş (yaş) veya fırın kurusu ağaç olabilir. Eğer uygulama taze kesilmiş ağaçla başlarsa ağaç çok yüksek ısıda kurutma yöntemiyle kurutulabilir. Bu işlem her ağaç türüne en iyi şekilde uygulanmalıdır. Muamele sıcaklığına ve keresteye bağlı olarak kondisyonlama 2–5 saat arasında yapılabilir. Şekil 3.5'te TermoWood uygulama yönteminin şematik olarak diyagramı verilmiştir [Aydemir, 2007; Mayes ve Oksanen, 2002].



Şekil 3.5. TermoWood uygulama yönteminin şematiksel diyagramı [Mayes ve Oksanen, 2002].

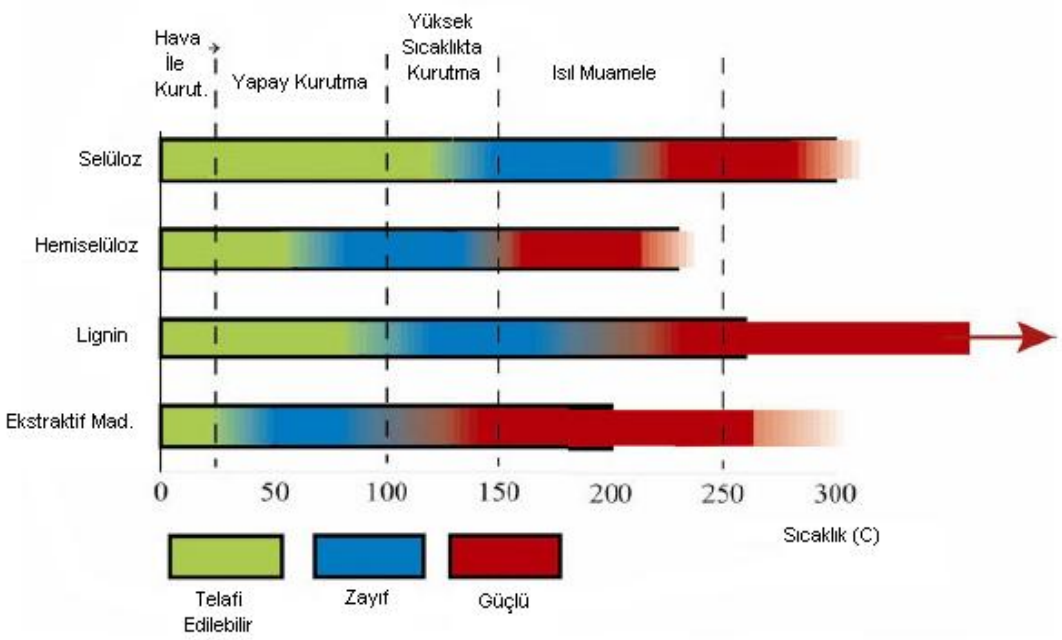
3.5. Isıl İşlemin Ağaç Malzemenin Bazı Kimyasal Özellikleri Üzerine Etkisi

Ağaç malzeme, selüloz, hemiselüloz, lignin ve ekstraktif maddelerden (hücre çeperine ve hücre lümenlerine yerleşmiş, tanenler, uçucu yağlar, reçineler, nişasta, boyar maddeler gibi organik ve inorganik maddeler) oluşur. Polisakkaritlerden olan selüloz ve hemiselüloz holoselüloz adını alır. Holoselülozların saf odun ağırlığına iştirak oranı %60-85 kadar olup, bunun % 40-50'si selüloz, %20-35'i hemiselülozdur. Lignin oranı ise %15-25 arasındadır. Dolayısı ile her ağaç türünde hatta aynı ağaç türünde bile ağaç malzemeyi oluşturan bu bileşenler farklı derecededirler. Bu nedenle her ağaç türününde özellikleri de birbirinden farklıdır. Isıl işleme bağlı olarak ağaç malzemenin yapısı ve bileşenleri termal bozulmaya uğrar. Isıl işlemin alt basamağı 100 ºC olarak kabül edilmektedir. Bundan sonra ağaç malzeme bileşenleri sıcaklığın artmasıyla bozunmaya başlar. Bu arada ağaç malzemeden uzaklaşan suyun etkisiyle odun yapısında meydana gelen şişme ve büzüşme oranlarında bir azalma, biyolojik dirençte artmalar, ısıya bağlı olarak rengin giderek koyulaşması, odun bileşenlerinden bazıları uzaklaşması ile birlikte mekanik dirençlerde azalmalar olmaktadır. Isıl işlemde en önemli etken sıcaklıktır [Viitanen ve ark., 1994]. 200°C'nin üzerinde yapısal hasar, odun bileşenlerinin tamamen dönüşmesi ve gaz fazındaki degredasyon ürünlerinin açığa çıkması gibi oluşumlar söz konusu olmaktadır. Böylelikle ağaç malzeme yapısındaki bileşenler sıcaklığın

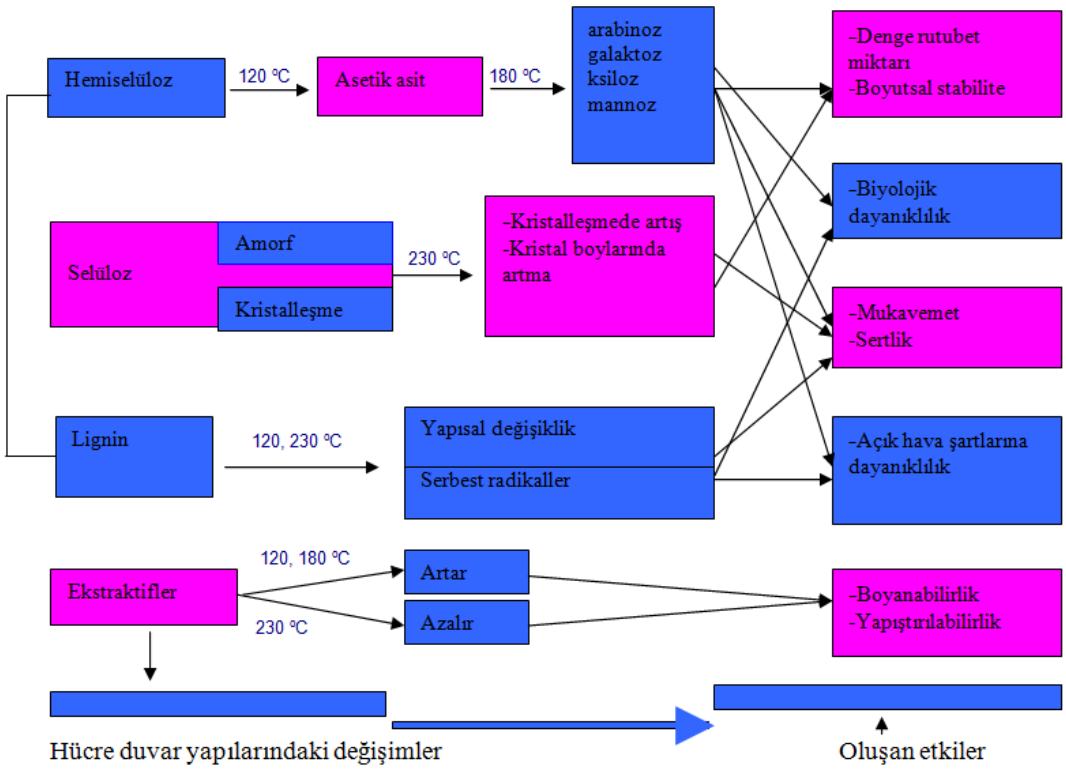
etkisiyle tamamen bozunmaktadır. 270 °C'nin üzerinde odunun pirolizi ve yanma olayı başlamaktadır [Fengel ve Wegener, 1984].

Isıl işlem sırasında odun özelliklerinde meydana gelen değişimler;
- Gerçek ısıl işlem periyodunun en yüksek sıcaklık değerine ve en uzun süresine,
- Sıcaklık derecelerine,
- Bütün periyotları kapsayan maksimum ısıl işlem süresine,
- Su buharının kullanılıp kullanılmadığına, kullanılmış ise kullanım miktarına,
- Asıl ısıl işlem muamelesinden önce uygulanan kurutma prosesine,
- Ağaç türüne ve türün karakteristik özelliklerine bağlıdır [Syrjänen ve Oy, 2001].

Ağaç malzemenin ısıtılması ile birlikte özelliklede kimyasal yapısında ani değişimler oluşmakta ve bu değişimlerin şiddetinin belirlenmesinde bir takım güçlükler meydana gelmektedir. Odun düşük moleküllü bileşiklerden polimerik bileşiklere kadar kompleks bir yapıya sahiptir. Isıl işlem uygulaması süresince odunun fiziksel ve mekanik yapısında meydana gelen sayısız değişimleri anlamak için odunun kimyasal bileşimini, yapısını oluşturan ana bileşenlerin temel karakteristiklerini ve fiziksel özelliklerini çok iyi bilmek gerekmektedir [Korkut ve Kocaefe, 2009]. Çünkü yapısında bulunan kimyasal maddeler ısı etkisiyle bir taraftan değişime uğrarken diğer taraftan yeni bir yapı kazanarak endotermik ve ekzotermik tepkiler meydana gelmektedir [Johansson, 2008]. Ağaç malzemenin ana bileşiklerinde ısıl işlem ve yüksek sıcaklık uygulamasından dolayı meydana gelen değişimler Şekil 3.6'da, ısıl işlem uygulanmış ağaç malzemede reaksiyon mekanizması ise Şekil 3.7'de verilmiştir.



Şekil 3.6. Ağaç malzemenin ana bileşiklerinde ısıl işlem ve yüksek sıcaklık uygulamasından dolayı meydana gelen değişimler [Johansson, 2005].



Şekil 3.7. Isıl işlem uygulanmış ağaç malzemede reaksiyon mekanizması [VTT, 2001]

Selüloz ($C_6H_{10}O_5$), geniş ve iğne yapraklılarda odunun tam kuru ağırlığına oranla hücre duvarının yaklaşık yarısını (% 50) oluşturan büyük yapısal bileşenlerden biridir. Selüloz molekülü dallanmamış, rijit zincir yapılı ve β (1→4) glikozidik bağ ile bağlanmış anhidro-D-glikopiranoz halka ünitelerinden oluşmuş uzun ve düz polimerdir. Her bir glikoz ünitesi C2, C3 ve C6'da hidroksil (OH) gruplarına sahiptir [Korkut ve Kocaefe, 2009; Sjöström, 1993].

Protofibrillerdeki selüloz molekülleri birbirleri ile hidroksil ve hidrojen arasında hidrojen bağları ile bağlanmışlardır. Hidrojen bağları ayrıca molekül zincirlerine rijitlik sağlamak amacıyla moleküller içinde de bulunmaktadır. Selülozun birbirine yakın katmanları arasında ayrıca van der waals bağları da etkilidir [Fengel ve Wegener, 1984; Sjöström, 1993]. Selülozun kristallenme derecesi % 60-70 arasında değişmektedir. Kristalimsi selüloz çok sınırlı bir su ve kimyasal çekime sahiptir. Bu nedenle kimyasal saldırılar öncelikli olarak amorf selülozda ve kristalimsi yüzeylerde meydana gelir. Selüloz orta lamelde yaklaşık % 14, sekonder hücre çeperinin S1 tabakasında % 35 ve S2 tabakasında % 60 oranında bulunur. Selüloz öncelikli olarak yüksek polimerizasyon derecesi ve düz kristalimsi yapısı nedeniyle odunun direncinden sorumludur. Üniteleri arasında ve piranoz halkası içerisindeki kovalent bağlar sebebiyle çekme gerilmelerine son derece direnç göstermektedir [Fengel ve Wegener, 1984; Korkut ve Kocaefe, 2009; Sjöström, 1993].

Selülozların bozunması hemiselülozlarla kıyaslandığında daha yüksek sıcaklıklarda başlamaktadır. Düşük sıcaklıklarda selülozun bozunması sınırlıdır. Selüloz yüksek derecede düzenli kristalimsi yapıya sahiptir ve bu da selüloz zincirlerine yüksek bir stabilite katmakta ve onları hidroliz süresince asit saldırısına karşı korumaktadır. Kristalimsi selülozun hidroksil gruplarının fiziksel olarak bloke edilmiş olması, reagent uygulamasına tepki vermesini engeller. Diğer taraftan amorf selülozun hidroksil grupları reaksiyon mekanizmasına dahil olabilir. 250 °C'nin altında uygulanan ısıl işlemde, selüloz yapısının özelliklede su buharı, karbondioksit gibi ortamlarda daha az seviyelerde bozunmaya uğradığı belirlenmiş, bununla beraber 200 °C'de vakum ortamında ısıl işleme maruz bırakılan ağaç malzemenin selüloz

kristalitlerinin arttığı görülmüştür [Shafizadeh ve Bradbury, 1979; Roffael ve Schaller,1971; Hill, 2006].

Odun hemiselülozları, odunun tam kuru ağırlığının %20-35'ini oluşturan ve ısıl işlemle birlikte diger ana bilesenlere göre daha fazla degrade olabilen, farklı 5 adet nötr halde sentezlenmiş heksoz (*glikoz, mannoz, galaktoz*) ve pentos (*ksiloz* ve *arabinoz*) şeklindeki polisakkaritlerden oluşan dallanmış amorf polimerlerdir. Orta lamelde % 27, sekonder hücre çeperinin S1 tabakasında % 35 ve S2 tabakasında yaklaşık % 15 oranında bulunur. Ayrıca geniş yapraklılar iğne yapraklılardan daha fazla hemiselüloz içermektedir [Rowel, 1984; Fengel ve Wegener, 1984; Korkut ve Kocaefe, 2009; Sjöström, 1993].

Hemiselülozlar ısıl işlem süresince hidroliz reaksiyonları tarafından oligomer ve monomerlere depolimerize olur. Isıl işlem süresi ve sıcaklığı hemiselüloz bozunmasını etkileyen iki önemli faktördür, sıcaklık ve sürenin uzaması hemiselülozun degredasyonu fazlalaştırır. Sıcaklık ve süredeki artmaya bağlı olarak arabinoz ve galaktoz gibi yan zincir bileşenleri ayrılır ve bunu mannoz glikoz ve ksiloz gibi ana bileşenlerin bozunması izler. Pentoz ve heksozlar sırasıyla furfural ve hidroksimetilfurfurala dehidrate olur. Ağaç malzemenin termal bozulmasının ilk aşaması süresince hemiselülozlardan daha az higroskop olan furfural polimerleri hemiselülozun parçalanmasıyla oluşurlar. Bu sıcaklıklarda hemiselülozun kaybıyla holoselüloz içeriği düşer. Çünkü selüloz içeriği 150 ºC ve üzerinde değişmeden kalabilir. Ağaç malzemede ksilan en reaktif hemiselülozdur ve çoğunlukla bozunmalara karşı çok hassastırlar. Yayvan yapraklı ağaçlarda selülozdan sonra buharlaşırlar ve bozunma ürünlerinin en önemli kaynağıdır. Ağaç malzemede ısı etkisiyle buharlaşan furfural ve asetaldehittir. Hemiselülozların ağaç malzemeden uzaklaşması odun örneklerinin kristalizesi üzerinde bir artışa neden olmaktadır [Bourgois ve ark., 1989]. Hemiselülozun daha az higroskopik olan furfural polimerlerine hidrolize olması boyutsal stabiliteyi arttırmakta ve denge rutubet miktarını azaltmaktadır [Boonstra, 2008].

Lignin, ağaç malzemedeki üçüncü büyük ana bileşen olan ve % 15-30 oranında bulunan kompleks amorf bir polimerdir. Hücre duvarının gelişimi boyunca en son gelişimi tamamlayan, hücre duvarının dayanımını arttıran ve basma direncini geliştiren bir yapıdır. Isıl işlemler sırasında lignindeki fenilpropan birimlerin arasındaki bağların bir kısmı zayıflayarak kopmaktadır. Lignin yapı itibari ile diğer bileşenlere göre termal bozunmaya karşı en dayanıklı ana bileşen olarak kabul edilmektedir. Sıcaklığın 200 ºC'yi aştığı durumlarda bozunmaya uğrayarak önce beta-aril eter bağları parçalanmaktadır. Kondensasyon reaksiyonlarının meydana geldiği 120-220 ºC sıcaklık aralığında oluşan odundaki renk değişiklikleri aslında ligninden kaynaklanan reaksiyonların sonucu oluşmaktadır. Ekstraktif maddelerin çoğu ısıl işlem esnasında ağaç malzemeden buharlaşarak uzaklaşmaktadır. Buharlaşan bu maddelerden dolayı ağaç malzemenin kütlesinde önemli kayıplar yaşanmaktadır. Bunun sonucunda da ağaç malzemede yoğunluk azalmakta ve mekanik dirençlerde de yoğunluğa bağlı olarak bir düşüş göze çarpmaktadır [Fengel ve Wegener, 1984; Kortelainen, ve ark., 2006; Kamdem ve ark., 2002; Garrote ve ark., 1999].

Ekstraktif maddeler ağaç malzemenin hücre çeperinin esas bileşikleri dışında hücre çeperi yada lümenine yerleşen organik ve inorganik (karbonhidratlar, tanenler, reçineler, nişasta ve yağlar, sepi maddeleri, fenollü ve boyalı maddeler vb.) maddelerdir. Bu maddeler büyük oranda sıcak ve soğuk su ortamında, alkol, benzen, aseton veya eter gibi kimyasallarla çözünebilmektedir. Isıl işlemle birlikte ağaç malzemeden uzaklaşır veya degrade olurlar. Isıl işlemle ağaç malzemenin renginin koyulaşmasından hemiselülozlar ve extraktif maddeler sorumludur [Nuopponen, 2005].

Ağaç malzemede bulunan ana bileşenlerin toplam etkileşimi, ağaç malzemenin genel karakteristik özelliklerini belirleyen ana unsurlardandır. Isıl işlem uygulamaları her bir ağaç türünde bu ana bileşenleri farklı oranlarda etkilemektedir. Dolayısı ile her bir ağaç malzeme türünün ısıl işleme verdiği tepkiler farklı olmaktadır. Isıl işlem uygulamalarında oluşan bu tepkiler, ağaç malzemenin fiziksel ve mekanik özellikleri üzerinde de etkili olmaktadır.

4. MATERYAL VE METOD

4.1. Ağaç Malzeme

Bu çalışmada lamine ağaç malzemenin hazırlanmasında ağaç işleri ve mobilya endüstrisinde yaygın olarak tercih edilen sarıçam (*Pinus sylvetsris* Lipsky), sapsız meşe (*Quercus petreae* Liebl.), Doğu kayını (*Fagus Orientalis* Lipsky), karakavak (*Populus nigra* Lipsky) odunlarından her bir ağaç türünün aynı tomruk odunundan kesme yöntemiyle elde edilmiş 2 mm kalınlığındaki papel kaplamalar kullanılmıştır. Büyüme kusuru ihtiva etmeyen, düzgün lifli papel kaplamalardan 950x150x20 mm ebatlarında taslak lamine levhalar üretilmiş ve bu taslak lamine levhalara Thermowood yöntemine göre 185 ve 212 ºC'de ısıl işlem uygulanmıştır.

4.2. Tutkallar

4.2.1. Polivinil asetat -D4 (D4) tutkalı

Polivinil asetat (PVAc-D4) tutkalı, alman Kleiberit firmasının, %5 sertleştirici ilaveli Kleibit 303 isimli tutkalıdır. Bu tutkal BS EN 204 standardına göre tek komponentli olarak D3 hizmet sınıfı için kullanıma hazır halde bulunan bir tutkal olmasına rağmen sertleştirici ilavesiyle rutubete dayanıklılığı daha da arttırılarak, BS EN 204'e göre çift komponentli D4 yapışma kalitesine sahiptir [Keskin, 2001].

Çizelge 4.1. PVAc- D_4 Tutkalının teknik özellikleri [Keskin, 2001]

Tipi	PVAc Dispersiyon
Renk	Beyaz
Viskozitesi (20 ^oC)	13000±2000mPas (1300±200 cps)
Yoğunluk	Komponent A= ~ 1,10 g/cm^3 Komponent B= ~ 1,13 g/cm^3
Sertleştirici	Dorus R.397 (Karışım oranı:%5)
pH değeri	3
Sürülen miktar	150-200 g/cm^3
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.

4.2.2. Melamin formaldehit tutkalı (MF)

Melamin formaldehit tutkalı, melaminin formaldehit ile kondenzasyonu sonucu elde edilmektedir. Melamin formaldehit üretiminde; reaksiyon pH'ı 5-6 ortamında, 1 mol melaminin 6 mol formaldehit ile karıştırılmasıyla başlar ve kademeli olarak ilerler. Reaksiyon sonu beklenmeden, kondenzasyon ürünleri henüz suda çözülebilir durumda iken, çözeltinin nötrlestirilmesi ve soğutulması ile yarıda durdurulur. Serin ve kuru bir yerde muhafaza edildiği takdirde toz halindeki reçine bir yıl dayanabilmektedir [Pizzi, 1994; Huş, 1977].

Yapışma sırasında ısı ve sertleştirici etkisiyle reaksiyon yeniden başlar ve sonunda çözülmeyen, erimeyen dönüşümsüz katı madde oluşur [Kalaycıoglu, 1991]. Bu tutkal 90-140 ^oC sıcaklıklarda herhangi bir sertleştirici madde ilave edilmeksizin sertleşebilmektedir. Melaminin suda üreden daha az çözünmesiyle hidrofobik aşama melamin formaldehit reçineler oluşumunda üre formaldehit reçinelerinin kondenzasyonundan daha hızlı ortaya çıkar. Böylece, melamin formaldehit

kondenzasyonun hidrofobik ara ürünleri reaksiyonun başlangıç evrelerinde görülmektedir [Eroğlu ve Usta, 2000].

Melamin formaldehit'in en iyi fiziksel özellikleri ile sertleşme veya kondenzasyon derecesi arasındaki korelasyon üzerine çesitli araştırmalar yapılmış ve melamin formaldehit tutkallarının en iyi fiziksel özelliklerinin daima çapraz bağlanma ile ilişkili olduğu ortaya konulmuştur [Eroğlu ve Usta, 2000].

Pahalı bir tutkal olduğu için genellikle üre formaldehit tutkalına ilave edilerek kullanılır. Sulu çözeltinin dayanma süresi çok kısa oldugu için toz halinde satılır. Genellikle tabakalı ağaç malzeme üretiminde ve yüzeylerin kaplanmasında ve film tutkallarının üretiminde kullanılır [Özen, 1981].

Melamin formaldehit reçinesi için %50'ye kadar dolgu maddeleri kullanılabilir. Bu amaçla; kaolin, jips, odun pudrası, nisasta, hindistan cevizi kabuğu unu gibi organik dolgu maddeleri kullanılmaktadır. Saf tutkal konsantre edilmiş halde dahi çok akıcıdır. Katı madde oranı artışı suya karşı direnç üzerine etki yapmaktadır. %100'e kadar dolgu maddesi ilave edildiğinde tutkal kaynar suya, %150-200 arasında, ortam sıcaklığındaki suya karşı direnç gösterirken %200'ün üzerinde tutkallama mümkün olmakla birlikte suya karşı duyarlıdır [Pizzi, 1994].

Fenol formaldehit tutkalına ise parlaklık ve açık renklilik bakımından üstünlük sağlarlar. En büyük dezavantajı fiyatının üre ve fenol formaldehit tutkallarından yüksek olmasıdır. Saf olarak kullanıldığı takdirde kaynama ve dış hava şartlarına çok dayanıklıdır. Çoğunlukla üre formaldehit tutkalına karıştırılarak kullanılmaktadır. Üre formaldehit tutkalı ile % 25-75 oranında karıştırıldığında suya karşı yeterince dayanabilmektedir. Ayrıca %10-15 resorsin katılmak suretiyle, ahşap levhalara metal yapıştırmada kullanılabilir. Bu tutkal kaplama, enine ekleme ve yüksek frekansla lamine levha üretiminde kullanılabilir [Eroğlu, 1988].

4.2.3. Desmodur-VTKA tutkalı (PU)

Tek komponentli, poliüretan tipli aktif maddeli bir yapıştırıcıdır. Suya ve neme karşı son derece dayanıklı; çözücü içermeyen; tahta, metal, polyester, taş, seramik, PVC ve diğer plastik yüzlerin birbirine bağlanmasında iyi sonuçlar veren bir tutkaldır. Su ve hava nemine karşı dayanıklılığı yüzünden, özellikle deniz ve göl vasıtalarıyla binaların dış cephe metal ve ahşap aksamlarının montaj ve onarımında kullanılır. Su buharı fazla olan yerlerde özellikle evlerin banyo ve mutfaklarında, atölye ve fabrikalarda iyi sonuçlar verir. Nemlendikçe güçlenen bir tutkaldır.

Poliüretan yapıştırıcılar su ile reaksiyona girdiklerinden uygulama anında gaz açığa çıkarmaları nedeniyle problem olmaktadır. Bu sistemde katalizörün reçine içinde dağılması için sıcak karıştırılması gerekir. Reçineye karıştırılan katalizör reçinenin etkisini değiştirdiği için son karıştırma işleminde dikkatli olunmalı, kontrol edilmeli ve gaz açığa çıkartılmasından sonra kullanılmalıdır.

Yüzey hazırlama; Yapıştırılacak yüzeyler zımparalanmış olmalı ve yağlardan arındırılmalıdır. Kurumuş satıhların hafifçe nemlendirilmesi, tutkalın sertleşme hızını arttıracaktır.

Uygulama şekli; Yüzeyin emici olan tarafına sürülür. Yapıştırılacak yüzeyler 20°C'de, %50 nemle, 30 dakika veya ahşabın kendi nemi ile, 40 dakika preste tutulmalıdır. Püskürtme olarak kullanılmak istendiğinde, tiner ile istenilen akışkanlığa getirilerek uygulanır.

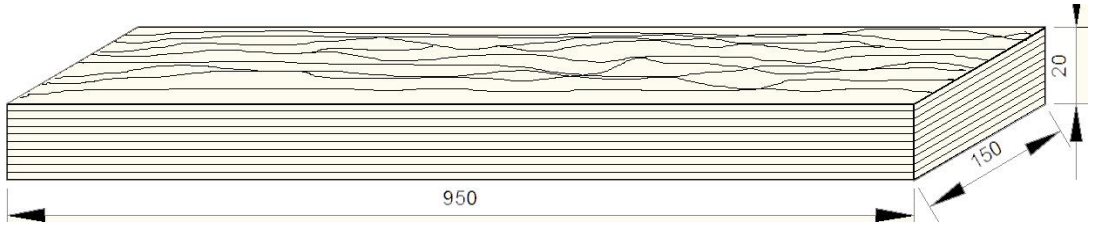
İnceltme / Karışım Oranı; Kullanıma hazırdır, inceltilmeden ambalaj viskozitesinde (3300-4000 cps) kullanılır.

Kuruma Süresi; (20°C sıcaklıkta, %50 bağıl nem oranında) Kurumasını 30 dakikada veya ağacın kendi nemi ile preste 40 dakikada tamamlar.

Depolama Şartları; Doğrudan güneş ışığı almayan, ağzı kapalı ambalajlarda, serin yerde depolanmalıdır. Kullanılmadığında ambalajının ağzı kapalı tutulmalıdır[Doruk, 2009].

4.3. Deney Örneklerinin Hazırlanması

Laminasyon işlemi TS EN 386'de belirtilen esaslara göre yapılmıştır. Hava kurusu haldeki 2 mm kalınlıklı papel kaplamalardan, PVAc-D4, PU ve MF tutkalları ile 10 katmanlı olmak üzere, 950x150x20 mm boyutlarında preslenerek yeterli miktarda lamine ağaç malzeme üretilmiştir (Şekil 4.1).



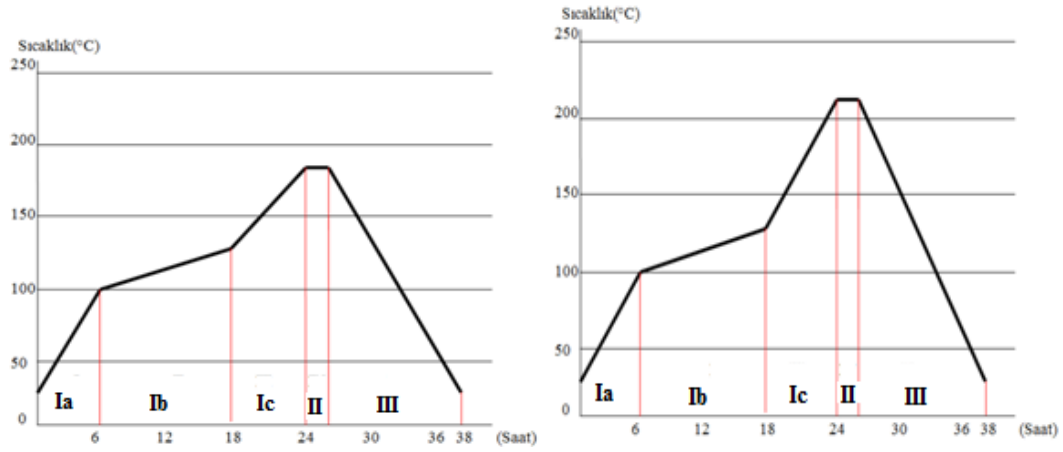
Şekil 4.1. Üretilen lamine masif ağaç malzeme (ölçüler mm)

Katmanların tutkallanmasında yapıştırma yüzeylerinden yalnız bir tanesine tutkal çözeltisi 180- 200 gr /m^2 hesabıyla merdaneli tutkal sürme aparatı ile sürülmüştür. MF, D4 tutkalları hidrolik sıcak presde tutkal firmalarının önerileri doğrultusunda 80 °C'de 20 dakika, PU tutkalı ise 20 °C' de 60 dakika sürede, sarıçam ve kavak odunları için 1 N/mm^2 basınç ile Doğu kayını ve sapsız meşe için 1,2 N/ mm^2 basınç ile preslenmiştir. Kalınlık farkını gidermek ve yüzeyleri temizlemek için üretilen lamine masif ağaç malzemeler 80 numaralı kontak zımparada her iki yüzeyleri zımparalanmıştır.

4.4. Lamine Ağaç Malzemelere Isıl İşlem Uygulanması

Presleme işleminden sonra ayrı ayrı istiflenen lamine ağaç malzemeler her bir ağaç türü ve tutkal çeşidi için ayrı ayrı 185±3 ve 212±3 °C'de ThermoWood yöntemine göre ısıl işlem uygulanmıştır. Bu maksatla fırın içerisine alınan lamine masif ağaç

malzemelerin üzerine ısıl işlem esnasında şekil değişikliklerini engellemek için demir plakalardan ağırlıklar yerleştirilmiştir. Fırın çalışmaya başladığı anda ve çalışma esnası boyunca fırın içerisine 100±3 °C'de sıcak su buharı, buhar jeneratörü yardımıyla verilerek ağaç malzemenin hem ani kuruması ile karşı karşıya kalacağı iç ve yüzey çatlakları engellenmiş, hem de ağaç malzemenin yanması engellenmiştir. Lamine ağaç malzemelerin ısıl işlem süresi toplamda 38 saat, gerçek ısıl işlem uygulaması ise 2 saat sürmüştür. Şekil 4.2'de lamine masif ağaç malzemelere uygulanan ısıl işlemin şematik gösterimi verilmiştir.



(a) (b)

Şekil 4.2. Isıl işlem uygulamasının şematik gösterimi (a:185 °C, b:212°C)

Isıl işlem uygulamasından sonra fırın içerisinden alınan malzemeler uygun bir şekilde istiflendikten sonra deneylerin yapılabilmesi için bir tarafı planya makinesinde düzeltilmiş ve yüksek devirli testere makinesinde standartlarda belirtilen ölçülerde kesilmiştir. Kesilen tüm örnekler % 12 rutubet derecesine ulaşması için 20 ±2 ºC sıcaklık ve % 65 ±5 bağıl nem şartlarında değişmez ağırlığa ulaşıncaya kadar bekletilmiştir. Ölçüm ve deneyler esnasında deney örneklerinin denge rutubetlerinin değişmemesi için her bir grup deney ve ölçüm örnekleri plastik poşetler içersinde muhafaza edilmiştir.

4.5. Metod

4.5.1. Yoğunluk

Hava kurusu ve tam kuru yoğunluk tayininde, TS 2471 esaslarına göre 20x 30x20 mm boyutlarındaki örnekler kullanılmıştır. Örneklerin hava kurusu yoğunlukları TS 2472'e uygun olarak belirlenmiştir. Buna göre; deney örneklerinin ağırlıkları (M_{12}) 0,01 gr duyarlıklı analitik terazide tartılmış, boyutları ±0,01mm duyarlıklı kumpas ile ölçülerek hacimleri (V_{12}) belirlenmiş ve daha sonra hava kurusu haldeki yoğunluklar "Eş.4.1"e göre hesaplanmıştır. Hava kurusu ve tam kuru yoğunluk ölçüm deney örneği Şekil 4.3'de verilmiştir.

$$\delta_{12} = \frac{M_{12}}{V_{12}} \tag{4.1}$$

Burada;

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

M_{12} = Hava kurusu örnek ağırlığı (g)

V_{12} = Hava kurusu örnek hacmi (cm^3)

Tam kuru yoğunlukların belirlenmesinde, örnekler kurutma dolabında 103±2 ºC'de değişmez ağırlığa ulaşıncaya kadar bekletilmiştir. Bu durumda kurutma dolabından alınan örnekler desikatöre konularak soğumaları sağlanmış daha sonrada ağırlıkları (M_0) ve üç yöndeki boyutları (V_0) ölçülerek tam kuru yoğunlukları "Eş.4.2"ye göre hesaplanmıştır.

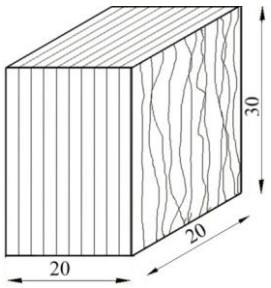
$$\delta_0 = \frac{M_0}{V_0} \tag{4.2}$$

Burada;

δ_0 = Tam kuru yoğunluk değeri (g/cm^3)

M_0 = Tam kuru ağırlık (gr)

V_0 = Tam kuru hacim (cm^3)



Şekil 4.3. Hava kurusu ve tam kuru yoğunluk deney örneği (ölçüler mm)

4.5.2. Eğilme direnci

Eğilme direnci ve eğilmede elastikiyet modülü için TS EN 326 esaslarına göre deney örnekleri hazırlanmıştır. Eğilme direnci deneyleri TS 2474 esaslarına uygun olarak gerçekleştirilmiştir. Bu maksatla herbir ağaç türünden 20x20x360 mm boyutlarında 10'ar adet kontrol ve deney örneği kesilerek toplam 360 adet (4 ağaç x 3 tutkal x 3 işlem x 10 tekerrür) hazırlanmıştır (Şekil 4.4). Deney cihazının yük kapasitesi 4 ton olup elektro-mekanik sistemde çalışmaktadır. Yükleme hızı bilgisayar ile ayarlanabilmektedir. Deneylerde statik yükleme hızı 2 mm/dk olacak şekilde ayarlanmıştır. Deneylerden önce örneklerin orta kısımlarından kalınlık ve genişlikleri 0.01 mm hassasiyetindeki dijital kumpasla ölçülerek kaydedilmiştir. Deneyler sonucunda, kırılma anındaki maksimum kuvvetler Newton (N) cinsinden kaydedilerek eğilme direnci "Eş.4.3'e göre hesaplanmıştır.

$$\delta e = \frac{F_{max}.L_s}{2.a.b^2} \qquad (4.3)$$

Burada;

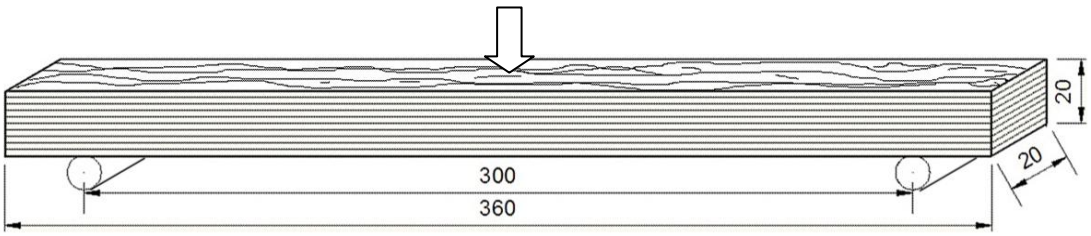
δe = Eğilme direnci (N/mm^2)

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

L_s = Dayanak açıklığı (mm)

a = Örnek genişliği (mm)

b = Örnek kalınlığı (mm)



Şekil 4.4. Eğilme direnci deney örneği (ölçüler mm)

4.5.3. Eğilmede elastikiyet modülü

Eğilmede elastikiyet modülünün belirlenmesi TS EN 310 ve TS 2478 esaslarına uygun olarak gerçekleştirilmiştir. Eğilmede elastikiyet modülü, elastikiyet deformasyon bölgesinde uygulanan kuvvet farkı (Δ_F) için örnekteki eğilme miktarları farkı (Δ_f) yardımı ile "Eş.4.4"e göre hesaplanmıştır.

$$Em = \frac{\Delta_F . L_s^{\,3}}{4.b.h^3.\Delta_f} \qquad (4.4)$$

Burada;

Em =Elastikiyet modülü (N/mm^2)

Δ_F = Elastikiyet bölgesindeki kuvvet farkı (N)

L_s = Dayanak açıklığı (mm)

b = Örnek genişliği (mm)

h = Örnek yüksekliği (mm)

Δ_f = Eğilme miktarı (mm)

4.5.4. Liflere paralel basınç direnci

Liflere paralel basınç direnci TS 2595'e uygun olarak yapılmıştır. Bu maksatla her bir ağaç türünden 20x30x20 mm ebatlarında 10'ar adet kontrol ve deney örneği kesilerek toplam 360 adet (4 ağaç x 3 tutkal x 3 işlem x 10 tekerrür) hazırlanmıştır

(Şekil 4.5). Deneylerden önce örneklerin orta kısımlarından kalınlık ve genişlikleri 0.01 mm hassasiyetindeki dijital kumpasla ölçülerek kaydedilmiştir. Deneyler sonucunda, kırılma anındaki maksimum kuvvetler Newton (N) cinsinden kaydedilerek liflere paralel basınç direnci "Eş.4.5"e göre hesaplanmıştır.

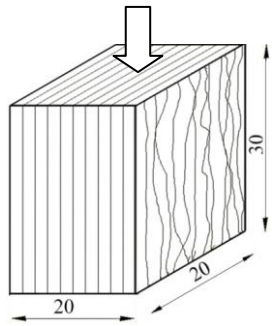
$$\sigma_b = \frac{F_{max}}{a.b} \tag{4.5}$$

σ_b = Liflere paralel basınç direnci (N/mm^2)

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

a =Deney parçasının kalınlığı (mm)

b = Deney parçasının genişliği (mm)



Şekil 4.5. Liflere paralel basınç direnci örneği (ölçüler mm).

4.5.5. Liflere dik ve paralel yönde vida tutma direnci

Vidaların liflere dik ve paralel geri çıkma dirençlerinin belirlenmesi, TS EN 13446'de belirtilen esaslarına uygun olarak gerçekleştirilecektir. Her bir deney için 50x50x20 mm boyutlarında 10'ar adet kontrol ve deney örneği kesilerek toplam 720 (4 ağaç x 3 tutkal x 3 işlem x 2 yüzey x 10 tekerrür) tane hazırlanmıştır (Şekil 4.6). Deney parçaları üzerine kılavuz delikleri açılmış ve vidalama işlemi gerçekleştirilmiştir. Kılavuz delikleri, vida diş dibi çapının yaklaşık %80-85'i kadar olacak şekilde 2,5 mm ± 0,1 mm çapında ve 12 mm ± 1 mm derinliğinde açılmıştır. Deneylerde 4x50 mm ölçüsünde düşük karbon çelikli yıldız başlıklı vidalar

kullanılmıştır. Deney parçaları üzerinde açılan deliklere vidaların 17 mm ± 0,5 mm'lik kısımları girecek şekilde vidalama yapılmış ve deney örnekleri tekrar % 65±5 bağıl nem ve 20 °C ± 2 °C sıcaklıktaki klima dolabına konulmuştur. Deneylerde yükleme hızı 2 mm/dk olarak ayarlanmıştır. Vidanın geri çekilmeye karsı gösterdiği direnç (vida tutma direnci) "Eş.4.6"ya göre hesaplanmıştır.

$$\delta_v = \frac{F_{max}}{d.l} \tag{4.6}$$

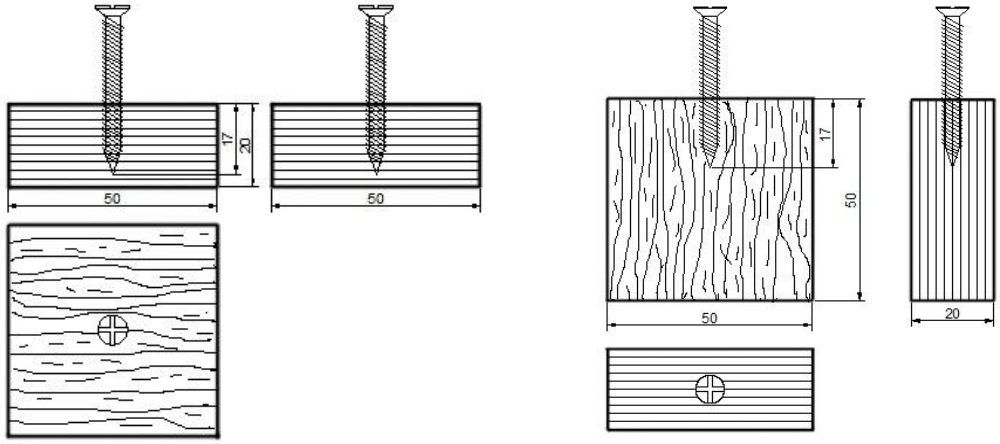
Burada;

δ_v = Liflere dik ve paralel vida tutma direnci (N/mm^2)

F_{max} = Çıkma anındaki maksimum kuvvet (N)

d =Vida çapı (mm)

l = Vida girme derinliği (mm)



Şekil 4.6. Liflere dik ve paralel yönde vida tutma direnci örneği (ölçüler mm)

4.5.6. Liflere dik ve paralel yönde kavela tutma direnci

Kavelaların liflere dik ve paralel geri çıkma dirençlerinin belirlenmesi TS EN 13446'de belirtilen esaslarına uygun olarak, 50x50x20 mm ebatlarında 10'ar adet kontrol ve deney örneği kesilerek toplam 720 tane (4 ağaç x 3 tutkal x 3 işlem x 2 yüzey x 10 tekerrür) hazırlanmıştır (Şekil 4.7). Deneylerde TS 4539 esaslarına uygun, 8 mm çapında, 36 mm boyundaki, düz yivli kayın odunundan elde edilmiş,

uçlarına 45 derece pah kırılmış kavelalar kullanılmıştır. Kavelaların tutkallanmasında PVAc tutkalı kullanılmış ve 150 g/m^2 hesabıyla sürülmüştür.

Kavelalar yüzeyden ve kenardan 17 mm± 1 derinliğinde tutkallanmış ve tekrar % 65±5 bağıl nem ve 20 °C ± 2 °C sıcaklıktaki klima dolabına konmuştur. Çekme direnci 4 tonluk üniversal test cihazında statik yükleme hızı 2 mm/dk olacak şekilde ayarlanarak gerçekleştirilmiştir. Deneyler sonucunda yüzeyden ve kenardan kavela tutma direnci "Eş.4.7"ye göre belirlenmiştir.

$$\delta_k = \frac{F_{max}}{A} \tag{4.7}$$

Burada;

δ_k : Kevela tutma direnci (N/mm^2)

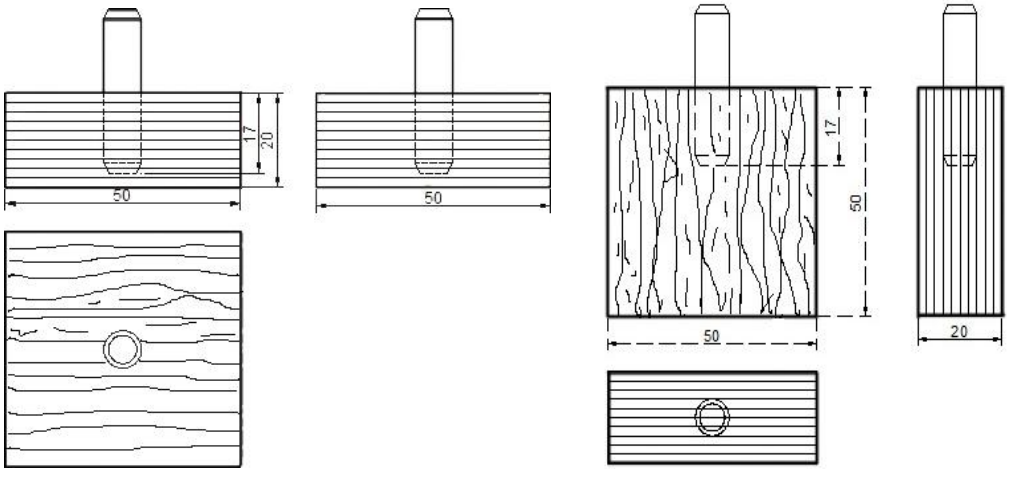
F_{max} : Maksimum yük (N)

A : n ($\pi x D x L$)

n : Kavela sayısı

D : Kavela çapı(mm)

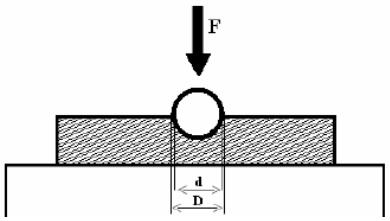
L : Kavela girme mesafesi (mm)



Şekil 4.7. Liflere dik ve paralel yönde kavela tutma direnci örneği (ölçüler mm)

4.5.7. Brinell sertlik

Sertlik direnci TS 2479 standardına uygun olarak yapılmıştır. Bu maksatla 50x50x20 mm ebatlarında 10'ar adet kontrol ve deney örneği kesilerek toplam 360 adet (4 ağaç x 3 tutkal x 3 işlem x 10 tekerrür) hazırlanmıştır. Sertlik testinin prensibi Sekil 4.8'de gösterilmiştir.



Şekil 4.8. Brinell-Mörath metoduna göre sertlik deneyi [Berkel, 1970]

Buna göre; örnek yüzeyine kuvvet uygulama kolunun ucunda bulunan 10 mm çapında (D) yarım küre (çelik bilye) örnek yüzeyinin ortasına gelecek şekilde ve kademeli arttırılarak 30 saniye süreyle uygulanmıştır. Yük 15 saniyede sıfıra indirilerek, çelik kürenin örnek yüzeyinde açtığı çukurun çapı 0,01 mm duyarlıkla ölçülmüştür. Buna göre sertlik değeri "Eş.4.8"e göre hesaplanmıştır.

$$HB = \frac{2.F}{\pi.D.(D - \sqrt{D^2 - d^2})} \qquad (4.8)$$

HB = Sertlik değeri (N/mm^2)

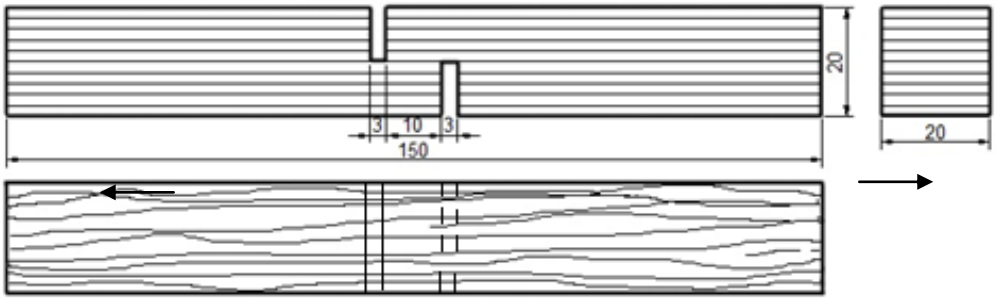
F =Uygulanan kuvvet (N)

d = Çelik bilyenin deney örneği yüzeyinde açtığı çukurun çapı (mm)

D = Çelik bilyenin çapı (mm)

4.5.8. Yüzeye paralel yapışma direnci

Laminasyonda yüzeye paralel yapışma direnci BS EN 204 ve TS EN 205 esaslarına göre yapılmıştır. Bu maksatla lamine edilmiş ağaç malzemelerden her ağaç ve işlem çeşidi için 20x150x20 mm ebatlarında 10'ar adet kontrol ve deney örneği kesilerek toplam 360 adet (4 ağaç x 3 tutkal x 3 işlem x 10 tekerrür) hazırlanmıştır (Şekil 4.9).



Şekil 4.9. Yüzeye paralel yapışma direnci örneği (ölçüler mm).

Deney örneklerine üniversal test cihazında katman yüzeyine paralel 2 mm/dk yükleme hızıyla, çekme kuvveti uygulanmıştır. Deneyde çekme kuvveti, tutkal hattında kopmanın tamamen gerçekleşmesi sağlanıncaya kadar devam ettirilmiştir. Kopma anındaki maksimum kuvvet Newton (N) cinsinden tespit edilerek yapışma direnci "Eş.4.9"a göre hesaplanmıştır.

$$\delta_y = \frac{F_{max}}{a.b} \tag{4.9}$$

Burada;

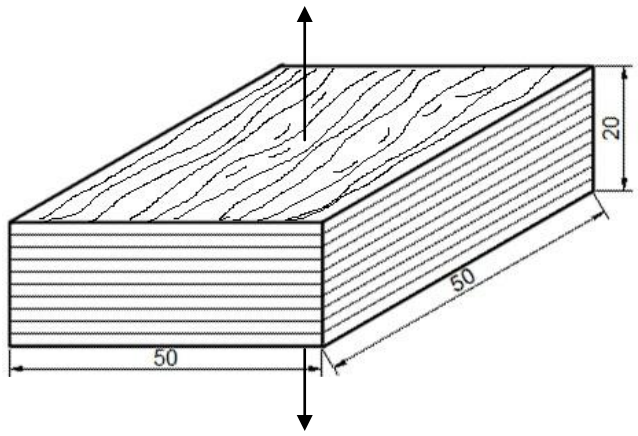
δ_y = Yüzeye paralel yapışma direnci (N/mm^2)

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

a.b =Yapışma yüzey alanı (mm^2).

4.5.9. Yüzeye dik yapışma direnci

Laminasyon yüzeye dik yapışma direnci (dik çekme) TS EN 205 ve TS 2476 esaslarına göre yapılmıştır. Bu maksatla lamine edilmiş ağaç malzemelerden her ağaç ve işlem çeşidi için 50x50x20 mm boyutlarında 10'ar adet kontrol ve deney örneği kesilerek toplam 360 adet (4 ağaç x 3 tutkal x 3 işlem x 10 tekerrür) hazırlanmıştır (Şekil 4.10).



Şekil 4.10. Yüzeye dik yapışma direnci örneği (ölçüler mm)

Deney örneklerine üniversal test cihazında katman yüzeyine dik 2 mm/dk yükleme hızıyla, çekme kuvveti uygulanmıştır. Deneyde çekme kuvveti, tutkal hattında kopmanın tamamen gerçekleşmesi sağlanıncaya kadar devam ettirilmiştir. Kopma anındaki maksimum kuvvet Newton (N) cinsinden tespit edilerek yüzeye dik yapışma direnci "Eş.4.10"a göre hesaplanmıştır.

$$\delta_y = \frac{F_{max}}{a.b} \qquad (4.10)$$

Burada;

δ_y = Yüzeye dik yapışma direnci (N/mm^2)

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

a.b =Yapışma yüzey alanı (mm^2).

4.5.10. Boyutsal değişim (genişlik ve kalınlık artışı)

Boyutsal değişim oranlarının belirlenmesinde TS 4084 esaslarına uyulmuştur. Bu maksatla 30x30x20 mm ebatlarında her bir deney grubu için 10'ar adet olmak üzere toplam 360 adet (4 ağaç x 3 tutkal x 3 işlem x 10 tekerrür) deney örneği hazırlanmıştır (Şekil 4.11). Hazırlanan deney örnekleri öncelikle 103±2 °C'de değişmez ebatlara ve ağırlığa gelinceye kadar bekletilmiştir. Bundan sonra 0,01 hassasiyetinde kompasla kalınlık ve genişlik yöndeki ölçüleri elde edilmiştir. Bu işlemden sonra örnekler, içerisinde damıtık su bulunan cam bölmelere konmuş ve üzerlerine tamamen suya batmaları için çelik tel kafes yerleştirilmiştir. Bu şekildeki örnekler boyutları değişmez hale gelene kadar bekletilmiş ve daha sonra çıkartılarak üzerindeki sular bir kağıt havlu yardımı ile alınarak tam yaş boyutları yine 0,01 hassasiyetli kumpasla ölçülerek kalınlık yönünde boyutsal artış yüzdesi "Eş.4.11 ve genişlik yönünde boyutsal artış yüzdesi "Eş.4.12 "ye göre belirlenmiştir.

$$\alpha_k = \frac{Lr - L_0}{Lr} x100 \qquad (4.11)$$

α_k =Kalınlık yönünde boyutsal artış yüzdesi (%)

Lr =Rutubetli ölçü(mm)

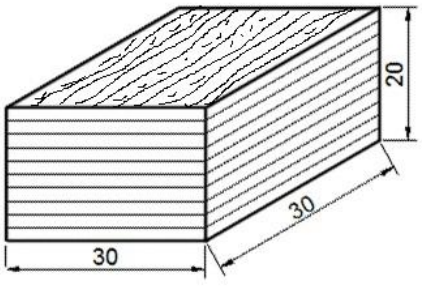
L_0 =Tam kuru ölçü(mm)

$$\alpha_g = \frac{Lr - L_0}{Lr} x100 \qquad (4.12)$$

α_g = Genişlik yönünde boyutsal artış yüzdesi (%)

Lr =Rutubetli ölçü(mm)

L_0 =Tam kuru ölçü(mm)

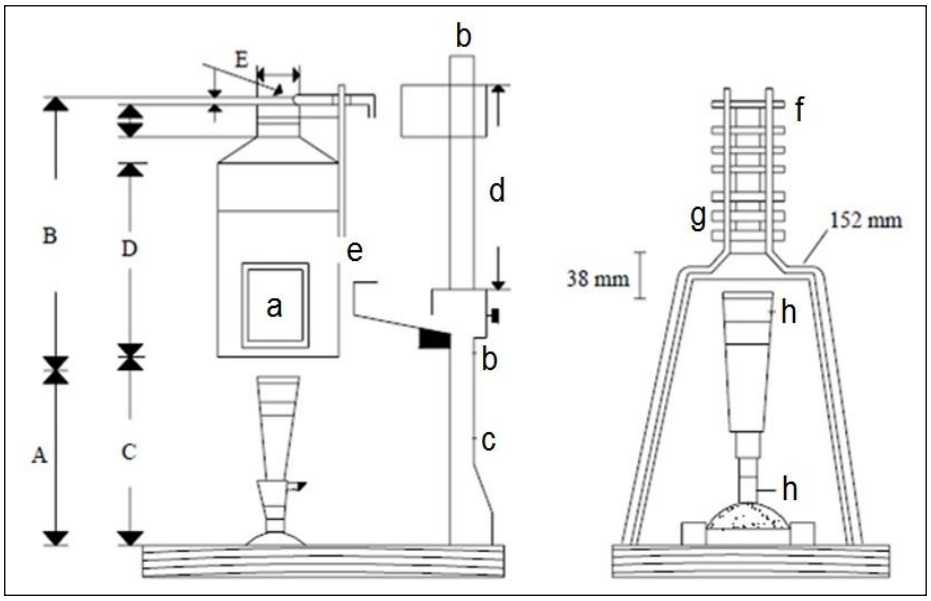


Şekil 4.11. Boyutsal değişim deney örneği (ölçüler mm)

4.5.11. Yanma özellikleri

Yanma deneyi örnekleri ASTM E 160–50 esaslarına uyularak 13x13x76 mm boyutlarında her biri 24 adet deney örneğinden oluşan 3'er grup şeklinde toplam 2592 adet (4 ağaç x 3 tutkal 3 işlem x 3 tekerrür x 24) hazırlanmıştır. Yanma deneyi öncesi her örnek grubu tartılarak deneyler gerçekleştirilmiştir.

Şekil 4.12' da yanma test cihazı gösterilmiştir.



Şekil 4.12. Yanma test cihazı [ASTM E 160-50, 1975; Atar ve ark, 2010]a: Mika cam, b: Kızak sonu, c: Bek rehberi, d: Kızak, e: Potansiyometre veya Milivoltmetre girişi, f: Odun örnekleri, g: Tel kafes, h: Bek (maker tipi), A: 270 mm, B: 430 mm, C: 295 mm, D: 305 mm, E: 38 mm.

4.5.12. Verilerin değerlendirilmesi

İstatistiksel değerlendirmelerde, MSTAT-C istatistik programından yararlanılmıştır. Çoklu varyans analizleri (ANOVA) uygulanmış, verilerde gruplar arası fark önemli çıktığında, Duncan testi ile ortalama değerler arasındaki fark karşılaştırılmıştır. Böylece, denemeye alınan faktörlerin birbirleri arasındaki başarı sıralamaları, en küçük önemli fark (LSD) kritik değerine göre homojenlik gruplarına ayrılmak suretiyle belirlenmiştir.

5. BULGULAR

5.1. Hava Kurusu Yoğunluk

Hava kurusu yoğunluklara ilişkin istatiksel sonuçlar Çizelge 5.1'de verilmiştir.

Çizelge 5.1. Hava kurusu yoğunluklara ilişkin istatiksel sonuçlar (g/cm^3)

Ağaç malzeme türü	Tutkal çeşidi	Isıl işlem sıcaklığı	Hava kurusu yoğunluk			
			X_{min}	X_{max}	X_{ort}	v(%)
Kavak	D4	Kontrol	0,39	0,47	0,43	6,98
		185 ºC	0,36	0,40	0,38	2,63
		212 ºC	0,33	0,37	0,35	2,86
	PU	Kontrol	0,38	0,46	0,42	7,14
		185 ºC	0,31	0,37	0,35	5,71
		212 ºC	0,30	0,36	0,33	6,06
	MF	Kontrol	0,39	0,43	0,41	2,44
		185 ºC	0,34	0,38	0,36	2,78
		212 ºC	0,30	0,38	0,34	8,82
Sarıçam	D4	Kontrol	0,57	0,61	0,59	1,69
		185 ºC	0,50	0,56	0,53	3,77
		212 ºC	0,48	0,52	0,50	2,00
	PU	Kontrol	0,54	0,62	0,58	5,17
		185 ºC	0,48	0,56	0,52	5,77
		212 ºC	0,47	0,53	0,50	4,00
	MF	Kontrol	0,52	0,62	0,57	5,26
		185 ºC	0,48	0,53	0,52	5,77
		212 ºC	0,47	0,53	0,50	4,00
Sapsız meşe	D4	Kontrol	0,68	0,74	0,71	2,81
		185 ºC	0,62	0,69	0,66	4,55
		212 ºC	0,60	0,66	0,63	3,17
	PU	Kontrol	0,64	0,72	0,68	2,94
		185 ºC	0,62	0,67	0,65	3,07
		212 ºC	0,57	0,63	0,60	3,33
	MF	Kontrol	0,63	0,71	0,67	2,99
		185 ºC	0,60	0,68	0,64	4,69
		212 ºC	0,57	0,67	0,62	4,84
Doğu kayını	D4	Kontrol	0,72	0,76	0,74	1,35
		185 ºC	0,61	0,69	0,65	3,08
		212 ºC	0,60	0,66	0,63	3,17
	PU	Kontrol	0,70	0,80	0,75	4,00
		185 ºC	0,63	0,68	0,66	3,03
		212 ºC	0,61	0,67	0,64	3,13
	MF	Kontrol	0,68	0,76	0,72	2,78
		185 ºC	0,66	0,70	0,68	2,94
		212 ºC	0,63	0,69	0,66	3,03

X_{min}: En küçük değer X_{max}: En büyük değer X_{ort}: Ortalama değer v: Varyasyon katsayısı

Buna göre; hava kurusu yoğunluk en yüksek, PU tutkalı ile lamine edilen Doğu kayınında (0,75 g/cm^3), en düşük ise MF tutkalı ile lamine edilen kavakta (0,41 g/cm^3); 185 ºC ısıl işlemli örneklerde en yüksek MF tutkalı ile lamine edilen Doğu kayınında (0,70 g/cm^3), en düşük PU tutkalı ile lamine edilen kavakta (0,35 g/cm^3); 212 ºC ısıl işlemli örneklerde en yüksek MF tutkalı ile lamine edilen Doğu kayınında (0,69 g/cm^3), en düşük PU tutkalı ile lamine edilen kavakta (0,33 g/cm^3) elde edilmiştir.

Hava kurusu yoğunluklara uygulanan çoklu varyans analizi sonuçları Çizelge 5.2'de verilmiştir.

Çizelge 5.2. Hava kurusu yoğunluklara ait çoklu varyans analizi

Faktör	Serbestlik derecesi	Kareler toplamı	Kareler ortalaması	F değeri	P ≤ 0,05
Ağaç malzeme türü (A)	3	5,225	1,742	4047,2993	0,0000*
Tutkal çeşidi (B)	2	0,008	0,004	8,8994	0,0002*
Etkileşim (AB)	6	0,014	0,002	5,4208	0,0000*
Isıl işlem sıcaklığı (C)	2	0,412	0,206	478,9199	0,0000*
Etkileşim (AC)	6	0,010	0,002	3,8878	0,0009*
Etkileşim (BC)	4	0,012	0,003	6,7203	0,0000*
Etkileşim (ABC)	12	0,008	0,001	1,4926	0,0251*
Hata	324	0,139	0,000		
Toplam	359	5,828			

*=0,05'e göre önemli

Buna göre; hava kurusu yoğunluk düzeyindeki değişimde en büyük etki ağaç türünde daha sonra ısıl işlemde olmuştur. Tutkal çeşidinin etkisi oldukça düşük çıkmuştır. Hava kurusu yoğunlukta ağaç malzeme türü, tutkal çeşidi ve ısıl işlem sıcaklığı ile bunların karşılıklı etkileşimleri istatiksel olarak önemli çıkmıştır (P ≤ 0,05). Farklılığın hangi gruplar arasında önemli olduğunu belirlemek için yapılan Duncan testi Çizelge 5. 3 – 9' da verilmiştir.

Hava kurusu yoğunluk değeri; ağaç malzeme türüne göre Çizelge 5.3'te, tutkal çeşidine göre Çizelge 5.4'te, ısıl işlem sıcaklığına göre Çizelge 5.5'te, ağaç malzeme türü-tutkal çeşidi ikili etkileşime göre Çizelge 5.6'da, ağaç malzeme türü-ısıl işlem

sıcaklığı ikili etkileşime göre Çizelge 5.7'de, tutkal çeşidi-ısıl işlem sıcaklığı ikili etkileşime göre Çizelge 5.8'de, ağaç malzeme türü-tutkal çeşidi-ısıl işlem sıcaklığı üçlü etkileşime göre ise Çizelge 5.9'da verilmiştir.

Çizelge 5.3. Ağaç malzeme türüne göre hava kurusu yoğunluklar (g/cm^3)

Ağaç malzeme türü	X_{ort}	HG
Doğu kayını	0,68	a
Sapsız meşe	0,65	b
Sarıçam	0,53	c
Kavak	0,37	d
LSD: ± 0,009271		

Buna göre; hava kurusu yoğunluk, en yüksek Doğu kayınında (0,68 g/cm^3), en düşük ise kavakta (0,37 g/cm^3) elde edilmiştir.

Çizelge 5.4. Tutkal çeşidine göre hava kurusu yoğunluklar (g/cm^3)

Tutkal çeşidi	X_{ort}	HG
D4	0,57	a
MF	0,56	b
PU	0,55	c
LSD: ± 0,0008029		

Buna göre; hava kurusu yoğunluk, en yüksek D4 tutkalı ile lamine edilen örneklerde (0,57 g/cm^3), en düşük ise PU tutkalı ile lamine edilen örneklerde (0,55 g/cm^3) elde edilmiştir.

Çizelge 5.5. Isıl işlem sıcaklığına göre hava kurusu yoğunluklar (g/cm^3)

Isıl işlem sıcaklığı	X_{ort}	HG
Kontrol	0,61	a
185 ºC	0,55	b
212 ºC	0,53	c
LSD: ± 0,0008029		

Buna göre; hava kurusu yoğunluk, en yüksek 185 °C ısıl işlemli örneklerde (0,55 g/cm^3), en düşük ise 212 ºC ısıl işlemli örneklerde (0,53 g/cm^3) elde edilmiştir.

Çizelge 5.6. Hava kurusu yoğunlukta ağaç malzeme türü-tutkal çeşidi ikili etkileşime ait Duncan testi sonuçları (g/cm^3)

Ağaç malzeme türü-tutkal çeşidi	X_{ort}	HG
Kayın+MF	0,69	a
Kayın+PU	0,68	b
Kayın+D4	0,67	c
Meşe+D4	0,66	d
Meşe+PU	0,64	e
Meşe+MF	0,64	e
Çam+D4	0,54	f
Çam+PU	0,53	g
Çam+MF	0,53	g
Kavak+D4	0,39	h
Kavak+MF	0,37	ı
Kavak+PU	0,36	j
LSD: ± 0,001606		

Buna göre; hava kurusu yoğunluk, en yüksek MF tutkalı ile lamine edilen Doğu kayınında (0,69 g/cm^3), en düşük ise PU tutkalı ile lamine edilen kavakta (0,36 g/cm^3) elde edilmiştir.

Çizelge 5.7. Hava kurusu yoğunlukta ağaç malzeme türü-ısıl işlem sıcaklığı ikili etkileşime ait Duncan testi sonuçları (g/cm^3)

Ağaç malzeme türü-ısıl işlem sıcaklığı	X_{ort}	HG
Kayın+Kontrol	0,74	a
Meşe+Kontrol	0,69	b
Kayın+185 °C	0,66	c
Meşe+185°C	0,65	d
Kayın+212°C	0,64	e
Meşe+212°C	0,62	f
Çam+Kontrol	0,58	g
Çam+185°C	0,52	h
Çam+212 °C	0,50	ı
Kavak+Kontrol	0,42	j
Kavak+185°C	0,36	k
Kavak+212°C	0,34	l
LSD: ±0,001606		

Buna göre; hava kurusu yoğunluk, en yüksek 185 °C ısıl işlemli Doğu kayınında (0,66 g/cm^3), en düşük ise 212 °C ısıl işlemli kavakta (0,34 g/cm^3) elde edilmiştir.

Çizelge 5.8. Hava kurusu yoğunlukta tutkal çeşidi-ısıl işlem sıcaklığı ikili etkileşime ait Duncan testi sonuçları (g/cm^3)

Tutkal çeşidi-ısıl işlem sıcaklığı	X_{ort}	HG
D4+Kontrol	0,62	a
PU+Kontrol	0,61	b
MF+Kontrol	0,59	c
D4+185°C	0,56	d
MF+185°C	0,55	e
PU+185°C	0,54	f
MF+212°C	0,53	g
D4+212°C	0,52	h
PU+212°C	0,51	ı
LSD: ± 0,001391		

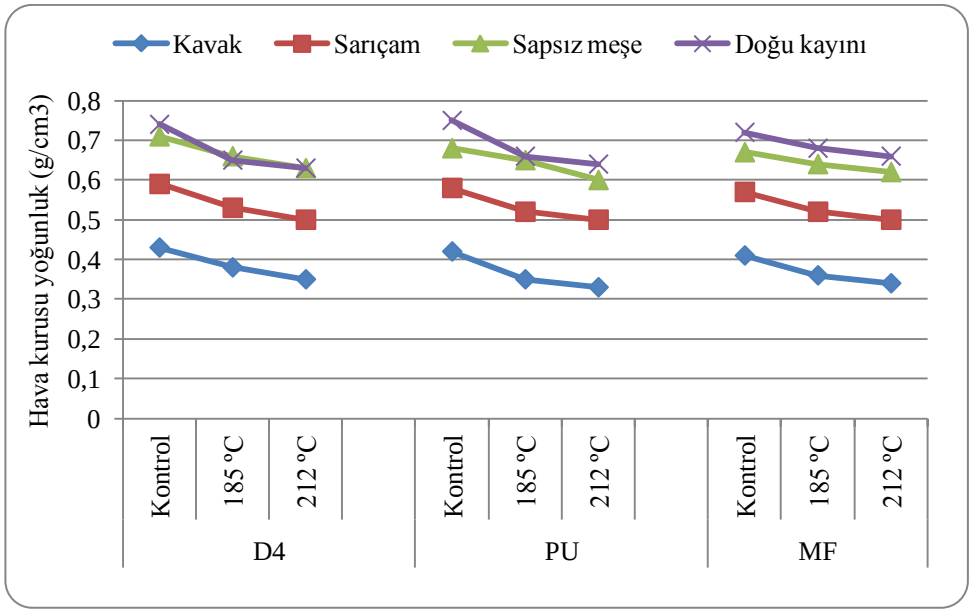
Buna göre; hava kurusu yoğunluk, en yüksek 185°C ısıl işlemli D4'te (0,56 g/cm^3), en düşük ise 212°C ısıl işlemli PU'da (0,51 g/cm^3) elde edilmiştir.

Çizelge 5.9. Hava kurusu yoğunlukta ağaç malzeme türü-tutkal çeşidi-ısıl işlem sıcaklığı üçlü etkileşime ait Duncan testi sonuçları (g/cm^3)

Ağaç malzeme türü-tutkal çeşidi- ısıl işlem sıcaklığı	X_{ort}	HG	Ağaç malzeme türü-tutkal çeşidi- ısıl işlem sıcaklığı	X_{ort}	HG
Kayın+PU+Kontrol	0,75	a	Çam+D4 +Kontrol	0,59	m
Kayın+D4+Kontrol	0,74	b	Çam+PU+Kontrol	0,58	n
Kayın+MF+Kontrol	0,72	c	Çam+MF+Kontrol	0,57	o
Meşe+D4+Kontrol	0,71	d	Çam+D4+185°C	0,53	p
Kayın+MF+185°C	0,68	e	Çam+MF+185°C	0,52	q
Meşe+PU+Kontrol	0,68	e	Çam+PU+185°C	0,52	q
Meşe+MF+Kontrol	0,67	f	Çam+MF+212°C	0,50	r
Kayın+PU+185°C	0,66	g	Çam+D4+212°C	0,50	r
Meşe+D4+185°C	0,66	g	Çam+PU+212°C	0,49	s
Kayın+MF+212°C	0,66	g	Kavak+D4 +Kontrol	0,43	t
Kayın+D4+185°C	0,65	h	Kavak+PU+Kontrol	0,42	u
Meşe+PU+185°C	0,65	h	Kavak+MF+Kontrol	0,41	v
Meşe+MF+185°C	0,64	ı	Kavak+D4 +185°C	0,38	w
Kayın+PU+212°C	0,64	ı	Kavak+MF+ 185°C	0,36	x
Kayın+D4+212°C	0,63	j	Kavak+PU+ 185°C	0,35	y
Meşe+D4+212°C	0,63	j	Kavak+D4 +212°C	0,35	y
Meşe+MF+212°C	0,62	k	Kavak+MF+ 212°C	0,34	z
Meşe+PU+212°C	0,60	l	Kavak+PU+ 212°C	0,33	[
LSD: ± 0,002781					

Buna göre; hava kurusu yoğunluk, en yüksek MF tutkalı ile lamine edilen 185 °C ısıl işlemli Doğu kayınında (0,68 g/cm^3), en düşük ise PU tutkalı ile lamine edilen 212°C ısıl işlemli kavakta (0,33 g/cm^3) elde edilmiştir.

Lamine ağaç malzemelerin hava kurusu yoğunlukları Şekil 5.1'de verilmiştir.



Şekil 5.1. Lamine ağaç malzemelerin hava kurusu yoğunlukları

5.2. Tam Kuru Yoğunluk

Tam kuru yoğunluklara ilişkin istatiksel sonuçlar Çizelge 5.10'da verilmiştir.

Çizelge 5.10. Tam kuru yoğunluklara ilişkin istatiksel sonuçlar (g/cm^3)

Ağaç malzeme türü	Tutkal çeşidi	Isıl işlem sıcaklığı	Tam kuru yoğunluk			
			X_{min}	X_{max}	X_{ort}	v(%)
Kavak	D4	Kontrol	0,39	0,43	0,41	2,43
		185 ºC	0,32	0,38	0,35	5,71
		212 ºC	0,31	0,37	0,34	5,88
	PU	Kontrol	0,37	0,41	0,39	5,13
		185 ºC	0,30	0,38	0,34	8,82
		212 ºC	0,30	0,36	0,32	6,35
	MF	Kontrol	0,38	0,42	0,40	2,50
		185 ºC	0,33	0,36	0,35	2,86
		212 ºC	0,30	0,36	0,33	6,07
Sarıçam	D4	Kontrol	0,51	0,59	0,55	5,47
		185 ºC	0,48	0,52	0,50	3,92
		212 ºC	0,47	0,50	0,49	2,01
	PU	Kontrol	0,48	0,64	0,56	8,93
		185 ºC	0,47	0,53	0,51	3,92
		212 ºC	0,48	0,52	0,49	6,12
	MF	Kontrol	0,50	0,60	0,53	7,55
		185 ºC	0,48	0,50	0,50	2,00
		212 ºC	0,46	0,52	0,48	4,17
Sapsız meşe	D4	Kontrol	0,62	0,70	0,66	3,03
		185 ºC	0,62	0,66	0,64	1,56
		212 ºC	0,59	0,65	0,62	3,23
	PU	Kontrol	0,60	0,70	0,65	4,62
		185 ºC	0,59	0,65	0,62	3,18
		212 ºC	0,56	0,61	0,58	3,45
	MF	Kontrol	0,60	0,66	0,63	3,17
		185 ºC	0,60	0,65	0,62	3,23
		212 ºC	0,58	0,64	0,61	3,28
Doğu kayını	D4	Kontrol	0,66	0,74	0,70	4,29
		185 ºC	0,59	0,65	0,62	3,13
		212 ºC	0,59	0,65	0,62	3,23
	PU	Kontrol	0,70	0,74	0,72	1,39
		185 ºC	0,60	0,66	0,63	3,13
		212 ºC	0,59	0,65	0,62	3,17
	MF	Kontrol	0,67	0,71	0,69	1,45
		185 ºC	0,65	0,68	0,67	1,50
		212 ºC	0,64	0,68	0,66	3,08

X_{min}: En küçük değer X_{max}: En büyük değer X_{ort}: Ortalama değer v: Varyasyon katsayısı

Buna göre; tam kuru yoğunluk, en yüksek PU tutkalı ile lamine edilen Doğu kayınında (0,72 g/cm^3), en düşük ise PU tutkalı ile lamine edilen kavakta (0,39 g/cm^3); 185 ºC ısıl işlemli örneklerde en yüksek MF tutkalı ile lamine edilen Doğu

kayınında (0,67 g/cm^3), en düşük PU tutkalı ile lamine edilen kavakta (0,34 g/cm^3); 212 ºC ısıl işlemli örneklerde en yüksek MF tutkalı ile lamine edilen Doğu kayınında (0,66 g/cm^3), en düşük PU tutkalı ile lamine edilen kavakta (0,32 g/cm^3) elde edilmiştir.

Tam kuru yoğunluklara uygulanan çoklu varyans analizi Çizelge 5.11'de verilmiştir.

Çizelge 5.11. Tam kuru yoğunluklara ait çoklu varyans analizi

Faktör	Serbestlik derecesi	Kareler toplamı	Kareler ortalaması	F değeri	P ≤ 0,05
Ağaç malzeme türü (A)	3	4,945	1,648	3682,3159	0,0000*
Tutkal çeşidi (B)	2	0,002	0,001	2,0111	0,0355*
Etkileşim (AB)	6	0,022	0,004	8,3478	0,0000*
Isıl işlem sıcaklığı (C)	2	0,256	0,128	286,3991	0,0000*
Etkileşim (AC)	6	0,020	0,003	7,3469	0,0000*
Etkileşim (BC)	4	0,014	0,004	7,9513	0,0000*
Etkileşim (ABC)	12	0,011	0,001	2,0080	0,0231*
Hata	324	0,145	0,000		
Toplam	359	5,416			

*=0,05'e göre önemli

Buna göre; tam kuru yoğunlukta ağaç malzeme türü, tutkal çeşidi ve ısıl işlem sıcaklığı ile bunların karşılıklı etkileşimleri istatiksel olarak önemli çıkmıştır (P ≤ 0,05). Farklılığın hangi gruplar arasında önemli olduğunu belirlemek için yapılan Duncan testi Çizelge 5. 12 – 18' de verilmiştir.

Tam kuru yoğunluk değeri; ağaç malzeme türüne göre Çizelge 5.12'de, tutkal çeşidine göre Çizelge 5.13'te, ısıl işlem sıcaklığına göre Çizelge 5.14'te, ağaç malzeme türü-tutkal çeşidi ikili etkileşime göre Çizelge 5.15'te, ağaç malzeme türü-ısıl işlem sıcaklığı ikili etkileşime göre Çizelge 5.16'da, tutkal çeşidi-ısıl işlem sıcaklığı ikili etkileşime göre Çizelge 5.17'de, ağaç malzeme türü-tutkal çeşidi-ısıl işlem sıcaklığı üçlü etkileşime göre ise Çizelge 5.18'de verilmiştir.

Çizelge 5.12. Ağaç malzeme türüne göre tam kuru yoğunluklar (g/cm^3)

Ağaç malzeme türü	X_{ort}	HG
Doğu kayını	0,66	a
Sapsız meşe	0,63	b
Sarıçam	0,51	c
Kavak	0,36	d
LSD: ± 0,0009271		

Buna göre; tam kuru yoğunluk, en yüksek Doğu kayınında (0,66 g/cm^3), en düşük ise kavakta (0,36 g/cm^3) elde edilmiştir.

Çizelge 5.13. Tutkal çeşidine göre tam kuru yoğunluklar (g/cm^3)

Tutkal çeşidi	X_{ort}	HG
D4	0,54	a
MF	0,53	b
PU	0,52	c
LSD: ± 0,0008029		

Buna göre; tam kuru yoğunluk, en yüksek D4 tutkalı ile lamine edilen örneklerde (0,54 g/cm^3), en düşük ise PU tutkalı ile lamine edilen örneklerde (0,52 g/cm^3) elde edilmiştir.

Çizelge 5.14. Isıl işlem sıcaklığına göre tam kuru yoğunluklar (g/cm^3)

Isıl işlem sıcaklığı	X_{ort}	HG
Kontrol	0,57	a
185 ºC	0,53	b
212 ºC	0,51	c
LSD: ± 0,0008029		

Buna göre; tam kuru yoğunluk, en yüksek 185 °C ısıl işlemli örneklerde (0,53 g/cm^3), en düşük ise 212 ºC ısıl işlemli örneklerde (0,51 g/cm^3) elde edilmiştir.

Çizelge 5.15. Tam kuru yoğunlukta ağaç malzeme türü-tutkal çeşidi ikili etkileşime ait Duncan testi sonuçları (g/cm^3)

Ağaç malzeme türü-tutkal çeşidi	X_{ort}	HG
Kayın+MF	0,67	a
Kayın+PU	0,66	b
Kayın+D4	0,65	c
Meşe+D4	0,64	d
Meşe+MF	0,62	e
Meşe+PU	0,61	f
Çam+PU	0,52	g
Çam+D4	0,51	h
Çam+MF	0,50	ı
Kavak+D4	0,37	j
Kavak+MF	0,36	k
Kavak+PU	0,35	l
LSD: ± 0,001606		

Buna göre; tam kuru yoğunluk, en yüksek MF tutkalı ile lamine edilen Doğu kayınında (0,67 g/cm^3), en düşük ise PU tutkalı ile lamine edilen kavakta (0,35 g/cm^3) elde edilmiştir.

Çizelge 5.16. Tam kuru yoğunlukta ağaç malzeme türü-ısıl işlem sıcaklığı ikili etkileşime ait Duncan testi sonuçları (g/cm^3)

Ağaç malzeme türü-ısıl işlem sıcaklığı	X_{ort}	HG
Kayın+Kontrol	0,70	a
Meşe+Kontrol	0,65	b
Kayın+185°C	0,64	c
Kayın+212°C	0,63	d
Meşe+185°C	0,63	e
Meşe+212°C	0,60	f
Çam+Kontrol	0,55	g
Çam+185°C	0,59	h
Çam+212°C	0,48	ı
Kavak+Kontrol	0,40	j
Kavak+185°C	0,35	k
Kavak+212°C	0,33	l
LSD: ± 0,001606		

Buna göre; tam kuru yoğunluk değeri en yüksek 185 °C ısıl işlemli Doğu kayınında (0,64 g/cm^3), en düşük ise 212 °C ısıl işlemli kavakta (0,33 g/cm^3) elde edilmiştir.

Çizelge 5.17. Tam kuru yoğunlukta tutkal çeşidi-ısıl işlem sıcaklığı ikili etkileşime ait Duncan testi sonuçları (g/cm^3)

Tutkal çeşidi-ısıl işlem sıcaklığı	X_{ort}	HG
D4+Kontrol	0,58	a
PU+Kontrol	0,58	a
MF+Kontrol	0,56	b
MF+185°C	0,53	c
D4+185°C	0,52	d
PU+185°C	0,52	d
MF+212°C	0,51	e
D4+212°C	0,51	e
PU+212°C	0,50	f
LSD: ± 0,001391		

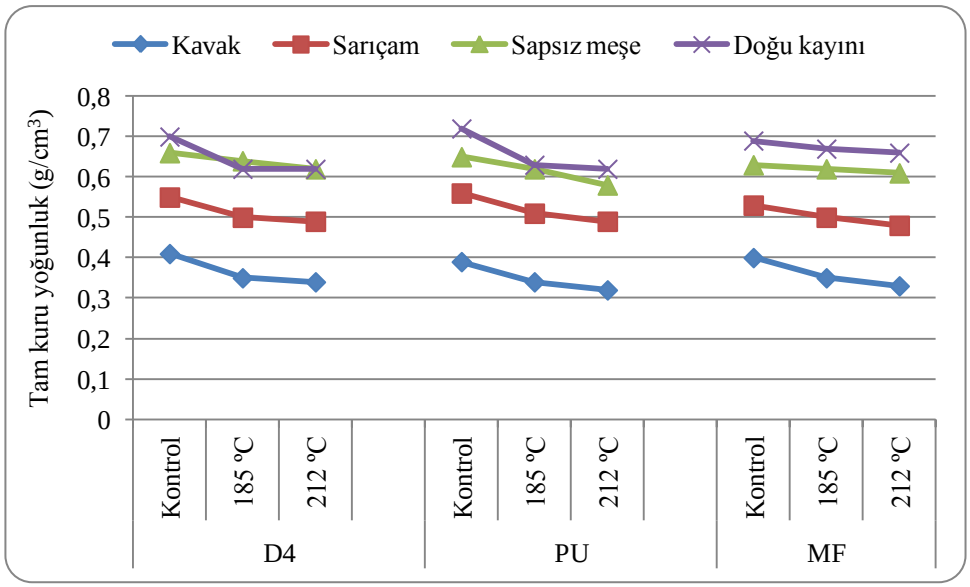
Buna göre; tam kuru yoğunluk, en yüksek 185 °C ısıl işlemli MF'de (0,53 g/cm^3), en düşük ise 212 °C ısıl işlemli PU'da (0,50 g/cm^3) elde edilmiştir.

Çizelge 5.18. Tam kuru yoğunlukta ağaç malzeme türü-tutkal çeşidi-ısıl işlem sıcaklığı üçlü etkileşime ait Duncan testi sonuçları (g/cm^3)

Ağaç malzeme türü-tutkal çeşidi-ısıl işlem sıcaklığı	X_{ort}	HG	Ağaç malzeme türü-tutkal çeşidi-ısıl işlem sıcaklığı	X_{ort}	HG
Kayın+PU+Kontrol	0,72	a	Çam+PU+Kontrol	0,56	p
Kayın+D4+Kontrol	0,70	b	Çam+D4+Kontrol	0,55	q
Kayın+MF+Kontrol	0,69	c	Çam+MF+Kontrol	0,53	r
Kayın+MF+185°C	0,67	d	Çam+PU+185°C	0,51	s
Meşe+D4+Kontrol	0,66	e	Çam+MF+185°C	0,50	t
Kayın+MF+212°C	0,66	f	Çam+D4+185°C	0,50	t
Meşe+PU+Kontrol	0,65	g	Çam+PU+212°C	0,49	u
Meşe+D4+185°C	0,64	h	Çam+D4+212°C	0,49	u
Meşe+MF+Kontrol	0,63	ı	Çam+MF+212°C	0,48	v
Kayın+PU+185°C	0,63	ı	Kavak+D4+Kontrol	0,41	w
Meşe+PU+185°C	0,62	j	Kavak+MF+Kontrol	0,40	x
Meşe+MF+185°C	0,62	jk	Kavak+PU+Kontrol	0,39	y
Kayın+D4+185°C	0,62	kl	Kavak+D4+185°C	0,35	z
Kayın+PU+212°C	0,62	l	Kavak+MF+185°C	0,35	[
Kayın+D4+212°C	0,62	l	Kavak+PU+185°C	0,34	\
Meşe+D4+212°C	0,62	m	Kavak+D4+212°C	0,34	\
Meşe+MF+212°C	0,61	n	Kavak+MF+212°C	0,33	]
Meşe+PU+212°C	0,58	o	Kavak+PU+212°C	0,32	^
LSD: ± 0,002781					

Buna göre; tam kuru yoğunluk, en yüksek MF tutkalı ile lamine edilen 185 °C ısıl işlemli Doğu kayınında (0,67 g/cm^3), en düşük ise PU tutkalı ile lamine edilen 212 °C ısıl işlemli kavakta (0,32 g/cm^3) elde edilmiştir.

Lamine ağaç malzemelerin tam kuru yoğunlukları Şekil 5.2'de verilmiştir.



Şekil 5.2. Lamine ağaç malzemelerin tam kuru yoğunlukları

5.3. Eğilme Direnci

Eğilme direncine ilişkin istatiksel sonuçlar Çizelge 5.19'da verilmiştir.

Çizelge 5.19. Eğilme direncine ilişkin istatiksel sonuçlar (N/mm^2)

Ağaç malzeme türü	Tutkal çeşidi	Isıl işlem sıcaklığı	Eğilme direnci			
			X_{min}	X_{max}	X_{ort}	v(%)
Kavak	D4	Kontrol	71,93	75,70	73,76	1,45
		185 ºC	51,27	59,18	55,49	3,87
		212 ºC	49,66	55,48	52,45	3,39
	PU	Kontrol	73,36	77,17	75,23	1,94
		185 ºC	54,12	58,18	56,28	2,36
		212 ºC	42,18	46,17	44,34	3,23
	MF	Kontrol	72,30	76,72	74,30	2,30
		185 ºC	57,17	61,63	58,65	2,78
		212 ºC	48,20	52,53	50,35	3,08
Sarıçam	D4	Kontrol	102,98	109,46	106,50	2,70
		185 ºC	87,73	95,36	91,40	2,25
		212 ºC	75,50	85,57	80,48	3,62
	PU	Kontrol	99,71	111,80	105,70	3,78
		185 ºC	95,36	99,27	97,45	1,40
		212 ºC	70,16	74,40	72,23	2,01
	MF	Kontrol	100,17	108,23	104,20	3,18
		185 ºC	80,16	84,48	82,34	1,79
		212 ºC	74,17	82,42	78,48	2,85
Sapsız meşe	D4	Kontrol	107,66	115,70	111,60	2,27
		185 ºC	93,72	99,81	96,58	1,88
		212 ºC	83,80	89,71	86,54	1,85
	PU	Kontrol	119,80	125,07	122,30	1,43
		185 ºC	110,46	120,63	115,40	2,94
		212 ºC	70,07	79,21	74,24	5,36
	MF	Kontrol	110,67	120,51	115,50	2,22
		185 ºC	100,56	107,21	104,60	2,38
		212 ºC	93,40	99,18	96,18	1,86
Doğu kayını	D4	Kontrol	121,07	140,60	136,20	4,75
		185 ºC	91,52	105,87	98,78	4,09
		212 ºC	85,83	95,87	90,57	3,64
	PU	Kontrol	125,10	135,17	130,30	2,34
		185 ºC	110,72	128,72	120,40	5,00
		212 ºC	70,42	74,82	73,06	2,18
	MF	Kontrol	121,66	136,66	129,60	3,76
		185 ºC	101,18	111,21	106,30	3,06
		212 ºC	95,76	103,66	99,93	2,26

X_{min}: En küçük değer X_{max}: En büyük değer X_{ort}: Ortalama değer v: Varyasyon katsayısı

Buna göre; eğilme direnci, en yüksek D4 tutkalı ile lamine edilen Doğu kayınında (136,20 N/mm^2), en düşük ise D4 tutkalı ile lamine edilen kavakta (73,76 N/mm^2); 185 ºC ısıl işlemli örneklerde en yüksek PU tutkalı ile lamine edilen Doğu kayınında

(120,40 N/mm^2), en düşük D4 tutkalı ile lamine edilen kavakta (55,49 N/mm^2); 212 ºC ısıl işlemli örneklerde en yüksek MF tutkalı ile lamine edilen Doğu kayınında (99,93 N/mm^2), en düşük PU tutkalı ile lamine edilen kavakta (44,34 N/mm^2) elde edilmiştir.

Çizelge 5.20. Eğilme dirençlerine ait çoklu varyans analizi

Faktör	Serbestlik derecesi	Kareler toplamı	Kareler ortalaması	F değeri	P ≤ 0,05
Ağaç malzeme türü (A)	3	128577,567	42859,189	5194,2609	0,0000*
Tutkal çeşidi (B)	2	172,089	86,045	10,4281	0,0000*
Etkileşim (AB)	6	1409,221	234,870	28,4648	0,0000*
Isıl işlem sıcaklığı (C)	2	62238, 384	31119,192	3771,4480	0,0000*
Etkileşim (AC)	6	3993,571	665,595	80,6659	0,0000*
Etkileşim (BC)	4	8148,892	2037,223	246,8984	0,0000*
Etkileşim (ABC)	12	3433,971	286,164	34,6813	0,0000*
Hata	324	2673,408	8,251		
Toplam	359	210647,103			

*=0,05'e göre önemli

Buna göre; eğilme direncinde ağaç malzeme türü, tutkal çeşidi ve ısıl işlem sıcaklığı ile bunların karşılıklı etkileşimleri istatiksel olarak önemli çıkmıştır (P ≤ 0,05). Farklılığın hangi gruplar arasında önemli olduğunu belirlemek için yapılan Duncan testi Çizelge 5. 21– 5.27' de verilmiştir.

Eğilme direnci; ağaç malzeme türüne göre Çizelge 5.21'de, tutkal çeşidine göre Çizelge 5.22'de, ısıl işlem sıcaklığına göre Çizelge 5.23'te, ağaç malzeme türü-tutkal çeşidi ikili etkileşime göre Çizelge 5.24'te, ağaç malzeme türü-ısıl işlem sıcaklığı ikili etkileşime göre Çizelge 5.25'te, tutkal çeşidi-ısıl işlem sıcaklığı ikili etkileşime göre Çizelge 5.26'da, ağaç malzeme türü-tutkal çeşidi-ısıl işlem sıcaklığı üçlü etkileşime göre ise Çizelge 5.27'de verilmiştir.

Çizelge 5.21. Ağaç malzeme türüne göre eğilme direnci (N/mm^2)

Ağaç türü	X_{ort}	HG
Doğu kayını	109,40	a
Sapsız meşe	102,50	b
Sarıçam	90,98	c
Kavak	60,09	d
LSD: ± 0,8421		

Buna göre; eğilme direnci, en yüksek Doğu kayınında (109,40 N/mm^2), en düşük ise kavakta (60,09 N/mm^2) elde edilmiştir.

Çizelge 5.22. Tutkal çeşidine göre eğilme direnci (N/mm^2)

Tutkal çeşidi	X_{ort}	HG
MF	91,69	a
PU	90,58	b
D4	90,03	b
LSD: ±0, 7293		

Buna göre; eğilme direnci en yüksek MF tutkalı ile lamine edilen örneklerde (91,69 N/mm^2), en düşük ise D4 tutkalı ile lamine edilen örneklerde (90,03 N/mm^2) elde edilmiştir.

Çizelge 5.23. Isıl işlem sıcaklığına göre eğilme direnci (N/mm^2)

Isıl işlem sıcaklığı	X_{ort}	HG
Kontrol	107,10	a
185 ºC	90,30	b
212 ºC	74,90	c
LSD: ±0,7293		

Buna göre; eğilme direnci, en yüksek 185 °C ısıl işlemli örneklerde (90,30 N/mm^2), en düşük ise 212 ºC ısıl işlemli örneklerde (74,90 N/mm^2) elde edilmiştir.

Çizelge 5.24. Eğilme direncinde ağaç malzeme türü-tutkal çeşidi ikili etkileşime ait Duncan testi sonuçları (N/mm^2)

Ağaç malzeme türü-tutkal çeşidi	X_{ort}	HG
Kayın+MF	111,90	a
Kayın+D4	108,50	b
Kayın+PU	107,90	b
Meşe+MF	105,40	c
Meşe+PU	104,00	c
M eşe+D4	98,24	d
Çam+D4	92,80	e
Çam+PU	91,81	e
Çam+MF	88,33	f
Kavak+MF	61,10	g
Kavak+D4	60,57	g
Kavak+PU	58,61	h
LSD: 1,459		

Buna göre; eğilme direnci, en yüksek MF tutkalı ile lamine edilen Doğu kayınında (111,90 N/mm^2), en düşük ise PU tutkalı ile lamine edilen kavakta (58,61 N/mm^2) elde edilmiştir.

Çizelge 5.25. Eğilme direncinde ağaç malzeme türü-ısıl işlem sıcaklığı ikili etkileşime ait Duncan testi sonuçları (N/mm^2)

Ağaç malzeme türü-ısıl işlem sıcaklığı	X_{ort}	HG
Kayın+Kontrol	132,00	a
Meşe+ Kontrol	116,50	b
Kayın+185 °C	108,50	c
Meşe+185°C	105,50	d
Çam+Kontrol	105,50	d
Çam+185°C	90,40	e
Kayın+212°C	87,85	f
Meşe+212°C	85,65	g
Çam+212°C	77,06	h
Kavak+Kontrol	74,43	ı
Kavak+185°C	56,80	j
Kavak+212°C	49,05	k
LSD: 1,459		

Buna göre; eğilme direnci, en yüksek 185 °C ısıl işlemli Doğu kayınında (108,50 N/mm^2), en düşük ise 212 °C ısıl işlemli kavakta (49,05 N/mm^2) elde edilmiştir.

Çizelge 5.26. Eğilme direncinde tutkal çeşidi-ısıl işlem sıcaklığı ikili etkileşime ait Duncan testi sonuçları (N/mm^2)

Tutkal çeşidi-ısıl işlem sıcaklığı	X_{ort}	HG
PU+Kontrol	108,40	a
D4+Kontrol	107,00	b
MF+Kontrol	105,90	b
PU+185°C	97,38	c
MF+185°C	87,95	d
D4+185°C	85,56	e
MF+212°C	81,24	f
D4+212°C	77,51	g
PU+212°C	65,97	h
LSD: 1,263		

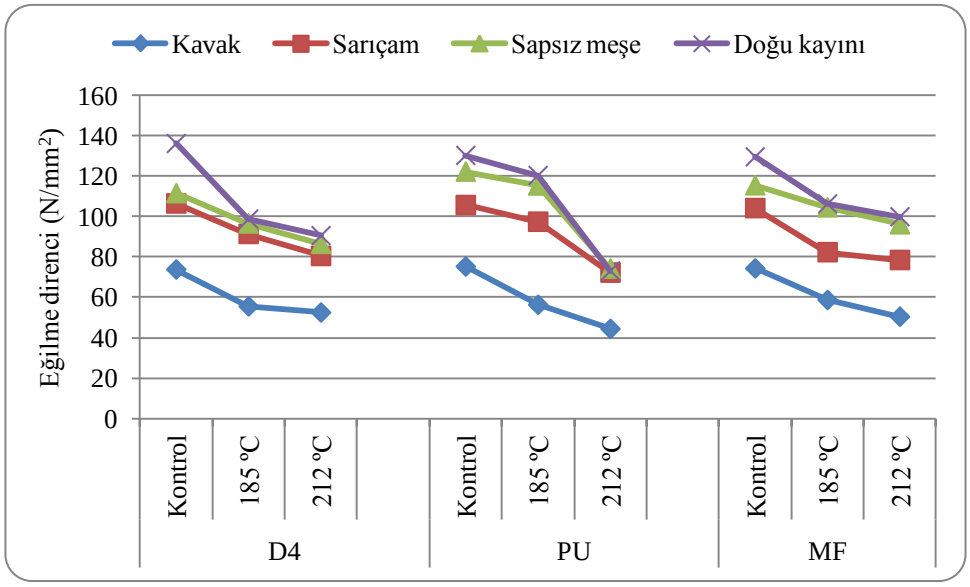
Buna göre; eğilme direnci, en yüksek 185 °C ısıl işlemli PU'da (97,38 N/mm^2), en düşük ise 212 °C ısıl işlemli PU'da (65,97 N/mm^2) elde edilmiştir. Bu durumda en fazla eğilme direnci kaybı PU tutkalında olmuştur.

Çizelge 5.27. Eğilme direncinde ağaç malzeme türü-tutkal çeşidi-ısıl işlem sıcaklığı üçlü etkileşime ait Duncan testi sonuçları (N/mm^2)

Ağaç malzeme türü-tutkal çeşidi- ısıl işlem sıcaklığı	X_{ort}	HG	Ağaç malzeme türü-tutkal çeşidi- ısıl işlem sıcaklığı	X_{ort}	HG
Kayın+D4+Kontrol	136,20	a	Çam+D4+185°C	91,40	ı
Kayın+PU+Kontrol	130,30	b	Kayın+D4+212°C	90,57	ı
Kayın+MF+Kontrol	129,60	b	Meşe+D4+212°C	86,54	j
Meşe+PU+Kontrol	122,30	c	Çam+MF+185°C	82,34	k
Kayın+PU+185°C	120,40	c	Çam+D4+212°C	80,48	kl
Meşe+MF+Kontrol	115,50	d	Çam+MF+212°C	78,48	l
Meşe+PU+185°C	115,40	d	Kavak+PU+Kontrol	75,23	m
Meşe+D4+Kontrol	111,60	e	Kavak+MF+Kontrol	74,30	mn
Çam+ D4+Kontrol	106,50	f	Meşe+PU+212°C	74,24	mn
Kayın+MF+185°C	106,30	f	Kavak+D4+Kontrol	73,76	mn
Çam+PU+Kontrol	105,70	f	Kayın+PU+212°C	73,06	mn
Meşe+MF+185°C	104,60	f	Çam+PU+212°C	72,23	n
Çam+MF+Kontrol	104,20	f	Kavak+MF+185°C	58,65	o
Kayın+MF+212°C	99,93	g	Kavak+PU+185°C	56,28	op
Kayın+D4+185°C	98,78	gh	Kavak+D4+185°C	55,49	p
Çam+PU+185°C	97,45	gh	Kavak+D4+212°C	52,45	q
Meşe+D4+185°C	96,58	h	Kavak+MF+212°C	50,35	q
Meşe+MF+212°C	96,18	h	Kavak+PU+212°C	44,34	r
LSD: 2,526					

Buna göre; eğilme direnci, en yüksek PU tutkalı ile lamine edilen 185 °C ısıl işlemli Doğu kayınında (120,40 N/mm^2), en düşük ise PU tutkalı ile lamine edilen 212 °C ısıl işlemli kavakta (44,34 N/mm^2) elde edilmiştir.

Lamine ağaç malzemelerin eğilme direçlerine ait değerler Şekil 5.3'te verilmiştir.



Şekil 5.3. Lamine ağaç malzemelerin eğilme direnci

5.4. Eğilmede Elastikiyet Modülü

Eğilmede elastikiyet modülüne ilişkin istatiksel sonuçlar Çizelge 5.28'de verilmiştir.

Çizelge 5.28. Eğilmede elastikiyet modülüne ilişkin istatiksel sonuçlar (N/mm^2)

Ağaç malzeme türü	Tutkal çeşidi	Isıl işlem sıcaklığı	Eğilmede elastikiyet modülü			
			X_{min}	X_{max}	X_{ort}	v(%)
Kavak	D4	Kontrol	6070	8068	6972	6,86
		185 ºC	5300	7310	6153	11,18
		212 ºC	4912	6800	5872	8,13
	PU	Kontrol	5758	7963	6850	10,33
		185 ºC	5018	7050	6002	10,64
		212 ºC	4028	6103	5004	13,49
	MF	Kontrol	5450	7648	6554	11,00
		185 ºC	4500	6720	5699	12,45
		212 ºC	4360	6548	5449	15,19
Sarıçam	D4	Kontrol	9220	11210	10200	8,02
		185 ºC	8503	10910	9703	8,94
		212 ºC	7600	9716	8703	9,36
	PU	Kontrol	9570	12000	10780	6,77
		185 ºC	8875	10800	9879	4,69
		212 ºC	6210	8320	7012	8,02
	MF	Kontrol	8838	10851	10090	6,78
		185 ºC	8200	10450	9402	8,35
		212 ºC	8080	10307	9105	7,53
Sapsız meşe	D4	Kontrol	10870	12816	11820	5,70
		185 ºC	9918	11910	10900	6,23
		212 ºC	9040	11200	10120	5,20
	PU	Kontrol	11006	13670	12310	6,32
		185 ºC	9850	11950	10850	7,35
		212 ºC	7016	9200	8194	10,26
	MF	Kontrol	10200	12450	11410	6,66
		185 ºC	11300	13450	12450	5,10
		212 ºC	10810	12960	11750	5,02
Doğu kayını	D4	Kontrol	11061	14970	12990	9,66
		185 ºC	10748	13010	12010	6,77
		212 ºC	10600	12806	11710	6,82
	PU	Kontrol	11723	14500	12750	8,42
		185 ºC	11220	13400	12200	5,48
		212 ºC	7250	9666	8471	8,83
	MF	Kontrol	11100	13210	12260	5,55
		185 ºC	10528	12750	11550	7,21
		212 ºC	10000	12450	11200	8,14

X_{min}: En küçük değer X_{max}: En büyük değer X_{ort}: Ortalama değer v: Varyasyon katsayısı

Buna göre; eğilmede elastikiyet modülü, en yüksek D4 tutkalı ile lamine edilen Doğu kayınında (12990 N/mm^2), en düşük ise MF tutkalı ile lamine edilen kavakta (6554 N/mm^2); 185 ºC ısıl işlemli örneklerde en yüksek MF tutkalı ile lamine edilen sapsız meşede (12450 N/mm^2), en düşük MF tutkalı ile lamine edilen kavakta (5699 N/mm^2); 212 ºC ısıl işlemli örneklerde en yüksek MF tutkalı ile lamine edilen sapsız meşede (11750 N/mm^2), en düşük ise PU tutkalı ile lamine edilen kavakta (5004 N/mm^2) elde edilmiştir.

Eğilmede elastikiyet modülüne uygulanan çoklu varyans analizi Çizelge 5.29'da verilmiştir.

Çizelge 5.29. Eğilmede elastikiyet modülüne ilişkin çoklu varyans analizi

Faktör	Serbestlik derecesi	Kareler toplamı	Kareler ortalaması	F değeri	P ≤ 0,05
Ağaç malzeme türü (A)	3	1718861979,048	572953993,016	22665,8299	0,0000*
Tutkal çeşidi (B)	2	25152792,604	12576396,302	497,5172	0,0000*
Etkileşim (AB)	6	29099960.732	4849993,455	191,8638	0,0000*
Isıl işlem sıcaklığı (C)	2	214321193,979	107160596,990	4239,2302	0,0000*
Etkileşim (AC)	6	11311638,624	1885273,104	74,5806	0,0000*
Etkileşim (BC)	4	97969664,478	24492416,120	968,9101	0,0000*
Etkileşim (ABC)	12	31662553,568	2638546,131	104,3798	0,0000*
Hata	324	8190174,135	25278,315		
Toplam	359	2136569957,168			

*=0,05'e göre önemli

Buna göre; eğilmede elastikiyet modülünde ağaç malzeme türü, tutkal çeşidi ve ısıl işlem sıcaklığı ile bunların karşılıklı etkileşimleri istatiksel olarak önemli çıkmıştır (P ≤ 0,05). Farklılığın hangi gruplar arasında önemli olduğunu belirlemek için yapılan Duncan testi Çizelge 5. 30 - 36' da verilmiştir.

Eğilmede elastikiyet modülü; ağaç malzeme türüne göre Çizelge 5.30'da, tutkal çeşidine göre Çizelge 5.31'de, ısıl işlem sıcaklığına göre Çizelge 5.32'de, ağaç malzeme türü-tutkal çeşidi ikili etkileşime göre Çizelge 5.33'te, ağaç malzeme türü-ısıl işlem sıcaklığı ikili etkileşime göre Çizelge 5.34'te, tutkal çeşidi-ısıl işlem sıcaklığı ikili etkileşime göre Çizelge 5.35'te, ağaç malzeme türü-tutkal çeşidi-ısıl işlem sıcaklığı üçlü etkileşime göre ise Çizelge 5.36'da verilmiştir.

Çizelge 5.30. Ağaç malzeme türüne göre eğilmede elastikiyet modülü (N/mm^2)

Ağaç malzeme türü	X_{ort}	HG
Doğu kayını	11680	a
Sapsız meşe	11090	b
Sarıçam	9431	c
Kavak	6062	d
LSD: ±46,61		

Buna göre; eğilmede elastikiyet modülü, en yüksek Doğu kayınında (11680 N/mm^2), en düşük ise kavakta (6062 N/mm^2) gerçekleşmiştir.

Çizelge 5.31. Tutkal çeşidine göre eğilmede elastikiyet modülü (N/mm^2)

Tutkal çeşidi	X_{ort}	HG
MF	9762	a
D4	9744	a
PU	9192	b
LSD: ±40,37		

Buna göre; eğilmede elastikiyet modülü, en yüksek MF tutkalı ile lamine edilen örneklerde (9762 N/mm^2), en düşük ise PU tutkalı ile lamine edilen örneklerde (9192 N/mm^2) elde edilmştir.

Çizelge 5.32. Isıl işlem sıcaklığına göre eğilmede elastikiyet modülü (N/mm^2)

Isıl işlem sıcaklığı	X_{ort}	HG
Kontrol	10420	a
185 ºC	9733	b
212 ºC	8549	c
LSD: ±40,37		

Buna göre; eğilmede elastikiyet modülü, en yüksek 185 ºC ısıl işlemli örneklerde (9733 N/mm^2), en düşük ise 212 ºC ısıl işlemli örneklerde (8549 N/mm^2) elde edilmiştir.

Çizelge 5.33. Eğilmede elastikiyet modülünde ağaç malzeme türü-tutkal çeşidi ikili etkileşime ait Duncan testi sonuçları (N/mm^2)

Ağaç malzeme türü-tutkal çeşidi	X_{ort}	HG
Kayın+D4	12230	a
Meşe+MF	11870	b
Kayın+MF	11670	c
Kayın+PU	11140	d
M eşe+D4	10950	e
Meşe+PU	10450	f
Çam+D4	9536	g
Çam+MF	9532	g
Çam+PU	9224	h
Kavak+D4	6332	ı
Kavak+PU	5952	j
Kavak+MF	5901	j
LSD: 80,73		

Buna göre; eğilmede elastikiyet modülü, en yüksek D4 tutkalı ile lamine edilen Doğu kayınında (12230 N/mm^2), en düşük ise MF tutkalı ile lamine edilen kavakta (5901 N/mm^2) elde edilmiştir.

Çizelge 5.34. Eğilmede elastikiyet modülünde ağaç malzeme türü-ısıl işlem sıcaklığı ikili etkileşime ait Duncan testi sonuçları (N/mm^2)

Ağaç malzeme türü-ısıl işlem sıcaklığı	X_{ort}	HG
Kayın+Kontrol	12670	a
Kayın+185°C	11920	b
Meşe+Kontrol	11850	b
Meşe+185°C	11400	c
Kayın+212°C	10460	d
Çam+Kontrol	10360	e
Meşe+212°C	10020	f
Çam+185°C	9661	g
Çam+212°C	8273	h
Kavak+Kontrol	6792	ı
Kavak+185°C	5951	j
Kavak+212°C	5442	k
LSD: 80,73		

Buna göre; eğilmede elastikiyet modülü, en yüksek 185 °C ısıl işlemli Doğu kayınında (11920 N/mm^2), en düşük ise 212 °C'de ısıl işlemli kavakta (5442 N/mm^2) elde edilmiştir.

Çizelge 5.35. Eğilmede elastikiyet modülünde tutkal çeşidi-ısıl işlem sıcaklığı ikili etkileşime ait Duncan testi sonuçları (N/mm^2)

Tutkal çeşidi-ısıl işlem sıcaklığı	X_{ort}	HG
PU+Kontrol	10670	a
D4+Kontrol	10500	b
MF+Kontrol	10080	c
MF+185°C	9777	d
PU+185°C	9734	de
D4+185°C	9690	e
MF+212°C	9376	f
D4+212°C	9099	g
PU+212°C	7170	h
LSD: 69,92		

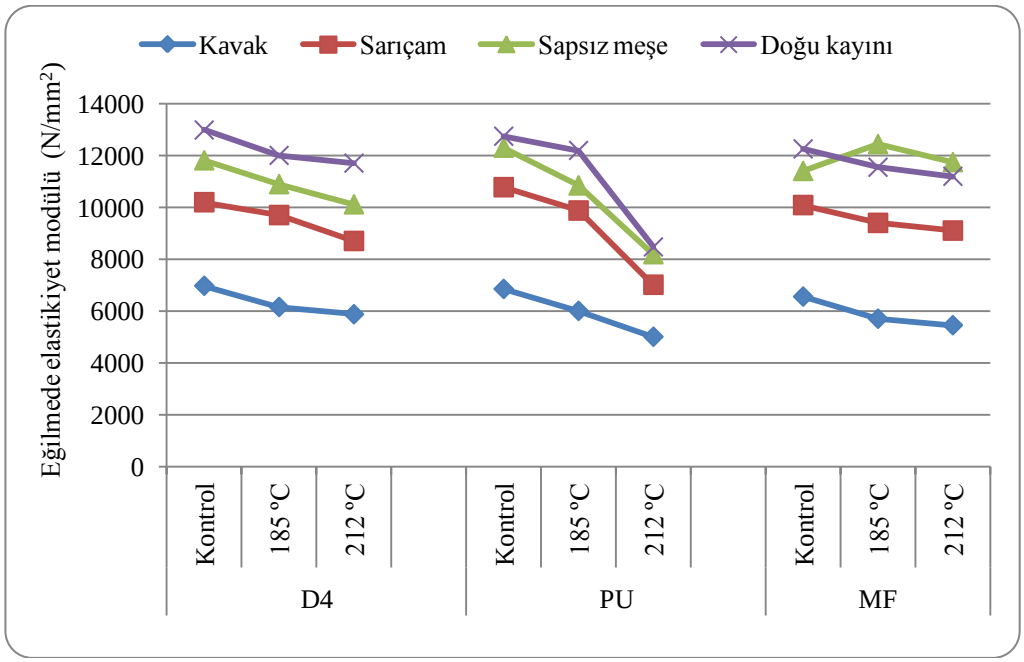
Buna göre; eğilmede elastikiyet modülü, en yüksek 185 °C ısıl işlemli MF'de (9777 N/mm^2), en düşük ise 212 °C 'de ısıl işlemli PU'da (7170 N/mm^2) elde edilmiştir. Bu durumda en fazla eğilmede elastikiyet modülü kaybı PU tutkalında olmuştur.

Çizelge 5.36. Eğilmede elastikiyet modülünde ağaç malzeme türü-tutkal çeşidi-ısıl işlem sıcaklığı üçlü etkileşime ait Duncan testi sonuçları (N/mm^2)

Ağaç malzeme türü-tutkal çeşidi- ısıl işlem sıcaklığı	X_{ort}	HG	Ağaç malzeme türü-tutkal çeşidi- ısıl işlem sıcaklığı	X_{ort}	HG
Kayın+D4+Kontrol	12990	a	Çam+MF+Kontrol	10090	k
Kayın+PU+Kontrol	12750	b	Çam+PU+185°C	9879	l
Meşe+MF+185°C	12450	c	Çam+D4+185	9703	m
Meşe+PU+Kontrol	12310	d	Çam+MF+185°C	9402	n
Kayın+MF+Kontrol	12260	d	Çam+MF+212°C	9105	o
Kayın+PU+185°C	12200	d	Çam+D4+212°C	8703	p
Kayın+D4+185	12010	e	Kayın+PU+212°C	8471	q
Meşe+D4+Kontrol	11820	f	Meşe+PU+212°C	8194	r
Meşe+MF+212°C	11750	f	Çam+PU+212°C	7012	s
Kayın+D4+212°C	11710	f	Kavak+D4+Kontrol	6972	st
Kayın+MF+185°C	11550	g	Kavak+PU+Kontrol	6850	t
Meşe+MF+Kontrol	11410	h	Kavak+MF+Kontrol	6554	u
Kayın+MF+212°C	11200	ı	Kavak+D4+185°C	6153	v
Meşe+PVAc-D4+185	10900	j	Kavak+PU+185°C	6002	w
Meşe+PU+185°C	10850	j	Kavak+D4 +212°C	5872	w
Çam+PU+Kontrol	10780	j	Kavak+MF+185°C	5699	x
Çam+D4+Kontrol	10200	k	Kavak+MF+212°C	5449	y
Meşe+D4+212°C	10120	k	Kavak+PU+212°C	5004	z
LSD: 139,8					

Buna göre; eğilmede elastikiyet modülü, en yüksek MF tutkalı ile lamine edilen 185 °C ısıl işlemli sapsız meşede (12450 N/mm^2), en düşük ise PU tutkalı ile lamine edilen 212 °C ısıl işlemli kavakta (5004 N/mm^2) elde edilmiştir.

Lamine ağaç malzemelerin eğilmede elastikiyet modülü Şekil 5.4'de verilmiştir.



Şekil 5.4. Lamine ağaç malzemelerin eğilmede elastikiyet modülü

5.5. Liflere Paralel Basınç Direnci

Liflere paralel basınç direncine ilişkin istatiksel sonuçlar Çizelge 5.37'de verilmiştir.

Çizelge 5.37. Liflere paralel basınç direncine ilişkin istatiksel sonuçlar (N/mm^2)

Ağaç malzeme türü	Tutkal çeşidi	Isıl işlem sıcaklığı	Liflere paralel basınç direnci			
			X_{min}	X_{max}	X_{ort}	v(%)
Kavak	D4	Kontrol	48,00	50,16	48,91	1,33
		185 ºC	40,66	48,38	44,86	5,13
		212 ºC	40,25	43,77	42,28	2,60
	PU	Kontrol	48,80	51,76	50,37	1,95
		185 ºC	39,16	46,82	43,56	4,96
		212 ºC	28,80	38,77	31,60	8,89
	MF	Kontrol	51,80	54,70	53,24	1,56
		185 ºC	61,17	64,71	62,98	2,08
		212 ºC	55,17	57,48	56,13	1,44
Sarıçam	D4	Kontrol	54,01	56,21	55,60	1,38
		185 ºC	48,18	51,72	49,92	2,06
		212 ºC	47,92	51,60	49,32	2,04
	PU	Kontrol	55,01	59,92	56,45	2,87
		185 ºC	50,48	53,72	51,61	2,05
		212 ºC	40,20	44,60	42,39	2,09
	MF	Kontrol	57,80	59,73	58,75	1,19
		185 ºC	61,70	64,48	63,22	1,69
		212 ºC	58,40	62,45	60,38	2,14
Sapsız meşe	D4	Kontrol	72,60	74,70	73,86	1,08
		185 ºC	70,36	78,40	75,37	3,45
		212 ºC	70,01	76,48	73,62	2,87
	PU	Kontrol	72,80	76,77	74,64	1,76
		185 ºC	67,16	71,66	69,45	2,15
		212 ºC	50,16	53,46	51,31	2,46
	MF	Kontrol	80,80	83,12	82,07	0,79
		185 ºC	86,16	88,43	87,37	0,98
		212 ºC	80,17	84,60	83,00	1,51
Doğu kayını	D4	Kontrol	74,20	76,90	75,10	1,60
		185 ºC	64,20	68,21	65,89	1,88
		212 ºC	60,71	64,16	61,90	1,76
	PU	Kontrol	74,61	78,43	76,85	1,50
		185 ºC	70,22	73,21	71,51	1,52
		212 ºC	57,16	61,18	59,30	1,87
	MF	Kontrol	75,96	79,46	77,89	1,45
		185 ºC	69,08	73,16	71,39	2,07
		212 ºC	67,16	71,46	69,05	2,52

X_{min}: En küçük değer X_{max}: En büyük değer X_{ort}: Ortalama değer v: Varyasyon katsayısı

Buna göre; liflere paralel baınç direnci, en yüksek MF tutkalı ile lamine edilen sapsız meşede (82,07 N/mm^2), en düşük ise D4 tutkalı ile lamine edilen kavakta (48,91 N/mm^2); 185 ºC ısıl işlemli örneklerde en yüksek MF tutkalı ile lamine edilen sapsız meşede (87,37 N/mm^2), en düşük PU tutkalı ile lamine edilen kavakta (43,56 N/mm^2); 212 ºC ısıl işlemli örneklerde en yüksek MF tutkalı ile lamine edilen sapsız meşede (83,00 N/mm^2), en düşük ise PU tutkalı ile lamine edilen kavakta (31,60 N/mm^2) elde edilmiştir.

Liflere paralel basınç direncine uygulanan çoklu varyans analizi Çizelge 5.38'de verilmiştir.

Çizelge 5.38. Liflere paralel basınç direncine ilişkin çoklu varyans analizi

Faktör	Serbestlik derecesi	Kareler toplamı	Kareler ortalaması	F değeri	P ≤ 0,05
Ağaç malzeme türü (A)	3	42268,715	14089,572	7270,4963	0,0000*
Tutkal çeşidi (B)	2	9637,579	4818,789	2486,5902	0,0000*
Etkileşim (AB)	6	2218,604	369,767	190,8072	0,0000*
Isıl işlem sıcaklığı (C)	2	4810,502	2405,251	1241,1570	0,0000*
Etkileşim (AC)	6	711,883	118,647	61,2243	0,0000*
Etkileşim (BC)	4	3613,834	903,459	466,2024	0,0000*
Etkileşim (ABC)	12	890,491	74,208	38,2926	0,0000*
Hata	324	627,883	1,938		
Toplam	359	64779,492			

*=0,05'e göre önemli

Buna göre; liflere paralel basınç direncinde ağaç malzeme türü, tutkal çeşidi ve ısıl işlem sıcaklığı ile bunların karşılıklı etkileşimleri istatiksel olarak önemli çıkmıştır (P ≤ 0,05). Farklılığın hangi gruplar arasında önemli olduğunu belirlemek için yapılan Duncan testi sonuçları Çizelge 5. 39 - 45' te verilmiştir.

Liflere paralel basınç direnci; ağaç malzeme türüne göre Çizelge 5.39'da, tutkal çeşidine göre Çizelge 5.40'ta, ısıl işlem sıcaklığına göre Çizelge 5.41'de, ağaç malzeme türü-tutkal çeşidi ikili etkileşime göre Çizelge 5.42'de, ağaç malzeme türü-ısıl işlem sıcaklığı ikili etkileşime göre Çizelge 5.43'te, tutkal çeşidi-ısıl işlem

sıcaklığı ikili etkileşime göre Çizelge 5.44'te, ağaç malzeme türü-tutkal çeşidi-ısıl işlem sıcaklığı üçlü etkileşime göre ise Çizelge 5.45'te verilmiştir.

Çizelge 5.39. Ağaç malzeme türlerine göre liflere paralel basınç direnci (N/mm^2)

Ağaç malzene türü	X_{ort}	HG
Sapsız meşe	74,52	a
Doğu kayını	69,88	b
Sarıçam	54,18	c
Kavak	48,21	d
LSD: ±0,4081		

Buna göre; liflere paralel basınç direnci, en yüksek sapsız meşede (74,52 N/mm^2), en düşük ise kavakta (48,21 N/mm^2) elde edilmiştir.

Çizelge 5.40. Tutkal çeşidine göre liflere paralel basınç direnci (N/mm^2)

Tutkal çeşidi	X_{ort}	HG
MF	68,79	a
D4	59,72	b
PU	56,59	c
LSD: ±0,3534		

Buna göre; liflere paralel basınç direnci, en yüksek MF tutkalı ile lamine edilen örneklerde (68,79 N/mm^2), en düşük ise PU tutkalı ile lamine edilen örneklerde (56,59 N/mm^2) elde edilmiştir.

Çizelge 5.41. Isıl işlem sıcaklığına göre liflere paralel basınç direnci (N/mm^2)

Isıl işlem sıcaklığı	X_{ort}	HG
Kontrol	65,31	a
185 ºC	63,09	b
212 ºC	56,69	c
LSD: ±0,3534		

Buna göre; liflere paralel basınç direnci, en yüksek 185 °C'de ısıl işlemli örneklerde (63,09 N/mm^2), en düşük ise 212 ºC ısıl işlemli örneklerde (56,69 N/mm^2) elde edilmiştir.

Çizelge 5.42. Liflere paralel basınç direncinde ağaç malzeme türü-tutkal çeşidi ikili etkileşime ait Duncan testi sonuçları (N/mm^2)

Ağaç malzeme türü-tutkal çeşidi	X_{ort}	HG
Meşe+MF	84,15	a
Meşe+D4	74,28	b
Kayın+MF	72,78	c
Kayın+PU	69,22	d
Kayın+D4	67,63	e
Meşe+PU	65,13	f
Çam+MF	60,78	g
Kavak+MF	57,45	h
Çam+D4	51,61	ı
Çam+PU	50,15	j
Kavak+D4	45,35	k
Kavak+PU	41,84	l
LSD: 0,7069		

Buna göre; liflere paralel basınç direnci, en yüksek MF tutkalı ile lamine edilen sapsız meşede (84,15 N/mm^2), en düşük ise PU tutkalı ile lamine edilen kavakta (41,84 N/mm^2) elde edilmiştir.

Çizelge 5.43. Liflere paralel basınç direncinde ağaç malzeme türü-ısıl işlem sıcaklığı ikili etkileşime ait Duncan testi sonuçları (N/mm^2)

Ağaç malzeme türü-ısıl işlem sıcaklığı	X_{ort}	HG
Meşe+185°C	77,39	a
Meşe+Kontrol	76,86	ab
Kayın+Kontrol	76,61	b
Kayın+185°C	69,60	c
Meşe+212°C	69,31	c
Kayın+212°C	63,42	d
Çam+Kontrol	56,93	e
Çam+185°C	54,91	f
Kavak+Kontrol	50,84	g
Çam+212°C	50,69	g
Kavak+185°C	50,47	g
Kavak+212°C	43,34	h
LSD: 0,7069		

Buna göre; liflere paralel basınç direnci, en yüksek 185 °C ısıl işlemli sapsız meşede (77,39 N/mm^2), en düşük ise 212 °C ısıl işlemli kavakta (43,34 N/mm^2) elde edilmiştir.

Çizelge 5.44. Liflere paralel basınç direncinde tutkal çeşidi-ısıl işlem sıcaklığı ikili etkileşime ait Duncan testi sonuçları (N/mm^2)

Tutkal çeşidi-ısıl işlem sıcaklığı	X_{ort}	HG
MF+185°C	71,24	a
MF+Kontrol	67,99	b
MF+212°C	67,14	c
PU+Kontrol	64,58	d
D4+Kontrol	63,37	e
PU+185°C	59,03	f
D4+185°C	59,01	f
D4+212°C	56,78	g
PU+212°C	46,15	h
LSD: 0,612,		

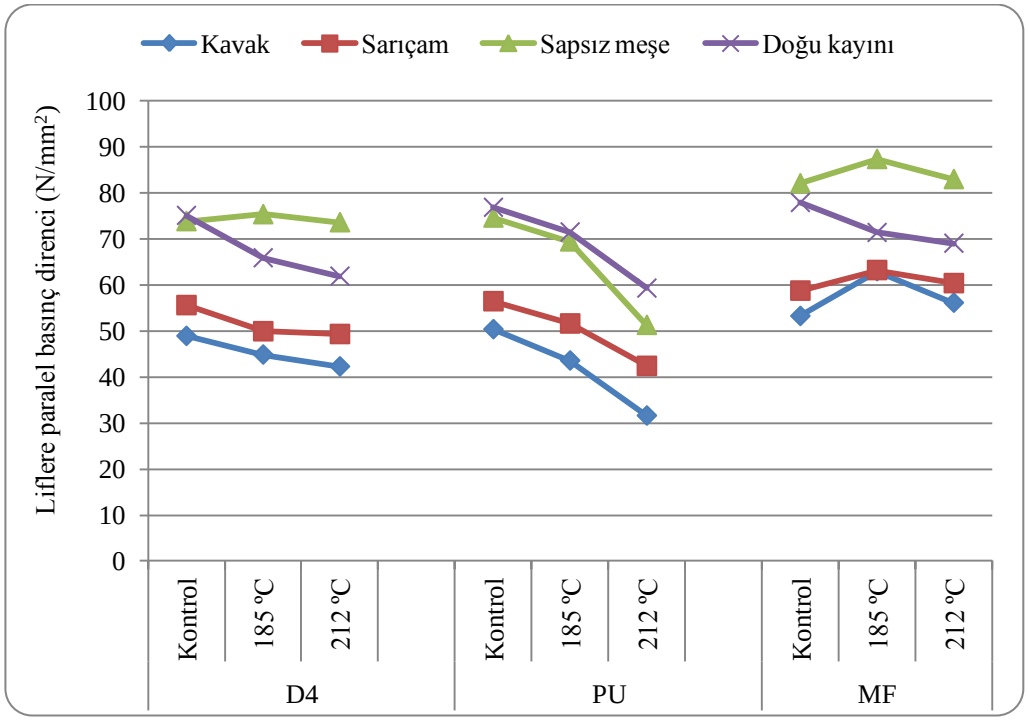
Buna göre; liflere paralel basınç direnci, en yüksek 185 °C ısıl işlemli MF'de (71,24 N/mm^2), en düşük ise 212 °C ısıl işlemli PU 'da (46,15 N/mm^2) elde edilmiştir.

Çizelge 5.45. Liflere paralel basınç direncinde ağaç malzeme türü-tutkal çeşidi-ısıl işlem sıcaklığı üçlü etkileşime ait Duncan testi sonuçları (N/mm^2)

Ağaç malzeme türü-tutkal çeşidi- ısıl işlem sıcaklığı	X_{ort}	HG	Ağaç malzeme türü-tutkal çeşidi- ısıl işlem sıcaklığı	X_{ort}	HG
Meşe+MF+185°C	87,37	a	Çam+MF+212°C	60,38	l
Meşe+MF+212°C	83,00	b	Kayın+PU+212°C	59,30	lm
Meşe+MF+Kontrol	82,07	b	Çam+MF+Kontrol	58,75	m
Kayın+MF+Kontrol	77,89	c	Çam+PU+Kontrol	56,45	n
Kayın+PU+Kontrol	76,85	c	Kavak+MF+212°C	56,13	n
Meşe+D4+185°C	75,37	d	Çam+D4+Kontrol	55,60	n
Kayın+D4+Kontrol	75,10	de	Kavak+MF+Kontrol	53,24	o
Meşe+PU+Kontrol	74,64	def	Çam+PU+185°C	51,61	p
Meşe+D4+Kontrol	73,86	ef	Meşe+PU+212°C	51,31	p
Meşe+D4+212°C	73,62	f	Kavak+PU+Kontrol	50,37	pq
Kayın+PU+185°C	71,51	g	Çam+D4+185°C	49,92	qr
Kayın+MF+185°C	71,39	g	Çam+D4+212°C	49,32	qr
Meşe+PU+185°C	69,45	h	Kavak+D4+Kontrol	48,91	r
Kayın+MF+212°C	69,05	h	Kavak+D4+185°C	44,86	s
Kayın+D4+185°C	65,89	ı	Kavak+PU+185°C	43,56	t
Çam+MF+185°C	63,22	j	Çam+PU+212°C	42,38	t
Kavak+MF+185°C	62,98	jk	Kavak+D4+212°C	42,28	t
Kayın+D4+212°C	61,90	k	Kavak+PU+212°C	31,60	u
LSD: 1,224					

Buna göre; liflere paralel basınç direnci, en yüksek MF tutkalı ile lamine edilen 185 °C ısıl işlemli sapsız meşede (87,37 N/mm^2), en düşük ise PU tutkalı ile lamine edilen 212 °C ısıl işlemli kavakta (31,60 N/mm^2) elde edilmiştir.

Lamine ağaç malzemelerin liflere paralel basınç direnci Şekil 5.5'de verilmiştir.



Şekil 5.5. Lamine ağaç malzemelerin liflere paralel basınç direnci

5.6. Liflere Dik Kavela Tutma Direnci

Liflere dik kavela tutma direncine ilişkin istatiksel sonuçlar Çizelge 5.46'da verilmiştir.

Çizelge 5.46. Liflere dik kavela tutma direncine ilişkin istatiksel sonuçlar (N/mm^2)

Ağaç malzeme türü	Tutkal çeşidi	Isıl işlem sıcaklığı	Liflere dik kavela tutma direnci			
			X_{min}	X_{max}	X_{ort}	v(%)
Kavak	D4	Kontrol	4,70	7,01	5,80	12,07
		185 ºC	3,65	5,03	4,20	12,14
		212 ºC	3,30	3,70	3,50	3,43
	PU	Kontrol	5,50	7,80	6,50	10,46
		185 ºC	4,60	6,73	5,49	9,28
		212 ºC	2,20	3,30	2,81	14,28
	MF	Kontrol	5,05	7,04	5,96	10,74
		185 ºC	4,61	6,66	5,40	9,44
		212 ºC	4,19	6,30	5,20	11,54
Sarıçam	D4	Kontrol	5,79	7,96	6,80	7,50
		185 ºC	4,75	6,66	5,70	7,89
		212 ºC	4,32	6,31	5,22	6,64
	PU	Kontrol	6,51	8,54	7,40	6,62
		185 ºC	5,40	7,61	6,39	8,41
		212 ºC	4,40	5,42	4,90	6,53
	MF	Kontrol	6,11	8,25	7,28	7,55
		185 ºC	5,36	7,24	6,30	7,30
		212 ºC	5,16	7,32	6,20	8,22
Sapsız meşe	D4	Kontrol	8,60	10,90	9,51	7,26
		185 ºC	6,80	8,20	7,75	5,30
		212 ºC	6,00	7,95	6,90	9,28
	PU	Kontrol	7,70	10,71	9,21	9,78
		185 ºC	6,90	8,32	7,60	6,06
		212 ºC	4,70	5,90	5,20	9,81
	MF	Kontrol	8,60	10,33	9,30	6,34
		185 ºC	6,90	8,80	7,84	6,25
		212 ºC	6,50	8,10	7,30	6,71
Doğu kayını	D4	Kontrol	8,70	10,85	9,36	7,59
		185 ºC	6,20	8,50	7,20	8,20
		212 ºC	5,70	7,60	6,55	8,35
	PU	Kontrol	8,00	10,10	9,04	7,86
		185 ºC	6,30	8,50	7,10	10,14
		212 ºC	3,65	6,40	4,96	18,76
	MF	Kontrol	7,80	10,40	9,10	10,11
		185 ºC	6,35	8,70	7,30	10,14
		212 ºC	6,20	8,10	7,00	9,57

X_{min}: En küçük değer X_{max}: En büyük değer X_{ort}: Ortalama değer v: Varyasyon katsayısı

Buna göre; liflere dik kavela tutma direnci, en yüksek D4 tutkalı ile lamine edilen sapsız meşede (9,51 N/mm^2), en düşük ise D4 tutkalı ile lamine edilen kavakta (5,80 N/mm^2); 185 ºC ısıl işlemli örneklerde en yüksek MF tutkalı ile lamine edilen sapsız meşede (7,84 N/mm^2), en düşük D4 tutkalı ile lamine edilen kavakta (4,20 N/mm^2); 212 ºC ısıl işlemli örneklerde en yüksek MF tutkalı ile lamine edilen sapsız meşede (7,30 N/mm^2), en düşük ise PU tutkalı ile lamine edilen kavakta (2,81 N/mm^2) elde edilmiştir.

Liflere dik kavela tutma direncine uygulanan çoklu varyans analizi Çizelge 5.47'de verilmiştir.

Çizelge 5.47. Liflere dik kavela tutma direncine ait çoklu varyans analizi

Faktör	Serbestlik derecesi	Kareler toplamı	Kareler ortalaması	F değeri	P ≤ 0,05
Ağaç malzeme türü (A)	3	460,807	153,602	1800,7973	0,0000*
Tutkal çeşidi (B)	2	26,005	13,003	152,4385	0,0000*
Etkileşim (AB)	6	19,230	3,205	37,5744	0,0000*
Isıl işlem sıcaklığı (C)	2	366,208	183,104	2146,6680	0,0000*
Etkileşim (AC)	6	18,673	3,112	36,4868	0,0000*
Etkileşim (BC)	4	57,688	14,422	169,0795	0,0000*
Etkileşim (ABC)	12	4,341	0,362	4,2411	0,0000*
Hata	324	27,636	0,085		
Toplam	359	980,589			

*=0,05'e göre önemli

Buna göre; liflere dik kavela tutma direncinde ağaç malzeme türü, tutkal çeşidi ve ısıl işlem sıcaklığı ile bunların karşılıklı etkileşimleri istatiksel olarak önemli çıkmıştır (P ≤ 0,05). Farklılığın hangi gruplar arasında önemli olduğunu belirlemek için yapılan Duncan testi sonuçları Çizelge 5. 48 - 54' te verilmiştir.

Liflere dik kavela tutma direnci; ağaç malzeme türüne göre Çizelge 5.48'de, tutkal çeşidine göre Çizelge 5.49'da, ısıl işlem sıcaklığına göre Çizelge 5.50'de, ağaç malzeme türü-tutkal çeşidi ikili etkileşime göre Çizelge 5.51'de, ağaç malzeme türü-ısıl işlem sıcaklığı ikili etkileşime göre Çizelge 5.52'de, tutkal çeşidi-ısıl işlem

sıcaklığı ikili etkileşime göre Çizelge 5.53'te, ağaç malzeme türü-tutkal çeşidi-ısıl işlem sıcaklığı üçlü etkileşime göre ise Çizelge 5.54'te verilmiştir.

Çizelge 5.48. Ağaç malzeme türüne göre liflere dik kavela tutma direnci (N/mm^2)

Ağaç malzeme türü	X_{ort}	HG
Sapsız meşe	7,845	a
Doğu kayını	7,512	b
Sarıçam	6,244	c
Kavak	4,981	d
LSD: ±0,08547		

Buna göre; liflere dik kavela tutma direnci, en yüksek sapsız meşede (7,845 N/mm^2), en düşük ise kavakta (4,981 N/mm^2) elde edilmiştir.

Çizelge 5.49. Tutkal çeşidine göre liflere dik kavela tutma direnci (N/mm^2)

Tutkal çeşidi	X_{ort}	HG
MF	7,015	a
D4	6,539	b
PU	6,383	c
LSD: ±0,07402		

Buna göre; liflere dik kavela tutma direnci, en yüksek MF tutkalı ile lamine edilen örneklerde (7,015 N/mm^2), en düşük ise PU tutkalı ile lamine edilen örneklerde (6,383 N/mm^2) elde edilmiştir.

Çizelge 5.50. Isıl işlem sıcaklığına göre liflere dik kavela tutma direnci (N/mm^2)

Isıl işlem sıcaklığı	X_{ort}	HG
Kontrol	7,937	a
185ºC	6,524	b
212ºC	5,476	c
LSD: ±0,07402		

Buna göre; liflere dik kavela tutma direnci en yüksek 185 °C ısıl işlemli örneklerde (6,524 N/mm^2) en düşük ise 212 ºC ısıl işlemli örneklerde (5,476 N/mm^2) elde edilmiştir.

Çizelge 5.51. Liflere dik kavela tutma direncinde ağaç malzeme türü-tutkal çeşidi ikili etkileşime ait Duncan testi sonuçları (N/mm^2)

Ağaç malzeme türü-tutkal çeşidi	X_{ort}	HG
Meşe+MF	8,147	a
Meşe+D4	8,053	a
Kayın+MF	7,800	b
Kayın+D4	7,702	b
Meşe+PU	7,335	c
Kayın+PU	7,033	d
Çam+MF	6,594	e
Çam+PU	6,232	f
Çam+D4	5,907	g
Kavak+MF	5,518	h
Kavak+PU	4,932	ı
Kavak+D4	4,493	j
LSD: ± 0,1480		

Buna göre; liflere dik kavela tutma direnci, en yüksek MF tutkalı ile lamine edilen sapsız meşede (8,147 N/mm^2), en düşük ise D4 tutkalı ile lamine edilen kavakta (4,493 N/mm^2) elde edilmiştir.

Çizelge 5.52. Liflere dik kavela tutma direncinde ağaç malzeme türü-ısıl işlem sıcaklığı ikili etkileşime ait Duncan testi sonuçları (N/mm^2)

Ağaç malzeme türü-ısıl işlem sıcaklığı	X_{ort}	HG
Meşe+Kontrol	9,337	a
Kayın+Kontrol	9,167	b
Meşe+185°C	7,731	c
Kayın+185°C	7,200	d
Çam+Kontrol	7,160	d
Meşe+212°C	6,467	e
Kayın+212°C	6,168	f
Çam+185°C	6,132	f
Kavak+Kontrol	6,085	f
Çam+212°C	5,441	g
Kavak+185°C	5,032	h
Kavak+212°C	3,827	ı
LSD: ± 0,1480		

Buna göre; liflere dik kavela tutma direnci, en yüksek 185 °C ısıl işlemli sapsız meşede (7,731 N/mm^2), en düşük ise 212 °C'de ısıl işlemli kavakta (3.827 N/mm^2) elde edilmiştir.

Çizelge 5.53. Liflere dik kavela tutma direncinde tutkal çeşidi-ısıl işlem sıcaklığı ikili etkileşime ait Duncan testi sonuçları (N/mm^2)

Tutkal çeşidi-ısıl işlem sıcaklığı	X_{ort}	HG
PU+Kontrol	8,038	a
MF+Kontrol	7,909	b
D4+Kontrol	7,865	b
MF+185°C	6,710	c
PU+185°C	6,648	c
MF+212°C	6,425	d
D4+185°C	6,214	e
D4+212°C	5,537	f
PU+212°C	4,464	g
LSD: ± 0,1282		

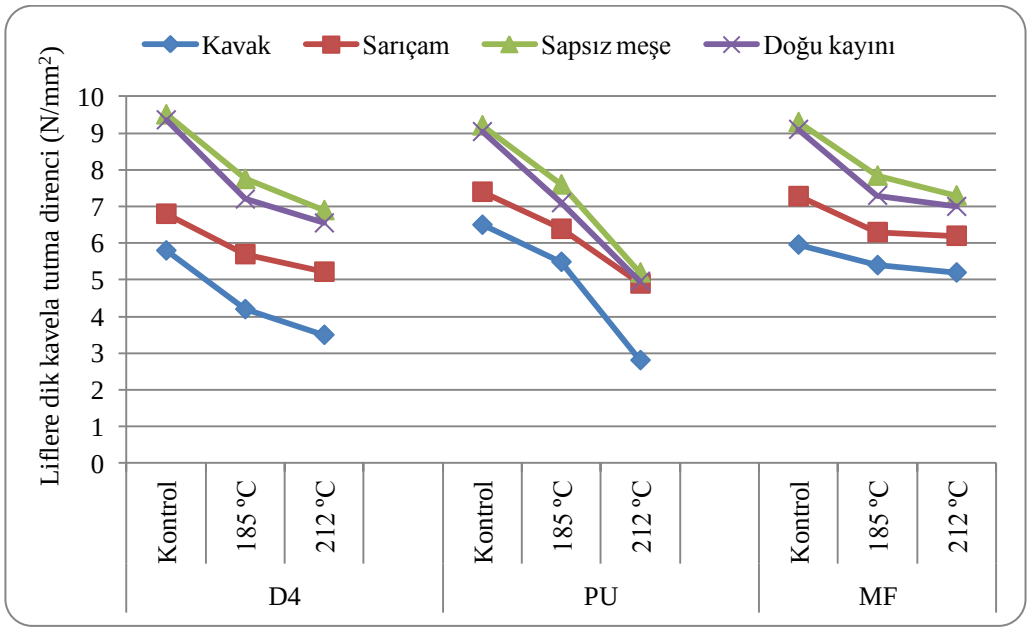
Buna göre; liflere dik kavela tutma direnci, en yüksek 185 °C ısıl işlemli MF'de (6,710 N/mm^2), en düşük ise 212 °C ısıl işlemli PU'da (4,464 N/mm^2) elde edilmiştir.

Çizelge 5.54. Liflere dik kavela tutma direncinde ağaç malzeme türü-tutkal çeşidi-ısıl işlem sıcaklığı üçlü etkileşime ait Duncan testi sonuçları (N/mm^2)

Ağaç malzeme türü-tutkal çeşidi- ısıl işlem sıcaklığı	X_{ort}	HG	Ağaç malzeme türü-tutkal çeşidi- ısıl işlem sıcaklığı	X_{ort}	HG
Meşe+D4+Kontrol	9,51	a	Kayın+D4+212°C	6,55	kl
Kayın+D4+Kontrol	9,36	ab	Kavak+PU+Kontrol	6,50	l
Meşe+MF+Kontrol	9,30	abc	Çam+PU+185°C	6,39	lm
Meşe+PU+Kontrol	9,21	bc	Çam+MF+185°C	6,30	lm
Kayın+MF+Kontrol	9,10	bc	Çam+MF+212°C	6,20	mn
Kayın+PU+Kontrol	9,04	c	Kavak+MF+Kontrol	5,96	no
Meşe+MF+185°C	7,84	d	Kavak+D4+Kontrol	5,80	o
Meşe+D4+185°C	7,75	d	Çam+D4+185°C	5,70	op
Meşe+PU+185°C	7,60	de	Kavak+PU+185°C	5,49	pq
Çam+PU+Kontrol	7,40	ef	Kavak+MF+185°C	5,40	qr
Meşe+MF+212°C	7,30	fg	Çam+D4+212°C	5,22	rs
Kayın+MF+185°C	7,30	fg	Meşe+PU+212°C	5,20	rs
Çam+MF+Kontrol	7,28	fg	Kavak+MF+ 212°C	5,20	rs
Kayın+D4+185°C	7,20	fgh	Kayın+PU+212°C	4,96	st
Kayın+PU+185°C	7,10	ghi	Çam+PU+212°C	4,90	t
Kayın+MF+212°C	7,00	hij	Kavak+D4+185°C	4,20	u
Meşe+D4+212°C	6,90	ij	Kavak+D4+212°C	3,50	v
Çam+D4 +Kontrol	6,80	jk	Kavak+PU+ 212°C	2,81	w
LSD: ± 0,2564					

Buna göre; liflere dik kavela tutma direnci, en yüksek MF tutkalı ile lamine edilen 185 °C ısıl işlemli sapsız meşede (7,84 N/mm^2), en düşük ise PU tutkalı ile lamine edilen 212 °C ısıl işlemli kavakta (2,81 N/mm^2) elde edilmiştir.

Lamine ağaç malzemelerin liflere dik kavela tutma direnci Şekil 5.6'da verilmiştir.



Şekil 5.6. Lamine ağaç malzemelerin liflere dik kavela tutma direnci

5.7. Liflere Paralel Kavela Tutma Direnci

Liflere paralel kavela tutma direncine ilişkin istatiksel sonuçlar Çizelge 5.55'te verilmiştir.

Çizelge 5.55. Liflere paralel kavela tutma direncine ilişkin istatiksel sonuçlar (N/mm^2)

Ağaç malzeme türü	Tutkal çeşidi	Isıl işlem sıcaklığı	Liflere paralel kavela tutma direnci			
			X_{min}	X_{max}	X_{ort}	v(%)
Kavak	D4	Kontrol	4,10	6,41	5,10	17,25
		185 ºC	2,60	4,42	3,50	16,57
		212 ºC	2,51	4,59	3,31	16,94
	PU	Kontrol	4,40	6,60	5,49	13,28
		185 ºC	2,10	4,30	3,20	21,87
		212 ºC	1,20	3,10	2,11	22,27
	MF	Kontrol	4,20	6,33	5,20	13,65
		185 ºC	2,50	4,75	3,68	18,45
		212 ºC	2,29	4,50	3,40	21,76
Sarıçam	D4	Kontrol	6,00	7,20	6,59	5,36
		185 ºC	3,70	5,55	4,60	13,25
		212 ºC	3,00	5,40	4,21	17,61
	PU	Kontrol	5,25	7,56	6,40	10,78
		185 ºC	3,45	5,60	4,50	14,44
		212 ºC	2,75	4,85	3,70	17,56
	MF	Kontrol	5,40	7,51	6,50	9,23
		185 ºC	4,70	5,50	5,10	5,00
		212 ºC	4,40	5,10	4,74	4,43
Sapsız meşe	D4	Kontrol	7,60	8,82	8,20	5,37
		185 ºC	6,72	7,71	7,21	4,86
		212 ºC	5,73	6,10	5,90	2,55
	PU	Kontrol	7,71	8,33	8,00	2,38
		185 ºC	6,87	7,40	7,10	2,81
		212 ºC	4,20	5,10	4,70	7,02
	MF	Kontrol	7,20	9,00	8,11	7,03
		185 ºC	6,91	7,93	7,40	4,72
		212 ºC	6,30	6,90	6,61	2,73
Doğu kayını	D4	Kontrol	7,50	8,60	8,00	4,75
		185 ºC	6,63	7,54	7,10	4,79
		212 ºC	5,48	6,11	5,75	3,82
	PU	Kontrol	7,40	8,10	7,75	2,84
		185 ºC	6,60	7,20	6,90	3,19
		212 ºC	3,41	5,12	4,41	13,60
	MF	Kontrol	7,20	8,60	7,90	5,32
		185 ºC	7,16	7,55	7,36	1,90
		212 ºC	5,70	7,40	6,45	6,51

X_{min}: En küçük değer X_{max}: En büyük değer X_{ort}: Ortalama değe v: Varyasyon katsayısı

Buna göre; liflere paralel kavela tutma direnci, en yüksek D4 tutkalı ile lamine edilen sapsız meşede (8,20 N/mm^2), en düşük ise D4 tutkalı ile lamine edilen kavakta (5,10 N/mm^2); 185 ºC ısıl işlemli örneklerde en yüksek MF tutkalı ile lamine edilen sapsız meşede (7,40 N/mm^2), en düşük PU tutkalı ile lamine edilen kavakta (3,20 N/mm^2); 212 ºC ısıl işlemli örneklerde en yüksek MF tutkalı ile lamine edilen sapsız meşede (6,61 N/mm^2), en düşük ise PU tutkalı ile lamine edilen kavakta (2,11 N/mm^2) elde edilmiştir.

Liflere paralel kavela tutma dirençlerine uygulanan çoklu varyans analizi Çizelge 5.56'da verilmiştir.

Çizelge 5.56. Liflere paralel kavela tutma direncine ait çoklu varyans analizi

Faktör	Serbestlik derecesi	Kareler toplamı	Kareler ortalaması	F değeri	P ≤ 0,05
Ağaç malzeme türü (A)	3	598,120	199,373	3093,9789	0,0000*
Tutkal çeşidi (B)	2	28,562	14,281	221,6214	0,0000*
Etkileşim (AB)	6	1,803	0,300	4,6621	0,0001*
Isıl işlem sıcaklığı (C)	2	327,618	163,809	2542,0728	0,0000*
Etkileşim (AC)	6	19,920	3,320	51,5227	0,0000*
Etkileşim (BC)	4	27,231	6,808	105,6472	0,0000*
Etkileşim (ABC)	12	4,731	0,394	6,1176	0,0000*
Hata	324	20,878	0,064		
Toplam	359	1028,863			

*=0,05'e göre önemli

Buna göre; liflere paralel kavela tutma direncinde ağaç malzeme türü, tutkal çeşidi ve ısıl işlem sıcaklığı ile bunların karşılıklı etkileşimleri istatiksel olarak önemli çıkmıştır (P ≤ 0,05). Farklılığın hangi gruplar arasında önemli olduğunu belirlemek için yapılan Duncan testi sonuçları Çizelge 5. 57 - 63' de verilmiştir.

Liflere paralel kavela tutma direnci; ağaç malzeme türüne göre Çizelge 5.57'de, tutkal çeşidine göre Çizelge 5.58'de, ısıl işlem sıcaklığına göre Çizelge 5.59'da, ağaç malzeme türü-tutkal çeşidi ikili etkileşime göre Çizelge 5.60'ta, ağaç malzeme türü-ısıl işlem sıcaklığı ikili etkileşime göre Çizelge 5.61'de, tutkal çeşidi-ısıl işlem

sıcaklığı ikili etkileşime göre Çizelge 5.62'de, ağaç malzeme türü-tutkal çeşidi-ısıl işlem sıcaklığı üçlü etkileşime göre ise Çizelge 5.63'te verilmiştir.

Çizelge 5.57. Ağaç malzeme türüne göre liflere paralel kavela tutma direnci (N/mm^2)

Ağaç malzeme türü	X_{ort}	HG
Sapsız meşe	7, 024	a
Doğu kayını	6,845	b
Sarıçam	5,149	c
Kavak	3,888	d
LSD: ±0,07416		

Buna göre; liflere paralel kavela tutma direnci, en yüksek sapsız meşede (7,024 N/mm^2), en düşük ise kavakta (3,888 N/mm^2) elde edilmiş.

Çizelge 5.58. Tutkal çeşidine göre liflere paralel kavela tutma direnci (N/mm^2)

Tutkal çeşidi	X_{ort}	HG
MF	6,036	a
D4	5,788	b
PU	5,355	c
LSD: ±0,06423		

Buna göre; liflere paralel kavela tutma direnci, en yüksek MF tutkalı ile lamine edilen (6,036 N/mm^2), en düşük ise PU tutkalı ile lamine edilen örneklerde (5,355 N/mm^2) elde edilmiştir.

Çizelge 5.59. Isıl işlem sıcaklığına göre liflere paralel kavela tutma direnci (N/mm^2)

Isıl işlem sıcaklığı	X_{ort}	HG
Kontrol	6,937	a
185 ºC	5,637	b
212 ºC	4,605	c
LSD: ±0,06423		

Buna göre; liflere paralel kavela tutma direnci, en yüksek 185 ºC ısıl işlemli örneklerde (5,637 N/mm^2), en düşük ise 212 ºC ısıl işlemli örneklerde (4,605 N/mm^2) elde edilmiştir.

Çizelge 5.60. Liflere paralel kavela tutma direncinde ağaç malzeme türü-tutkal çeşidi ikili etkileşime ait Duncan testi sonuçları (N/mm^2)

Ağaç malzeme türü-tutkal çeşidi	X_{ort}	HG
Meşe+MF	7,369	a
Kayın+MF	7,234	b
Meşe+D4	7,102	c
Kayın+D4	6,950	d
Meşe+PU	6,600	e
Kayın+PU	6,350	f
Çam+MF	5,447	g
Çam+D4	5,132	h
Çam+PU	4,867	ı
Kavak+MF	4,095	j
Kavak+D4	3,968	j
Kavak+PU	3,602	k
LSD: ± 0,1285		

Buna göre; liflere paralel kavela tutma direnci, en yüksek MF tutkalı ile lamine edilen sapsız meşede (7,369 N/mm^2), en düşük ise PU tutkalı ile lamine edilen kavakta (3,602 N/mm^2) elde edilmiştir.

Çizelge 5.61. Liflere paralel kavela tutma direncinde ağaç malzeme türü-ısıl işlem sıcaklığı ikili etkileşime ait Duncan testi sonuçları (N/mm^2)

Ağaç malzeme türü-ısıl işlem sıcaklığı	X_{ort}	HG
Meşe+Kontrol	8,101	a
Kayın+Kontrol	7,883	b
Meşe+185°C	7,235	c
Kayın+185 °C	7,117	c
Çam+Kontrol	6,498	d
Meşe+212°C	5,735	e
Kayın+212°C	5,534	f
Kavak+Kontrol	5,265	g
Çam+185°C	4,733	h
Çam+212°C	4,214	ı
Kavak+185°C	3,462	j
Kavak+212°C	2,938	k
LSD: ± 0,1285		

Buna göre; liflere paralel kavela tutma direnci, en yüksek 185 °C ısıl işlemli sapsız meşede (7,235 N/mm^2), en düşük ise 212 °C'de ısıl işlemli kavakta (2,938 N/mm^2) elde edilmiştir.

Çizelge 5.62. Liflere paralel kavela tutma direncinde tutkal çeşidi-ısıl işlem sıcaklığı ikili etkileşime ait Duncan testi sonuçları (N/mm^2)

Tutkal çeşidi-ısıl işlem sıcaklığı	X_{ort}	HG
D4+Kontrol	6,974	a
MF+Kontrol	6,925	a
PU+Kontrol	6,911	a
MF+185℃	5,884	b
D4+185℃	5,601	c
PU+185℃	5,425	d
MF+212℃	5,299	e
D4+212℃	4,790	f
PU+212℃	3,727	g
LSD: ± 0,1112		

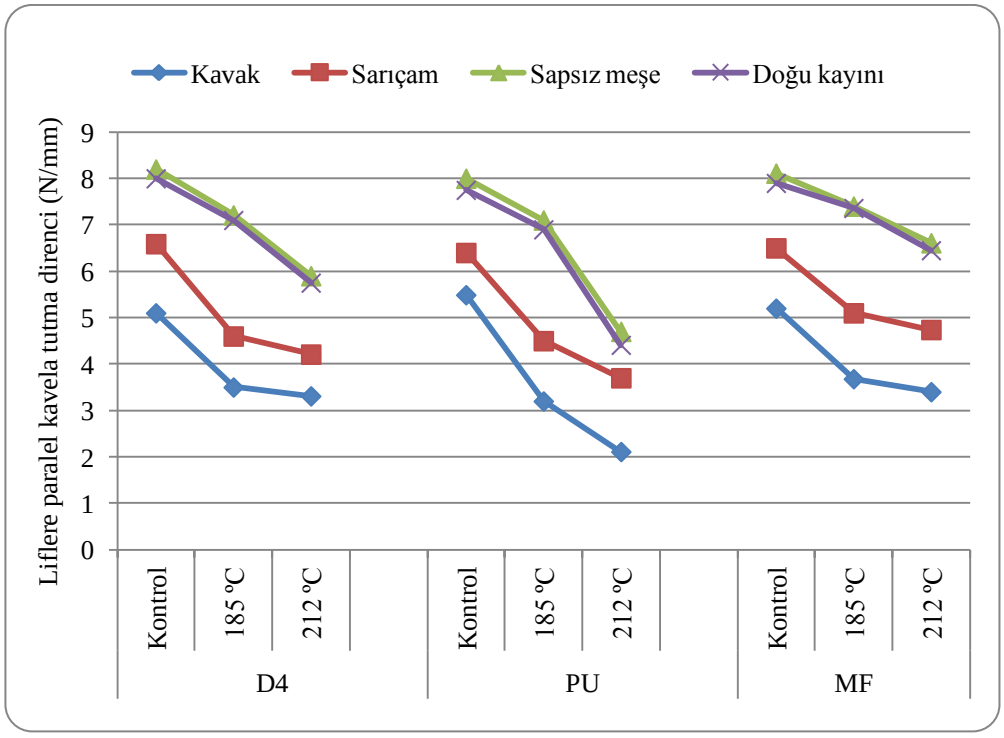
Buna göre; liflere paralel kavela tutma direnci, en yüksek 185 ℃ ısıl işlemli MF'de (5,884 N/mm^2), en düşük ise 212 ℃ ısıl işlemli PU 'da (3,727 N/mm^2) elde edilmiştir.

Çizelge 5.63. Liflere paralel kavela tutma direncinde ağaç malzeme türü-tutkal çeşidi-ısıl işlem sıcaklığı üçlü etkileşime ait Duncan testi sonuçları (N/mm^2)

Ağaç malzeme türü-tutkal çeşidi- ısıl işlem sıcaklığı	X_{ort}	HG	Ağaç malzeme türü-tutkal çeşidi- ısıl işlem sıcaklığı	X_{ort}	HG
Meşe+D4+Kontrol	8,20	a	Kayın+D4+212℃	5,75	h
Meşe+MF+Kontrol	8,11	ab	Kavak+PU+Kontrol	5,49	ı
Kayın+D4+Kontrol	8,00	ab	Kavak+MF+Kontrol	5,20	j
Meşe+PU+Kontrol	8,00	ab	Kavak+D4+Kontrol	5,10	j
Kayın+MF+Kontrol	7,90	bc	Çam+MF+185℃	5,10	j
Kayın+PU+Kontrol	7,75	c	Çam+MF+212℃	4,74	k
Meşe+MF+185℃	7,40	d	Meşe+PU+212℃	4,70	k
Kayın+MF+185℃	7,36	d	Çam+D4+185℃	4,60	kl
Meşe+D4+185℃	7,21	de	Çam+PU+185℃	4,50	kl
Kayın+ D4+185℃	7,10	ef	Kayın+PU+212℃	4,41	lm
Meşe+PU+185℃	7,10	ef	Çam+D4+212℃	4,21	m
Kayın+PU+185℃	6,90	f	Çam+PU+212℃	3,70	n
Meşe+MF+212℃	6,61	g	Kavak+MF+185℃	3,68	n
Çam+D4+Kontrol	6,59	g	Kavak+D4+185℃	3,50	no
Çam+MF+Kontrol	6,50	g	Kavak+MF+212℃	3,40	op
Kayın+MF+212℃	6,45	g	Kavak+D4+212℃	3,31	op
Çam+PU+Kontrol	6,40	g	Kavak+PU+185℃	3,20	p
Meşe+D4+212℃	5,90	h	Kavak+PU+212℃	2,11	q
LSD: ± 0,2225					

Buna göre; liflere paralel kavela tutma direnci, en yüksek MF tutkalı ile lamine edilen 185 °C ısıl işlemli sapsız meşede (7,40 N/mm^2), en düşük ise PU tutkalı ile lamine edilen 212 °C ısıl işlemli kavakta (2,11 N/mm^2) elde edilmiştir.

Lamine ağaç malzemelerin liflere paralel kavela tutma direnci Şekil 5.7'de verilmiştir.



Şekil 5.7. Lamine ağaç malzemelerin liflere paralel kavela tutma direnci

5.8. Liflere Dik Vida Tutma Direnci

Liflere dik vida tutma direncine ilişkin istatiksel sonuçlar Çizelge 5.64'te verilmiştir.

Çizelge 5.64. Liflere dik vida tutma direncine ilişkin istatiksel sonuçlar (N/mm^2)

Ağaç malzeme türü	Tutkal çeşidi	Isıl işlem sıcaklığı	Liflere dik vida tutma direnci			
			X_{min}	X_{max}	X_{ort}	v(%)
Kavak	D4	Kontrol	6,20	7,90	7,080	7,63
		185 ºC	4,70	5,50	5,101	4,31
		212 ºC	3,90	5,10	4,465	8,28
	PU	Kontrol	6,90	8,50	7,705	7,79
		185 ºC	5,30	6,20	5,764	5,38
		212 ºC	3,80	4,40	4,125	4,36
	MF	Kontrol	8,90	10,60	9,770	6,65
		185 ºC	8,20	9,20	8,728	3,44
		212 ºC	6,56	7,40	7,001	4,14
Sarıçam	D4	Kontrol	8,40	10,06	9,228	5,20
		185 ºC	6,20	7,10	6,691	4,04
		212 ºC	4,90	6,70	5,815	9,80
	PU	Kontrol	11,50	13,10	12,30	6,34
		185 ºC	9,60	11,10	10,03	8,08
		212 ºC	7,60	8,20	7,886	7,36
	MF	Kontrol	9,40	11,30	10,33	8,25
		185 ºC	11,20	13,10	12,12	5,20
		212 ºC	7,85	9,10	8,482	6,96
Sapsız meşe	D4	Kontrol	18,10	22,11	20,10	5,32
		185 ºC	17,10	18,35	17,74	2,20
		212 ºC	13,80	15,95	14,895	4,70
	PU	Kontrol	19,16	20,20	19,70	1,93
		185 ºC	16,40	17,80	17,10	2,16
		212 ºC	10,40	13,80	12,50	8,80
	MF	Kontrol	19,36	23,40	21,40	6,36
		185 ºC	18,10	20,10	19,11	2,77
		212 ºC	16,40	17,20	16,70	1,80
Doğu kayını	D4	Kontrol	20,20	21,60	20,90	1,82
		185 ºC	17,00	18,80	17,90	2,63
		212 ºC	14,70	15,70	15,16	1,78
	PU	Kontrol	20,70	22,73	21,70	2,30
		185 ºC	18,20	19,60	18,83	2,18
		212 ºC	12,00	14,20	13,60	5,22
	MF	Kontrol	22,60	24,81	23,70	3,59
		185 ºC	19,71	21,73	20,70	3,48
		212 ºC	16,80	17,40	17,10	1,23

X_{min}: En küçük değer X_{max}: En büyük değer X_{ort}: Ortalama değer v: Varyasyon katsayısı

Buna göre; liflere dik vida tutma direnci, en yüksek MF tutkalı ile lamine edilen Doğu kayınında (23,70N/mm^2), en düşük ise D4 tutkalı ile lamine edilen kavakta (7,080 N/mm^2); 185 ºC ısıl işlemli örneklerde en yüksek MF tutkalı ile lamine edilen Doğu kayınında (20,70 N/mm^2), en düşük PU tutkalı ile lamine edilen kavakta (5,764 N/mm^2); 212 ºC ısıl işlemli örneklerde en yüksek MF tutkalı ile lamine edilen Doğu kayınında (17,10 N/mm^2), en düşük ise PU tutkalı ile lamine edilen kavakta (4,125 N/mm^2) elde edilmiştir.

Liflere dik vida tutma dirençlerine uygulanan çoklu varyans analizi Çizelge 5.65'te verilmiştir.

Çizelge 5.65. Liflere dik vida tutma direncine ait çoklu varyans analizi

Faktör	Serbestlik derecesi	Kareler toplamı	Kareler ortalaması	F değeri	P ≤ 0,05
Ağaç malzeme türü (A)	3	9989,126	3329,709	10300,8417	0,0000*
Tutkal çeşidi (B)	2	419,765	209,882	649,2959	0,0000*
Etkileşim (AB)	6	139,997	23,333	72,1826	0,0000*
Isıl işlem sıcaklığı (C)	2	1323,176	661,588	2046,6988	0,0000*
Etkileşim (AC)	6	165,499	27,583	85,3319	0,0000*
Etkileşim (BC)	4	60,251	15,063	46,5982	0,0000*
Etkileşim (ABC)	12	50,042	4,170	12,9008	0,0000*
Hata	324	104,732	0,323		
Toplam	359	12252,587			

*=0,05'e göre önemli

Buna göre; liflere dik vida tutma direncinde ağaç malzeme türü, tutkal çeşidi ve ısıl işlem sıcaklığı ile bunların karşılıklı etkileşimleri istatiksel olarak önemli çıkmıştır (P ≤ 0,05). Farklılığın hangi gruplar arasında önemli olduğunu belirlemek için yapılan Duncan testi sonuçları Çizelge 5. 66 - 72'de verilmiştir.

Liflere dik vida tutma direnci; ağaç malzeme türüne göre Çizelge 5.66'da, tutkal çeşidine göre Çizelge 5.67'de, ısıl işlem sıcaklığına göre Çizelge 5.68'de, ağaç malzeme türü-tutkal çeşidi ikili etkileşime göre Çizelge 5.69'da, ağaç malzeme türü-ısıl işlem sıcaklığı ikili etkileşime göre Çizelge 5.70'te, tutkal çeşidi-ısıl işlem

sıcaklığı ikili etkileşime göre Çizelge 5.71'de, ağaç malzeme türü-tutkal çeşidi-ısıl işlem sıcaklığı üçlü etkileşime göre ise Çizelge 5.72'de verilmiştir.

Çizelge 5.66. Ağaç malzeme türüne göre liflere dik vida tutma direnci (N/mm^2)

Ağaç malzeme türü	X_{ort}	HG
Doğu kayını	18,84	a
Sapsız meşe	17,69	b
Sarıçam	9,210	c
Kavak	6,636	d
LSD: ±0,1666		

Buna göre; liflere dik vida çekme direnci, en yüksek Doğu kayınında (18,84 N/mm^2), en düşük ise kavakta (6,636 N/mm^2) elde edilmiştir.

Çizelge 5.67. Tutkal çeşidine göre liflere dik vida tutma direnci (N/mm^2)

Tutkal çeşidi	X_{ort}	HG
MF	14,59	a
PU	12,60	b
D4	12,09	c
LSD: ± 0,1443		

Buna göre; liflere dik vida tutma direnci en yüksek MF tutkalı ile lamine edilen örneklerde (14,59 N/mm^2), en düşük ise D4 tutkalı ile lamine edilen örneklerde (12,09 N/mm^2) elde edilmiştir.

Çizelge 5.68. Isıl işlem sıcaklığına göre liflere dik vida tutma direnci (N/mm^2)

Isıl işlem sıcaklığı	X_{ort}	HG
Kontrol	15,32	a
185 ºC	13,28	b
212 ºC	10,63	c
LSD: ± 0,1443		

Buna göre; liflere dik vida tutma direnci, en yüksek 185 °C ısıl işlemli örneklerde (13,28 N/mm^2), en düşük ise 212 ºC ısıl işlemli örneklerde (10,63 N/mm^2) elde edilmiştir.

Çizelge 5.69. Liflere dik vida tutma direncinde ağaç malzeme türü-tutkal çeşidi ikili etkileşime ait Duncan testi sonuçları (N/mm^2)

Ağaç malzeme türü-tutkal çeşidi	X_{ort}	HG
Kayın+MF	20,50	a
Meşe+MF	19,07	b
Kayın+PU	18,04	c
Kayın+D4	17,98	c
Meşe+D4	17,58	d
Meşe+PU	16,43	e
Çam+MF	10,31	f
Çam+PU	10,07	f
Kavak+MF	8,494	g
Çam+D4	7,245	h
Kavak+PU	5,865	ı
Kavak+D4	5,549	j
LSD: ± 0,2886		

Buna göre; liflere dik vida tutma direnci en yüksek, MF tutkalı ile lamine edilen Doğu kayınında (20,50 N/mm^2), en düşük ise D4 tutkalı ile lamine edilen kavakta (5,549 N/mm^2) elde edilmiştir.

Çizelge 5.70. Liflere dik vida tutma direncinde ağaç malzeme türü-ısıl işlem sıcaklığı ikili etkileşime ait Duncan testi sonuçları (N/mm^2)

Ağaç malzeme türü-ısıl işlem sıcaklığı	X_{ort}	HG
Kayın+Kontrol	22,10	a
Meşe+Kontrol	20,40	b
Kayın+185 °C	19,14	c
Meşe+185°C	17,98	d
Kayın+212°C	15,29	e
Meşe+212°C	14,70	f
Çam+Kontrol	10,62	g
Çam+185°C	9,616	h
Kavak+Kontrol	8,179	ı
Çam+212°C	7,394	j
Kavak+185°C	6,531	k
Kavak+212°C	5,197	l
LSD: ± 0,2886		

Buna göre; liflere dik vida tutma direnci en yüksek, 185 °C ısıl işlemli Doğu kayınında (19,14 N/mm^2), en düşük ise 212 °C ısıl işlemli kavakta (5,197 N/mm^2) elde edilmiştir.

Çizelge 5.71. Liflere dik vida tutma direncinde tutkal çeşidi-ısıl işlem sıcaklığı ikili etkileşime ait Duncan testi sonuçları (N/mm^2)

Tutkal çeşidi-ısıl işlem sıcaklığı	X_{ort}	HG
MF+Kontrol	16,29	a
PU+Kontrol	15,35	b
MF+185°C	15,16	b
D4+Kontrol	14,33	c
PU+185°C	12,93	d
MF+212°C	12,32	e
D4+185°C	11,86	f
D4+212°C	10,08	g
PU+212°C	9,529	h
LSD: ± 0,2499		

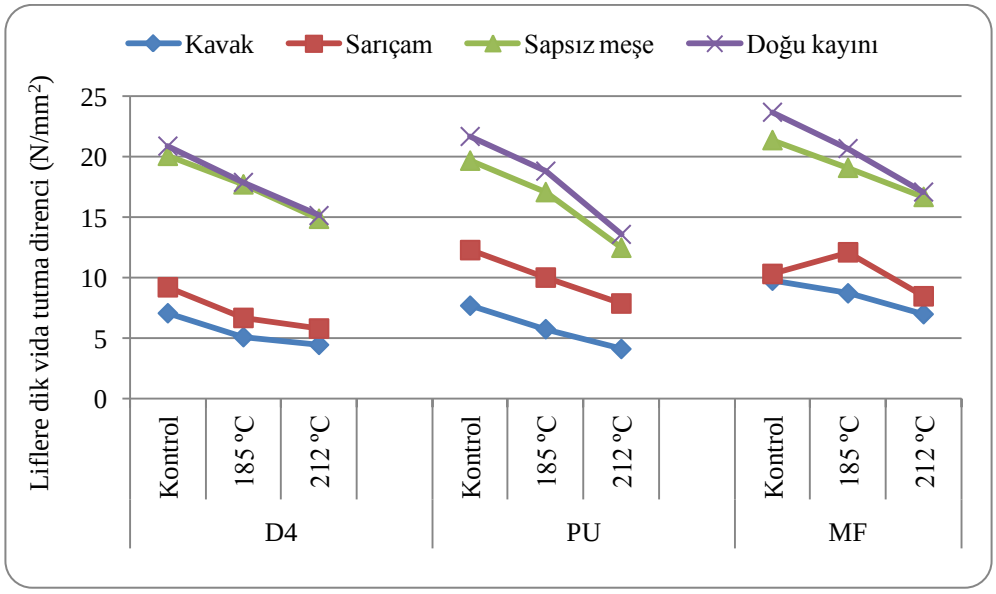
Buna göre; liflere dik vida tutma direnci en yüksek, 185 °C ısıl işlemli MF'de (15,16 N/mm^2), en düşük ise 212 °C ısıl işlemli PU 'da (9,529 N/mm^2) elde edilmiştir.

Çizelge 5.72. Liflere dik vida tutma direncinde ağaç malzeme türü-tutkal çeşidi-ısıl işlem sıcaklığı üçlü etkileşime ait Duncan testi sonuçları (N/mm^2)

Ağaç malzeme türü-tutkal çeşidi- ısıl işlem sıcaklığı	X_{ort}	HG	Ağaç malzeme türü-tutkal çeşidi- ısıl işlem sıcaklığı	X_{ort}	HG
Kayın+MF+Kontrol	23,70	a	Çam+PU+Kontrol	12,30	k
Kayın+PU+Kontrol	21,70	b	Çam+MF+185°C	12,12	k
Meşe+MF+Kontrol	21,40	bc	Çam+MF+Kontrol	10,33	l
Kayın+D4+Kontrol	20,90	cd	Çam+PU+185°C	10,03	lm
Kayın+MF+185°C	20,70	d	Kavak+MF+Kontrol	9,752	m
Meşe+D4+Kontrol	20,10	e	Çam+D4+Kontrol	9,228	n
Meşe+PU+Kontrol	19,70	e	Kavak+MF+185°C	8,728	no
Meşe+MF+185°C	19,11	f	Çam+MF+212°C	8,482	o
Kayın+PU+185°C	18,83	f	Çam+PU+212°C	7,886	p
Kayın+D4+185°C	17,90	g	Kavak+PU+Kontrol	7,705	p
Meşe +D4+185°C	17,74	g	Kavak+D4+Kontrol	7,080	q
Kayın+MF+212°C	17,10	h	Kavak+MF+212°C	7,001	q
Meşe+PU+185°C	17,10	h	Çam+D4+185°C	6,691	q
Meşe+MF+212°C	16,70	h	Çam+D4+212°C	5,815	r
Kayın+D4+212°C	15,16	ı	Kavak+PU+185°C	5,764	r
Meşe+D4+212°C	14,89	ı	Kavak+D4+185°C	5,101	s
Kayın+PU+212°C	13,60	j	Kavak+D4+212°C	4,465	t
Meşe+PU+212°C	12,50	k	Kavak+PU+212°C	4,125	t
LSD: ± 0,4998					

Buna göre; vida tutma direnci, en yüksek MF tutkalı ile lamine edilen 185 °C ısıl işlemli Doğu kayınında (20,70 N/mm^2), en düşük ise PU tutkalı ile lamine edilen 212 °C ısıl işlemli kavakta (4,125 N/mm^2) elde edilmiştir.

Lamine ağaç malzemelerin liflere dik vida tutma direnci Şekil 5.8'de verilmiştir.



Şekil 5.8. Lamine ağaç malzemelerin liflere dik vida tutma direnci

5.9. Liflere Paralel Vida Tutma Direnci

Liflere paralel vida tutma direncine ilişkin istatiksel sonuçlar Çizelge 5.73'te verilmiştir.

Çizelge 5.73. Liflere paralel vida tutma direncine ilişkin istatiksel sonuçlar (N/mm^2)

Ağaç malzeme türü	Tutkal çeşidi	Isıl işlem sıcaklığı	Liflere paralel vida tutma direnci			
			X_{min}	X_{max}	X_{ort}	v(%)
Kavak	D4	Kontrol	5,60	6,20	5,902	3,73
		185 ºC	4,80	6,10	5,408	7,37
		212 ºC	4,67	5,36	5,007	4,20
	PU	Kontrol	5,10	7,11	6,102	9,51
		185 ºC	5,30	6,10	5,690	4,40
		212 ºC	3,15	4,65	3,901	16,41
	MF	Kontrol	7,10	9,10	8,100	6,80
		185 ºC	7,10	7,70	7,400	2,57
		212 ºC	4,90	6,20	5,576	7,36
Sarıçam	D4	Kontrol	7,35	8,85	8,10	4,94
		185 ºC	5,90	6,70	6,31	4,12
		212 ºC	5,35	5,85	5,596	3,04
	PU	Kontrol	9,60	10,76	10,19	4,42
		185 ºC	8,39	8,80	8,598	1,51
		212 ºC	5,96	6,32	6,102	2,62
	MF	Kontrol	8,80	9,43	9,102	2,31
		185 ºC	8,70	11,10	9,90	7,88
		212 ºC	6,80	7,20	7,005	1,86
Sapsız meşe	D4	Kontrol	15,90	17,90	16,91	3,79
		185 ºC	14,20	15,45	14,80	2,23
		212 ºC	11,56	13,28	12,33	4,29
	PU	Kontrol	15,81	17,42	16,60	3,25
		185 ºC	15,33	15,89	15,60	1,16
		212 ºC	10,70	12,43	11,10	8,72
	MF	Kontrol	16,54	18,01	17,25	2,90
		185 ºC	15,90	16,50	16,18	1,24
		212 ºC	14,45	15,15	14,81	1,62
Doğu kayını	D4	Kontrol	14,10	20,50	17,09	10,00
		185 ºC	12,60	16,95	14,91	7,31
		212 ºC	10,60	14,70	12,70	11,88
	PU	Kontrol	16,00	19,75	17,25	5,74
		185 ºC	13,70	17,85	15,81	9,29
		212 ºC	10,10	13,85	11,30	11,15
	MF	Kontrol	15,92	19,71	17,78	7,26
		185 ºC	14,23	18,17	16,28	8,78
		212 ºC	12,20	16,81	14,10	8,58

X_{min}: En küçük değer X_{max}: En büyük değer X_{ort}: Ortalama değer v: Varyasyon katsayısı

Buna göre; liflere paralel vida tutma direnci, en yüksek MF tutkalı ile lamine edilen Doğu kayınında (17,78 N/mm^2), en düşük ise D4 tutkalı ile lamine edilen kavakta (5,902 N/mm^2); 185 ºC ısıl işlemli örneklerde en yüksek MF tutkalı ile lamine edilen Doğu kayınında (16,28 N/mm^2), en düşük D4 tutkalı ile lamine edilen kavakta (5,438 N/mm^2); 212 ºC ısıl işlemli örneklerde en yüksek MF tutkalı ile lamine edilen sapsız meşede (14,81 N/mm^2), en düşük ise PU tutkalı ile lamine edilen kavakta (3,901 N/mm^2) elde edilmiştir.

Liflere paralel vida tutma dirençlerine uygulanan çoklu varyans analizi Çizelge 5.74'te verilmiştir.

Çizelge 5.74. Liflere paralel vida tutma direncine ait çoklu varyans analizi

Faktör	Serbestlik derecesi	Kareler toplamı	Kareler ortalaması	F değeri	P ≤ 0,05
Ağaç malzeme türü (A)	3	6327,026	2109,009	8673,5100	0,0000*
Tutkal çeşidi (B)	2	161,379	80,689	331,8435	0,0000*
Etkileşim (AB)	6	40,991	6,832	28,0963	0,0000*
Isıl işlem sıcaklığı (C)	2	722,158	361,079	1484,9742	0,0000*
Etkileşim (AC)	6	72,915	12,152	49,9784	0,0000*
Etkileşim (BC)	4	53,283	13,321	54,7829	0,0000*
Etkileşim (ABC)	12	43,737	3,645	14,9896	0,0000*
Hata	324	78,782	0,243		
Toplam	359	7500,271			

*=0,05'e göre önemli

Buna göre; liflere parallel vida tutma direncinde ağaç malzeme türü, tutkal çeşidi ve ısıl işlem sıcaklığı ile bunların karşılıklı etkileşimleri istatiksel olarak önemli çıkmıştır (P ≤ 0,05). Farklılığın hangi gruplar arasında önemli olduğunu belirlemek için yapılan Duncan testi sonuçları Çizelge 5. 75 - 81' da verilmiştir.

Liflere paralel vida tutma direnci; ağaç malzeme türüne göre Çizelge 5.75'te, tutkal çeşidine göre Çizelge 5.76'da, ısıl işlem sıcaklığına göre Çizelge 5.77'de, ağaç malzeme türü-tutkal çeşidi ikili etkileşime göre Çizelge 5.78'de, ağaç malzeme türü-ısıl işlem sıcaklığı ikili etkileşime göre Çizelge 5.79'da, tutkal çeşidi-ısıl işlem

sıcaklığı ikili etkileşime göre Çizelge 5.80'de, ağaç malzeme türü-tutkal çeşidi-ısıl işlem sıcaklığı üçlü etkileşime göre ise Çizelge 5.81'de verilmiştir.

Çizelge 5.75. Ağaç malzeme türüne göre liflere paralel vida tutma direnci (N/mm^2)

Ağaç malzeme türü	X_{ort}	HG
Doğu kayını	15,25	a
Sapsız meşe	15,06	b
Sarıçam	7,878	c
Kavak	5,902	d
LSD: ±0,1445		

Buna göre; liflere paralel vida tutma direnci, en yüksek Doğu kayınında (15,25 N/mm^2), en düşük ise kavakta (5,902 N/mm^2) elde edilmiştir.

Çizelge 5.76. Tutkal çeşidine göre liflere paralel vida tutma direnci (N/mm^2)

Tutkal çeşidi	X_{ort}	HG
MF	11,96	a
PU	10,69	b
D4	10,42	c
LSD: ± 0,1252		

Buna göre; liflere pararlel vida tutma direnci, en yüksek MF tutkalı ile lamine edilen örneklerde (11,96 N/mm^2), en düşük ise D4 tutkalı ile lamine edilen örneklerde (10,42 N/mm^2) elde edilmiştir.

Çizelge 5.77. Isıl işlem sıcaklığına göre liflere paralel vida tutma direnci (N/mm^2)

Isıl işlem sıcaklığı	X_{ort}	HG
Kontrol	12,53	a
185 ºC	11,41	b
212 ºC	9,128	c
LSD: ± 0,1252		

Buna göre; liflere paralel vida tutma direnci en yüksek 185 °C ısıl işlemli örneklerde (11,41 N/mm^2), en düşük ise 212 ºC ısıl işlemli örneklerde (9,128 N/mm^2) elde edilmiştir.

Çizelge 5.78. Liflere paralel vida tutma direncinde ağaç malzeme türü-tutkal çeşidi ikili etkileşime ait Duncan testi sonuçları (N/mm^2)

Ağaç malzeme türü-tutkal çeşidi	X_{ort}	HG
Meşe+MF	16,08	a
Kayın+MF	16,06	a
Kayın+D4	14,90	b
Kayın+PU	14,78	b
Meşe+D4	14,68	bc
Meşe+PU	14,44	c
Çam+MF	8,669	d
Çam+PU	8,297	e
Kavak+MF	7,025	f
Çam+D4	6,669	g
Kavak+D4	5,449	h
Kavak+PU	5,231	h
LSD: ± 0,2503		

Buna göre; liflere paralel vida tutma direnci, en yüksek MF tutkalı ile lamine edilen sapsız meşede (16,08 N/mm^2), en düşük ise PU tutkalı ile lamine edilen kavakta (5,231 N/mm^2) elde edilmiştir.

Çizelge 5.79. Liflere paralel vida tutma direncinde ağaç malzeme türü-ısıl işlem sıcaklığı ikili etkileşime ait Duncan testi sonuçları (N/mm^2)

Ağaç malzeme türü-ısıl işlem sıcaklığı	X_{ort}	HG
Kayın+Kontrol	17,38	a
Meşe+Kontrol	16,92	b
Kayın+185°C	15,67	c
Meşe+185°C	15,52	c
Meşe+212°C	12,75	d
Kayın+212°C	12,70	d
Çam+Kontrol	9,131	e
Çam+185°C	8,269	f
Kavak+Kontrol	6,701	g
Çam+212°C	6,234	h
Kavak+185°C	6,176	h
Kavak+212°C	4,828	ı
LSD: ± 0,2503		

Buna göre; liflere paralel vida tutma direnci, en yüksek 185 °C ısıl işlemli Doğu kayınında (15,67 N/mm^2), en düşük ise 212 °C ısıl işlemli kavakta (4,828 N/mm^2) elde edilmiştir.

Çizelge 5.80. Liflere paralel vida tutma direncinde tutkal çeşidi-ısıl işlem sıcaklığı ikili etkileşime ait Duncan testi sonuçları (N/mm^2)

Tutkal çeşidi-ısıl işlem sıcaklığı	X_{ort}	HG
MF+Kontrol	13,06	a
PU+Kontrol	12,54	b
MF+185°C	12,44	b
D4+Kontrol	12,00	c
PU+185°C	11,42	d
MF+212°C	10,37	e
D4+185°C	10,37	e
D4+212°C	8,910	f
PU+212°C	8,101	g
LSD: ± 0,2168		

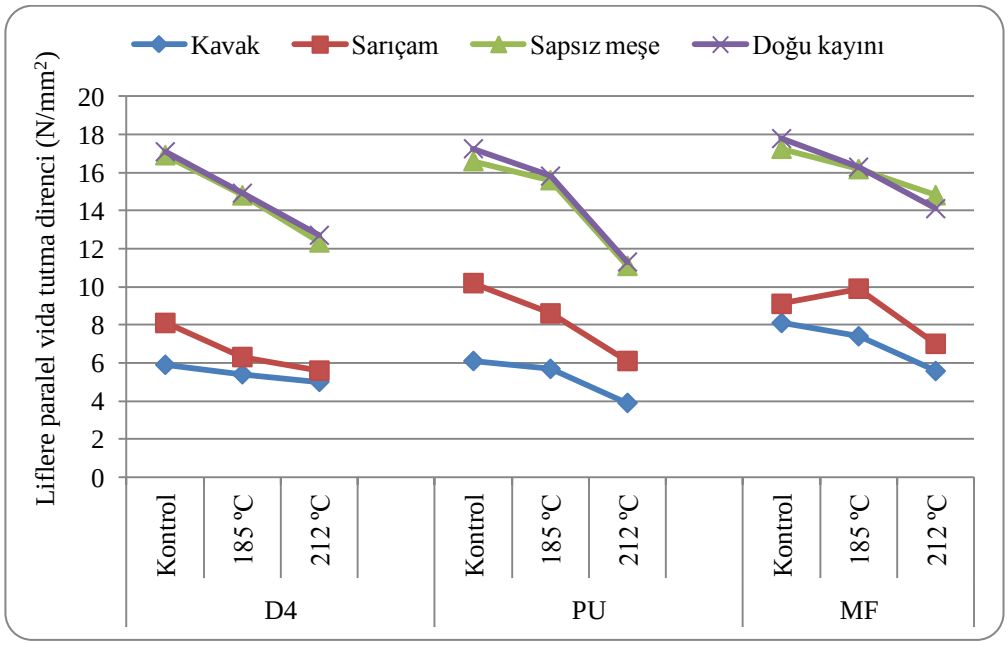
Buna göre; liflere paralel vida tutma direnci, en yüksek 185 °C ısıl işlemli MF'de (12,44 N/mm^2), en düşük ise 212 °C ısıl işlemli PU'da (8,101 N/mm^2) elde edilmiştir.

Çizelge 5.81. Liflere paralel vida tutma direncinde ağaç malzeme türü-tutkal çeşidi-ısıl işlem sıcaklığı üçlü etkileşime ait Duncan testi sonuçları (N/mm^2)

Ağaç malzeme türü-tutkal çeşidi- ısıl işlem sıcaklığı	X_{ort}	HG	Ağaç malzeme türü-tutkal çeşidi- ısıl işlem sıcaklığı	X_{ort}	HG
Kayın+MF+Kontrol	17,78	a	Çam+PU+Kontrol	10,19	k
Meşe+MF+Kontrol	17,25	b	Çam+MF+185°C	9,900	k
Kayın+PU+Kontrol	17,25	b	Çam+MF+Kontrol	9,102	l
Kayın+D4+Kontrol	17,09	b	Çam+PU+185°C	8,598	m
Meşe+D4+Kontrol	16,91	bc	Çam+D4+Kontrol	8,100	n
Meşe+PU+Kontrol	16,60	cd	Kavak+MF+Kontrol	8,100	n
Kayın+MF+185°C	16,28	d	Kavak+MF+185°C	7,400	o
Meşe+MF+185°C	16,18	de	Çam+MF+212°C	7,005	o
Kayın+PU+185°C	15,81	ef	Çam+D4+185°C	6,310	p
Meşe+PU+185°C	15,60	f	Çam+PU+212°C	6,102	pq
Kayın+D4+185°C	14,91	g	Kavak+PU+Kontrol	6,102	pq
Meşe+MF+212°C	14,81	g	Kavak+D4+Kontrol	5,902	pqr
Meşe+D4+185°C	14,80	g	Kavak+PU+185°C	5,690	qr
Kayın+MF+212°C	14,10	h	Çam+D4+212°C	5,596	r
Kayın+D4+212°C	12,70	ı	Kavak+MF+212°C	5,576	r
Meşe+D4+212°C	12,33	ı	Kavak+D4+185°C	5,438	rs
Kayın+PU+212°C	11,30	j	Kavak+D4+212°C	5,007	s
Meşe+PU+212°C	11,10	j	Kavak+PU+212°C	3,901	t
LSD: ± 0,4335					

Buna göre; liflere paralel vida tutma direnci en yüksek, MF tutkalı ile lamine edilen 185 °C ısıl işlemli Doğu kayınında (16,28 N/mm^2), en düşük ise PU tutkalı ile lamine edilen 212 °C ısıl işlemli kavakta (3,901 N/mm^2) elde edilmiştir.

Lamine ağaç malzemelerin liflere paralel vida tutma direnci Şekil 5.9'da verilmiştir.



Şekil 5.9. Lamine ağaç malzemelerin liflere paralel vida tutma direnci

5.10. Sertlik Direnci

Sertlik direncine ilişkin istatiksel sonuçlar Çizelge 5.82'de verilmiştir.

Çizelge 5.82. Sertlik direncine ilişkin istatiksel sonuçlar (N/mm^2)

Ağaç malzeme türü	Tutkal çeşidi	Isıl işlem sıcaklığı	Sertlik direnci			
			X_{min}	X_{max}	X_{ort}	v(%)
Kavak	D4	Kontrol	14,45	20,35	17,40	10,40
		185 ºC	11,52	17,50	14,51	12,45
		212 ºC	10,00	14,10	12,06	11,69
	PU	Kontrol	14,24	18,24	16,23	8,38
		185 ºC	11,95	15,85	13,90	7,84
		212 ºC	7,91	13,88	10,89	13,86
	MF	Kontrol	14,10	20,12	17,11	10,05
		185 ºC	14,02	16,80	15,40	5,39
		212 ºC	13,70	15,80	14,75	4,82
Sarıçam	D4	Kontrol	19,60	25,61	22,56	8,78
		185 ºC	15,61	21,61	18,61	9,78
		212 ºC	12,68	17,58	15,60	11,08
	PU	Kontrol	19,42	24,34	22,32	7,57
		185 ºC	16,85	18,96	17,90	3,74
		212 ºC	13,86	15,89	14,91	4,56
	MF	Kontrol	21,12	25,08	23,11	4,80
		185 ºC	17,86	23,91	20,92	8,17
		212 ºC	17,76	20,73	19,75	5,26
Sapsız meşe	D4	Kontrol	34,58	40,61	37,60	4,58
		185 ºC	25,62	31,57	28,60	5,98
		212 ºC	24,76	26,78	25,81	2,90
	PU	Kontrol	34,60	37,60	36,11	2,58
		185 ºC	25,08	31,07	28,10	5,44
		212 ºC	18,67	26,66	22,69	11,23
	MF	Kontrol	33,21	41,18	37,20	5,91
		185 ºC	29,06	37,12	33,10	7,85
		212 ºC	26,93	36,82	31,89	8,03
Doğu kayını	D4	Kontrol	32,69	38,63	35,65	5,02
		185 ºC	28,17	32,23	29,20	5,38
		212 ºC	22,51	30,58	26,58	9,10
	PU	Kontrol	28,43	38,43	33,46	8,34
		185 ºC	23,72	31,67	27,70	7,11
		212 ºC	21,37	26,30	23,40	7,35
	MF	Kontrol	31,17	39,16	35,13	6,21
		185 ºC	26,77	38,71	32,79	10,06
		212 ºC	29,11	34,06	31,13	5,88

X_{min}: En küçük değer X_{max}: En büyük değer X_{ort}: Ortalama değer v: Varyasyon katsayısı

Buna göre; sertlik direnci, en yüksek D4 tutkalı ile lamine edilen meşede (37,60 N/mm^2), en düşük ise PU tutkalı ile lamine edilen kavakta (16,23 N/mm^2); 185 ºC ısıl işlemli örneklerde en yüksek MF tutkalı ile lamine edilen meşede (33,10 N/mm^2), en düşük PU tutkalı ile lamine edilen kavakta (13,90 N/mm^2); 212 ºC ısıl işlemli örneklerde en yüksek MF tutkalı ile lamine edilen sapsız meşede (31,89 N/mm^2), en düşük ise PU tutkalı ile lamine edilen kavakta (10,89 N/mm^2) elde edilmiştir.

Sertlik direncine uygulanan çoklu varyans analizi Çizelge 5.83'te verilmiştir.

Çizelge 5.83. Sertlik direncine ait çoklu varyans analizi

Faktör	Serbestlik derecesi	Kareler toplamı	Kareler ortalaması	F değeri	P ≤ 0,05
Ağaç malzeme türü (A)	3	18168,258	6056,086	1873,1412	0,0000*
Tutkal çeşidi (B)	2	852,728	426,364	131,8739	0,0000*
Etkileşim (AB)	6	111,209	18,535	5,7328	0,0000*
Isıl işlem sıcaklığı (C)	2	3041,560	1520,780	470,3757	0,0000*
Etkileşim (AC)	6	318,364	53,061	16,4116	0,0000*
Etkileşim (BC)	4	341,166	85,292	26,3806	0,0000*
Etkileşim (ABC)	12	55,342	4,612	1,4264	0,0120*
Hata	324	1047,530	3,233		
Toplam	359	23936,157			

*=0,05'e göre anlamlı

Buna göre; sertlik direncinde ağaç malzeme türü, tutkal çeşidi ve ısıl işlem sıcaklığı ile bunların karşılıklı etkileşimleri istatiksel olarak önemli çıkmıştır (P ≤ 0,05). Farklılığın hangi gruplar arasında önemli olduğunu belirlemek için yapılan Duncan testi sonuçları Çizelge 5. 84 - 90' da verilmiştir.

Sertlik direnci; ağaç malzeme türüne göre Çizelge 5.84'te, tutkal çeşidine göre Çizelge 5.85'te, ısıl işlem sıcaklığına göre Çizelge 5.86'da, ağaç malzeme türü-tutkal çeşidi ikili etkileşime göre Çizelge 5.87'de, ağaç malzeme türü-ısıl işlem sıcaklığı ikili etkileşime göre Çizelge 5.88'de, tutkal çeşidi-ısıl işlem sıcaklığı ikili etkileşime göre Çizelge 5.89'da, ağaç malzeme türü-tutkal çeşidi-ısıl işlem sıcaklığı üçlü etkileşime göre ise Çizelge 5.90'da verilmiştir.

Çizelge 5.84. Ağaç malzeme türüne göre sertlik direnci (N/mm^2)

Ağaç malzeme türü	X_{ort}	HG
Sapsız meşe	31,23	a
Doğu kayını	30,55	b
Sarıçam	19,52	c
Kavak	14,70	d
LSD: ± 0,5271		

Buna göre; sertlik direnci, en yüksek sapsız meşede (31,23 N/mm^2), en düşük ise kavakta (14,70 N/mm^2) elde edilmiştir.

Çizelge 5.85. Tutkal çeşidine göre sertlik direnci (N/mm^2)

Tutkal çeşidi	X_{ort}	HG
MF	26,02	a
D4	23,68	b
PU	22,29	c
LSD: ± 0,4565		

Buna göre; sertlik direnci, en yüksek MF tutkalı ile lamine edilen örneklerde (26,02 N/mm^2), en düşük ise PU tutkalı ile lamine edilen örneklerde (22,29 N/mm^2) elde edilmiştir.

Çizelge 5.86. Isıl işlem sıcaklığına göre sertlik direnci (N/mm^2)

Isıl işlem sıcaklığı	X_{ort}	HG
Kontrol	27,82	a
185 ºC	23,40	b
212 ºC	20,78	c
LSD: ±0,4565		

Buna göre; sertlik direnci, en yüksek 185 ºC ısıl işlemli örneklerde (23,40 N/mm^2), en düşük ise 212 ºC ısıl işlemli örneklerde (20,78 N/mm^2) elde edilmiştir.

Çizelge 5.87. Sertlik direncinde ağaç malzeme türü-tutkal çeşidi ikili etkileşime ait Duncan testi sonuçları (N/mm^2)

Ağaç malzeme türü-tutkal çeşidi	X_{ort}	HG
Meşe+MF	34,06	a
Kayın+MF	33,02	b
Meşe+D4	30,67	c
Kayın+D4	30,48	c
Meşe+PU	28,97	d
Kayın+PU	28,16	d
Çam+MF	21,26	e
Çam+D4	18,93	f
Çam+PU	18,38	f
Kavak+MF	15,75	g
Kavak+D4	14,66	h
Kavak+PU	13,67	ı
LSD: ± 0,9130		

Buna göre; sertlik direnci, en yüksek MF tutkalı ile lamine edilen sapsız meşede (34,06 N/mm^2), en düşük ise PU tutkalı ile lamine edilen kavakta (13,67 N/mm^2) elde edilmiştir.

Çizelge 5.88. Sertlik direncinde ağaç malzeme türü-ısıl işlem sıcaklığı ikili etkileşime ait Duncan testi sonuçları (N/mm^2)

Ağaç malzeme türü-ısıl işlem sıcaklığı	X_{ort}	HG
Meşe+Kontrol	36,97	a
Kayın+Kontrol	34,74	b
Meşe+185°C	29,93	c
Kayın+185°C	29,90	c
Kayın+212°C	27,01	d
Meşe+212°C	26,80	d
Çam+Kontrol	22,66	e
Çam+185°C	19,14	f
Kavak+Kontrol	16,91	g
Çam+212°C	16,75	g
Kavak+185°C	14,60	h
Kavak+212°C	12,57	ı
LSD: ±0,9130		

Buna göre; sertlik direnci, en yüksek 185 °C ısıl işlemli sapsız meşede (29,93 N/mm^2), en düşük ise 212 °C ısıl işlemli kavakta (12,57 N/mm^2) elde edilmiştir.

Çizelge 5.89. Sertlik direncinde tutkal çeşidi-ısıl işlem sıcaklığı ikili etkileşime ait Duncan testi sonuçları (N/mm^2)

Tutkal çeşidi-ısıl işlem sıcaklığı	X_{ort}	HG
D4+Kontrol	28,30	a
MF+Kontrol	28,14	a
PU+Kontrol	27,03	b
MF+185°C	25,55	c
MF+212°C	24,38	d
D4+185°C	22,73	e
PU+185°C	21,90	f
D4+212°C	20,01	g
PU+212°C	17,95	h
LSD: ± 0,7907		

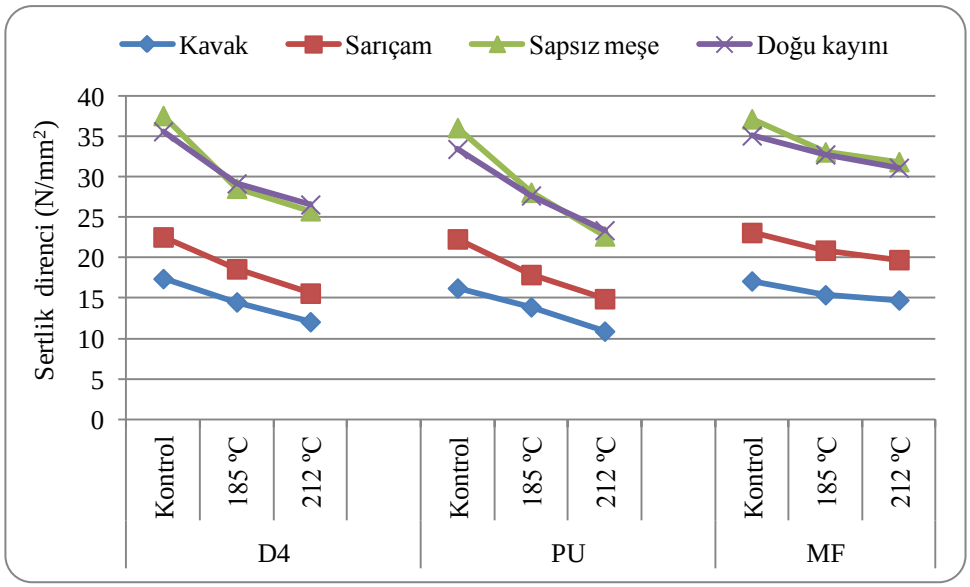
Buna göre; sertlik direnci, en yüksek 185 °C ısıl işlemli MF'de (25,55 N/mm^2), en düşük ise 212 °C ısıl işlemli PU'da (17,95 N/mm^2) elde edilmiştir.

Çizelge 5.90. Sertlik direncinde ağaç malzeme türü-tutkal çeşidi-ısıl işlem sıcaklığı üçlü etkileşime ait Duncan testi sonuçları (N/mm^2)

Ağaç malzeme türü-tutkal çeşidi- ısıl işlem sıcaklığı	X_{ort}	HG	Ağaç malzeme türü-tutkal çeşidi- ısıl işlem sıcaklığı	X_{ort}	HG
Meşe+D4+Kontrol	37,60	a	Meşe+PU+212°C	22,69	ı
Meşe+MF+Kontrol	37,20	ab	Çam+D4+Kontrol	22,56	ıj
Meşe+PU+Kontrol	36,11	abc	Çam+PU+Kontrol	22,32	ıj
Kayın+D4+Kontrol	35,65	bc	Çam+MF+185°C	20,92	jk
Kayın+MF+Kontrol	35,13	c	Çam+MF+212°C	19,75	kl
Kayın+PU+Kontrol	33,46	d	Çam+D4+185°C	18,61	lm
Meşe+MF+185°C	33,10	d	Çam+PU+185°C	17,90	mn
Kayın+MF+185°C	32,79	de	Kavak+D4+Kontrol	17,40	mn
Meşe+MF+212°C	31,89	de	Kavak+MF+Kontrol	17,11	mno
Kayın+MF+212°C	31,13	e	Kavak+PU+Kontrol	16,23	nop
Kayın+D4+185°C	29,20	f	Çam+D4+212°C	15,60	opq
Meşe+D4+185°C	28,60	f	Kavak+MF+185°C	15,40	opq
Meşe+PU+185°C	28,10	fg	Çam+PU+212°C	14,91	pq
Kayın+PU+185°C	27,70	fg	Kavak+MF+212°C	14,75	pq
Kayın+D4+212°C	26,58	gh	Kavak+D4+185°C	14,51	pq
Meşe+D4+212°C	25,81	h	Kavak+PU+185°C	13,90	q
Kayın+PU+212°C	23,30	ı	Kavak+D4+212°C	12,06	r
Çam+MF+Kontrol	23,11	ı	Kavak+PU+212°C	10,89	r
LSD: ± 1,581					

Buna göre; sertlik direnci, en yüksek MF tutkalı ile lamine edilen 185 °C ısıl işlemli sapsız meşede (33,10 N/mm^2), en düşük ise PU tutkalı ile lamine edilen 212 °C ısıl işlemli kavakta (10,89 N/mm^2) elde edilmiştir.

Lamine ağaç malzemelerin sertlik direnci Şekil 5.10'da verilmiştir.



Şekil 5.10. Lamine ağaç malzemelerin sertlik direnci

5.11. Yüzeye Dik Yapışma Direnci

Yüzeye dik yapışma direncine ilişkin istatiksel sonuçlar Çizelge 5.91'de verilmiştir.

Çizelge 5.91. Yüzeye dik yapışma direncine ilişkin istatiksel sonuçlar (N/mm^2)

Ağaç malzeme türü	Tutkal çeşidi	Isıl işlem sıcaklığı	Yüzeye dik yapışma direnci			
			X_{min}	X_{max}	X_{ort}	v(%)
Kavak	D4	Kontrol	1,15	1,45	1,307	6,89
		185 ºC	1,06	1,23	1,144	5,24
		212 ºC	0,90	1,20	1,052	8,56
	PU	Kontrol	1,16	1,54	1,354	8,86
		185 ºC	0,90	1,20	1,050	8,57
		212 ºC	0,76	1,05	0,902	9,98
	MF	Kontrol	1,15	1,36	1,251	5,60
		185 ºC	1,05	1,20	1,163	5,16
		212 ºC	1,04	1,20	1,130	5,31
Sarıçam	D4	Kontrol	1,38	1,63	1,499	5,34
		185 ºC	1,26	1,45	1,351	4,44
		212 ºC	1,12	1,30	1,12	4,16
	PU	Kontrol	1,45	1,70	1,600	5,63
		185 ºC	1,18	1,38	1,280	4,69
		212 ºC	0,90	1,30	1,098	13,66
	MF	Kontrol	1,50	1,80	1,654	4,84
		185 ºC	1,40	1,56	1,479	4,06
		212 ºC	1,35	1,50	1,451	4,14
Sapsız meşe	D4	Kontrol	1,56	1,81	1,683	5,35
		185 ºC	1,40	1,62	1,501	4,66
		212 ºC	1,30	1,50	1,407	3,55
	PU	Kontrol	1,80	2,01	1,903	3,68
		185 ºC	1,35	1,50	1,402	4,28
		212 ºC	1,08	1,20	1,137	4,40
	MF	Kontrol	1,67	1,85	1,761	3,41
		185 ºC	1,56	1,70	1,630	2,45
		212 ºC	1,40	1,76	1,582	5,69
Doğu kayını	D4	Kontrol	1,76	1,99	1,864	4,29
		185 ºC	1,43	1,70	1,574	5,72
		212 ºC	1,36	1,60	1,481	10,37
	PU	Kontrol	1,96	2,25	2,095	3,82
		185 ºC	1,38	1,55	1,460	4,11
		212 ºC	1,10	1,30	1,197	5,85
	MF	Kontrol	1,86	2,10	1,961	3,57
		185 ºC	1,65	1,96	1,808	4,98
		212 ºC	1,50	1,86	1,663	6,61

X_{min}: En küçük değer X_{max}: En büyük değer X_{ort}: Ortalama değer v: Varyasyon katsayısı

Buna göre; yüzeye dik yapışma direnci, en yüksek PU tutkalı ile lamine edilen Doğu kayınında (2,095 N/mm^2), en düşük ise MF tutkalı ile lamine edilen kavakta (1,251 N/mm^2); 185 ºC ısıl işlemli örneklerde en yüksek MF tutkalı ile lamine edilen Doğu kayınında (1,808 N/mm^2), en düşük D4 tutkalı ile lamine edilen kavakta (1,144 N/mm^2); 212 ºC ısıl işlemli örneklerde en yüksek MF tutkalı ile lamine edilen Doğu kayınında (1,663 N/mm^2), en düşük ise PU tutkalı ile lamine edilen kavakta (0,902 N/mm^2) elde edilmiştir.

Yüzeye dik yapışma dirençlerine uygulanan çoklu varyans analizi Çizelge 5.92'de verilmiştir.

Çizelge 5.92. Yüzeye dik yapışma direncine ait çoklu varyans analizi

Faktör	Serbestlik derecesi	Kareler toplamı	Kareler ortalaması	F değeri	P ≤ 0,05
Ağaç malzeme türü (A)	3	13,988	4,663	762,5497	0,0000*
Tutkal çeşidi (B)	2	1,867	0,934	152,7050	0,0000*
Etkileşim (AB)	6	0,306	0,051	8,3519	0,0000*
Isıl işlem sıcaklığı (C)	2	9,266	4,633	757,6989	0,0000*
Etkileşim (AC)	6	0,556	0,093	15,1656	0,0000*
Etkileşim (BC)	4	2,364	0,591	96,6622	0,0000*
Etkileşim (ABC)	12	0,360	0,030	4,8997	0,0000*
Hata	324	1,981	0,006		
Toplam	359	30,688			

*=0,05'e göre önemli

Buna göre; yüzeye dik yapışma direncinde ağaç malzeme türü, tutkal çeşidi ve ısıl işlem sıcaklığı ile bunların karşılıklı etkileşimleri istatiksel olarak önemli çıkmıştır (P ≤ 0,05). Farklılığın hangi gruplar arasında önemli olduğunu belirlemek için yapılan Duncan testi sonuçları Çizelge 5. 93 – 99' da verilmiştir.

Yüzeye dik yapışma direnci; ağaç malzeme türüne göre Çizelge 5.93'te, tutkal çeşidine göre Çizelge 5.94'te, ısıl işlem sıcaklığına göre Çizelge 5.95'te, ağaç malzeme türü-tutkal çeşidi ikili etkileşime göre Çizelge 5.96'da, ağaç malzeme türü-ısıl işlem sıcaklığı ikili etkileşime göre Çizelge 5.97'de, tutkal çeşidi-ısıl işlem

sıcaklığı ikili etkileşime göre Çizelge 5.98'de, ağaç malzeme türü-tutkal çeşidi-ısıl işlem sıcaklığı üçlü etkileşime göre ise Çizelge 5.99'da verilmiştir.

Çizelge 5.93. Ağaç malzeme türüne göre yüzeye dik yapışma direnci (N/mm^2)

Ağaç malzeme türü	X_{ort}	HG
Doğu kayını	1,678	a
Sapsız meşe	1,556	b
Sarıçam	1,402	c
Kavak	1,150	d
LSD: ± 0,02271		

Buna göre; yüzeye dik yapışma direnci, en yüksek Doğu kayınında (1,678 N/mm^2), en düşük ise kavakta (1,150 N/mm^2) elde edilmiştir.

Çizelge 5.94. Tutkal çeşidine göre yüzeye dik yapışma direnci (N/mm^2)

Tutkal çeşidi	X_{ort}	HG
MF	1,544	a
D4	1,422	b
PU	1,373	c
LSD: ± 0,01967		

Buna göre; yüzeye dik yapışma direnci, en yüksek MF tutkalı ile lamine edilen örneklerde (1,544 N/mm^2), en düşük ise PU tutkalı ile lamine edilen örneklerde (1,373 N/mm^2) elde edilmiştir.

Çizelge 5.95. Isıl işlem sıcaklığına göre yüzeye dik yapışma direnci (N/mm^2)

Isıl işlem sıcaklığı	X_{ort}	HG
Kontrol	1,661	a
185 ºC	1,403	b
212 ºC	1,275	c
LSD: ± 0,01967		

Buna göre; yüzeye dik yapışma direnci, en yüksek 185 ºC ısıl işlemli örneklerde (1,403 N/mm^2), en düşük ise 212 ºC ısıl işlemli örneklerde (1,275 N/mm^2) elde edilmiştir.

Çizelge 5.96. Yüzeye dik yapışma direncinde ağaç malzeme türü-tutkal çeşidi ikili etkileşime ait Duncan testi sonuçları (N/mm^2)

Ağaç malzeme türü-tutkal çeşidi	X_{ort}	HG
Kayın+MF	1,811	a
Meşe+MF	1,658	b
Kayın+D4	1,640	b
Kayın+PU	1,584	c
Meşe+D4	1,530	d
Çam+MF	1,528	d
Meşe+PU	1,481	e
Çam+D4	1,351	f
Çam+PU	1,326	f
Kavak+MF	1,181	g
Kavak+D4	1,168	g
Kavak+PU	1,102	h
LSD: ± 0,03933		

Buna göre; yüzeye dik yapışma direnci, en yüksek MF tutkalı ile lamine edilen Doğu kayınında (1,811 N/mm^2), en düşük ise PU tutkalı ile lamine edilen kavakta (1,102 N/mm^2) elde edilmiştir.

Çizelge 5.97. Yüzeye dik yapışma direncinde ağaç malzeme türü-ısıl işlem sıcaklığı ikili etkileşime ait Duncan testi sonuçları (N/mm^2)

Ağaç malzeme türü-ısıl işlem sıcaklığı	X_{ort}	HG
Kayın+Kontrol	1,973	a
Meşe+Kontrol	1,782	b
Kayın+185 °C	1,614	c
Çam+Kontrol	1,584	c
Meşe+185°C	1,511	d
Kayın+212°C	1,447	e
Meşe+212°C	1,375	f
Çam+185°C	1,370	f
Kavak+Kontrol	1,304	g
Çam+212°C	1,250	h
Kavak+185°C	1,119	ı
Kavak+212°C	1,028	j
LSD: ± 0,03933		

Buna göre; yüzeye dik yapışma direnci, en yüksek 185 °C ısıl işlemli Doğu kayınında (1,614 N/mm^2), en düşük ise 212 °C ısıl işlemli kavakta (1,028 N/mm^2) elde edilmiştir.

Çizelge 5.98. Yüzeye dik yapışma direncinde tutkal çeşidi-ısıl işlem sıcaklığı ikili etkileşime ait Duncan testi sonuçları (N/mm^2)

Tutkal çeşidi-ısıl işlem sıcaklığı	X_{ort}	HG
PU+Kontrol	1,738	a
MF+Kontrol	1,657	ab
D4+Kontrol	1,588	c
MF+185°C	1,520	d
MF+212°C	1,457	e
D4+185°C	1,393	f
PU+185°C	1,298	g
D4+212°C	1,286	g
PU+212°C	1,084	h
LSD: ± 0,03406		

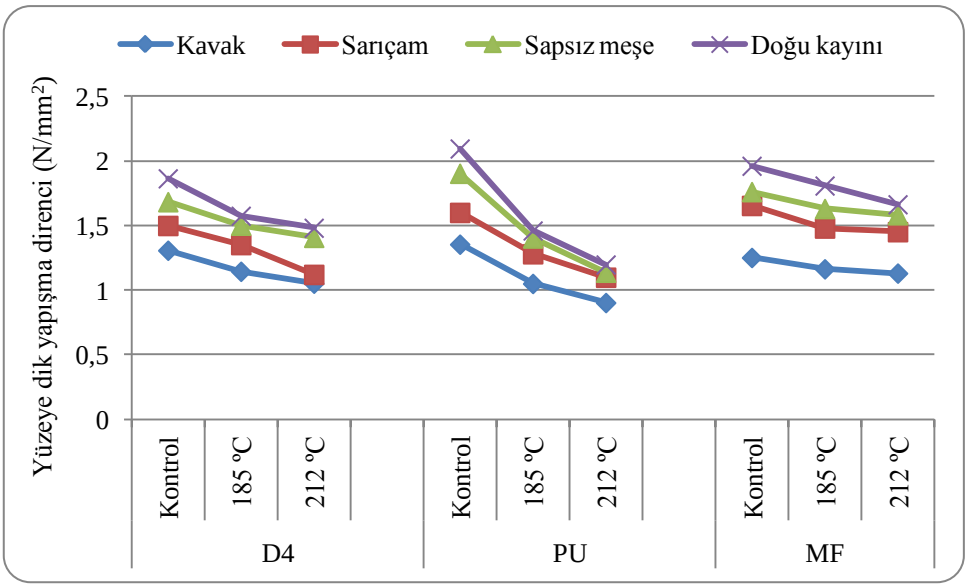
Buna göre; yüzeye dik yapışma direnci, en yüksek 185 °C ısıl işlemli MF'de (1,520 N/mm^2), en düşük ise 212 °C ısıl işlemli PU'da (1,084 N/mm^2) elde edilmiştir.

Çizelge 5.99. Yüzeye dik yapışma direncinde ağaç malzeme türü-tutkal çeşidi-ısıl işlem sıcaklığı üçlü etkileşime ait Duncan testi (N/mm^2)

Ağaç malzeme türü-tutkal çeşidi- ısıl işlem sıcaklığı	X_{ort}	HG	Ağaç malzeme türü-tutkal çeşidi- ısıl işlem sıcaklığı	X_{ort}	HG
Kayın+PU+Kontrol	2,095	a	Çam+MF+212°C	1,451	jkl
Kayın+MF+Kontrol	1,961	b	Meşe+D4+212°C	1,407	klm
Meşe+PU+Kontrol	1,903	bc	Meşe+PU+185°C	1,402	lm
Kayın+D4+Kontrol	1,864	cd	Kavak+PU+Kontrol	1,354	mn
Kayın+MF+185°C	1,808	de	Çam+D4+185°C	1,351	mno
Meşe+MF+Kontrol	1,761	e	Kavak+D4+Kontrol	1,307	nop
Meşe+D4+Kontrol	1,683	f	Çam+PU+185°C	1,280	op
Kayın+MF+212°C	1,663	fg	Kavak+MF+Kontrol	1,251	pq
Çam+MF+Kontrol	1,654	fgh	Çam+D4+212°C	1,202	qr
Meşe+MF+185°C	1,630	fghı	Kayın+PU+212°C	1,197	qr
Çam+PU+Kontrol	1,600	ghı	Kavak+MF+185°C	1,163	rs
Meşe+MF+212°C	1,582	hı	Kavak+D4+185°C	1,144	rs
Kayın+D4+185°C	1,574	ı	Meşe+PU+212°C	1,137	rs
Meşe+D4+185°C	1,501	j	Kavak+MF+212°C	1,130	rs
Çam+D4+Kontrol	1,499	j	Çam+PU+212°C	1,098	st
Kayın+D4+212°C	1,481	jk	Kavak+D4+212°C	1,052	t
Çam+MF+185°C	1,479	jk	Kavak+PU+185°C	1,050	t
Kayın+PU+185°C	1,460	jkl	Kavak+PU+212°C	0,902	u
LSD: ± 0,06812					

Buna göre; yüzeye dik yapışma direnci, en yüksek MF tutkalı ile lamine edilen 185 °C ısıl işlemli Doğu kayınında (1,808 N/mm^2), en düşük ise PU tutkalı ile lamine edilen 212 °C ısıl işlemli kavakta (0,902 N/mm^2) elde edilmiştir.

Lamine ağaç malzemelerin yüzeye dik yapışma direnci Şekil 5.11'de verilmiştir.



Şekil 5.11. Lamine ağaç malzemelerin yüzeye dik yapışma direnci

5.12. Yüzeye Paralel Yapışma Direnci

Yüzeye paralel yapışma direncine ilişkin istatiksel sonuçlar Çizelge 5.100'de verilmiştir.

Çizelge 5.100. Yüzeye paralel yapışma direncine ilişkin istatiksel sonuçlar (N/mm^2)

Ağaç malzeme türü	Tutkal çeşidi	Isıl işlem sıcaklığı	Yüzeye paralel yapışma direnci			
			X_{min}	X_{max}	X_{ort}	v(%)
Kavak	D4	Kontrol	4,70	5,70	5,230	6,12
		185 ºC	4,07	5,21	4,680	8,76
		212 ºC	3,66	4,48	4,066	6,89
	PU	Kontrol	5,26	6,28	6,023	4,81
		185 ºC	3,72	4,80	4,098	8,54
		212 ºC	3,01	4,21	3,565	12,90
	MF	Kontrol	4,66	5,30	5,064	4,34
		185 ºC	3,97	4,66	4,328	4,39
		212 ºC	4,01	4,32	4,173	2,39
Sarıçam	D4	Kontrol	5,78	6,80	6,344	4,57
		185 ºC	4,16	5,78	5,065	9,27
		212 ºC	4,01	5,60	4,809	8,73
	PU	Kontrol	5,78	8,48	8,111	4,57
		185 ºC	4,40	5,60	5,041	8,13
		212 ºC	4,01	4,96	4,523	8,73
	MF	Kontrol	7,21	8,20	7,773	4,25
		185 ºC	6,08	6,94	6,524	4,29
		212 ºC	5,90	6,66	6,136	3,91
Sapsız meşe	D4	Kontrol	8,20	9,01	8,628	3,13
		185 ºC	6,43	7,16	6,846	3,51
		212 ºC	6,11	6,88	6,545	3,97
	PU	Kontrol	9,70	10,60	10,06	2,98
		185 ºC	6,07	6,81	6,41	4,37
		212 ºC	5,16	6,66	6,039	8,27
	MF	Kontrol	9,07	10,10	9,53	3,57
		185 ºC	7,17	8,07	7,729	3,23
		212 ºC	6,98	7,82	7,47	4,01
Doğu kayını	D4	Kontrol	10,40	11,29	10,860	2,84
		185 ºC	8,15	8,85	8,527	2,58
		212 ºC	7,20	8,48	7,827	4,85
	PU	Kontrol	11,82	13,20	12,28	3,50
		185 ºC	6,60	7,80	7,280	5,36
		212 ºC	6,36	7,50	6,995	5,29
	MF	Kontrol	10,32	11,01	10,670	2,06
		185 ºC	8,81	10,00	9,406	3,61
		212 ºC	8,01	9,62	8,809	5,90

X_{min}: En küçük değer X_{max}: En büyük değer X_{ort}: Ortalama değer v: Varyasyon katsayısı

Buna göre; yüzeye paralel yapışma direnci, en yüksek PU tutkalı ile lamine edilen Doğu kayınında (12,28 N/mm^2), en düşük ise MF tutkalı ile lamine edilen kavakta (5,064 N/mm^2); 185 ºC ısıl işlemli örneklerde en yüksek MF tutkalı ile lamine edilen Doğu kayınında (9,406 N/mm^2), en düşük PU tutkalı ile lamine edilen kavakta (4,098 N/mm^2); 212 ºC ısıl işlemli örneklerde en yüksek MF tutkalı ile lamine edilen Doğu kayınında (8,809 N/mm^2), en düşük ise PU tutkalı ile lamine edilen kavakta (3,565 N/mm^2) elde edilmiştir.

Yüzeye paralel yapışma dirençlerine uygulanan çoklu varyans analizi Çizelge 5.101'de verilmiştir.

Çizelge 5.101. Yüzeye paralel yapışma direncine ait çoklu varyans analizi

Faktör	Serbestlik derecesi	Kareler toplamı	Kareler ortalaması	F değeri	P ≤ 0,05
Ağaç malzeme türü (A)	3	1077,722	359,241	3168,9479	0,0000*
Tutkal çeşidi (B)	2	33,277	16,639	146,7724	0,0000*
Etkileşim (AB)	6	21,154	3,526	31,1014	0,0000*
Isıl işlem sıcaklığı (C)	2	419,308	209,654	1849,4098	0,0000*
Etkileşim (AC)	6	37,170	6,195	54,6477	0,0000*
Etkileşim (BC)	4	75,555	18,889	166,6221	0,0000*
Etkileşim (ABC)	12	10,729	0,894	7,8871	0,0000*
Hata	324	36,730	0,113		
Toplam	359	1711,646			

*=0,05'e göre önemli

Bunlara gore; yüzeye paralel yapışma direncinde ağaç malzeme türü, tutkal çeşidi ve ısıl işlem sıcaklığı ile bunların karşılıklı etkileşimleri istatiksel olarak önemli çıkmıştır (P ≤ 0,05). Farklılığın hangi gruplar arasında önemli olduğunu belirlemek için yapılan Duncan testi sonuçları Çizelge 5. 102 – 108' de verilmiştir.

Yüzeye paralel yapışma direnci; ağaç malzeme türüne göre Çizelge 5.102'de, tutkal çeşidine göre Çizelge 5.103'te, ısıl işlem sıcaklığına göre Çizelge 5.104'te, ağaç malzeme türü-tutkal çeşidi ikili etkileşime göre Çizelge 5.105'te, ağaç malzeme türü-ısıl işlem sıcaklığı ikili etkileşime göre Çizelge 5.106'da, tutkal çeşidi-ısıl işlem

sıcaklığı ikili etkileşime göre Çizelge 5.107'de, ağaç malzeme türü-tutkal çeşidi-ısıl işlem sıcaklığı üçlü etkileşime göre ise Çizelge 5.108'de verilmiştir.

Çizelge 5.102. Ağaç malzeme türüne göre yüzeye paralel yapışma direnci (N/mm^2)

Ağaç malzeme türü	X_{ort}	HG
Doğu kayını	9,185	a
Sapsız meşe	7,695	b
Sarıçam	6,036	c
Kavak	4,581	d
LSD: ± 0,09855		

Buna göre; yüzeye paralel yapışma direnci, en yüksek Doğu kayınında (9,185 N/mm^2), en düşük ise kavakta (4,581 N/mm^2) elde edilmiştir.

Çizelge 5.103. Tutkal çeşidine göre yüzeye paralel yapışma direnci (N/mm^2)

Tutkal çeşidi	X_{ort}	HG
MF	7,302	a
PU	6,702	b
D4	6,619	c
LSD: ± 0.08535		

Buna göre; yüzeye paralel yapışma direnci en yüksek MF tutkalı ile lamine edilen örneklerde (7,302 N/mm^2), en düşük ise PU tutkalı ile lamine edilen örneklerde (6,619 N/mm^2) elde edilmiştir.

Çizelge 5.104. Isıl işlem sıcaklığına göre yüzeye paralel yapışma direnci (N/mm^2)

Isıl işlem sıcaklığı	X_{ort}	HG
Kontrol	8,382	a
185 ºC	6,328	b
212 ºC	5,913	c
LSD: ± 0.08535		

Buna göre; yüzeye paralel yapışma direnci, en yüksek 185 °C ısıl işlemli örneklerde (6,328 N/mm^2), en düşük ise 212 ºC ısıl işlemli örneklerde (5,913 N/mm^2) elde edilmiştir.

Çizelge 5.105. Yüzeye paralel yapışma direncinde ağaç malzeme türü-tutkal çeşidi ikili etkileşime ait Duncan testi sonuçları (N/mm^2)

Ağaç malzeme türü-tutkal çeşidi	X_{ort}	HG
Kayın+MF	9,630	a
Kayın+D4	9,073	b
Kayın+PU	8,852	c
Meşe+MF	8,244	d
Meşe+PU	7,503	e
Meşe+D4	7,340	e
Çam+MF	6,811	f
Çam+PU	5,892	g
Çam+D4	5,406	h
Kavak+D4	4,659	ı
Kavak+PU	4,562	ı
Kavak+MF	4,522	ı
LSD: ± 0,1707		

Buna göre; yüzeye paralel yapışma direnci, en yüksek MF tutkalı ile lamine edilen Doğu kayınında (9,630 N/mm^2), en düşük ise MF tutkalı ile lamine edilen kavakta (4,522 N/mm^2) elde edilmiştir.

Çizelge 5.106. Yüzeye paralel yapışma direncinde ağaç malzeme türü-ısıl işlem sıcaklığı ikili etkileşime ait Duncan testi sonuçları (N/mm^2)

Ağaç malzeme türü-ısıl işlem sıcaklığı	X_{ort}	HG
Kayın+Kontrol	11,27	a
Meşe+Kontrol	9,406	b
Kayın+185°C	8,404	c
Kayın+212°C	7,877	d
Çam+Kontrol	7,409	e
Meşe+185°C	6,995	f
Meşe+212°C	6,686	g
Çam+185°C	5,543	h
Kavak+Kontrol	5,439	h
Çam+212°C	5,156	ı
Kavak+185°C	4,369	j
Kavak+212°C	3,935	k
LSD: ± 0,1707		

Buna göre; yüzeye paralel yapışma direnci, en yüksek 185 °C ısıl işlemli Doğu kayınında (8,404 N/mm^2), en düşük ise 212 °C ısıl işlemli kavakta (3,935 N/mm^2) elde edilmiştir.

Çizelge 5.107. Yüzeye paralel yapışma direncinde tutkal çeşidi-ısıl işlem sıcaklığı ikili etkileşime ait Duncan testi sonuçları (N/mm^2)

Tutkal çeşidi-ısıl işlem sıcaklığı	X_{ort}	HG
PU+Kontrol	9,118	a
MF+Kontrol	8,260	b
D4+Kontrol	7,766	c
MF+185°C	6,997	d
MF+212°C	6,648	e
D4+185°C	6,280	f
D4+212°C	5,812	g
PU+185°C	5,707	g
PU+212°C	5,280	h
LSD: ± 0,1478		

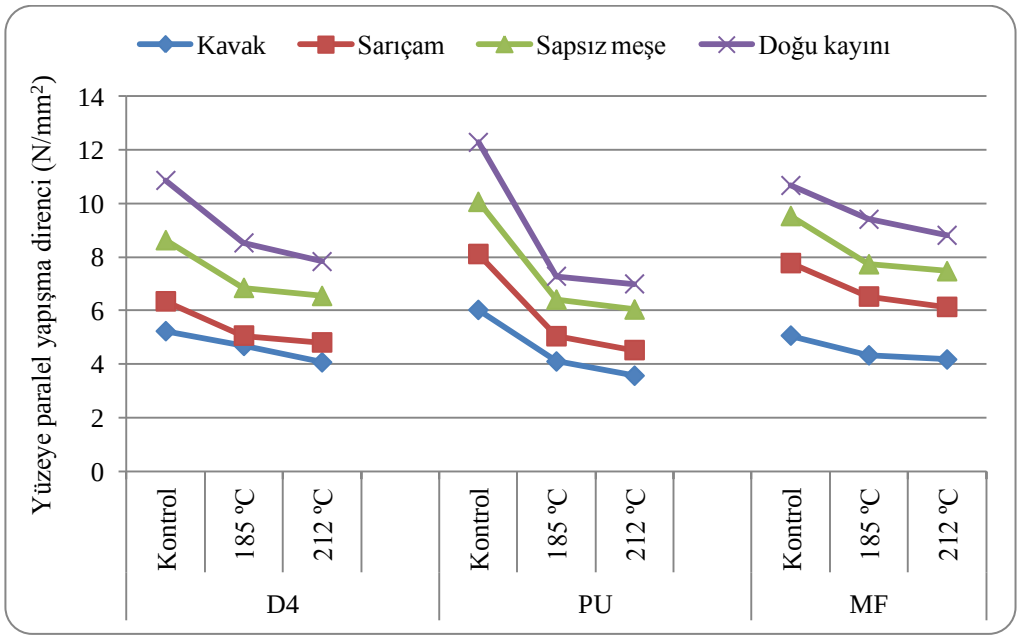
Buna göre; yüzeye paralel yapışma direnci, en yüksek 185 °C ısıl işlemli MF'de (6,997 N/mm^2), en düşük ise 212 °C ısıl işlemli PU'da (5,280 N/mm^2) elde edilmiştir.

Çizelge 5.108. Yüzeye paralel yapışma direncinde ağaç malzeme türü-tutkal çeşidi-ısıl işlem sıcaklığı üçlü etkileşime ait Duncan testi sonuçları (N/mm^2)

Ağaç malzeme türü-tutkal çeşidi- ısıl işlem sıcaklığı	X_{ort}	HG	Ağaç malzeme türü-tutkal çeşidi- ısıl işlem sıcaklığı	X_{ort}	HG
Kayın+PU+Kontrol	12,28	a	Çam+MF+185°C	6,524	l
Kayın+D4+Kontrol	10,86	b	Meşe+PU+185°C	6,410	lm
Kayın+MF+Kontrol	10,67	b	Çam+D4+Kontrol	6,344	lmn
Meşe+PU+Kontrol	10,06	c	Çam+MF+212°C	6,136	mn
Meşe+MF+Kontrol	9,530	d	Meşe+PU+212°C	6,039	n
Kayın+MF+185°C	9,406	d	Kavak+PU+Kontrol	6,023	n
Kayın+MF+212°C	8,809	e	Kavak+D4+Kontrol	5,230	o
Meşe+D4+Kontrol	8,628	e	Çam+D4+185°C	5,065	op
Kayın+D4+185°C	8,527	e	Kavak+MF+Kontrol	5,064	op
Çam+PU+Kontrol	8,111	f	Çam+PU+185°C	5,041	op
Kayın+D4+212°C	7,827	fg	Çam+D4+212°C	4,809	pq
Çam+MF+Kontrol	7,773	gh	Kavak+D4 +185°C	4,680	q
Meşe+MF+185°C	7,729	gh	Çam+PU+212°C	4,523	qr
Meşe+MF+212°C	7,473	hı	Kavak+MF+ 185°C	4,328	rs
Kayın+PU+185°C	7,280	ıj	Kavak+MF+ 212°C	4,173	s
Kayın+PU+212°C	6,995	jk	Kavak+PU+ 185°C	4,098	s
Meşe+D4 +185°C	6,846	k	Kavak+D4 +212°C	4,066	s
Meşe+D4+212°C	6,545	l	Kavak+PU+ 212°C	3,565	t
LSD: ± 0,2956					

Buna göre; yüzeye paralel yapışma direnci, en yüksek MF tutkalı ile lamine edilen 185 °C ısıl işlemli Doğu kayınında (9,406 N/mm^2), en düşük ise PU tutkalı ile lamine edilen 212 °C ısıl işlemli kavakta (3,565 N/mm^2) elde edilmiştir.

Lamine ağaç malzemelerin yüzeye paralel yapışma direnci Şekil 5.12'de verilmiştir.



Şekil 5.12. Lamine ağaç malzemelerin yüzeye paralel yapışma direnci

5.13. Boyutsal Kararlılık (Stabilizasyon)

5.13.1. Kalınlık artışı

Kalınlık artışına ilişkin istatiksel sonuçlar Çizelge 5.109'da verilmiştir.

Çizelge 5.109. Kalınlık artışına ilişkin istatiksel sonuçlar (%)

Ağaç malzeme türü	Tutkal çeşidi	Isıl işlem sıcaklığı	Kalınlık artışı			
			X_{min}	X_{max}	X_{ort}	v(%)
Kavak	D4	Kontrol	3,70	4,32	4,083	4,65
		185 ºC	3,00	3,36	3,211	3,74
		212 ºC	2,01	2,36	2,149	5,02
	PU	Kontrol	3,58	4,27	4,013	4,99
		185 ºC	3,00	3,40	3,172	4,41
		212 ºC	2,02	2,42	2,205	5,89
	MF	Kontrol	3,52	4,02	3,934	4,07
		185 ºC	2,68	3,02	2,832	3,53
		212 ºC	2,02	2,40	2,20	5,00
Sarıçam	D4	Kontrol	4,99	5,30	5,137	2,34
		185 ºC	3,86	4,12	4,013	2,24
		212 ºC	2,86	3,27	3,050	4,60
	PU	Kontrol	5,02	5,36	5,150	2,33
		185 ºC	3,92	4,10	4,027	1,73
		212 ºC	2,78	3,16	3,014	4,27
	MF	Kontrol	4,99	5,28	5,120	2,14
		185 ºC	3,88	4,16	4,00	2,50
		212 ºC	2,83	3,08	2,943	3,06
Sapsız meşe	D4	Kontrol	4,84	5,17	5,00	2,20
		185 ºC	3,98	4,18	4,062	1,73
		212 ºC	3,00	3,30	3,105	3,22
	PU	Kontrol	4,80	5,16	4,956	2,42
		185 ºC	3,94	4,21	4,093	2,45
		212 ºC	2,98	3,36	3,167	3,16
	MF	Kontrol	4,70	5,11	4,899	2,45
		185 ºC	3,96	4,15	4,053	1,55
		212 ºC	2,95	3,25	3,11	3,22
Doğu kayını	D4	Kontrol	5,20	5,51	5,349	1,68
		185 ºC	4,10	4,30	4,200	1,67
		212 ºC	3,10	3,40	3,251	2,47
	PU	Kontrol	4,95	5,25	5,15	1,75
		185 ºC	4,06	4,26	4,164	1,68
		212 ºC	3,15	3,45	3,301	5,13
	MF	Kontrol	4,82	5,20	5,016	3,19
		185 ºC	4,01	4,30	4,152	3,13
		212 ºC	3,10	3,31	3,206	4,36

X_{min}: En küçük değer X_{max}: En büyük değer X_{ort}: Ortalama değer v: Varyasyon katsayısı

Buna göre; kalınlık artışı, en yüksek D4 tutkalı ile lamine edilen Doğu kayınında (% 5,349), en düşük ise MF tutkalı ile lamine edilen kavakta (% 3,934); 185 ºC ısıl işlemli örneklerde en yüksek D4 tutkalı ile lamine edilen Doğu kayınında (% 4,200), en düşük MF tutkalı ile lamine edilen kavakta (2,832); 212 ºC ısıl işlemli örneklerde en yüksek PU tutkalı ile lamine edilen Doğu kayınında (% 3,301), en düşük ise D4 tutkalı ile lamine edilen kavakta (% 2,149) elde edilmiştir.

Kalınlık artışına uygulanan çoklu varyans analizi Çizelge 5.110'da verilmiştir.

Çizelge 5.110. Kalınlık artışına ait çoklu varyans analizi

Faktör	Serbestlik derecesi	Kareler toplamı	Kareler ortalaması	F değeri	P ≤ 0,05
Ağaç malzeme türü (A)	3	69,942	23,314	1849,4103	0,0000*
Tutkal çeşidi (B)	2	0,605	0,302	23,9866	0,0000*
Etkileşim (AB)	6	0,235	0,039	3,1053	0,0057*
Isıl işlem sıcaklığı(C)	2	221,526	110,763	8786,3891	0,0000*
Etkileşim (AC)	6	1,037	0,173	13,7161	0,0000*
Etkileşim (BC)	4	0,230	0,057	4,5608	0,0013*
Etkileşim (ABC)	12	0,739	0,062	4,8831	0,0000*
Hata	324	4,084	0,013		
Toplam	359	298,398			

*=0,05'e göre önemli

Buna göre; kalınlık artışında ağaç malzeme türü, tutkal çeşidi ve ısıl işlem sıcaklığı ile bunların karşılıklı etkileşimleri istatiksel olarak önemli çıkmıştır (P ≤ 0,05). Farklılığın hangi gruplar arasında önemli olduğunu belirlemek için yapılan Duncan testi sonuçları Çizelge 5. 111 – 117'de verilmiştir.

Kalınlık artışı; ağaç malzeme türüne göre Çizelge 5.111'de, tutkal çeşidine göre Çizelge 5.112'de, ısıl işlem sıcaklığına göre Çizelge 5.113'te, ağaç malzeme türü-tutkal çeşidi ikili etkileşime göre Çizelge 5.114'te, ağaç malzeme türü-ısıl işlem sıcaklığı ikili etkileşime göre Çizelge 5.115'te, tutkal çeşidi-ısıl işlem sıcaklığı ikili etkileşime göre Çizelge 5.116'da, ağaç malzeme türü-tutkal çeşidi-ısıl işlem sıcaklığı üçlü etkileşime göre ise Çizelge 5.117'de verilmiştir.

Çizelge 5.111. Ağaç malzeme türüne göre kalınlık artışı (%)

Ağaç malzeme türü	X_{ort}	HG
Doğu kayını	4,193	a
Sarıçam	4,050	b
Sapsız meşe	4,049	b
Kavak	3,089	c
LSD: ± 0,03343		

Buna göre; kalınlık artışı, en yüksek Doğu kayınında (% 4,193), en düşük ise kavakta (% 3,089) elde edilmiştir.

Çizelge 5.112. Tutkal çeşidine göre kalınlık artışı (%)

Tutkal çeşidi	X_{ort}	HG
D4	3,884	a
PU	3,864	a
MF	3,789	b
LSD: ± 0,02895		

Buna göre; kalınlık artışı, en yüksek D4 ve PU tutkalı ile lamine edilen örneklerde (% 3,884 ve % 3,864), en düşük ise MF tutkalı ile lamine edilen örneklerde (% 3,789) elde edilmiştir. Burada tutkal çeşidinin kalınlık artışında etkili olduğu söylenebilir.

Çizelge 5.113. Isıl işlem sıcaklığına göre kalınlık artışı (%)

Isıl işlem sıcaklığı	X_{ort}	HG
Kontrol	4,813	a
185 ºC	3,832	b
212 ºC	2,892	c
LSD: ± 0,02895		

Buna göre; kalınlık artışı, en yüksek 185 °C ısıl işlemli örneklerde (% 3,832), en düşük ise 212 ºC ısıl işlemli örneklerde (% 2,892) elde edilmiştir.

Çizelge 5.114. Kalınlık artışında ağaç malzeme türü-tutkal çeşidi ikili etkileşime ait Duncan testi sonuçları (%)

Ağaç malzeme türü-tutkal çeşidi	X_{ort}	HG
Kayın+D4	4,267	a
Kayın+PU	4,188	b
Kayın+MF	4,125	c
Meşe+PU	4,072	cd
Çam+D4	4,067	cd
Çam+PU	4,064	cd
Meşe+D4	4,056	d
Çam+MF	4,021	d
Meşe+MF	4,021	d
Kavak+D4	3,148	e
Kavak+PU	3,130	e
Kavak+MF	2,989	f
LSD: ± 0,05789		

Buna göre; kalınlık artışı, en yüksek D4 tutkalı ile lamine edilen Doğu kayınında (% 4,267), en düşük ise MF tutkalı ile lamine edilen kavakta (% 2,989) elde edilmiştir.

Çizelge 5.115. Kalınlık artışında ağaç malzeme türü-ısıl işlem sıcaklığı ikili etkileşime ait Duncan testi sonuçları (%)

Ağaç malzeme türü-ısıl işlem sıcaklığı	X_{ort}	HG
Kayın+Kontrol	5,155	a
Çam+Kontrol	5,136	a
Meşe+Kontrol	4,952	b
Kayın+185°C	4,172	c
Meşe+185°C	4,069	d
Çam+185°C	4,013	d
Kavak+Kontrol	4,010	d
Kayın+212°C	3,253	e
Meşe+212°C	3,127	f
Kavak+185°C	3,072	f
Çam+212 °C	3,002	g
Kavak+212°C	2,185	h
LSD: ±0,05789		

Buna göre; kalınlık artışı, en yüksek 185 °C ısıl işlemli Doğu kayınında (% 4,172), en düşük ise 212 °C ısıl işlemli kavakta (% 2,185) elde edilmiştir.

Çizelge 5.116. Kalınlık artışında tutkal çeşidi-ısıl işlem sıcaklığı ikili etkileşime ait Duncan testi sonuçları (%)

Tutkal çeşidi-ısıl işlem sıcaklığı	X_{ort}	HG
D4+Kontrol	4,892	a
PU+Kontrol	4,805	b
MF+Kontrol	4,742	c
D4+185°C	3,872	d
PU+185°C	3,864	d
MF+185°C	3,759	e
PU+212°C	2,922	f
D4+212°C	2,889	fg
MF+212°C	2,865	g
LSD: ± 0,05014		

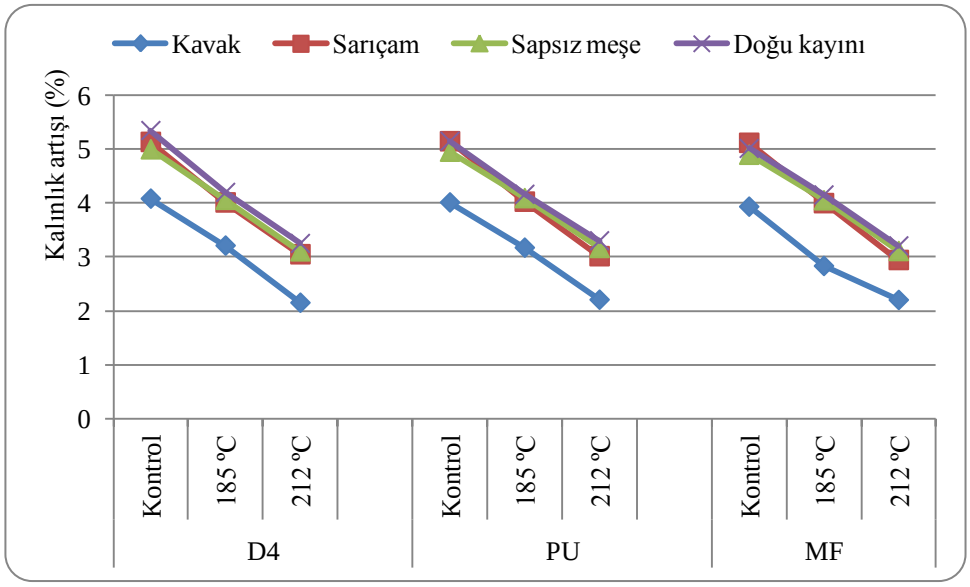
Buna göre; kalınlık artışı, en yüksek 185 °C ısıl işlemli D4'te (%3,872), en düşük ise 212 °C ısıl işlemli MF'de (% 2,865) elde edilmiştir.

Çizelge 5.117. Kalınlık artışında ağaç malzeme türü-tutkal çeşidi-ısıl işlem sıcaklığı üçlü etkileşime ait Duncan testi sonuçları (%)

Ağaç malzeme türü-tutkal çeşidi- ısıl işlem sıcaklığı	X_{ort}	HG	Ağaç malzeme türü-tutkal çeşidi- ısıl işlem sıcaklığı	X_{ort}	HG
Kayın+D4+Kontrol	5,349	a	Kavak+PU+Kontrol	4,013	ij
Çam+PU+Kontrol	5,150	b	Çam+MF+185°C	4,000	ij
Çam+D4+Kontrol	5,137	b	Kavak+MF+Kontrol	3,934	j
Çam+MF+Kontrol	5,120	bc	Kayın+PU+212°C	3,301	k
Kayın+PU+Kontrol	5,100	bcd	Kayın+D4+212°C	3,251	kl
Kayın+MF+Kontrol	5,016	cde	Kavak+D4+185°C	3,211	klm
Meşe+D4+Kontrol	5,000	def	Kayın+MF+212°C	3,206	klm
Meşe+PU+Kontrol	4,956	ef	Kavak+PU+185°C	3,172	lm
Meşe+MF+Kontrol	4,899	f	Meşe+PU+212°C	3,167	lm
Kayın+D4+185°C	4,200	g	Meşe+MF+212°C	3,110	mn
Kayın+PU+185°C	4,164	gh	Meşe+D4+212°C	3,105	mn
Kayın+MF+185°C	4,152	gh	Çam+D4+212°C	3,050	n
Meşe+PU+185°C	4,093	ghi	Çam+PU+212°C	3,014	no
Kavak+D4+Kontrol	4,083	hi	Çam+MF+212°C	2,943	o
Meşe+D4 +185°C	4,062	hi	Kavak+MF+185°C	2,832	p
Meşe+MF+185°C	4,053	hi	Kavak+PU+212°C	2,205	q
Çam+PU+185°C	4,027	ij	Kavak+MF+212°C	2,200	q
Çam+D4+185°C	4,013	ij	Kavak+D4+212°C	2,149	q
LSD: ± 0,1003					

Buna göre; kalınlık artışı, en yüksek D4 tutkalı ile lamine edilen 185 °C ısıl işlemli Doğu kayınında (% 4,200), en düşük ise D4 tutkalı ile lamine edilen 212°C ısıl işlemli kavakta (% 2,149) elde edilmiştir.

Lamine ağaç malzemelerin kalınlık artışları Şekil 5.13'te verilmiştir.



Şekil 5.13. Lamine ağaç malzemede kalınlık artışı

5.13.2. Genişlik artışı

Genişlik artışına ilişkin istatiksel sonuçlar Çizelge 5.118'de verilmiştir.

Çizelge 5.118. Genişlik artışına ilişkin istatiksel sonuçlar (%)

Ağaç malzeme türü	Tutkal çeşidi	Isıl işlem sıcaklığı	Genişlik artışı			
			X_{min}	X_{max}	X_{ort}	v(%)
Kavak	D4	Kontrol	6,88	8,02	7,641	6,40
		185 ºC	5,55	6,20	5,894	3,22
		212 ºC	4,50	4,86	4,715	2,55
	PU	Kontrol	6,73	8,52	7,546	7,69
		185 ºC	5,56	5,87	5,695	1,93
		212 ºC	4,76	5,06	4,872	1,85
	MF	Kontrol	6,40	8,44	7,401	9,32
		185 ºC	5,20	5,86	5,626	3,91
		212 ºC	4,69	5,06	4,897	2,86
Sarıçam	D4	Kontrol	7,53	8,40	7,967	3,01
		185 ºC	6,63	6,94	6,790	1,32
		212 ºC	4,55	5,30	4,965	3,62
	PU	Kontrol	7,70	8,40	8,052	2,61
		185 ºC	6,82	7,00	6,911	1,01
		212 ºC	4,69	5,35	5,097	3,53
	MF	Kontrol	7,70	8,14	7,935	1,64
		185 ºC	6,66	7,01	6,823	1,47
		212 ºC	4,75	5,25	4,957	3,83
Sapsız meşe	D4	Kontrol	8,93	9,47	9,206	2,28
		185 ºC	6,82	7,30	7,021	2,42
		212 ºC	5,28	5,69	5,437	2,76
	PU	Kontrol	8,80	9,40	9,147	1,86
		185 ºC	6,93	7,41	7,083	1,98
		212 ºC	5,27	5,72	5,437	2,21
	MF	Kontrol	8,75	9,40	9,059	2,10
		185 ºC	6,66	7,09	6,868	2,04
		212 ºC	4,87	5,35	5,105	3,33
Doğu kayını	D4	Kontrol	9,39	9,90	9,751	1,95
		185 ºC	7,20	7,35	7,300	0,82
		212 ºC	5,20	5,70	5,50	2,88
	PU	Kontrol	10,01	10,38	10,16	1,00
		185 ºC	7,10	7,37	7,187	1,39
		212 ºC	5,42	5,90	5,649	2,83
	MF	Kontrol	9,60	10,23	9,884	2,12
		185 ºC	6,80	7,29	7,048	2,70
		212 ºC	5,25	5,65	5,444	3,12

X_{min}: En küçük değer X_{max}: En büyük değer X_{ort}: Ortalama değer v: Varyasyon katsayısı

Buna göre; genişlik artışı, en yüksek PU tutkalı ile lamine edilen Doğu kayınında (% 10,16), en düşük ise MF tutkalı ile lamine edilen kavakta (% 7,401); 185 ºC ısıl işlemli örneklerde en yüksek D4 tutkalı ile lamine edilen Doğu kayınında (% 7,300), en düşük MF tutkalı ile lamine edilen kavakta (% 5,626); 212 ºC ısıl işlemli örneklerde en yüksek PU tutkalı ile lamine edilen Doğu kayınında (% 5,649), en düşük ise D4 tutkalı ile lamine edilen kavakta (% 4,715) elde edilmiştir.

Genişlik artışına uygulanan çoklu varyans analizi Çizelge 5.119'da verilmiştir.

Çizelge 5.119. Genişlik artışına ait çoklu varyans analizi

Faktör	Serbestlik derecesi	Kareler toplamı	Kareler ortalaması	F değeri	P ≤ 0,05
Ağaç malzeme türü (A)	3	117,982	39,327	763,7980	0,0000*
Tutkal çeşidi (B)	2	1,387	0,694	13,4725	0,0000*
Etkileşim (AB)	6	0,608	0,101	1,9684	0,0697ns
Isıl işlem sıcaklığı(C)	2	726,067	363,033	7050,6707	0,0000*
Etkileşim (AC)	6	36,521	6,087	118,2171	0,0000*
Etkileşim (BC)	4	0,221	0,055	1,0718	0,3704ns
Etkileşim (ABC)	12	1,440	0,120	2,3303	0,0072*
Hata	324	16,682	0,051		
Toplam	359	900,909			

*=0,05'e göre önemli, ns= önemsiz

Buna göre; genişlik artışında ağaç malzeme türü, tutkal çeşidi ve ısıl işlem sıcaklığı ile bunların karşılıklı etkileşimleri istatiksel olarak önemli, ağaç malzeme türü-tutkal çeşidi ikili etkileşimi ve ısıl işlem sıcaklığı-tutkal çeşidi ikili etkileşimi ise önemsiz çıkmıştır (P ≤ 0,05). Farklılığın hangi gruplar arasında önemli olduğunu belirlemek için yapılan Duncan testi sonuçları Çizelge 5. 120 – 124'te verilmiştir.

Genişlik artışı; ağaç malzeme türüne göre Çizelge 5.120'de, tutkal çeşidine göre Çizelge 5.121'de, ısıl işlem sıcaklığına göre Çizelge 5.122'de, ağaç malzeme türü-ısıl işlem sıcaklığı ikili etkileşime göre Çizelge 5.123'te, ağaç malzeme türü-tutkal çeşidi-ısıl işlem sıcaklığı üçlü etkileşime göre ise Çizelge 5.124'te verilmiştir.

Çizelge 5.120. Ağaç malzeme türüne göre genişlik artışı (%)

Ağaç malzeme türü	X_{ort}	HG
Doğu kayını	7,553	a
Sapsız meşe	7,151	b
Sarıçam	6,611	c
Kavak	6,032	d
LSD: ± 0,06621		

Buna göre; genişlik artışı, en yüksek Doğu kayınında (% 7,553), en düşük ise kavakta (% 6,032) elde edilmiştir.

Çizelge 5.121. Tutkal çeşidine göre genişlik artışı (%)

Tutkal çeşidi	X_{ort}	HG
PU	6,903	a
D4	6,853	a
MF	6,754	b
LSD: ± 0,05734		

Buna göre; genişlik artışı, en yüksek PU ve D4 tutkalı ile lamine edilen örneklerde (% 6,903 ve % 6,853), en düşük ise MF tutkalı ile lamine edilen örneklerde (% 6,754) elde edilmiştir.

Çizelge 5.122. Isıl işlem sıcaklığına göre genişlik artışı (%)

Isıl işlem sıcaklığı	X_{ort}	HG
Kontrol	8,646	a
185 ºC	6,687	b
212 ºC	5,177	c
LSD: ± 0,05734		

Buna göre; genişlik artışı, en yüksek 185 ºC ısıl işlemli örneklerde (% 6,687), en düşük ise 212 ºC ısıl işlemli örneklerde (% 5,177) elde edilmiştir.

Çizelge 5.123. Genişlik artışında ağaç malzeme türü-ısıl işlem sıcaklığı ikili etkileşime ait Duncan testi sonuçları (%)

Ağaç malzeme türü-ısıl işlem sıcaklığı	X_{ort}	HG
Kayın+Kontrol	9,933	a
Meşe+Kontrol	9,137	b
Çam+Kontrol	7,985	c
Kavak+Kontrol	7,529	d
Kayın+185°C	7,178	e
Meşe+185°C	6,991	f
Çam+185°C	6,841	g
Kavak+185°C	5,738	h
Kayın+212	5,548	ı
Meşe+212°C	5,326	j
Çam+212°C	5,006	k
Kavak+212°C	4,828	l
LSD: ±0,1147		

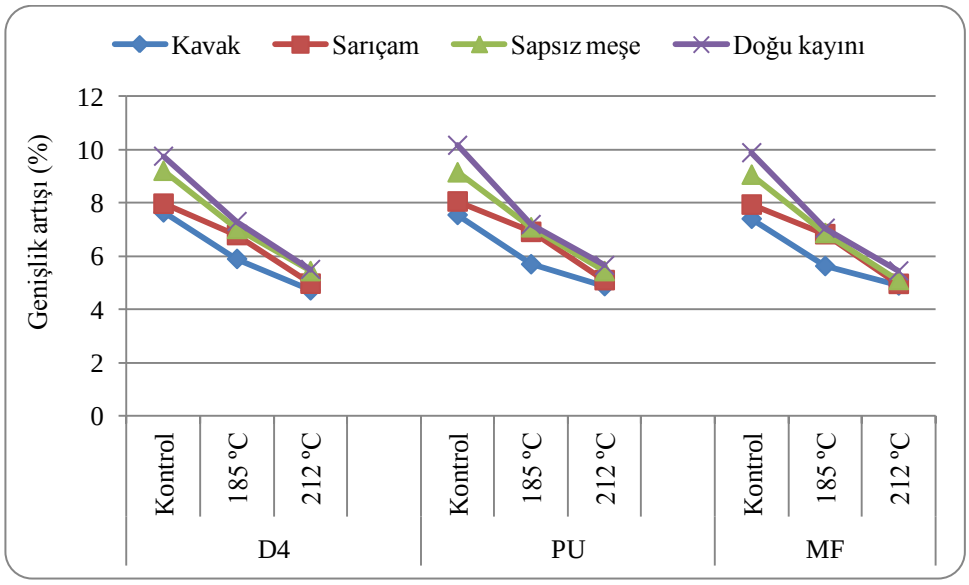
Buna göre; genişlik artışı, en yüksek 185 °C ısıl işlemli Doğu kayınında (% 7,178), en düşük ise 212 °C ısıl işlemli kavakta (% 4,828) elde edilmiştir.

Çizelge 5.124. Genişlik artışında ağaç malzeme türü-tutkal çeşidi-ısıl işlem sıcaklığı üçlü etkileşime ait Duncan testi sonuçları (%)

Ağaç malzeme türü-tutkal çeşidi- ısıl işlem sıcaklığı	X_{ort}	HG	Ağaç malzeme türü-tutkal çeşidi- ısıl işlem sıcaklığı	X_{ort}	HG
Kayın+PU+Kontrol	10,16	a	Meşe+MF+185°C	6,868	jkl
Kayın+MF+Kontrol	9,884	b	Çam+MF+185°C	6,823	kl
Kayın+D4+Kontrol	9,751	b	Çam+D4+185°C	6,790	l
Meşe+D4+Kontrol	9,206	c	Kavak+D4+185°C	5,894	m
Meşe+PU+Kontrol	9,147	c	Kavak+PU+185°C	5,695	mn
Meşe+MF+Kontrol	9,059	c	Kayın+PU+212°C	5,649	no
Çam+PU+Kontrol	8,052	d	Kavak+MF+185°C	5,626	no
Çam+D4+Kontrol	7,967	d	Kayın+D4+212°C	5,550	no
Çam+MF+Kontrol	7,935	d	Kayın+MF+212°C	5,444	o
Kavak+D4+Kontrol	7,641	e	Meşe+D4+212°C	5,437	o
Kavak+PU+Kontrol	7,546	ef	Meşe+PU+212°C	5,437	o
Kavak+MF+Kontrol	7,401	fg	Meşe+MF+212°C	5,105	p
Kayın+D4+185°C	7,300	gh	Çam+PU+212°C	5,097	p
Kayın+PU+185°C	7,187	hi	Çam+D4+212°C	4,965	pq
Meşe+PU+185°C	7,083	ij	Çam+MF+212°C	4,957	pq
Kayın+MF+185°C	7,048	ij	Kavak+MF+212°C	4,897	pqr
Meşe+D4+185°C	7,021	ijk	Kavak+PU+212°C	4,872	qr
Çam+PU+185°C	6,911	jkl	Kavak+D4+212°C	4,715	r
LSD: ± 0,1986					

Buna göre; genişlik artışı, en yüksek D4 tutkalı ile lamine edilen 185 °C ısıl işlemli Doğu kayınında (% 7,300), en düşük ise D4 tutkalı ile lamine edilen 212°C ısıl işlemli kavakta (% 4,715) elde edilmiştir.

Lamine ağaç malzemelerin genişlik artışları Şekil 5.14'de verilmiştir.



Şekil 5.14. Lamine ağaç malzemede genişlik artışı

5.14. Yanma Özellikleri

5.14.1. Alev kaynaklı yanma sıcaklığı

Alev kaynaklı yanma sıcaklığına ilişkin istatiksel sonuçlar Çizelge 5.125'te verilmiştir.

Çizelge 5.125. Alev kaynaklı yanma sıcaklığına ilişkin istatiksel sonuçlar (ºC)

Ağaç malzeme türü	Tutkal çeşidi	Isıl işlem sıcaklığı	Alev kaynaklı yanma sıcaklığı			
			X_{min}	X_{max}	X_{ort}	v(%)
Kavak	D4	Kontrol	460	531	490	7,46
		185 ºC	426	505	460	8,80
		212 ºC	400	476	433	8,71
	PU	Kontrol	510	590	561	7,07
		185 ºC	445	505	470	6,74
		212 ºC	421	472	451	5,93
	MF	Kontrol	510	571	540	5,69
		185 ºC	530	617	581	7,75
		212 ºC	489	533	511	4,45
Sarıçam	D4	Kontrol	510	592	551	7,52
		185 ºC	550	612	571	7,55
		212 ºC	461	562	521	10,32
	PU	Kontrol	520	570	550	4,73
		185 ºC	481	592	528	10,79
		212 ºC	465	571	508	10,62
	MF	Kontrol	480	571	530	8,68
		185 ºC	535	585	565	4,75
		212 ºC	430	508	474	8,44
Sapsız meşe	D4	Kontrol	470	552	521	8,57
		185 ºC	480	552	521	7,14
		212 ºC	441	513	481	7,63
	PU	Kontrol	565	5,80	570	1,53
		185 ºC	485	545	513	6,00
		212 ºC	450	530	497	8,37
	MF	Kontrol	473	532	502	5,92
		185 ºC	384	450	420	8,03
		212 ºC	346	430	403	12,02
Doğu kayını	D4	Kontrol	420	491	460	8,34
		185 ºC	420	532	476	11,80
		212 ºC	400	472	430	8,65
	PU	Kontrol	452	541	501	9,13
		185 ºC	451	502	476	5,35
		212 ºC	370	515	451	16,34
	MF	Kontrol	425	506	470	8,82
		185 ºC	420	482	450	6,96
		212 ºC	350	496	435	17,41

X_{min}: En küçük değer X_{max}: En büyük değer X_{ort}: Ortalama değer v: Varyasyon katsayısı

Buna göre; alev kaynaklı yanma sıcaklığı, en yüksek PU tutkalı ile lamine edilen meşede (570 °C), en düşük ise D4 tutkalı ile lamine edilen kayında (460 °C); 185 ºC ısıl işlemli örneklerde en yüksek MF tutkalı ile lamine edilen kavakta (581 ºC), en düşük MF tutkalı ile lamine edilen meşede (420 °C); 212 ºC ısıl işlemli örneklerde en yüksek D4 tutkalı ile lamine edilen sarıçamda (521 °C), en düşük ise MF tutkalı ile lamine edilen meşede (403 °C) elde edilmiştir.

Alev kaynaklı yanma sıcaklığına uygulanan çoklu varyans analizi Çizelge 5.126'da verilmiştir.

Çizelge 5.126. Alev kaynaklı yanma sıcaklığına ait çoklu varyans analizi

Faktör	Serbestlik derecesi	Kareler toplamı	Kareler ortalaması	F değeri	P ≤ 0,05
Ağaç malzeme türü (A)	3	70910,296	23636,765	35,6318	0,0000*
Tutkal çeşidi (B)	2	5314,130	2657,065	4,0055	0,0224*
Etkileşim (AB)	6	67550,093	11258,349	16,9717	0,0000*
Isıl işlem sıcaklığı (C)	2	54781,130	27390,565	41,2906	0,0000*
Etkileşim (AC)	6	9122,204	1520,367	2,2919	0,0442*
Etkileşim (BC)	4	9278,870	2319,718	3,4969	0,0115*
Etkileşim (ABC)	12	16104,241	1342,020	2,0231	0,0341*
Hata	72	47762,000	663,361		
Toplam	107	280822,963			

*=0,05'e göre önemli

Buna göre; alev kaynaklı yanma sıcaklığında ağaç malzeme türü, tutkal çeşidi ve ısıl işlem sıcaklığı ile bunların karşılıklı etkileşimleri istatiksel olarak önemli çıkmıştır (P ≤ 0,05). Farklılığın hangi gruplar arasında önemli olduğunu belirlemek için yapılan Duncan testi sonuçları Çizelge 5. 127 – 133'te verilmiştir.

Alev kaynaklı yanma sıcaklığı; ağaç malzeme türüne göre Çizelge 5.127'de, tutkal çeşidine göre Çizelge 5.128'de, ısıl işlem sıcaklığına göre Çizelge 5.129'da, ağaç malzeme türü-tutkal çeşidi ikili etkileşime göre Çizelge 5.130'da, ağaç malzeme türü-ısıl işlem sıcaklığı ikili etkileşime göre Çizelge 5.131'de, tutkal çeşidi-ısıl işlem sıcaklığı ikili etkileşime göre Çizelge 5.132'de, ağaç malzeme türü-tutkal çeşidi-ısıl işlem sıcaklığı üçlü etkileşime göre ise Çizelge 5.133'te verilmiştir.

Çizelge 5.127. Ağaç malzeme türüne göre alev kaynaklı yanma sıcaklığı (°C)

Ağaç malzeme türü	X_{ort}	HG
Sarıçam	533	a
Kavak	499	b
Sapsız meşe	492	b
Doğu kayın	461	c
LSD: ± 13,90		

Buna göre; alev kaynaklı yanma sıcaklığı en yüksek, sarıçamda (533 °C), en düşük ise Doğu kayınında (461°C) elde edilmiştir.

Çizelge 5.128. Tutkal çeşidine göre alev kaynaklı yanma sıcaklığı (°C)

Tutkal çeşidi	X_{ort}	HG
PU	506	a
D4	493	b
MF	490	b
LSD: ± 12,03		

Buna göre; alev kaynaklı yanma sıcaklığı en yüksek, PU tutkalı ile lamine edilen örneklerde (506 °C), en düşük ise MF tutkalı ile lamine edilen örneklerde (490°C) elde edilmiştir.

Çizelge 5.129. Isıl işlem sıcaklığına göre alev kaynaklı yanma sıcaklığı (°C)

Isıl işlem sıcaklığı	X_{ort}	HG
Kontrol	520	a
185 ºC	502	b
212 ºC	466	c
LSD: ± 12,03		

Buna göre; alev kaynaklı yanma sıcaklığı en yüksek, 185 ºC ısıl işlemli örneklerde (502 °C), en düşük ise 212 ºC ısıl işlemli örneklerde (466 °C) elde edilmiştir.

Çizelge 5.130. Alev kaynaklı yanma sıcaklığında ağaç malzeme türü-tutkal çeşidi ikili etkileşime ait Duncan testi sonuçları (°C)

Ağaç malzeme türü-tutkal çeşidi	X_{ort}	HG
Çam+D4	547	a
Kavak+MF	543	a
Çam+PU	528	ab
Meşe+PU	526	ab
Çam+MF	523	ab
Meşe+D4	507	bc
Kavak+PU	493	cd
Kayın+PU	476	de
Kavak+D4	461	ef
Kayın+D4	455	ef
Kayın+MF	452	ef
Meşe+MF	441	f
LSD: ± 24,07		

Buna göre; alev kaynaklı yanma sıcaklığı, en yüksek D4 tutkalı ile lamine edilen sarıçamda (547 °C), en düşük ise MF tutkalı ile lamine edilen sapsız meşede (441 °C) elde edilmiştir.

Çizelge 5.131. Alev kaynaklı yanma sıcaklığında ağaç malzeme türü-ısıl işlem sıcaklığı ikili etkileşime ait Duncan testi sonuçları (°C)

Ağaç malzeme türü-ısıl işlem sıcaklığı	X_{ort}	HG
Çam+185°C	554	a
Çam+Kontrol	543	a
Meşe+Kontrol	530	a
Kavak+Kontrol	530	a
Kavak+185°C	503	b
Çam+212°C	501	bc
Meşe+185°C	484	bcd
Kayın+Kontrol	477	cd
Kayın+185 °C	467	d
Kavak+212°C	465	d
Meşe+212°C	460	de
Kayın+212°C	438	e
LSD: ± 24,07		

Buna göre; alev kaynaklı yanma sıcaklığı en yüksek, 185 ºC ısıl işlemli sarıçamda (554 °C), en düşük ise 212 °C ısıl işlemli Doğu kayınında (438 °C) elde edilmiştir.

Çizelge 5.132. Alev kaynaklı yanma sıcaklığında tutkal çeşidi-ısıl işlem sıcaklığı ikili etkileşime ait Duncan testi sonuçları (°C)

Tutkal çeşidi-ısıl işlem sıcaklığı	X_{ort}	HG
PU+Kontrol	545	a
MF+Kontrol	510	b
D4+185°C	507	b
D4+Kontrol	505	b
MF+185°C	504	b
PU+185°C	496	bc
PU+212°C	476	cd
D4+212°C	466	d
MF+212°C	456	d
LSD: ± 20,84		

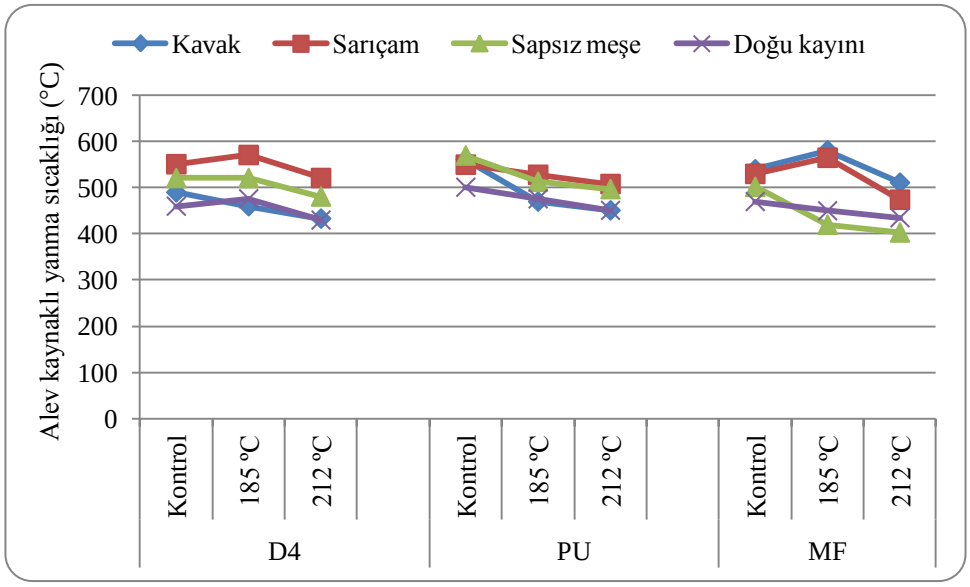
Buna göre; alev kaynaklı yanma sıcaklığı, en yüksek 185 °C ısıl işlemli D4'te (507 °C), en düşük ise 212 °C ısıl işlemli MF'de (456 °C) elde edilmiştir.

Çizelge 5.133. Alev kaynaklı yanma sıcaklığında ağaç malzeme türü-tutkal çeşidi-ısıl işlem sıcaklığı üçlü etkileşime ait Duncan testi sonuçları (°C)

Ağaç malzeme türü-tutkal çeşidi- ısıl işlem sıcaklığı	X_{ort}	HG	Ağaç malzeme türü-tutkal çeşidi- ısıl işlem sıcaklığı	X_{ort}	HG
Kavak+MF+185°C	581	a	Meşe+PU+212°C	497	fghijk
Çam+D4+185°C	571	ab	Kavak+D4+Kontrol	490	fghijk
Meşe+PU+Kontrol	570	ab	Meşe+D4+212°C	481	ghijkl
Çam+MF+185°C	565	abc	Kayın+PU+185°C	476	hijklm
Kavak+PU+Kontrol	561	abcd	Kayın+D4+185°C	476	hijklm
Çam+D4+Kontrol	551	abcde	Çam+MF+212°C	474	hijklm
Çam+PU+Kontrol	550	abcde	Kayın+MF+Kontrol	470	hijklm
Kavak+MF+Kontrol	540	abcdef	Kavak+PU+185°C	470	ijklm
Çam+MF+Kontrol	530	bcdefg	Kavak+D4+185°C	460	jklmn
Çam+PU+185°C	528	bcdefg	Kayın+D4+Kontrol	460	jklmn
Çam+D4+212°C	521	cdefgh	Kayın+PU+212°C	451	klmno
Meşe+D4+185°C	521	cdefgh	Kavak+PU+212°C	451	klmno
Meşe+D4+Kontrol	521	cdefgh	Kayın+MF+185°C	450	klmno
Meşe+PU+185°C	513	defghi	Kayın+MF+212°C	435	lmno
Kavak+MF+212°C	511	efghi	Kavak+D4+212°C	433	lmno
Çam+PU+212°C	508	efghij	Kayın+D4+212°C	430	mno
Meşe+MF+Kontrol	502	efghij	Meşe+MF+185°C	420	no
Kayın+PU+Kontrol	501	efghijk	Meşe+MF+212°C	403	o
LSD: ±41,69					

Buna göre; alev kaynaklı yanma sıcaklığı en yüksek, MF tutkalı ile lamine edilen 185 °C ısıl işlemli kavakta (581 °C), en düşük ise MF tutkalı ile lamine edilen 212 °C ısıl işlemli meşede (403 °C) elde edilmiştir.

Lamine ağaç malzemelerin alev kaynaklı yanma sıcaklıkları Şekil 5.15'te verilmiştir.



Şekil 5.15. Lamine ağaç malzemelerin alev kaynaklı yanma sıcaklığı

5.15.2. Kendi kendine yanma sıcaklığı

Kendi kendine yanma sıcaklığına ilişkin istatiksel sonuçlar Çizelge 5.134'te verilmiştir.

Çizelge 5.134. Kendi kendine yanma sıcaklığı ilişkin istatiksel sonuçlar (ºC)

Ağaç malzeme türü	Tutkal çeşidi	Isıl işlem sıcaklığı	Kendi kendine yanma sıcaklığı			
			X_{min}	X_{max}	X_{ort}	v(%)
Kavak	D4	Kontrol	490	563	520	7,30
		185 ºC	465	546	510	8,11
		212 ºC	530	615	581	7,74
	PU	Kontrol	548	646	608	8,58
		185 ºC	475	586	525	10,70
		212 ºC	460	538	502	7,87
	MF	Kontrol	470	641	565	15,40
		185 ºC	540	692	631	12,67
		212 ºC	540	596	568	4,93
Sarıçam	D4	Kontrol	520	682	621	14,17
		185 ºC	530	650	600	10,34
		212 ºC	560	622	581	6,11
	PU	Kontrol	590	720	668	10,17
		185 ºC	540	604	573	5,65
		212 ºC	501	612	561	3,86
	MF	Kontrol	500	631	578	11,88
		185 ºC	530	560	545	2,75
		212 ºC	480	551	520	7,00
Sapsız meşe	D4	Kontrol	515	628	576	9,90
		185 ºC	500	591	555	8,65
		212 ºC	460	591	536	12,69
	PU	Kontrol	560	652	615	8,13
		185 ºC	520	610	565	7,96
		212 ºC	501	578	539	7,14
	MF	Kontrol	525	590	545	6,61
		185 ºC	432	530	474	10,55
		212 ºC	420	501	460	8,91
Doğu kayını	D4	Kontrol	481	550	510	6,94
		185 ºC	490	562	521	7,14
		212 ºC	480	490	487	1,84
	PU	Kontrol	520	565	543	4,23
		185 ºC	480	561	520	7,79
		212 ºC	470	555	525	9,14
	MF	Kontrol	490	540	515	4,86
		185 ºC	450	548	499	9,94
		212 ºC	430	529	479	10,30

X_{min}: En küçük değer X_{max}: En büyük değer X_{ort}: Ortalama değer v: Varyasyon katsayısı

Buna göre; kendi kendine yanma sıcaklığı, en yüksek PU tutkalı ile lamine edilen sarıçamda (668 °C), en düşük ise D4 tutkalı ile lamine edilen kayında (510 °C); 185 ºC ısıl işlemli örneklerde en yüksek MF tutkalı ile lamine edilen kavakta (631 ºC), en düşük MF tutkalı ile lamine edilen meşede(474 °C); 212 ºC ısıl işlemli örneklerde en yüksek D4 tutkalı ile lamine edilen kavakta (581 °C), en düşük ise MF tutkalı ile lamine edilen meşede (460 °C) elde edilmiştir.

Kendi kendine yanma sıcaklıklarına uygulanan çoklu varyans analizi Çizelge 5.135'te verilmiştir.

Çizelge 5.135. Kendi kendine yanma sıcaklığına ait çoklu varyans analizi

Faktör	Serbestlik derecesi	Kareler toplamı	Kareler ortalaması	F değeri	P ≤ 0,05
Ağaç malzeme türü (A)	3	73326,324	24442,108	27,7912	0,0000*
Tutkal çeşidi (B)	2	16964,519	8482,259	9,6445	0,0002*
Etkileşim (AB)	6	50353,037	8392,173	9,5421	0,0000*
Isıl işlem sıcaklığı (C)	2	35459,019	17729,509	20,1588	0,0000*
Etkileşim (AC)	6	12174,981	2029,164	2,3072	0,0430*
Etkileşim (BC)	4	17483,370	4370,843	4,9697	0,0014*
Etkileşim (ABC)	12	26986,407	2248,867	2,5570	0,0071*
Hata	72	63323,333	879,491		
Toplam	107	296070,991			

*=0,05'e göre önemli

Buna göre; kendi kendine yanma sıcaklığında, ağaç malzeme türü, tutkal çeşidi ve ısıl işlem sıcaklığı ile bunların karşılıklı etkileşimleri istatiksel olarak önemli çıkmıştır (P ≤ 0,05). Farklılığın hangi gruplar arasında önemli olduğunu belirlemek için yapılan Duncan testi sonuçları Çizelge 5. 136 – 142'de verilmiştir.

Kendi kendine yanma sıcaklığı; ağaç malzeme türüne göre Çizelge 5.136'da, tutkal çeşidine göre Çizelge 5.137'de, ısıl işlem sıcaklığına göre Çizelge 5.138'de, ağaç malzeme türü-tutkal çeşidi ikili etkileşime göre Çizelge 5.139'da, ağaç malzeme türü-ısıl işlem sıcaklığı ikili etkileşime göre Çizelge 5.140'da, tutkal çeşidi-ısıl işlem sıcaklığı ikili etkileşime göre Çizelge 5.141'de, ağaç malzeme türü-tutkal çeşidi-ısıl işlem sıcaklığı üçlü etkileşime göre ise Çizelge 5.142'de verilmiştir.

Çizelge 5.136. Ağaç malzeme türüne göre kendi kendine yanma sıcaklığı (°C)

Ağaç malzeme türü	X_{ort} (°C)	HG
Sarıçam	583	a
Kavak	557	b
Sapsız meşe	541	c
Doğu kayını	511	d
LSD: ±16,00		

Buna göre; kendi kendine yanma sıcaklığı, en yüksek sarıçamda (583 °C), en düşük ise Doğu kayınında (511°C) elde edilmiştir.

Çizelge 5.137. Tutkal çeşidine göre kendi kendine yanma sıcaklığı (°C)

Tutkal çeşidi	X_{ort}	HG
PU	562	a
D4	550	a
MF	531	b
LSD: ±13,86		

Buna göre; kendi kendine yanma sıcaklığı en yüksek, PU tutkalı ile lamine edilen örneklerde (562 °C), en düşük ise MF tutkalı ile lamine edilen örneklerde (531°C) elde edilmiştir.

Çizelge 5.138. Isıl işlem sıcaklığına göre kendi kendine yanma sıcaklığı (°C)

Isıl işlem sıcaklığı	X_{ort}	HG
Kontrol	572	a
185 ºC	543	b
212 ºC	528	c
LSD: ±13,86		

Buna göre; kendi kendine yanma sıcaklığı, en yüksek 185 °C ısıl işlemli örneklerde (543 °C), en düşük ise 212 ºC ısıl işlemli örneklerde (528 °C) elde edilmiştir.

Çizelge 5.139. Kendi kendine yanma sıcaklığında ağaç malzeme türü-tutkal çeşidi ikili etkileşime ait Duncan testi sonuçları (°C)

Ağaç malzeme türü-tutkal çeşidi	X_{ort}	HG
Çam+D4	601	a
Çam+PU	600	a
Kavak+MF	588	a
Meşe+PU	573	ab
Meşe+D4	555	bc
Çam+MF	547	bc
Kavak+PU	545	bc
Kavak+D4	537	c
Kayın+PU	529	cd
Kayın+D4	506	de
Kayın +MF	498	e
Meşe+MF	493	e
LSD: ± 27,71		

Buna göre; kendi kendine yanma sıcaklığı, en yüksek D4 tutkalı ile lamine edilen sarıçamda (601 °C), en düşük ise MF tutkalı ile lamine edilen meşede (493 °C) elde edilmiştir.

Çizelge 5.140. Kendi kendine yanma sıcaklığında ağaç malzeme türü-ısıl işlem sıcaklığı ikili etkileşime ait Duncan testi sonuçları (°C)

Ağaç malzeme türü-ısıl işlem sıcaklığı	X_{ort}	HG
Çam+Kontrol	622	a
Meşe+Kontrol	578	b
Çam+185°C	572	b
Kavak+Kontrol	564	b
Kavak+185°C	555	bc
Çam+212°C	554	bc
Kavak+212°C	550	bcd
Meşe+185°C	531	cde
Kayın+Kontrol	522	def
Kayın+185°C	513	ef
Meşe+212°C	512	ef
Kayın+212°C	497	f
LSD: ± 27,71		

Buna göre; kendi kendine yanma sıcaklığı, en yüksek 185 °C ısıl işlemli sarıçamda (572 °C), en düşük ise 212 °C ısıl işlemli Doğu kayınında (497 °C) elde edilmiştir.

Çizelge 5.141. Kendi kendine yanma sıcaklığında tutkal çeşidi-ısıl işlem sıcaklığı ikili etkileşime ait Duncan testi sonuçları (°C)

Tutkal çeşidi-ısıl işlem sıcaklığı	X_{ort}	HG
PU+Kontrol	608	a
D4+Kontrol	556	b
MF+Kontrol	550	b
D4+185°C	546	b
D4+212°C	546	b
PU+185°C	545	b
MF+185°C	537	b
PU+212°C	532	b
MF+212°C	507	c
LSD: ± 24,00		

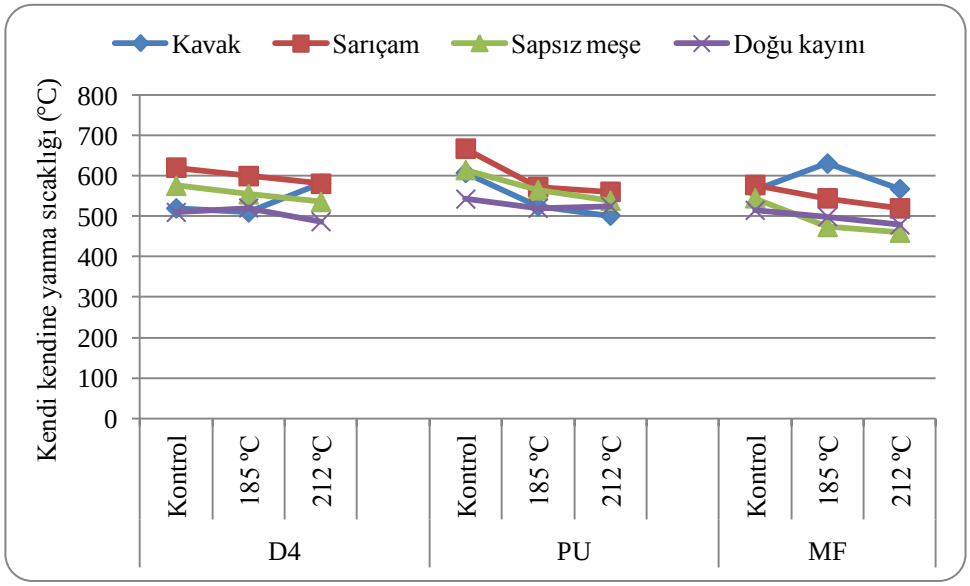
Buna göre; kendi kendine yanma sıcaklığı, en yüksek 185 °C ısıl işlemli D4'te (546 °C) en düşük ise 212 °C ısıl işlemli MF'de (507 °C) elde edilmiştir.

Çizelge 5.142. Kendi kendine yanma sıcaklığında ağaç malzeme türü-tutkal çeşidi-ısıl işlem sıcaklığı üçlü etkileşime ait Duncan testi sonuçları (°C)

Ağaç malzeme türü-tutkal çeşidi- ısıl işlem sıcaklığı	X_{ort}	HG	Ağaç malzeme türü-tutkal çeşidi- ısıl işlem sıcaklığı	X_{ort}	HG
Çam+PU+Kontrol	668	a	Kayın+PU+Kontrol	543	fghijklm
Kavak+MF+185°C	631	ab	Meşe+PU+212°C	539	ghijklm
Çam+D4+Kontrol	621	abc	Meşe+D4+212°C	536	ghijklmn
Meşe+PU+Kontrol	615	bcd	Kayın+PU+212°C	525	ghijklmno
Kavak+PU+Kontrol	608	bcde	Kavak+PU+185°C	525	ghijklmno
Çam+D4+185°C	600	bcdef	Kayın+D4+185°C	521	hijklmno
Kavak+D4+212°C	581	bcdefg	Çam+MF+212°C	520	hijklmno
Çam+D4+212°C	581	bcdefg	Kayın+PU+185°C	520	hijklmno
Çam+MF+Kontrol	578	bcdefgh	Kavak+D4+Kontrol	520	hijklmno
Meşe+D4+Kontrol	576	bcdefgh	Kayın+MF+Kontrol	515	ijklmnop
Çam+PU+185°C	573	cdefghi	Kavak+D4+185°C	510	jklmnop
Kavak+MF+212°C	568	cdefghij	Kayın+D4+Kontrol	510	jklmnop
Kavak+MF+Kontrol	565	cdefghij	Kavak+PU+212°C	502	klmnop
Meşe+PU+185°C	565	cdefghij	Kayın+MF+185°C	499	lmnop
Çam+PU+212°C	561	defghijk	Kayın+D4+212°C	487	mnop
Meşe+D4+185°C	555	efghijkl	Kayın+MF+212°C	479	nop
Çam+MF+185°C	545	fghijklm	Meşe+MF+185°C	474	op
Meşe+MF+Kontrol	545	fghijklm	Meşe+MF+212°C	460	p
LSD: ± 48,00					

Buna göre; kendi kendine yanma sıcaklığı, en yüksek MF tutkalı ile lamine edilen 185 °C ısıl işlemli kavakta (631 °C), en düşük ise MF tutkalı ile lamine edilen 212 °C ısıl işlemli meşede (460 °C) elde edilmiştir.

Lamine ağaç malzemelerin kendi kendine yanma sıcaklıkları Şekil 5.16'da verilmiştir.



Şekil 5.16. Lamine ağaç malzemelerin kendi kendine yanma sıcaklığı

5.14.3. Kor hali yanma sıcaklığı

Kor hali yanma sıcaklığına ilişkin istatiksel sonuçlar Çizelge 5.143'te verilmiştir.

Çizelge 5.143. Kor hali yanma sıcaklığına ilişkin istatiksel sonuçlar (ºC)

Ağaç malzeme türü	Tutkal çeşidi	Isıl işlem sıcaklığı	Kor hali yanma sıcaklığı			
			X_{min}	X_{max}	X_{ort}	v(%)
Kavak	D4	Kontrol	206	248	222	10,22
		185 ºC	187	221	206	8,41
		212 ºC	179	227	192	12,78
	PU	Kontrol	161	207	186	12,36
		185 ºC	211	257	236	10,04
		212 ºC	184	226	204	10,29
	MF	Kontrol	171	216	197	11,80
		185 ºC	182	228	212	8,01
		212 ºC	151	225	185	18,80
Sarıçam	D4	Kontrol	210	256	234	9,82
		185 ºC	211	252	236	9,36
		212 ºC	191	226	208	8,20
	PU	Kontrol	191	233	210	10,33
		185 ºC	171	216	193	11,76
		212 ºC	172	197	180	7,44
	MF	Kontrol	207	251	232	9,48
		185 ºC	191	221	206	7,28
		212 ºC	196	226	208	7,60
Sapsız meşe	D4	Kontrol	203	247	220	10,70
		185 ºC	197	233	213	8,60
		212 ºC	191	221	187	8,02
	PU	Kontrol	200	220	212	4,99
		185 ºC	180	204	195	6,70
		212 ºC	201	227	218	6,74
	MF	Kontrol	182	227	200	11,50
		185 ºC	177	208	197	8,62
		212 ºC	166	210	182	11,53
Doğu kayını	D4	Kontrol	213	253	239	9,41
		185 ºC	186	206	195	10,15
		212 ºC	191	221	203	5,16
	PU	Kontrol	220	258	245	8,81
		185 ºC	228	241	234	2,79
		212 ºC	204	236	222	7,37
	MF	Kontrol	245	270	256	4,96
		185 ºC	180	223	203	10,54
		212 ºC	186	201	196	4,42

X_{min}: En küçük değer X_{max}: En büyük değer X_{ort}: Ortalama değer v: Varyasyon katsayısı

Buna göre; kor hali yanma sıcaklığı, en yüksek MF tutkalı ile lamine edilen kayında (256 ℃), en düşük ise PU tutkalı ile lamine edilen kavakta (186 ℃); 185 ºC ısıl işlemli örneklerde en yüksek PU tutkalı ile lamine edilen kavakta ve D4 tutkalı ile lamine edilen sarıçamda (236 ºC), en düşük PU tutkalı ile lamine edilen sarıçamda (193 ℃); 212 ºC ısıl işlemli örneklerde en yüksek PU tutkalı ile lamine edilen kayında (222 ℃), en düşük ise PU tutkalı ile lamine edilen sarıçamda (180 ℃) elde edilmiştir.

Kor hali yanma sıcaklıklarına uygulanan çoklu varyans analizi Çizelge 5.144'te verilmiştir.

Çizelge 5.144. Kor hali yanma sıcaklığına ait çoklu varyans analizi

Faktör	Serbestlik derecesi	Kareler toplamı	Kareler ortalaması	F değeri	P ≤ 0,05
Ağaç malzeme türü (A)	3	6042,250	2014,083	4,8078	0,0042*
Tutkal çeşidi (B)	2	918,167	459,083	1,0959	0,3398ns
Etkileşim (AB)	6	7693,833	1282,306	3,0610	0,0100*
Isıl işlem sıcaklığı (C)	2	8967,722	4483,861	10,7035	0,0001*
Etkileşim (AC)	6	6700,944	1116,824	2,6660	0,0216*
Etkileşim (BC)	4	2299,778	574,944	1,3725	0,2520ns
Etkileşim (ABC)	12	6215,556	517,963	1,2364	0,2760ns
Hata	72	30162,000	418,917		
Toplam	107	69000,250			

*=0,05'e göre önemli, ns: önemsiz

Buna göre; kor hali yanma sıcaklığında ağaç malzeme türü ve ısıl işlem sıcaklığı ile bunların karşılılı etkileşimleri istatiksel olarak önemli, tutkal çeşidi ve etkileşimleri ise önemsiz çıkmıştır (P ≤ 0,05). Farklılığın hangi gruplar arasında önemli olduğunu belirlemek için yapılan Duncan testi sonuçları Çizelge 5. 145 – 148'de verilmiştir.

Kor hali yanma sıcaklığı; ağaç malzeme türüne göre Çizelge 5.145'te, ısıl işlem sıcaklığına göre Çizelge 5.146'da, ağaç malzeme türü-tutkal çeşidi ikili etkileşime göre Çizelge 5.147'de, ağaç malzeme türü-ısıl işlem sıcaklığı ikili etkileşime göre ise Çizelge 5.148'de verilmiştir.

Çizelge 5.145. Ağaç malzeme türüne göre kor hali yanma sıcaklığı (°C)

Ağaç malzeme türü	X_{ort}	HG
Doğu kayını	221	a
Sarıçam	212	ab
Kavak	204	b
Sapsız meşe	203	b
LSD: ± 11,04		

Buna göre; kor hali yanma sıcaklığı, en yüksek Doğu kayınında (221 °C), en düşük ise sapsız meşede (203°C) elde edilmiştir.

Çizelge 5.146. Isıl işlem sıcaklığına göre kor hali yanma sıcaklığı (°C)

Isıl işlem sıcaklığı	X_{ort}	HG
Kontrol	221	a
185 ºC	210	b
212 ºC	199	c
LSD: ± 9,562		

Buna göre; kor hali yanma sıcaklığı, en yüksek 185 °C ısıl işlemli örneklerde (210 °C), en düşük ise 212 ºC ısıl işlemli örneklerde (199 °C) elde edilmiştir.

Çizelge 5.147. Kor hali yanma sıcaklığında ağaç malzeme türü-tutkal çeşidi ikili etkileşime ait Duncan testi sonuçları (°C)

Ağaç malzeme türü-tutkal çeşidi	X_{ort}	HG
Kayın+PU	233	a
Çam+D4	226	ab
Kayın+MF	218	abc
Çam+MF	215	abcd
Kayın+D4	213	abcd
Kavak+PU	208	bcd
Meşe+PU	208	bcd
Kavak+D4	207	bcd
Meşe+D4	207	bcd
Kavak+MF	198	cd
Çam+PU	194	d
Meşe+MF	193	d
LSD: ± 19,12		

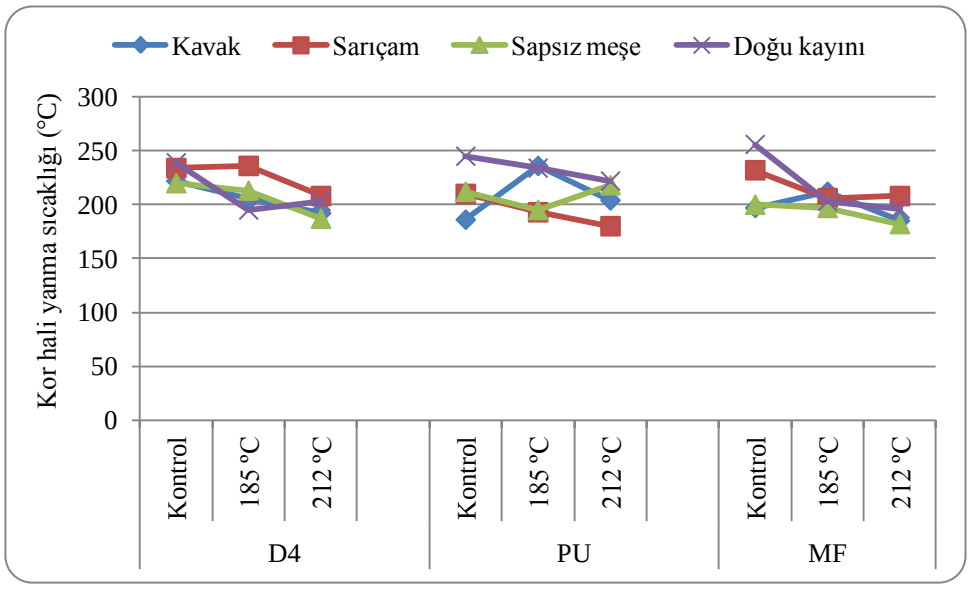
Buna göre; kor hali yanma sıcaklığı en yüksek, PU tutkalı ile lamine edilen Doğu kayınında (233 °C), en düşük ise MF tutkalı ile lamine edilen sapsız meşede (193 °C) elde edilmiştir.

Çizelge 5.148. Kor hali yanma sıcaklığında ağaç malzeme türü-ısıl işlem sıcaklığı ikili etkileşime ait Duncan testi sonuçları (°C)

Ağaç malzeme türü-ısıl işlem sıcaklığı	X_{ort}	HG
Kayın+Kontrol	247	a
Çam+ Kontrol	225	b
Kavak+185°C	218	bc
Çam+185°C	212	bcd
Kayın+185 °C	211	bcd
Meşe+Kontrol	210	bcd
Kayın+212°C	207	bcd
Meşe+185°C	202	cd
Kavak+Kontrol	201	cd
Çam+212°C	198	cd
Meşe+212°C	196	cd
Kavak+212°C	193	d
LSD: ± 19,12		

Buna göre; kor hali yanma sıcaklığı en yüksek, 185 °C ısıl işlemli kavakta (218 °C), en düşük ise 212 °C ısıl işlemli kavakta (193 °C) elde edilmiştir.

Lamine ağaç malzemelerin kor hali yanma sıcaklığı Şekil 5.17'de verilmiştir.



Şekil 5.17. Lamine ağaç malzemelerin kor hali yanma sıcaklığı

5.15.4. Alev kaynaklı yanmada ışık yoğunluğu

Alev kaynaklı yanmada ışık yoğunluğuna ilişkin istatiksel sonuçlar Çizelge 5.149'da verilmiştir.

Çizelge 5.149. Alev kaynaklı yanmada ışık yoğunluğuna ilişkin istatiksel sonuçlar (Lüx)

Ağaç malzeme türü	Tutkal çeşidi	Isıl işlem sıcaklığı	Alev kaynaklı yanmada ışık yoğunluğu			
			X_{min}	X_{max}	X_{ort}	v(%)
Kavak	D4	Kontrol	641	700	666	4,52
		185 ºC	703	860	784	10,39
		212 ºC	770	900	836	7,76
	PU	Kontrol	415	585	500	17,01
		185 ºC	586	810	702	15,95
		212 ºC	916	984	940	4,05
	MF	Kontrol	510	608	572	8,57
		185 ºC	751	850	800	6,25
		212 ºC	910	950	933	2,14
Sarıçam	D4	Kontrol	680	750	709	4,94
		185 ºC	902	986	942	4,89
		212 ºC	947	983	966	1,88
	PU	Kontrol	667	740	703	5,19
		185 ºC	823	900	866	4,54
		212 ºC	910	968	950	3,47
	MF	Kontrol	560	765	660	15,45
		185 ºC	710	907	808	12,20
		212 ºC	899	921	910	1,02
Sapsız meşe	D4	Kontrol	650	871	743	15,34
		185 ºC	799	844	821	6,33
		212 ºC	856	950	902	5,21
	PU	Kontrol	594	790	691	14,18
		185 ºC	750	810	780	3,85
		212 ºC	870	985	900	11,11
	MF	Kontrol	482	650	563	14,92
		185 ºC	610	670	640	4,77
		212 ºC	884	926	899	2,35
Doğu kayını	D4	Kontrol	671	874	760	13,55
		185 ºC	764	906	830	10,24
		212 ºC	905	987	961	4,34
	PU	Kontrol	673	874	771	12,97
		185 ºC	871	908	888	2,10
		212 ºC	897	983	940	4,58
	MF	Kontrol	702	778	740	5,13
		185 ºC	827	893	860	3,83
		212 ºC	870	950	912	4,39

X_{min}: En küçük değer X_{max}: En büyük değer X_{ort}: Ortalama değer v: Varyasyon katsayısı

Buna göre; alev kaynaklı yanmada ışık yoğunluğu, en yüksek MF tutkalı ile lamine edilen kayında (740 Lüx), en düşük ise PU tutkalı ile lamine edilen kavakta (500 Lüx); 185 ºC ısıl işlemli örneklerde en yüksek D4 tutkalı ile lamine edilen sarıçamda (942 ºC), en düşük MF tutkalı ile lamine edilen meşede (640 Lüx); 212 ºC ısıl işlemli örneklerde en yüksek D4 tutkalı ile lamine edilen sarıçamda (966 Lüx), en düşük ise D4 tutkalı ile lamine edilen kavakta (836 Lüx) elde edilmiştir.

Alev kaynaklı yanmada ışık yoğunluğuna ait çoklu varyans analizi Çizelge 5.150'de verilmiştir.

Çizelge 5.150. Alev kaynaklı yanmada ışık yoğunluğuna ait çoklu varyans analizi

Faktör	Serbestlik derecesi	Kareler toplamı	Kareler ortalaması	F değeri	P ≤ 0,05
Ağaç malzeme türü (A)	3	201203,667	67067,889	17,8072	0,0000*
Tutkal çeşidi (B)	2	49169,556	24584,778	6,5275	0,0025*
Etkileşim (AB)	6	69229,556	11538,259	3,0635	0,0100*
Isıl işlem sıcaklığı(C)	2	1104512,889	552256,444	146,6297	0,0000*
Etkileşim (AC)	6	73264,000	12210,667	3,2421	0,0071*
Etkileşim (BC)	4	26290,222	6572,556	1,7451	0,1495ns
Etkileşim (ABC)	12	85299,111	7108,259	1,8873	0,0481*
Hata	72	271176,000	3766,333		
Toplam	107	1880145,000			

*=0,05'e göre önemli, ns: önemsiz

Buna göre; alev kaynaklı yanmada ışık yoğunluğunda ağaç malzeme türü, tutkal çeşidi ve ısıl işlem sıcaklığı ile bunların karşılıklı etkileşimleri istatiksel olarak önemli, tutkal çeşidi-ısıl işlem sıcaklığı ikili etkileşimi ise önemsiz çıkmıştır (P ≤ 0,05). Farklılığın hangi gruplar arasında önemli olduğunu belirlemek için yapılan Duncan testi sonuçları Çizelge 5. 151 – 156'da verilmiştir.

Alev kaynaklı yanmada ışık yoğunluğu; ağaç malzeme türüne göre Çizelge 5.151'de, tutkal çeşidine göre Çizelge 5.152'de, ısıl işlem sıcaklığına göre Çizelge 5.153'te, ağaç malzeme türü-tutkal çeşidi ikili etkileşime göre Çizelge 5.154'te, ağaç malzeme türü-ısıl işlem sıcaklığı ikili etkileşime göre Çizelge 5.155'te, ağaç malzeme türü-tutkal çeşidi-ısıl işlem sıcaklığı üçlü etkileşime göre ise Çizelge 5.156'da verilmiştir.

Çizelge 5.151. Ağaç malzeme türüne göre alev kaynaklı yanmada ışık yoğunluğu (Lüx)

Ağaç malzeme türü	X_{ort}	HG
Doğu kayını	851	a
Sarıçam	835	a
Sapsız meşe	770	b
Kavak	747	b
LSD: ± 33,11		

Buna göre; alev kaynaklı yanmada ışık yoğunluğu, en yüksek Doğu kayınında (851 Lüx), en düşük ise kavakta (747 Lüx) elde edilmiştir.

Çizelge 5.152. Tutkal çeşidine göre alev kaynaklı yanmada ışık yoğunluğu (Lüx)

Tutkal çeşidi	X_{ort}	HG
D4	826	a
PU	802	ab
MF	774	b
LSD: ± 28,68		

Buna göre; alev kaynaklı yanmada ışık yoğunluğu en yüksek, D4 tutkalı ile lamine edilen örneklerde (826 Lüx), en düşük ise MF tutkalı ile lamine edilen örneklerde (774 Lüx) elde edilmiştir.

Çizelge 5.153. Isıl işlem sıcaklığına göre alev kaynaklı yanmada ışık yoğunluğu (Lüx)

Isıl işlem sıcaklığı	X_{ort}	HG
212 ºC	920	a
185 ºC	810	b
Kontrol	673	c
LSD: ± 28,68		

Buna göre; alev kaynaklı yanmada ışık yoğunluğu en yüksek, 212 ºC ısıl işlemli örneklerde (920 Lüx), en düşük ise 185 ºC ısıl işlemli örneklerde (810 Lüx) elde edilmiştir.

Çizelge 5.154. Alev kaynaklı yanmada ışık yoğunluğunda ağaç malzeme türü-tutkal çeşidi ikili etkileşime ait Duncan testi sonuçları (Lüx)

Ağaç malzeme türü-tutkal çeşidi	X_{ort}	HG
Çam+D4	872	a
Kayın+PU	866	a
Kayın+D4	850	ab
Çam+PU	840	ab
Kayın+MF	836	ab
Meşe+D4	821	abc
Çam+MF	793	bc
Meşe+PU	790	bc
Kavak+MF	766	cd
Kavak+D4	762	cd
Kavak+PU	713	de
Meşe+MF	701	e
LSD: ± 57,35		

Buna göre; alev kaynaklı yanmada ışık yoğunluğu, en yüksek D4 tutkalı ile lamine edilen sarıçamda (872 Lüx), en düşük ise MF tutkalı ile lamine edilen sapsız meşede (701 Lüx) elde edilmiştir.

Çizelge 5.155. Alev kaynaklı yanmada ışık yoğunluğunda ağaç malzeme türü-ısıl işlem sıcaklığı ikili etkileşime ait Duncan testi sonuçları (Lüx)

Ağaç malzeme türü-ısıl işlem sıcaklığı	X_{ort}	HG
Çam+212°C	942	a
Kayın+212°C	936	a
Kavak+212°C	902	ab
Meşe+212°C	900	ab
Çam+185°C	872	b
Kayın+185°C	859	b
Kavak+185°C	761	c
Kayın+Kontrol	756	c
Meşe+185°C	746	cd
Çam+Kontrol	691	de
Meşe+Kontrol	665	e
Kavak+Kontrol	578	f
LSD: ± 57,35		

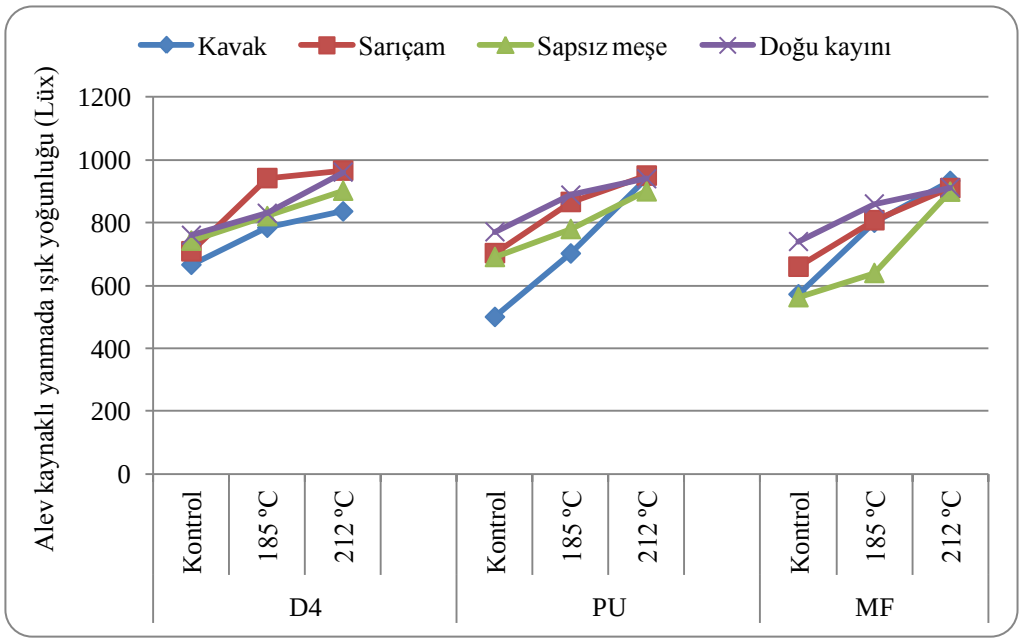
Buna göre; alev kaynaklı yanmada ışık yoğunluğu, en yüksek 212 ºC ısıl işlemli sarıçamda (942 Lüx), en düşük ise 185 ºC ısıl işlemli meşede (746 Lüx) elde edilmiştir.

Çizelge 5.156. Alev kaynaklı yanmada ışık yoğunluğunda ağaç malzeme türü-tutkal çeşidi-ısıl işlem sıcaklığı üçlü etkileşime ait Duncan testi sonuçları (Lüx)

Ağaç malzeme türü-tutkal çeşidi- ısıl işlem sıcaklığı	X_{ort}	HG	Ağaç malzeme türü-tutkal çeşidi- ısıl işlem sıcaklığı	X_{ort}	HG
Çam+D4+212°C	966	a	Çam+MF+185°C	808	defghijk
Kayın+D4+212°C	961	a	Kavak+MF+185°C	800	defghijkl
Çam+PU+212°C	950	ab	Kavak+D4+185°C	784	efghijklm
Çam+D4+185°C	942	ab	Meşe+PU+185°C	780	fghijklm
Kavak+PU+212°C	940	abc	Kayın+PU+Kontrol	771	ghijklmn
Kayın+PU+212°C	940	abc	Kayın+D4+Kontrol	760	ghijklmn
Kavak+MF+212°C	933	abc	Meşe+D4+Kontrol	743	hijklmno
Kayın+MF+212°C	912	abcd	Kayın+MF+Kontrol	740	ijklmno
Çam+MF+212°C	910	abcd	Çam+D4+Kontrol	709	jklmno
Meşe+D4+212°C	902	abcde	Çam+PU+Kontrol	703	jklmno
Meşe+PU+212°C	900	abcde	Kavak+PU+185°C	702	klmno
Meşe+MF+212°C	899	abcde	Meşe+PU+Kontrol	691	lmno
Kayın+PU+185°C	888	abcdef	Kavak+D4+Kontrol	666	mnop
Çam+PU+185°C	866	abcdefg	Çam+MF+Kontrol	660	nop
Kayın+MF+185°C	860	abcdefgh	Meşe+MF+185°C	640	op
Kavak+D4+212°C	836	bcdefghi	Kavak+MF+Kontrol	572	pq
Kayın+D4+185°C	830	bcdefghi	Meşe+MF+Kontrol	563	pq
Meşe+D4+185°C	821	cdefghij	Kavak+PU+Kontrol	500	q
LSD: ± 99,33					

Buna göre; alev kaynaklı yanmada ışık yoğunluğu, en yüksek D4 tutkalı ile lamine edilen 212 ºC ısıl işlemli sarıçamda (966 Lüx), en düşük MF tutkalı ile lamine edilen 185 ºC ısıl işlemli sapsız meşede (640 Lüx) elde edilmiştir.

Lamine ağaç malzemelerin alev kaynaklı yanmada ışık yoğunluğu Şekil 5.18'de verilmiştir.



Şekil 5.18. Lamine ağaç malzemelerin alev kaynaklı yanmada ışık yoğunluğu

5.15.5. Kendi kendine yanmada ışık yoğunluğu

Kendi kendine yanma aşamasında elde edilen ışık yoğunluğuna ilişkin istatiksel sonuçlar Çizelge 5.157'de verilmiştir.

Çizelge 5.157. Kendi kendine yanmada ışık yoğunluğuna ilişkin istatiksel sonuçlar (Lüx)

Ağaç malzeme türü	Tutkal çeşidi	Isıl işlem sıcaklığı	Kendi kendine yanmada ışık yoğunluğu			
			X_{min}	X_{max}	X_{ort}	v(%)
Kavak	D4	Kontrol	602	698	652	7,38
		185 ºC	725	782	728	4,28
		212 ºC	897	963	933	3,59
	PU	Kontrol	700	825	763	8,19
		185 ºC	704	802	754	6,50
		212 ºC	845	961	902	6,43
	MF	Kontrol	680	821	756	9,44
		185 ºC	651	940	798	18,04
		212 ºC	880	960	922	4,34
Sarıçam	D4	Kontrol	642	758	702	8,27
		185 ºC	809	990	930	11,23
		212 ºC	940	980	961	2,10
	PU	Kontrol	700	730	713	2,14
		185 ºC	846	920	884	4,20
		212 ºC	950	971	960	1,09
	MF	Kontrol	645	686	655	1,53
		185 ºC	828	856	834	1,17
		212 ºC	916	948	929	1,81
Sapsız meşe	D4	Kontrol	585	820	701	16,71
		185 ºC	710	917	815	12,68
		212 ºC	790	955	898	10,45
	PU	Kontrol	575	786	683	15,43
		185 ºC	700	866	812	11,97
		212 ºC	890	972	932	4,40
	MF	Kontrol	582	678	632	7,61
		185 ºC	608	751	676	10,52
		212 ºC	850	960	905	6,07
Doğu kayını	D4	Kontrol	605	836	733	16,06
		185 ºC	751	867	825	8,15
		212 ºC	940	992	973	2,97
	PU	Kontrol	670	895	783	14,30
		185 ºC	786	952	894	11,02
		212 ºC	960	975	969	1,07
	MF	Kontrol	695	788	730	6,92
		185 ºC	840	870	857	1,83
		212 ºC	930	966	946	1,93

X_{min}: En küçük değer X_{max}: En büyük değer X_{ort}: Ortalama değer v: Varyasyon katsayısı

Buna göre; kendi kendine yanmada ışık yoğunluğu, en yüksek PU tutkalı ile lamine edilen kayında (783 Lüx), en düşük ise MF tutkalı ile lamine edilen meşede (632 Lüx); 185 ºC ısıl işlemli örneklerde en yüksek D4 tutkalı ile lamine edilen sarıçamda (930 ºC), en düşük MF tutkalı ile lamine edilen meşede (676 Lüx); 212 ºC ısıl işlemli örneklerde en yüksek D4 tutkalı ile lamine edilen kayında (973 Lüx), en düşük ise D4 tutkalı ile lamine edilen meşede (898 Lüx) elde edilmiştir.

Kendi kendine yanma aşamasında kaydedilen ışık yoğunluklarına ait çoklu varyans analizi Çizelge 5.158'de verilmiştir.

Çizelge 5.158. Kendi kendine yanmada ışık yoğunluğuna ait çoklu varyans analizi

Faktör	Serbestlik derecesi	Kareler toplamı	Kareler ortalaması	F değeri	P ≤ 0,05
Ağaç malzeme türü (A)	3	93265,361	31088,454	69,0514	0,0000*
Tutkal çeşidi (B)	2	21021,463	10510,731	23,3457	0,0000*
Etkileşim (AB)	6	47593,722	7932,287	17,6186	0,0000*
Isıl işlem sıcaklığı(C)	2	928767,019	464383,509	1031,4540	0,0000*
Etkileşim (AC)	6	60005,278	10000,880	22,2132	0,0000*
Etkileşim (BC)	4	7110,093	1777,523	3,9481	0,0059*
Etkileşim (ABC)	12	39731,389	3310,949	7,3540	0,0000*
Hata	72	32416,000	450,222		
Toplam	107	1229910,324			

*=0,05'e göre önemli

Buna göre; kendi kendine yanmada ışık yoğunluğunda ağaç malzeme türü, tutkal çeşidi ve ısıl işlem sıcaklığı ile bunların karşılıklı etkileşimleri istatiksel olarak önemli çıkmıştır (P ≤ 0,05). Farklılığın hangi gruplar arasında önemli olduğunu belirlemek için yapılan Duncan testi sonuçları Çizelge 5. 159 – 165'te verilmiştir.

Kendi kendine yanmada ışık yoğunluğu; ağaç malzeme türüne göre Çizelge 5.159'da, tutkal çeşidine göre Çizelge 5.160'ta, ısıl işlem sıcaklığına göre Çizelge 5.161'de, ağaç malzeme türü-tutkal çeşidi ikili etkileşime göre Çizelge 5.162'de, ağaç malzeme türü-ısıl işlem sıcaklığı ikili etkileşime göre Çizelge 5.163'te, tutkal çeşidi-ısıl işlem sıcaklığı ikili etkileşime göre Çizelge 5.164'te, ağaç malzeme türü-tutkal çeşidi-ısıl işlem sıcaklığı üçlü etkileşime göre ise Çizelge 5.165'te verilmiştir.

Çizelge 5.159. Ağaç malzeme türüne göre kendi kendine yanmada ışık yoğunluğu (Lüx)

Ağaç malzeme türü	X_{ort}	HG
Doğu kayını	856	a
Sarıçam	841	b
Kavak	801	c
Sapsız meşe	784	d
LSD: ± 11,45		

Buna göre; kendi kendine yanmada ışık yoğunluğu, en yüksek Doğu kayınında (856 Lüx), en düşük ise sapsız meşede (784 Lüx) elde edilmiştir.

Çizelge 5.160. Tutkal çeşidine göre kendi kendine yanmada ışık yoğunluğu (Lüx)

Tutkal çeşidi	X_{ort}	HG
PU	837	a
D4	821	b
MF	803	c
LSD: ± 9,914		

Buna göre; kendi kendine yanmada ışık yoğunluğu, en yüksek PU tutkalı ile lamine edilen örneklerde (837 Lüx), en düşük ise MF tutkalı ile lamine edilen örneklerde (803 Lüx) elde edilmiştir.

Çizelge 5.161. Isıl işlem sıcaklığına göre kendi kendine yanmada ışık yoğunluğu (Lüx)

Isıl işlem sıcaklığı	X_{ort}	HG
212 ºC	936	a
185 ºC	817	b
Kontrol	708	c
LSD: ± 9,914		

Buna göre; kendi kendine yanmada ışık yoğunluğu, en yüksek 212 ºC ısıl işlemli örneklerde (936 Lüx), en düşük ise 185 ºC ısıl işlemli örneklerde (817 Lüx) elde edilmiştir.

Çizelge 5.162. Kendi kendine yanmada ışık yoğunluğunda ağaç malzeme türü-tutkal çeşidi ikili etkileşime ait Duncan testi sonuçları (Lüx)

Ağaç malzeme türü-tutkal çeşidi	X_{ort}	HG
Kayın+PU	882	a
Çam+D4	864	ab
Çam+PU	852	b
Kayın+MF	844	bc
Kayın+D4	844	bc
Kavak+MF	825	cd
Meşe+PU	809	d
Kavak+PU	806	d
Çam+MF	806	d
Meşe+D4	805	d
Kavak+D4	771	e
Meşe+MF	737	f
LSD: ± 19,83		

Buna göre; kendi kendine yanmada ışık yoğunluğu, en yüksek PU tutkalı ile lamine edilen Doğu kayınında (882 Lüx), en düşük ise MF tutkalı ile lamine edilen sapsız meşede (737 Lüx) elde edilmiştir.

Çizelge 5.163. Kendi kendine yanmada ışık yoğunluğunda ağaç malzeme türü-ısıl işlem sıcaklığı ikili etkileşime ait Duncan testi sonuçları (Lüx)

Ağaç malzeme türü-ısıl işlem sıcaklığı	X_{ort}	HG
Kayın+212°C	962	a
Çam+212°C	950	a
Kavak+212°C	919	b
Meşe+212°C	911	b
Çam+185°C	883	c
Kayın+185°C	858	d
Meşe+185°C	767	e
Kavak+185°C	760	e
Kayın+Kontrol	749	e
Kavak+Kontrol	724	f
Çam+Kontrol	690	g
Meşe+Kontrol	672	g
LSD: ± 19,83		

Buna göre; kendi kendine yanmada ışık yoğunluğu, en yüksek 212 ºC ısıl işlemli Doğu kayınında (962 Lüx), en düşük ise 185 ºC ısıl işlemli kavakta (760 Lüx) elde edilmiştir.

Çizelge 5.164. Kendi kendine yanmada ışık yoğunluğunda tutkal çeşidi-ısıl işlem sıcaklığı ikili etkileşime ait Duncan testi sonuçları (Lüx)

Tutkal çeşidi-ısıl işlem sıcaklığı	X_{ort}	HG
D4+212°C	941	a
PU+212°C	940	a
MF+212°C	925	a
PU+185°C	836	b
D4+185°C	824	b
MF+185°C	791	c
PU+Kontrol	735	d
D4+Kontrol	697	e
MF+Kontrol	693	e
LSD: ± 17,17		

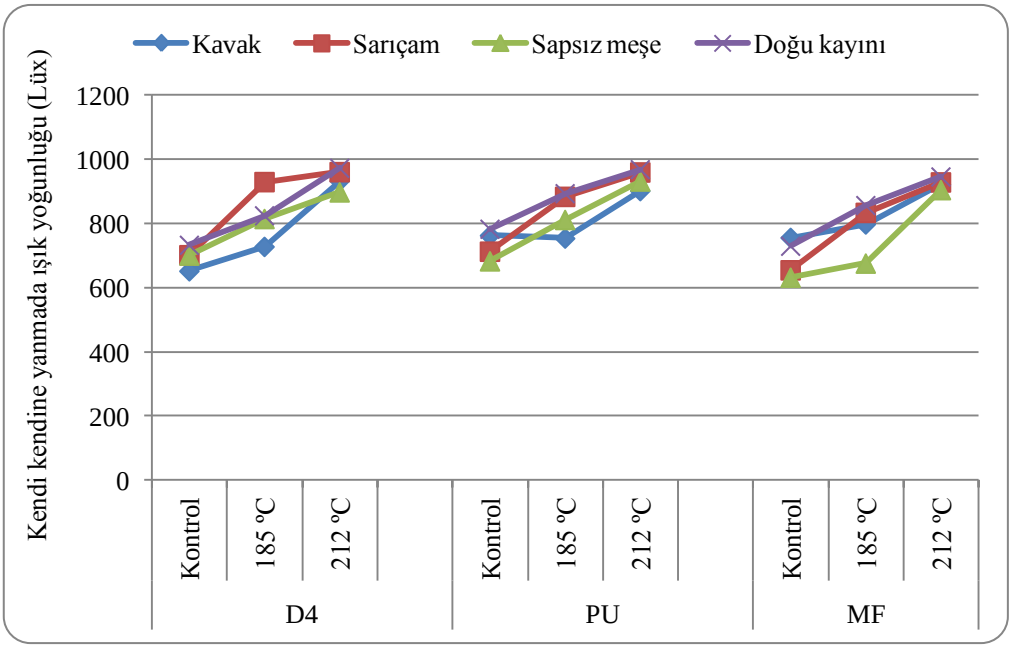
Buna göre; kendi kendine yanmada ışık yoğunluğu, en yüksek 212 ºC ısıl işlemli D4'te (941 Lüx), en düşük 185 ºC ısıl işlemli MF'de (791 Lüx) elde edilmiştir.

Çizelge 5.165. Kendi kendine yanmada ışık yoğunluğunda ağaç malzeme türü-tutkal çeşidi-ısıl işlem sıcaklığı üçlü etkileşime ait Duncan testi sonuçları (Lüx)

Ağaç malzeme türü-tutkal çeşidi- ısıl işlem sıcaklığı	X_{ort}	HG	Ağaç malzeme türü-tutkal çeşidi- ısıl işlem sıcaklığı	X_{ort}	HG
Kayın+D4+212°C	973	a	Meşe+D4+185°C	815	hi
Kayın+PU+212°C	969	ab	Meşe+PU+185°C	812	hi
Çam+D4+212°C	961	abc	Kavak+MF+185°C	798	hij
Çam+PU+212°C	960	abc	Kayın+PU+Kontrol	783	ijk
Kayın+MF+212°C	946	abc	Kavak+PU+Kontrol	763	jkl
Kavak+D4+212°C	933	bcd	Kavak+MF+Kontrol	756	kl
Meşe + PU+212°C	932	bcd	Kavak+PU+185°C	754	kl
Çam+D4+185°C	930	bcd	Kayın+D4+Kontrol	733	lm
Çam+MF+212°C	929	cd	Kayın+MF+Kontrol	730	lm
Kavak+MF+212°C	922	cde	Kavak+D4+185°C	728	lm
Meşe+MF+212°C	905	de	Çam+PU+Kontrol	713	mn
Kavak+PU+212°C	902	de	Çam+D4+Kontrol	702	mn
Meşe+D4+212°C	898	de	Meşe+D4+Kontrol	701	mn
Kayın+PU+185°C	894	de	Meşe+PU+Kontrol	683	no
Çam+PU+185°C	884	ef	Meşe+MF+185°C	676	no
Kayın+MF+185°C	857	fg	Çam+MF+Kontrol	655	op
Çam+MF+185°C	834	gh	Kavak+D4+Kontrol	652	op
Kayın+D4+185°C	825	gh	Meşe+MF+Kontrol	632	p
LSD: ± 34,34					

Buna göre; kendi kendine yanmada ışık yoğunluğu, en yüksek D4 tutkalı ile lamine edilen 212 ºC ısıl işlemli Doğu kayınında (973 Lüx), en düşük ise MF tutkalı ile lamine edilen 185 ºC ısıl işlemli sapsız meşede (676 Lüx) elde edilmiştir.

Lamine ağaç malzemelerin kendi kendine yanmada ışık yoğunluğu Şekil 5.19'da verilmiştir.



Şekil 5.19. Lamine ağaç malzemelerin kendi kendine yanmada ışık yoğunluğu

5.15.6. Kor hali yanmada ışık yoğunluğu

Kor hali yanmada ışık yoğunluğuna ilişkin istatiksel sonuçlar Çizelge 5.166'da verilmiştir.

Çizelge 5.166. Kor hali yanmada ışık yoğunluğuna ilişkin istatiksel sonuçlar (Lüx)

Ağaç malzeme türü	Tutkal çeşidi	Isıl işlem sıcaklığı	Kor hali yanmada ışık yoğunluğu			
			X_{min}	X_{max}	X_{ort}	v(%)
Kavak	D4	Kontrol	605	753	706	12,40
		185 ºC	703	810	780	11,60
		212 ºC	912	964	940	2,81
	PU	Kontrol	749	840	793	5,74
		185 ºC	710	870	815	10,87
		212 ºC	916	935	926	1,03
	MF	Kontrol	726	825	789	7,00
		185 ºC	792	873	844	5,44
		212 ºC	902	972	935	3,75
Sarıçam	D4	Kontrol	685	895	789	13,30
		185 ºC	867	940	909	4,14
		212 ºC	947	988	967	2,07
	PU	Kontrol	800	838	817	1,95
		185 ºC	880	899	885	1,02
		212 ºC	951	987	966	1,91
	MF	Kontrol	700	740	726	2,10
		185 ºC	862	881	871	1,09
		212 ºC	960	986	972	1,80
Sapsız meşe	D4	Kontrol	700	802	760	2,12
		185 ºC	855	897	876	2,40
		212 ºC	912	980	950	3,67
	PU	Kontrol	681	763	720	5,70
		185 ºC	825	903	866	4,52
		212 ºC	902	936	919	1,85
	MF	Kontrol	650	720	690	5,21
		185 ºC	762	873	803	7,50
		212 ºC	914	946	932	1,77
Doğu kayını	D4	Kontrol	735	825	780	5,77
		185 ºC	850	906	875	3,24
		212 ºC	965	988	975	1,20
	PU	Kontrol	771	869	826	6,29
		185 ºC	916	958	941	2,36
		212 ºC	948	966	957	1,05
	MF	Kontrol	792	888	843	5,56
		185 ºC	916	942	927	13,20
		212 ºC	907	988	945	4,30

X_{min}: En küçük değer X_{max}: En büyük değer X_{ort}: Ortalama değer v: Varyasyon katsayısı

Buna göre; kor hali yanmada ışık yoğunluğu, en yüksek MF tutkalı ile lamine edilen kayında (843 Lüx), en düşük ise MF tutkalı ile lamine edilen meşede (690 Lüx); 185 ºC ısıl işlemli örneklerde en yüksek PU tutkalı ile lamine edilen kayında (941 ºC), en düşük D4 tutkalı ile lamine edilen kavakta (780 Lüx); 212 ºC ısıl işlemli örneklerde en yüksek D4 tutkalı ile lamine edilen kayında (975 Lüx), en düşük ise PU tutkalı ile lamine edilen meşede (919 Lüx) elde edilmiştir.

Kor hali yanmada ışık yoğunluklarına ait çoklu varyans analizi Çizelge 5.167'de verilmiştir.

Çizelge 5.167. Kor hali yanmada ışık yoğunluğuna ait çoklu varyans analizi

Faktör	Serbestlik derecesi	Kareler toplamı	Kareler ortalaması	F değeri	P ≤ 0,05
Ağaç malzeme türü (A)	3	76089,435	25363,145	121,8351	0,0000*
Tutkal çeşidi (B)	2	3363,630	1681,815	8,0788	0,0007*
Etkileşim (AB)	6	32577,704	5429,617	26,0819	0,0000*
Isıl işlem sıcaklığı (C)	2	574962,074	287481,037	1380,9524	0,0000*
Etkileşim (AC)	6	25849,481	4308,247	20,6952	0,0000*
Etkileşim (BC)	4	7258,815	1814,704	8,7172	0,0000*
Etkileşim (ABC)	12	26647,630	2220,636	10,6671	0,0000*
Hata	72	14988,667	208,176		
Toplam	107	761737,435			

*=0,05'e göre önemli

Buna göre; kor hali yanmada ışık yoğunluğunda, ağaç malzeme türü, tutkal çeşidi ve ısıl işlem sıcaklığı ile bunların karşılıklı etkileşimleri istatiksel olarak önemli çıkmıştır (P ≤ 0,05). Farklılığın hangi gruplar arasında önemli olduğunu belirlemek için yapılan Duncan testi sonuçları Çizelge 5. 168 – 174'te verilmiştir.

Kor hali yanmada ışık yoğunluğu; ağaç malzeme türüne göre Çizelge 5.168'de, tutkal çeşidine göre Çizelge 5.169'ta, ısıl işlem sıcaklığına göre Çizelge 5.170'te, ağaç malzeme türü-tutkal çeşidi ikili etkileşime göre Çizelge 5.171'de, ağaç malzeme türü-ısıl işlem sıcaklığı ikili etkileşime göre Çizelge 5.172'de, tutkal çeşidi-ısıl işlem sıcaklığı ikili etkileşime göre Çizelge 5.173'te, ağaç malzeme türü-tutkal çeşidi-ısıl işlem sıcaklığı üçlü etkileşime göre ise Çizelge 5.174'te verilmiştir.

Çizelge 5.168. Ağaç malzeme türüne göre kor hali yanmada ışık yoğunluğu (Lüx)

Ağaç malzeme türü	X_{ort}	HG
Doğu kayını	896	a
Sarıçam	878	b
Kavak	836	c
Sapsız meşe	835	c
LSD: ± 7,785		

Buna göre; kor hali yanmada ışık yoğunluğu, en yüksek Doğu kayınında (896 Lüx), en düşük ise sapsız meşede (835 Lüx) elde edilmiştir.

Çizelge 5.169. Tutkal çeşidine göre kor hali yanmada ışık yoğunluğu (Lüx)

Tutkal çeşidi	X_{ort}	HG
PU	869	a
D4	859	b
MF	856	b
LSD: ± 6,742		

Buna göre; kor hali yanmada ışık yoğunluğu, en yüksek PU tutkalı ile lamine edilen örneklerde (869 Lüx), en düşük ise MF tutkalı ile lamine edilen örneklerde (856 Lüx) elde edilmiştir.

Çizelge 5.170. Isıl işlem sıcaklığına göre kor hali yanmada ışık yoğunluğu (Lüx)

Isıl işlem sıcaklığı	X_{ort}	HG
212 ºC	948	a
185 ºC	866	b
Kontrol	770	c
LSD: ± 6,742		

Buna göre; kor hali yanmada ışık yoğunluğu, en yüksek 212 ºC ısıl işlemli örneklerde (948 Lüx), en düşük ise 185 ºC ısıl işlemli örneklerde (866 Lüx) elde edilmiştir.

Çizelge 5.171. Kor hali yanmada ışık yoğunluğunda ağaç malzeme türü-tutkal çeşidi ikili etkileşime ait Duncan testi sonuçları (Lüx)

Ağaç malzeme türü-tutkal çeşidi	X_{ort}	HG
Kayın+PU	908	a
Kayın+MF	905	a
Çam+PU	889	b
Çam+D4	888	b
Kayın+D4	876	b
Meşe+D4	862	c
Çam+MF	856	cd
Kavak+MF	856	cd
Kavak+PU	845	de
Meşe+PU	835	e
Kavak+D4	808	f
Meşe+MF	808	f
LSD: ± 13,48		

Buna göre; kor hali yanmada ışık yoğunluğu, en yüksek PU tutkalı ile lamine edilen Doğu kayınında (908 Lüx), en düşük ise MF tutkalı ile lamine edilen sapsız meşede (808 Lüx) elde edilmiştir.

Çizelge 5.172. Kor hali yanmada ışık yoğunluğunda ağaç malzeme türü-ısıl işlem sıcaklığı ikili etkileşime ait Duncan testi sonuçları (Lüx)

Ağaç malzeme türü-ısıl işlem sıcaklığı	X_{ort}	HG
Çam+212°C	968	a
Kayın+212°C	959	a
Meşe+212°C	934	b
Kavak+212°C	933	b
Kayın+185°C	914	c
Çam+185°C	888	d
Meşe+185°C	848	e
Kayın+Kontrol	816	f
Kavak+185°C	813	f
Çam+Kontrol	777	g
Kavak+Kontrol	763	h
Meşe+Kontrol	723	i
LSD: ± 13,48		

Buna göre; kor hali yanmada ışık yoğunluğu, en yüksek 212 ºC ısıl işlemli sarıçamda (968 Lüx), en düşük ise 185 ºC ısıl işlemli kavakta (813 Lüx) elde edilmiştir.

Çizelge 5.173. Kor hali yanmada ışık yoğunluğunda tutkal çeşidi-ısıl işlem sıcaklığı ikili etkileşime ait Duncan testi sonuçları (Lüx)

Tutkal çeşidi-ısıl işlem sıcaklığı	X_{ort}	HG
D4+212°C	958	a
MF+212°C	946	b
PU+212°C	942	b
PU+185°C	877	c
MF+185°C	861	d
D4+185°C	860	d
PU+Kontrol	789	e
MF+Kontrol	762	f
D4+Kontrol	759	f
LSD: ± 11,68		

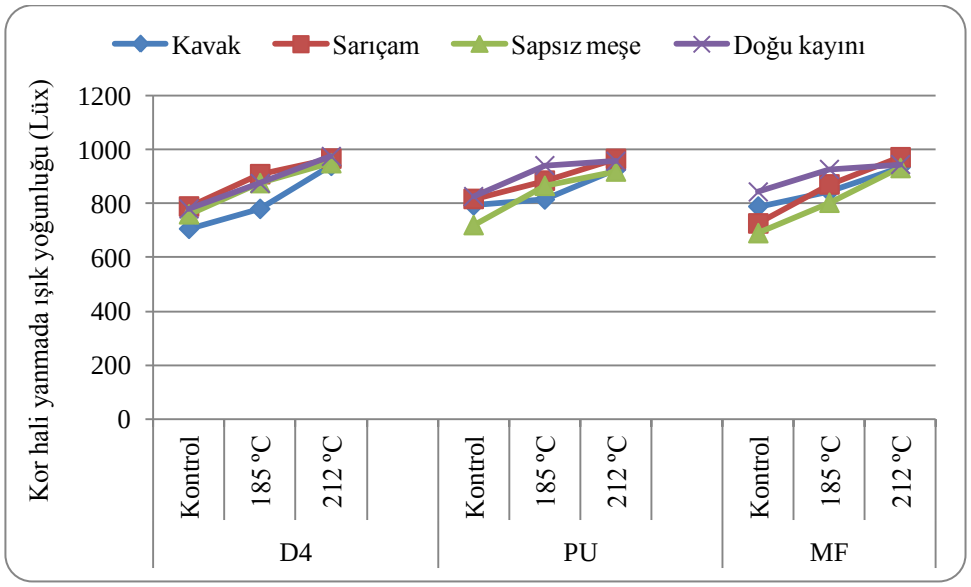
Buna göre; kor hali yanmada ışık yoğunluğu en yüksek, 212 ºC ısıl işlemli D4'te (958 Lüx), en düşük ise 185 ºC ısıl işlemli D4'te (860 Lüx) elde edilmiştir.

Çizelge 5.174. Kor hali yanmada ışık yoğunluğunda ağaç malzeme türü-tutkal çeşidi-ısıl işlem sıcaklığı üçlü etkileşime ait Duncan testi sonuçları (Lüx)

Ağaç malzeme türü-tutkal çeşidi- ısıl işlem sıcaklığı	X_{ort}	HG	Ağaç malzeme türü-tutkal çeşidi- ısıl işlem sıcaklığı	X_{ort}	HG
Kayın+D4+212°C	975	a	Çam+MF+185°C	871	i
Çam+MF+212°C	972	a	Meşe+PU+185°C	866	ij
Çam+D4+212°C	967	ab	Kavak+MF+185°C	844	jk
Çam+PU+212°C	966	abc	Kayın+MF+Kontrol	843	jk
Kayın+PU+212°C	957	abcd	Kayın+PU+Kontrol	826	kl
Meşe+D4+212°C	950	abcde	Çam+PU+Kontrol	817	lm
Kayın+MF+212°C	945	bcdef	Kavak+PU+185°C	815	lm
Kayın+PU+185°C	941	bcdef	Meşe+MF+185°C	803	lmn
Kavak+D4+212°C	940	cdef	Kavak+PU+Kontrol	793	mn
Kavak+MF+212°C	935	defg	Kavak+MF+Kontrol	789	n
Meşe+MF+212°C	932	defg	Çam+D4+Kontrol	789	n
Kayın+MF+185°C	927	efg	Kavak+D4+185°C	780	no
Kavak+PU+212°C	926	efg	Kayın+D4+Kontrol	780	no
Meşe+PU+212°C	919	fg	Meşe+D4+Kontrol	760	o
Çam+D4+185°C	909	gh	Çam+MF+Kontrol	726	p
Çam+PU+185°C	885	hi	Meşe+PU+Kontrol	720	p
Meşe+D4+185°C	876	i	Kavak+D4+Kontrol	706	pq
Kayın+D4+185°C	875	i	Meşe+MF+Kontrol	690	q
LSD: ± 23,35					

Buna göre; kor hali yanmada ışık yoğunluğu, en yüksek D4 tutkalı ile lamine edilen 212 ºC ısıl işlemli Doğu kayınında (975 Lüx), en düşük ise D4 tutkalı ile lamine edilen 185 ºC ısıl işlemli kavakta (780 Lüx) elde edilmiştir.

Lamine ağaç malzemelerin kor hali yanmada ışık yoğunluğu Şekil 5.20'de verilmiştir.



Şekil 5.20. Lamine ağaç malzemelerin kor hali yanmada ışık yoğunluğu

5.15.7. Kendi kendine yanma süresi

Kendi kendine yanma sürelerine ait istatiksel sonuçlar Çizelge 5.175'te verilmiştir.

Çizelge 5.175. Kendi kendine yanma sürelerine ait istatiksel sonuçlar (Sn)

Ağaç malzeme türü	Tutkal çeşidi	Isıl işlem sıcaklığı	Kendi kendine yanma süresi			
			X_{min}	X_{max}	X_{ort}	v(%)
Kavak	D4	Kontrol	181	290	240	22,97
		185 ºC	142	230	190	23,52
		212 ºC	153	210	177	16,53
	PU	Kontrol	267	400	340	20,01
		185 ºC	184	290	240	22,08
		212 ºC	135	250	170	24,67
	MF	Kontrol	342	466	405	15,45
		185 ºC	301	378	339	11,36
		212 ºC	226	378	299	25,41
Sarıçam	D4	Kontrol	362	399	379	4,88
		185 ºC	251	290	270	7,22
		212 ºC	199	295	240	20,68
	PU	Kontrol	412	510	460	10,86
		185 ºC	230	330	280	10,90
		212 ºC	193	240	210	17,86
	MF	Kontrol	443	570	490	14,06
		185 ºC	340	497	420	18,70
		212 ºC	285	393	339	15,92
Sapsız meşe	D4	Kontrol	460	637	549	16,12
		185 ºC	401	561	470	17,44
		212 ºC	386	513	431	16,15
	PU	Kontrol	462	582	521	11,51
		185 ºC	316	424	360	15,75
		212 ºC	226	354	260	21,13
	MF	Kontrol	505	675	570	16,10
		185 ºC	430	572	491	14,91
		212 ºC	353	492	420	16,90
Doğu kayını	D4	Kontrol	306	372	339	9,73
		185 ºC	280	371	325	14,00
		212 ºC	200	317	259	22,57
	PU	Kontrol	243	380	310	22,21
		185 ºC	143	270	203	21,33
		212 ºC	155	225	200	19,50
	MF	Kontrol	346	451	380	15,65
		185 ºC	266	398	321	21,16
		212 ºC	200	361	280	22,78

X_{min}: En küçük değer X_{max}: En büyük değer X_{ort}: Ortalama değer v: Varyasyon katsayısı

Buna göre; kendi kendine yanma süresi, en yüksek MF tutkalı ile lamine edilen meşede (570 Sn), en düşük ise D4 tutkalı ile lamine edilen kavakta (240 Sn); 185 ºC ısıl işlemli örneklerde en yüksek MF tutkalı ile lamine edilen meşede (491 Sn), en düşük D4 tutkalı ile lamine edilen kavakta (190 Sn); 212 ºC ısıl işlemli örneklerde en yüksek D4 tutkalı ile lamine edilen meşede (431 Sn), en düşük ise PU tutkalı ile lamine edilen kavakta (170 Sn) elde edilmiştir.

Kendi kendine yanma sürelerine uygulanan çoklu varyans analizi Çizelge 5.176'da verilmiştir.

Çizelge 5.176. Kendi kendine yanma sürelerine ait çoklu varyans analizi

Faktör	Serbestlik derecesi	Kareler toplamı	Kareler ortalaması	F değeri	P ≤ 0,05
Ağaç malzeme türü (A)	3	551654,296	183884,765	61,8229	0,0000*
Tutkal çeşidi (B)	2	194201,407	97100,704	32,6457	0,0000*
Etkileşim (AB)	6	90331,481	15055,247	5,0616	0,0002*
Isıl işlem sıcaklığı (C)	2	368992,019	184496,009	62,0284	0,0000*
Etkileşim (AC)	6	25904,648	4317,441	1,4515	0,2072ns
Etkileşim (BC)	4	35306,426	8826,606	2,9675	0,0251*
Etkileşim (ABC)	12	12985,574	1082,131	0,3638	-ns
Hata	72	214155,333	2974,380		
Toplam	107	1493531,185			

*=0,05'e göre önemli, ns: önemsiz

Buna göre; kendi kendine yanma süresinde, ağaç malzeme türü, tutkal çeşidi ve ısıl işlem sıcaklığı ile bunların karşılıklı etkileşimleri istatiksel olarak önemli, ağaç malzeme türü-ısıl işlem sıcaklığı ikili etkileşimi ve ağaç malzeme türü-tutkal çeşidi-ısıl işlem sıcaklığı üçlü etkileşimi önemsiz çıkmıştır (P ≤ 0,05). Farklılığın hangi gruplar arasında önemli olduğunu belirlemek için yapılan Duncan testi sonuçları Çizelge 177– 181'de verilmiştir.

Kendi kendine yanma süreleri; ağaç malzeme türüne göre Çizelge 5.177'de, tutkal çeşidine göre Çizelge 5.178'de, ısıl işlem sıcaklığına göre Çizelge 5.179'da, ağaç malzeme türü-tutkal çeşidi ikili etkileşime göre Çizelge 5.180'de, tutkal çeşidi-ısıl işlem sıcaklığı ikili etkileşime göre ise Çizelge 5.181'de, verilmiştir.

Çizelge 5.177. Ağaç malzeme türüne göre kendi kendine yanma süresi (Sn)

Ağaç malzeme türü	X_{ort}	HG
Sapsız meşe	452	a
Sarıçam	343	b
Doğu kayını	291	c
Kavak	267	c
LSD: ± 29,43		

Buna göre; kendi kendine yanma süresi, en yüksek sapsız meşede (452 Sn), en düşük ise kavakta (267 Sn) elde edilmiştir.

Çizelge 5.178. Tutkal çeşidine göre kendi kendine yanma süresi (Sn)

Tutkal çeşidi	X_{ort}	HG
MF	396	a
D4	323	b
PU	296	c
LSD: ± 25,48		

Buna göre; kendi kendine yanma süresi, en yüksek MF tutkalı ile lamine edilen örneklerde (396 Sn), en düşük ise PU tutkalı ile lamine edilen örneklerde (296 Sn) elde edilmiştir.

Çizelge 5.179. Isıl işlem sıcaklığına göre kendi kendine yanma süresi (Sn)

Isıl işlem sıcaklığı	X_{ort}	HG
Kontrol	415	a
185 ºC	326	b
212 ºC	274	c
LSD: ± 25,48		

Buna göre; kendi kendine yanma süresi, en yüksek 185 ºC ısıl işlemli örneklerde (326 Sn), en düşük ise 212 ºC ısıl işlemli örneklerde (274 Sn) elde edilmiştir.

Çizelge 5.180. Kendi kendine yanma süresinde ağaç malzeme türü-tutkal çeşidi ikili etkileşime ait Duncan testi sonuçları (Sn)

Ağaç malzeme türü-tutkal çeşidi	X_{ort}	HG
Meşe+MF	494	a
Meşe+D4	483	a
Çam+MF	417	b
Meşe+PU	380	bc
Kavak+MF	348	cd
Kayın+MF	327	cd
Çam+PU	317	d
Kayın+D4	308	d
Çam+D4	297	de
Kavak+PU	250	ef
Kayın+PU	238	f
Kavak+D4	202	f
LSD: ± 50,97		

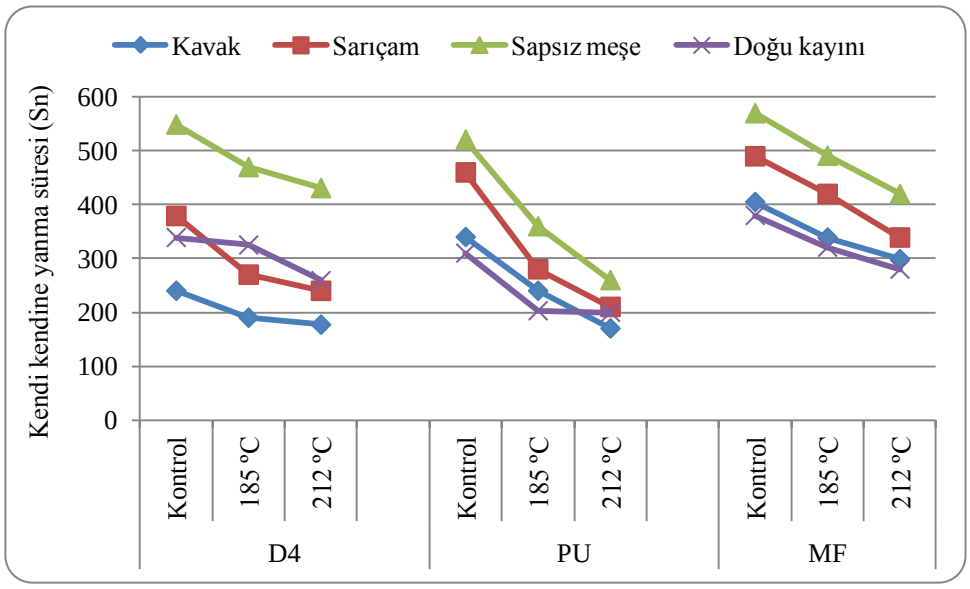
Buna göre; kendi kendine yanma süresi, en yüksek MF tutkalı ile lamine edilen sapsız meşede (494 Sn), en düşük ise D4 tutkalı ile lamine edilen kavakta (202 Sn) elde edilmiştir.

Çizelge 5.181. Kendi kendine yanma süresinde tutkal çeşidi-ısıl işlem sıcaklığı ikili etkileşime ait Duncan testi sonuçları (Sn)

Tutkal çeşidi-ısıl işlem sıcaklığı	X_{ort}	HG
MF+Kontrol	461	a
PU+Kontrol	408	b
MF+185°C	393	b
D4+Kontrol	377	bc
MF+212°C	335	cd
D4+185°C	314	de
D4+212°C	277	e
PU+185°C	271	e
PU+212°C	210	f
LSD: ± 44,14		

Buna göre; kendi kendine yanma süresi, en yüksek 185 °C ısıl işlemli MF'de (393 Sn), en düşük ise 212 °C ısıl işlemli PU'da (210 Sn) elde edilmiştir.

Lamine ağaç malzemelerin kendi kendine yanma süreleri Şekil 5.21'de verilmiştir.



Şekil 5.21. Lamine ağaç malzemelerin kendi kendine yanma süresi

5.15.8. Kor hali yanma süresi

Kor hali yanma sürelerine ait istatiksel sonuçlar Çizelge 5.182'de verilmiştir.

Çizelge 5.182. Kor hali yanma sürelerine ait istatiksel sonuçlar (Sn)

Ağaç malzeme türü	Tutkal çeşidi	Isıl işlem sıcaklığı	Kor halinde yanma süresi			
			X_{min}	X_{max}	X_{ort}	v(%)
Kavak	D4	Kontrol	716	805	771	5,81
		185 ºC	593	624	612	2,54
		212 ºC	504	597	569	8,44
	PU	Kontrol	704	752	725	3,37
		185 ºC	577	646	611	5,65
		212 ºC	492	568	533	7,21
	MF	Kontrol	741	832	784	5,83
		185 ºC	747	893	820	9,02
		212 ºC	702	843	772	9,13
Sarıçam	D4	Kontrol	840	1002	923	8,77
		185 ºC	1010	1162	1086	7,00
		212 ºC	1017	1200	1110	8,24
	PU	Kontrol	802	958	880	8,87
		185 ºC	806	1003	903	10,91
		212 ºC	850	994	923	7,80
	MF	Kontrol	923	1097	1010	8,61
		185 ºC	910	1072	990	8,18
		212 ºC	850	1002	925	8,21
Sapsız meşe	D4	Kontrol	896	1107	1001	10,55
		185 ºC	902	1213	1056	14,67
		212 ºC	980	1327	1156	14,97
	PU	Kontrol	852	1050	950	10,58
		185 ºC	810	951	881	8,00
		212 ºC	905	1081	995	8,87
	MF	Kontrol	903	1317	1110	18,65
		185 ºC	976	1121	1049	6,91
		212 ºC	906	1100	1004	9,66
Doğu kayını	D4	Kontrol	1102	1221	1160	5,13
		185 ºC	910	1210	1063	14,11
		212 ºC	881	1199	1027	15,64
	PU	Kontrol	921	1282	1101	18,50
		185 ºC	907	1237	1071	16,39
		212 ºC	950	1132	1041	8,74
	MF	Kontrol	990	1480	1224	19,87
		185 ºC	810	1351	1093	22,34
		212 ºC	952	1271	1110	14,32

X_{min}: En küçük değer X_{max}: En büyük değer X_{ort}: Ortalama değer v: Varyasyon katsayısı

Buna göre; kor hali yanma süresi, en yüksek MF tutkalı ile lamine edilen kayında (1224 Sn), en düşük ise PU tutkalı ile lamine edilen kavakta (725 Sn); 185 ºC ısıl işlemli örneklerde en yüksek MF tutkalı ile lamine edilen kayında (1093 Sn), en düşük PU tutkalı ile lamine edilen kavakta (611 Sn); 212 ºC ısıl işlemli örneklerde en yüksek D4 tutkalı ile lamine edilen meşede (1156 Sn), en düşük ise PU tutkalı ile lamine edilen kavakta (533 Sn) elde edilmiştir.

Kor hali yanma sürelerine uygulanan çoklu varyans analizi Çizelge 5.183'te verilmiştir.

Çizelge 5.183. Kor halinde yanma süresine ait çoklu varyans analizi

Faktör	Serbestlik derecesi	Kareler toplamı	Kareler ortalaması	F değeri	P ≤ 0,05
Ağaç malzeme türü (A)	3	2594229,880	864743,293	167,9011	0,0000*
Tutkal çeşidi (B)	2	217107,722	108553,861	21,0771	0,0000*
Etkileşim (AB)	6	130487,315	21747,886	4,2226	0,0011*
Isıl işlem sıcaklığı (C)	2	32622,000	16311,000	3,1670	0,0481*
Etkileşim (AC)	6	135718,593	22619,765	4,3919	0,0008*
Etkileşim (BC)	4	21502,111	5375,528	1,0437	0,3908 ns
Etkileşim (ABC)	12	152365,963	12697,164	2,4653	0,0093*
Hata	72	370822,667	5150,315		
Toplam	107	3654856,250			

*=0,05'e göre önemli, ns: önemsiz

Buna göre; kor hali yanma süresinde, ağaç malzeme türü, tutkal çeşidi ve ısıl işlem sıcaklığı ile bunların karşılıklı etkileşimleri istatiksel olarak önemli, tutkal çeşidi-ısıl işlem sıcaklığı ikili etkileşimi ise önemsiz çıkmıştır (P ≤ 0,05). Farklılığın hangi gruplar arasında önemli olduğunu belirlemek için yapılan Duncan testi sonuçları Çizelge 5. 184 – 189'da verilmiştir.

Kor hali yanma süresi; ağaç malzeme türüne göre Çizelge 5.184'te, tutkal çeşidine göre Çizelge 5.185'te, ısıl işlem sıcaklığına göre Çizelge 5.186'da, ağaç malzeme türü-tutkal çeşidi ikili etkileşime göre Çizelge 5.187'de, ağaç malzeme türü-ısıl işlem sıcaklığı ikili etkileşime göre Çizelge 5.188'de, ağaç malzeme türü-tutkal çeşidi-ısıl işlem sıcaklığı üçlü etkileşime göre ise Çizelge 5.189'da verilmiştir.

Çizelge 5.184. Ağaç malzeme türüne göre kor hali yanma süresi (Sn)

Ağaç malzeme türü	X_{ort}	HG
Doğu kayını	1099	a
Sapsız meşe	1023	b
Sarıçam	972	c
Kavak	688	d
LSD: ± 38,72		

Buna göre; kor halinde yanma süresi, en yüksek Doğu kayınında (1099 Sn), en düşük ise kavakta (688 Sn) elde edilmiştir.

Çizelge 5.185. Tutkal çeşidine göre kor hali yanma süresi (Sn)

Tutkal çeşidi	X_{ort}	HG
MF	991	a
D4	961	a
PU	885	b
LSD: ±33,53		

Buna göre; kor halinde yanma süresi, en yüksek MF tutkalı ile lamine edilen örneklerde (991 Sn), en düşük ise PU tutkalı ile lamine edilen örneklerde (885 Sn) elde edilmiştir.

Çizelge 5.186. Isıl işlem sıcaklığına göre kor hali yanma süresi (Sn)

Isıl işlem sıcaklığı	X_{ort}	HG
Kontrol	970	a
185 ºC	937	ab
212 ºC	930	b
LSD: ±33,53		

Buna göre; kor halinde yanma süresi, en yüksek 185 ºC ısıl işlemli örneklerde (937 Sn), en düşük ise 212 ºC ısıl işlemli örneklerde (930 Sn) elde edilmiştir.

Çizelge 5.187. Kor hali yanma süresinde ağaç malzeme türü-tutkal çeşidi ikili etkileşime ait Duncan testi sonuçları (Sn)

Ağaç malzeme türü-tutkal çeşidi	X_{ort}	HG
Kayın+MF	1142	a
Kayın+D4	1083	ab
Kayın+PU	1071	b
Meşe+D4	1071	b
Meşe+MF	1054	b
Çam+D4	1040	bc
Çam+MF	975	cd
Meşe+PU	942	de
Çam+PU	902	e
Kavak+MF	792	f
Kavak+D4	651	g
Kavak+PU	623	g
LSD: ±67,07		

Buna göre; kor hali yanma süresi, en yüksek MF tutkalı ile lamine edilen Doğu kayınında (1142 Sn), en düşük ise PU tutkalı ile lamine edilen kavakta (623 Sn) elde edilmiştir.

Çizelge 5.188. Kor hali yanma süresinde ağaç malzeme türü-ısıl işlem sıcaklığı ikili etkileşime ait Duncan testi sonuçları (Sn)

Ağaç malzeme türü-ısıl işlem sıcaklığı	X_{ort}	HG
Kayın+Kontrol	1162	a
Kayın+185°C	1076	b
Kayın+212°C	1059	bc
Meşe+212°C	1052	bc
Meş+Kontrol	1021	bc
Meşe+185°C	996	cd
Çam+185°C	993	cd
Çam+212°C	986	cd
Çam+Kontrol	937	d
Kavak+Kontrol	760	e
Kavak+185°C	681	f
Kavak+212°C	624	f
LSD: ± 67,07		

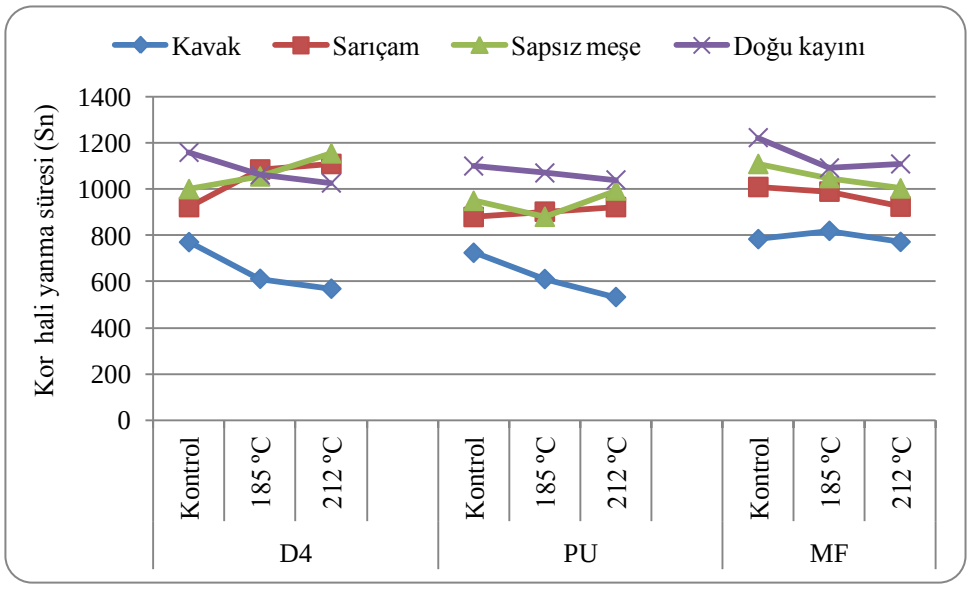
Buna göre; kor hali yanma süresi, en yüksek 185 °C ısıl işlemli Doğu kayınında (1076 Sn) , en düşük ise 212 °C ısıl işlemli kavakta (624 Sn) elde edilmiştir.

Çizelge 5.189. Kor hali yanma süresinde ağaç malzeme türü-tutkal çeşidi-ısıl işlem sıcaklığı üçlü etkileşime ait Duncan testi sonuçları (Sn)

Ağaç malzeme türü-tutkal çeşidi- ısıl işlem sıcaklığı	X_{ort}	HG	Ağaç malzeme türü-tutkal çeşidi- ısıl işlem sıcaklığı	X_{ort}	HG
Kayın+MF+Kontrol	1224	a	Meşe+PU+212°C	995	cdefg
Kayın+D4+Kontrol	1160	ab	Çam+MF+185°C	990	cdefg
Meşe+D4+212°C	1156	ab	Meşe+PU+Kontrol	950	defgh
Çam+D4+212°C	1110	abc	Çam+MF+212°C	925	efgh
Kayın+MF+212°C	1110	abc	Çam+PU+212°C	923	efgh
Meşe+MF+Kontrol	1110	abc	Çam+D4+Kontrol	923	efgh
Kayın+PU+Kontrol	1101	abc	Çam+PU+185°C	903	fghi
Kayın+MF+185°C	1093	abc	Meşe+PU+185°C	881	ghi
Çam+D4+185°C	1086	bcd	Çam+PU+Kontrol	880	ghi
Kayın+PU+185°C	1071	bcd	Kavak+MF+185°C	820	hij
Kayın+D4+185°C	1063	bcde	Kavak+MF+Kontrol	784	ij
Meşe+D4+185°C	1056	bcde	Kavak+MF+212°C	772	ij
Meşe+MF+185°C	1049	bcde	Kavak+D4+Kontrol	771	ij
Kayın+PU+212°C	1041	bcdef	Kavak+PU+Kontrol	725	jk
Kayın+D4+212°C	1027	bcdef	Kavak+D4+185°C	612	kl
Çam+MF+Kontrol	1010	cdefg	Kavak+PU+185°C	611	kl
Meşe+MF+212°C	1004	cdefg	Kavak+D4+212°C	569	l
Meşe+D4+Kontrol	1001	cdefg	Kavak+PU+212°C	533	l
LSD: ± 116,2					

Buna göre; kor hali yanma süresi, en yüksek D4 tutkalı ile lamine edilen 212 °C ısıl işlemli sapsız meşede (1156 Sn), en düşük ise PU tutkalı ile lamine edilen 212 °C ısıl işlemli kavakta (533 Sn) elde edilmiştir.

Lamine ağaç malzemelerin kor hali yanma süreleri Şekil 5.22'de verilmiştir.



Şekil 5.22. Lamine ağaç malzemelerin kor hali yanma süresi

5.15.9. Yıkılma süresi

Yanma sonucu meydana gelen yıkılma sürelerine ilişkin istatiksel sonuçlar Çizelge 5.190'da verilmiştir.

Çizelge 5.190. Yıkılma sürelerine ilişkin istatiksel sonuçlar (Sn)

Ağaç malzeme türü	Tutkal çeşidi	Isıl işlem sıcaklığı	Yıkılma süresi			
			X_{min}	X_{max}	X_{ort}	v(%)
Kavak	D4	Kontrol	632	840	728	14,35
		185 ºC	691	906	804	13,42
		212 ºC	842	967	915	7,10
	PU	Kontrol	1020	1073	1048	2,56
		185 ºC	613	860	761	17,08
		212 ºC	937	1029	985	4,67
	MF	Kontrol	1087	1141	1113	2,43
		185 ºC	907	996	944	4,87
		212 ºC	901	1160	1014	13,06
Sarıçam	D4	Kontrol	750	841	802	5,86
		185 ºC	715	980	855	15,56
		212 ºC	825	1032	941	11,24
	PU	Kontrol	1020	1128	1076	5,20
		185 ºC	965	1084	1014	6,11
		212 ºC	1081	1273	1167	8,35
	MF	Kontrol	991	1112	1055	5,87
		185 ºC	907	1056	981	7,60
		212 ºC	825	1032	941	11,15
Sapsız meşe	D4	Kontrol	839	1051	919	12,51
		185 ºC	1000	1183	1108	8,57
		212 ºC	1052	1236	1152	8,07
	PU	Kontrol	907	990	952	4,42
		185 ºC	1085	1141	1109	2,61
		212 ºC	1271	1340	1312	2,78
	MF	Kontrol	997	1140	1071	6,69
		185 ºC	1043	1141	1090	4,50
		212 ºC	1106	1350	1224	9,97
Doğu kayını	D4	Kontrol	925	1116	997	10,44
		185 ºC	963	1076	1020	5,54
		212 ºC	1056	1134	1092	3,57
	PU	Kontrol	900	1052	962	8,27
		185 ºC	740	916	834	10,62
		212 ºC	997	1201	1082	9,80
	MF	Kontrol	582	780	694	14,62
		185 ºC	1021	1066	1038	2,04
		212 ºC	812	932	881	7,04

X_{min}: En küçük değer X_{max}: En büyük değer X_{ort}: Ortalama değer v: Varyasyon katsayısı

Buna göre; yıkılma süresi, en yüksek MF tutkalı ile lamine edilen kavakta (1113 Sn), en düşük ise MF tutkalı ile lamine edilen kayında (694 Sn); 185 ºC ısıl işlemli örneklerde en yüksek PU tutkalı ile lamine edilen meşede (1109 Sn), en düşük PU tutkalı ile lamine edilen kavakta (761 Sn); 212 ºC ısıl işlemli örneklerde en yüksek PU tutkalı ile lamine edilen meşede (1312 Sn), en düşük ise D4 tutkalı ile lamine edilen kavakta (915 Sn) elde edilmiştir..

Yıkılma sürelerine ait çoklu varyans analizi Çizelge 5.191'de verilmiştir.

Çizelge 5.191. Yıkılma süresine ait çoklu varyans analizi

Faktör	Serbestlik derecesi	Kareler toplamı	Kareler ortalaması	F değeri	P ≤ 0,05
Ağaç malzeme türü (A)	3	503557,667	167852,556	24,3339	0,0000*
Tutkal çeşidi (B)	2	126446,241	63223,120	9,1656	0,0003*
Etkileşim (AB)	6	437715,167	72952,528	10,5761	0,0000*
Isıl işlem sıcaklığı (C)	2	249639,185	124819,593	18,0953	0,0000*
Etkileşim (AC)	6	233096,444	38849,407	5,6321	0,0001*
Etkileşim (BC)	4	179525,037	44881,259	6,5065	0,0002*
Etkileşim (ABC)	12	268906,889	22408,907	3,2487	0,0009*
Hata	72	496648,000	6897,889		
Toplam	107	2495534,630			

*=0,05'e göre önemli

Buna göre; yıkılma süresinde ağaç malzeme türü, tutkal çeşidi ve ısıl işlem sıcaklığı ile bunların karşılıklı etkileşimleri istatiksel olarak önemli çıkmıştır (P ≤ 0,05). Farklılığın hangi gruplar arasında önemli olduğunu belirlemek için yapılan Duncan testi sonuçları Çizelge 5. 192 - 198' de verilmiştir.

Yıkılma süresi; ağaç malzeme türüne göre Çizelge 5.192'de, tutkal çeşidine göre Çizelge 5.193'te, ısıl işlem sıcaklığına göre Çizelge 5.194'te, ağaç malzeme türü-tutkal çeşidi ikili etkileşime göre Çizelge 5.195'te, ağaç malzeme türü-ısıl işlem sıcaklığı ikili etkileşime göre Çizelge 5.196'da, tutkal çeşidi-ısıl işlem sıcaklığı ikili etkileşime göre Çizelge 5.197'de, ağaç malzeme türü-tutkal çeşidi-ısıl işlem sıcaklığı üçlü etkileşime göre ise Çizelge 5.198'de verilmiştir.

Çizelge 5. 192. Ağaç malzeme türüne göre yıkılma süresi (Sn)

Ağaç malzeme türü	X_{ort}	HG
Sapsız meşe	1104	a
Sarıçam	981	b
Doğu kayını	955	bc
Kavak	923	c
LSD: ± 44,81		

Buna göre; yıkılma süresi, en yüksek sapsız meşede (1104 Sn), en düşük ise kavakta (923 Sn) elde edilmiştir.

Çizelge 5.193. Tutkal çeşidine göre yıkılma süresi (Sn)

Tutkal çeşidi	X_{ort}	HG
MF	1025	a
D4	1004	a
PU	945	b
LSD: ±38,81		

Buna göre; yıkılma süresi, en yüksek MF tutkalı ile lamine edilen örneklerde (1025 Sn), en düşük ise PU tutklı ile laminr edilen örneklerde (945 Sn) elde edilmiştir.

Çizelge 5.194. Isıl işlem sıcaklığına göre yıkılma süresi (Sn)

Isıl işlem sıcaklığı	X_{ort}	HG
212 ºC	1059	a
185 ºC	963	b
Kontrol	951	b
LSD: ±38,81		

Buna göre; yıkılma süresi, en yüksek 212 ºC ısıl işlemli örneklerde (1059 Sn), en düşük ise 185 ºC ısıl işlemli örneklerde (963 Sn) elde edilmiştir.

Çizelge 5.195. Yıkılma süresinde ağaç malzeme türü-tutkal çeşidi ikili etkileşime ait Duncan testi sonuçları (Sn)

Ağaç malzeme türü-tutkal çeşidi	X_{ort}	HG
Meşe+MF	1128	a
Meşe+PU	1125	a
Çam+PU	1086	ab
Meşe+D4	1059	abc
Kayın+D4	1036	bcd
Kavak+MF	1024	bcd
Çam+MF	992	cde
Kayın +PU	959	de
Kavak+PU	931	ef
Kayın+MF	871	fg
Çam+D4	866	fg
Kavak+D4	815	g
LSD: ±67,07		

Buna göre; yıkılma süresi, en yüksek MF tutkalı ile lamine edilen sapsız meşede (1128 Sn), en düşük ise D4 tutkalı ile lamine edilen kavakta (815 Sn) elde edilmiştir.

Çizelge 5.196. Yıkılma süresinde ağaç malzeme türü-ısıl işlem sıcaklığı ikili etkileşime ait Duncan testi sonuçları (Sn)

Ağaç malzeme türü-ısıl işlem sıcaklığı	X_{ort}	HG
Meşe+212°C	1229	a
Meşe+185°C	1102	b
Kayın+212°C	1019	c
Çam+212°C	1017	c
Meşe+Kontrol	980	c
Çam+Kontrol	977	c
Kavak+212°C	971	c
Kayın+185°C	964	cd
Kavak+Kontrol	963	cd
Çam+185°C	950	cd
Kayın+Kontrol	884	de
Kavak+185°C	836	e
LSD: ± 77,61		

Buna göre; yıkılma süresi, en yüksek 212 °C ısıl işlemli sapsız meşede (1229 Sn), en düşük ise 185 °C ısıl işlemli kavakta (836 Sn) elde edilmiştir.

Çizelge 5.197. Yıkılma süresinde tutkal çeşidi-ısıl işlem sıcaklığı ikili etkileşime ait Duncan testi sonuçları (Sn)

Tutkal çeşidi-ısıl işlem sıcaklığı	X_{ort}	HG
MF+212℃	1137	a
PU+212 ℃	1025	b
D4+212℃	1015	bc
MF+185℃	1014	bc
PU+Kontrol	1010	bc
MF+Kontrol	983	bcd
D4+185 ℃	946	cd
PU+185 ℃	929	d
D4+Kontrol	861	e
LSD: ±67,22		

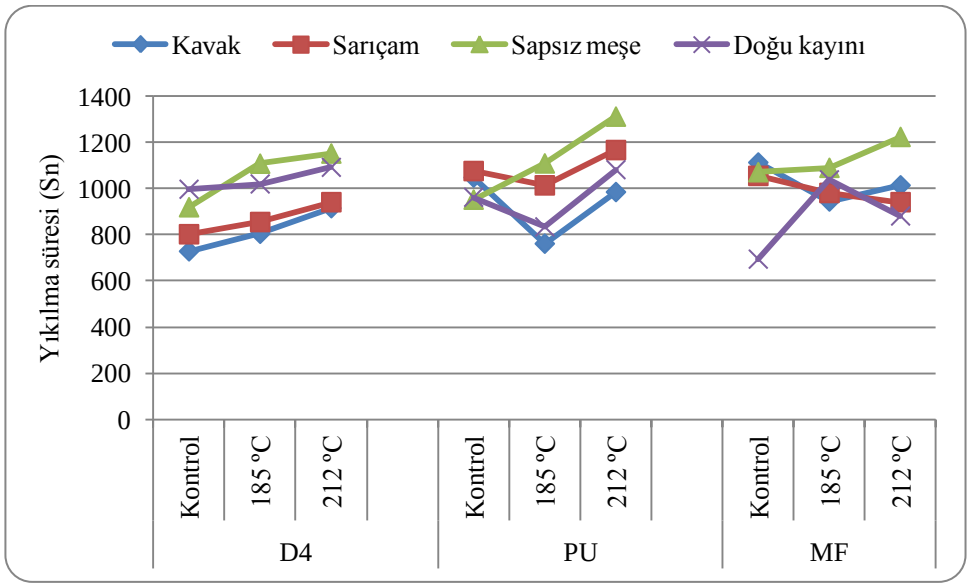
Buna göre; yıkılma süresi en yüksek, 212 ℃ ısıl işlemli MF'de (1137 Sn), en düşük ise 185 ℃ ısıl işlemli PU'da (929 Sn) elde edilmiştir.

Çizelge 5.198. Yıkılma süresinde ağaç malzeme türü-tutkal çeşidi-ısıl işlem sıcaklığı üçlü etkileşime ait Duncan testi sonuçları (Sn)

Ağaç malzeme türü-tutkal çeşidi- ısıl işlem sıcaklığı	X_{ort}	HG	Ağaç malzeme türü-tutkal çeşidi- ısıl işlem sıcaklığı	X_{ort}	HG
Meşe+PU+212°C	1312	a	Kayın+D4+Kontrol	997	defghijk
Meşe+MF+212°C	1224	ab	Kavak+PU+212°C	985	efghijkl
Çam+PU+212°C	1167	bc	Çam+MF+185°C	981	efghijkl
Meşe+D4+212°C	1152	bcd	Kayın+PU+Kontrol	962	efghijklm
Kavak+MF+Kontrol	1113	bcde	Meşe+PU+Kontrol	952	efghijklm
Meşe+PU+185°C	1109	bcdef	Kavak+MF+185°C	944	fghijklm
Meşe+D4+185°C	1108	bcdef	Çam+MF+212°C	941	ghijklm
Kayın+D4+212°C	1092	bcdefg	Çam+D4+212°C	941	ghijklm
Meşe+MF+185°C	1090	bcdefg	Meşe+D4+Kontrol	919	hijklm
Kayın+PU+212°C	1082	bcdefgh	Kavak+D4+212°C	915	ijklmn
Çam+PU+Kontrol	1076	bcdefghi	Kayın+MF+212°C	881	jklmno
Meşe+MF+Kontrol	1071	bcdefghi	Çam+D4+185°C	855	klmno
Çam+MF+Kontrol	1055	cdefghi	Kayın+PU+185°C	834	lmnop
Kavak+PU+Kontrol	1048	cdefghi	Kavak+D4+185°C	804	mnop
Kayın+MF+185°C	1038	cdefghij	Çam+D4+Kontrol	802	mnop
Kayın+D4+185°C	1020	cdefghij	Kavak+PU+185°C	761	nop
Çam+PU+185°C	1014	cdefghijk	Kavak+D4+Kontrol	728	op
Kavak+MF+212°C	1014	cdefghijk	Kayın+MF+Kontrol	694	p
LSD: ± 134,4					

Buna göre; yıkılma süresi, en yüksek PU tutkalı ile lamine edilen 212 °C ısıl işlemli sapsız meşede (1312 Sn), en düşük ise PU tutkalı ile lamine edilen 185 °C ısıl işlemli kavakta (761 Sn) elde edilmiştir.

Lamine ağaç malzemelerin yıkılma süreleri Şekil 5.23'te verilmiştir.



Şekil 5.23. Lamine ağaç malzemelerin yıkılma süresi

5.15.10. Ağırlık kaybı

Ağırlık kayıplarına ilişkin istatiksel sonuçlar Çizelge 5.199'da verilmiştir.

Çizelge 5.199. Ağırlık kayıplarına ilişkin istatiksel sonuçlar (%)

Ağaç malzeme türü	Tutkal çeşidi	Isıl işlem sıcaklığı	Ağırlık kaybı			
			X_{min}	X_{max}	X_{ort}	v(%)
Kavak	D4	Kontrol	89,90	91,40	90,50	1,97
		185 ºC	91,51	93,22	92,53	1,79
		212 ºC	89,41	90,59	89,63	1,78
	PU	Kontrol	92,60	93,33	93,00	1,46
		185 ºC	90,40	93,81	91,90	2,97
		212 ºC	87,33	88,57	87,90	1,88
	MF	Kontrol	87,40	90,12	89,10	2,77
		185 ºC	84,42	87,28	85,73	2,87
		212 ºC	81,50	83,30	82,20	2,38
Sarıçam	D4	Kontrol	88,79	91,21	89,97	2,44
		185 ºC	91,80	93,10	92,37	1,73
		212 ºC	89,10	90,50	89,77	1,89
	PU	Kontrol	89,20	90,02	89,57	1,64
		185 ºC	88,50	90,41	89,33	2,14
		212 ºC	82,60	84,81	83,73	2,51
	MF	Kontrol	87,40	89,10	88,33	2,10
		185 ºC	79,80	83,80	81,83	3,67
		212 ºC	89,10	90,50	89,77	1,89
Sapsız meşe	D4	Kontrol	88,22	90,12	89,13	2,19
		185 ºC	87,20	89,90	88,43	2,60
		212 ºC	86,54	88,63	87,43	2,36
	PU	Kontrol	88,30	89,90	89,20	2,04
		185 ºC	87,85	89,65	88,53	1,94
		212 ºC	85,21	88,62	86,60	3,21
	MF	Kontrol	85,30	87,21	86,10	2,90
		185 ºC	85,80	87,10	86,30	1,96
		212 ºC	82,50	84,10	83,37	2,18
Doğu kayını	D4	Kontrol	86,80	88,89	87,73	2,28
		185 ºC	90,31	91,70	91,07	1,87
		212 ºC	88,10	89,90	88,93	2,16
	PU	Kontrol	85,80	88,90	87,67	2,98
		185 ºC	82,80	84,45	83,67	2,16
		212 ºC	82,71	84,42	83,70	2,18
	MF	Kontrol	82,83	85,65	83,93	2,94
		185 ºC	83,81	84,90	84,33	1,86
		212 ºC	82,80	84,33	83,67	2,13

X_{min}: En küçük değer X_{max}: En büyük değer X_{ort}: Ortalama değer v: Varyasyon katsayısı

Buna göre; ağırlık kaybı, en yüksek PU tutkalı ile lamine edilen kavakta (% 93), en düşük ise MF tutkalı ile lamine edilen kayında (83,93 Sn); 185 ºC ısıl işlemli örneklerde en yüksek D4 tutkalı ile lamine edilen kavakta (%92,53), en düşük MF tutkalı ile lamine edilen çamda (%81,83); 212 ºC ısıl işlemli örneklerde en yüksek D4 tutkalı ile lamine edilen çamda (%89,77), en düşük ise MF tutkalı ile lamine edilen kavakta (%82,20) elde edilmiştir.

Ağırlık kayıplarına ait çoklu varyans analizi Çizelge 5.200'de verilmiştir.

Çizelge 5.200. Ağırlık kayıplarına ait çoklu varyans analizi

Faktör	Serbestlik derecesi	Kareler toplamı	Kareler ortalaması	F değeri	P ≤ 0,05
Ağaç malzeme türü (A)	3	144,609	48,203	42,3418	0,0000*
Tutkal çeşidi (B)	2	351,222	175,611	154,2579	0,0000*
Etkileşim (AB)	6	87,967	14,661	12,8785	0,0000*
Isıl işlem sıcaklığı (C)	2	99,925	49,963	43,8875	0,0000*
Etkileşim (AC)	6	40,911	6,819	5,9894	0,0000*
Etkileşim (BC)	4	89,980	22,495	19,7598	0,0000*
Etkileşim (ABC)	12	163,323	13,610	11,9553	0,0000*
Hata	72	81,967	1,138		
Toplam	107	1059,905			

*=0,05'e göre önemli

Buna göre; ağırlık kayıplarında ağaç malzeme türü, tutkal çeşidi ve ısıl işlem sıcaklığı ile bunların karşılıklı etkileşimleri istatiksel olarak önemli çıkmıştır (P ≤ 0,05). Farklılığın hangi gruplar arasında önemli olduğunu belirlemek için yapılan Duncan testi sonuçları Çizelge 5. 201 – 207'de verilmiştir.

Ağırlık kaybı; ağaç malzeme türüne göre Çizelge 5.201'de, tutkal çeşidine göre Çizelge 5.202'de, ısıl işlem sıcaklığına göre Çizelge 5.203'te, ağaç malzeme türü-tutkal çeşidi ikili etkileşime göre Çizelge 5.204'te, ağaç malzeme türü-ısıl işlem sıcaklığı ikili etkileşime göre Çizelge 5.205'te, tutkal çeşidi-ısıl işlem sıcaklığı ikili etkileşime göre Çizelge 5.206'da, ağaç malzeme türü-tutkal çeşidi-ısıl işlem sıcaklığı üçlü etkileşime göre ise Çizelge 5.207'de verilmiştir.

Çizelge 5. 201. Ağaç malzeme türüne göre ağırlık kaybı (%)

Ağaç malzeme türü	X_{ort}	HG
Kavak	89,17	a
Sarıçam	88,30	b
Sapsız meşe	87,23	c
Doğu kayını	86,08	d
LSD: ± 0,5756		

Buna göre; ağırlık kaybı en yüksek kavakta (% 89,17), en düşük ise Doğu kayınında (% 86,08) elde edilmiştir.

Çizelge 5.202. Tutkal çeşidine göre ağırlık kaybı (%)

Tutkal çeşidi	X_{ort}	HG
D4	89,79	a
PU	87,90	b
MF	85,39	c
LSD: ±0,4985		

Buna göre; ağırlık kaybı en yüksek D4 tutkalı ile lamine edilen örneklerde (% 89,79), en düşük ise MF tutkalı ile lamine elden örneklerde (% 85,39) elde edilmiştir.

Çizelge 5.203. Isıl işlem sıcaklığına göre ağırlık kaybı (%)

Isıl işlem sıcaklığı	X_{ort}	HG
Kontrol	88,69	a
185 ºC	88,00	b
212 ºC	86,39	c
LSD: ±0,4985		

Buna göre; ağırlık kaybı, en yüksek 185 ºC ısıl işlemli örneklerde (% 88,0), en düşük ise 212 ºC ısıl işlemli örneklerde (% 86,39) elde edilmiştir. Isıl işlem sıcaklığına bağlı olarak ağırlık kayıpları azalmıştır.

Çizelge 5.204. Ağırlık kaybında ağaç malzeme türü-tutkal çeşidi ikili etkileşime ait Duncan testi sonuçları (%)

Ağaç malzeme türü-tutkal çeşidi	X_{ort}	HG
Kavak+PU	90,93	a
Kavak+D4	90,89	a
Çam+D4	90,70	a
Kayın+D4	89,24	b
Meşe+D4	88,33	bc
Meşe+PU	88,11	c
Çam+PU	87,54	cd
Çam+MF	86,64	de
Kavak+MF	85,68	ef
Meşe+MF	85,26	f
Kayın+PU	85,01	f
Kayın+MF	83,98	g
LSD: ±0,9969		

Buna göre; ağırlık kaybı, en yüksek PU tutkalı ile lamine edilen kavakta (% 90,93), en düşük ise MF tutkalı ile lamine edilen Doğu kayınında (% 83,98) elde edilmiştir.

Çizelge 5.205. Ağırlık kaybında ağaç malzeme türü-ısıl işlem sıcaklığı ikili etkileşime ait Duncan testi sonuçları (%)

Ağaç malzeme türü-ısıl işlem sıcaklığı	X_{ort}	HG
Kavak+Kontrol	90,87	a
Kavak+185°C	90,06	ab
Çam+Kontrol	89,29	b
Meşe+Kontrol	88,14	c
Çam+185°C	87,84	c
Çam+212°C	87,76	c
Meşe+185°C	87,76	c
Kavak+212°C	86,58	d
Kayın+Kontrol	86,44	de
Kayın+185°C	86,36	de
Meşe+212°C	85,80	de
Kayın+212 °C	85,43	e
LSD: ± 0,9969		

Buna göre; ağırlık kaybı, en yüksek 185 °C ısıl işlemli kavakta (%90,06), en düşük ise 212 °C ısıl işlemli kayında (% 85,43) elde edilmiştir.

Çizelge 5.206. Ağırlık kaybında tutkal çeşidi-ısıl işlem sıcaklığı ikili etkileşime ait Duncan testi sonuçları (%)

Tutkal çeşidi-ısıl işlem sıcaklığı	X_{ort}	HG
D4+185°C	91,10	a
PU+Kontrol	89,86	b
D4+Kontrol	89,33	bc
D4+212°C	88,94	cd
PU+185°C	88,36	d
MF+Kontrol	86,87	e
PU+212°C	85,48	f
MF+212°C	84,75	fg
MF+185°C	84,55	g
LSD: ±0,8633		

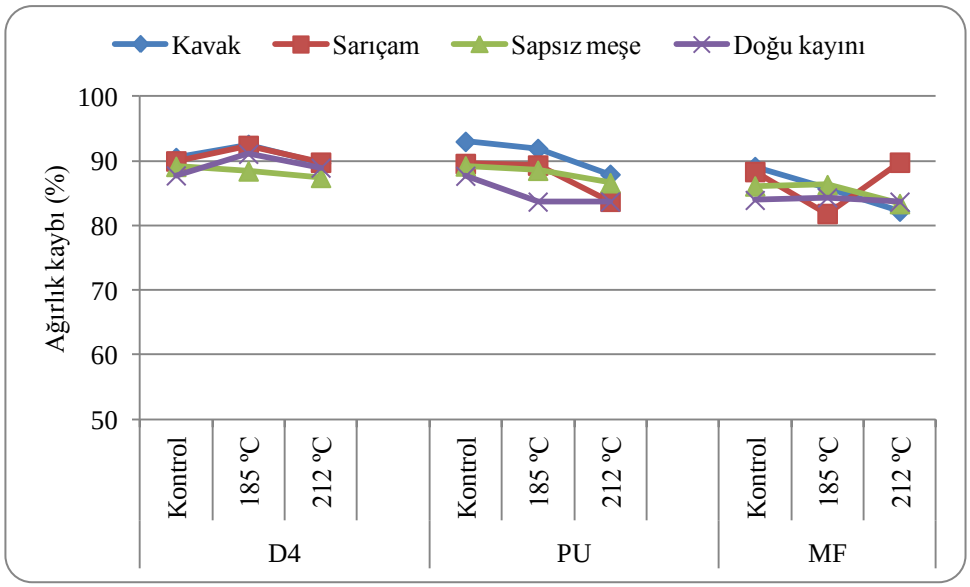
Buna göre; ağırlık kaybı, en yüksek 185 °C ısıl işlemli D4'te (% 91,10), en düşük ise 185 °C ısıl işlemli MF'de (% 84,55) elde edilmiştir.

Çizelge 5.207. Ağırlık kaybında ağaç malzeme türü-tutkal çeşidi-ısıl işlem sıcaklığı üçlü etkileşime ait Duncan testi sonuçları (%)

Ağaç malzeme türü-tutkal çeşidi- ısıl işlem sıcaklığı	X_{ort}	HG	Ağaç malzeme türü-tutkal çeşidi- ısıl işlem sıcaklığı	X_{ort}	HG
Kavak+PU+Kontrol	93,00	a	Çam+MF+Kontrol	88,33	fghij
Kavak+D4+185°C	92,53	ab	Kavak+PU+212°C	87,90	fghijk
Çam+D4+185°C	92,37	abc	Kayın+D4+Kontrol	87,73	ghijk
Kavak+PU+185°C	91,90	abc	Kayın+PU+Kontrol	87,67	hijkl
Kayın+D4+185°C	91,07	bcd	Meşe+D4+212°C	87,43	ijkl
Kavak+D4+Kontrol	90,50	cde	Meşe+PU+212°C	86,60	jkl
Çam+D4+Kontrol	89,97	def	Meşe+MF+185°C	86,30	kl
Çam+D4+212°C	89,77	defg	Meşe+MF+Kontrol	86,10	klm
Çam+MF+212°C	89,77	defg	Kavak+MF+185°C	85,73	lmn
Kavak+D4+212°C	89,63	defgh	Kayın+MF+185°C	84,33	mno
Çam+PU+Kontrol	89,57	defgh	Kayın+MF+Kontrol	83,93	nop
Çam+PU+185°C	89,33	defghi	Çam+PU+212°C	83,73	opq
Meşe+PU+Kontrol	89,20	defghi	Kayın+PU+212°C	83,70	opq
Meşe+D4+Kontrol	89,13	defghi	Kayın+PU+185°C	83,67	opq
Kavak+MF+Kontrol	89,10	defghi	Kayın+MF+212°C	83,67	opq
Kayın+D4+212°C	88,93	efghi	Meşe+MF+212°C	83,37	opq
Meşe+PU+185°C	88,53	efghij	Kavak+MF+212°C	82,20	pq
Meşe+D4+185°C	88,43	efghij	Çam+MF+185°C	81,83	q
LSD: ± 1,727					

Buna göre; ağırlık kaybı, en yüksek D4 tutkalı ile lamine edilen 185 °C ısıl işlemli kavakta (%92,53), en düşük ise MF tutkalı ile lamine edilen 185°C ısıl işlemli sarıçamda (% 81,83) elde edilmiştir.

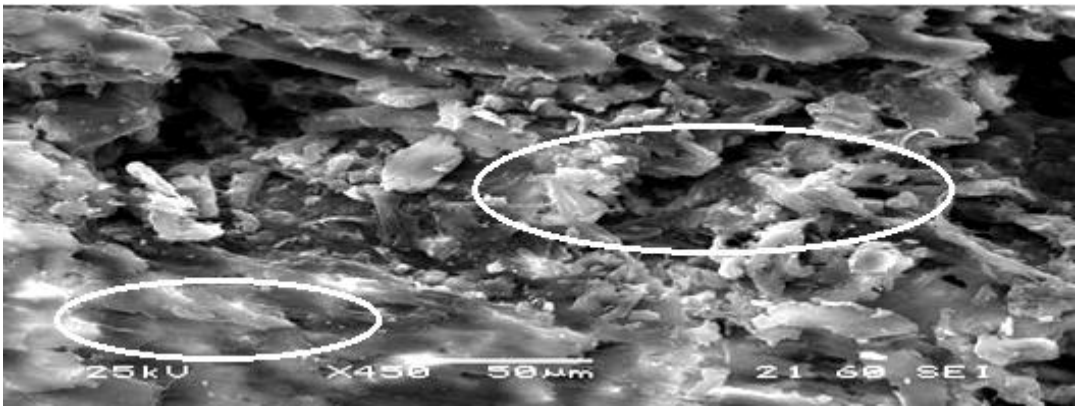
Lamine ağaç malzemelerin ağırlık kayıpları Şekil 5.24'te verilmiştir.



Şekil 5.24. Lamine ağaç malzemelerin ağırlık kayıpları

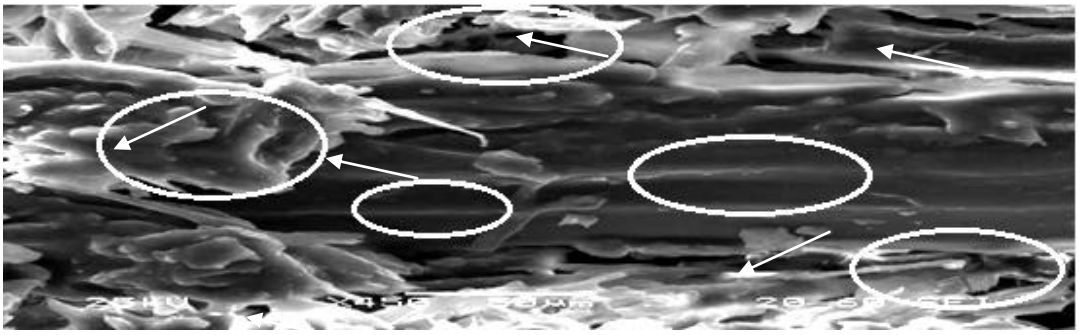
5.16. SEM Analizleri

Lamine edildikten sonra 185 ve 212 ºC'de ısıl işleme maruz kalan örnekler, JEOL 6060 Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM)'nda görüntülenerek yorumlanmıştır. Burada kimyasal yapıdan daha çok fiziksel olarak tutkal hattında ve tutkal ile ağaç malzemenin birleşme yerinde meydana gelen değişimler hakkında değerlendirmeler yapılmıştır.



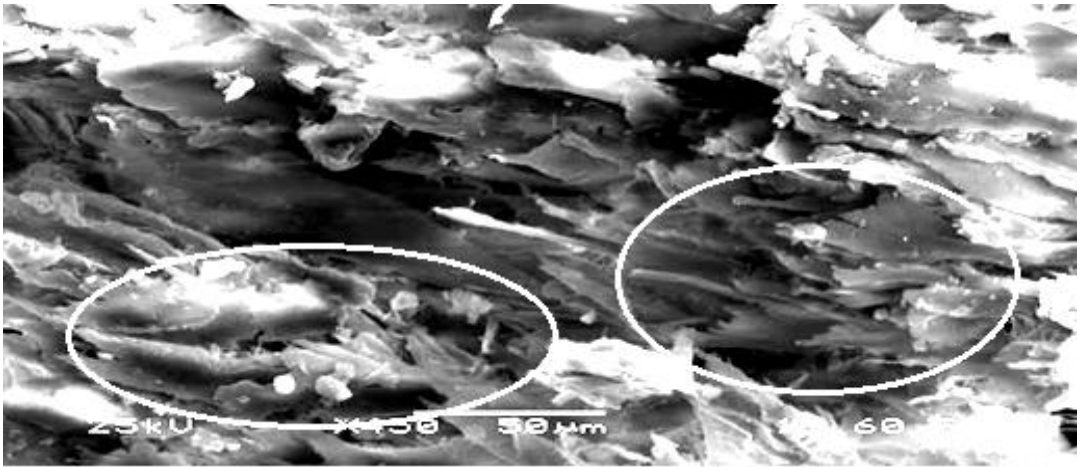
Resim 5.1. D4 tutkalı ile lamine edilen kontrol kavakta SEM görüntüsü

Resim 5.1'e göre, D4 tutkalı ile lamine edilen kontrol kavakta SEM görüntüsü incelendiğinde tutkal yapısının bozunuma uğramadan kaldığı ve odun dokusunun değişmediği belirlenmiştir.



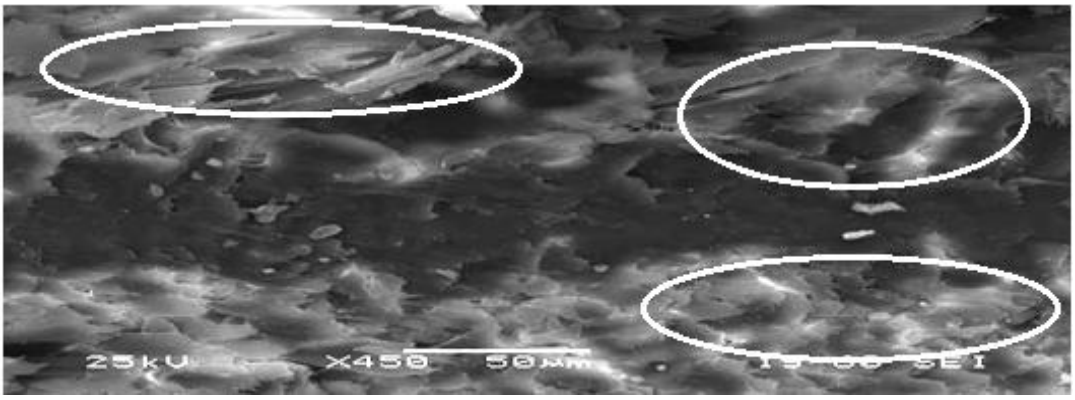
Resim 5.2. MF tutkalı ile lamine edilen 185 °C ısıl işlemli kavakta SEM görüntüsü

Resim 5.2'ye göre, MF tutkalı ile lamine edilen 185 °C ısıl işlemli kavak odununda hücre yapısının işaretli yerlerde bir miktar bozunuma uğradığı, odun dokusunda iç gerilmelere bağlı olarak yırtılmaların gerçekleştiği ve tutkal derzinin ısıl işlemden sonra bir miktar koyulaştığı belirlenmiştir.



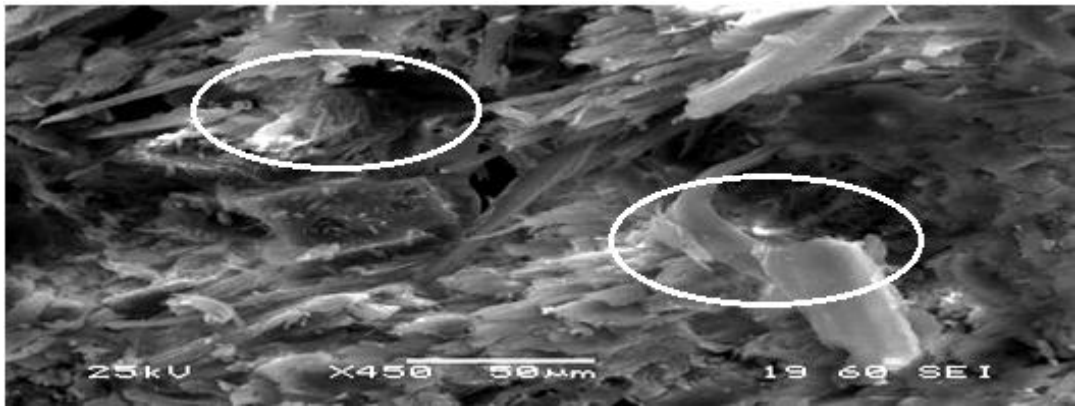
Resim 5.3. PU tutkalı ile lamine edilen 212 °C ısıl işlemli kavakta SEM görüntüsü

PU tutkalı ile lamine edilen 212 °C ısıl işlemli kavakta SEM görüntüsü incelendiğinde, ağaç dokusundaki gerilmelere bağlı kopma miktarında artışların gerçekleştiği ve odun yapısının bozunuma uğradığı belirlenmiştir. Bu durumda ağaç malzemede ana bileşenler arasındaki var olan kimyasal bağlar ile tutkal çözeltisinin adezyon ve kohezyon bağlarının zayıfladığı söylenebilir.



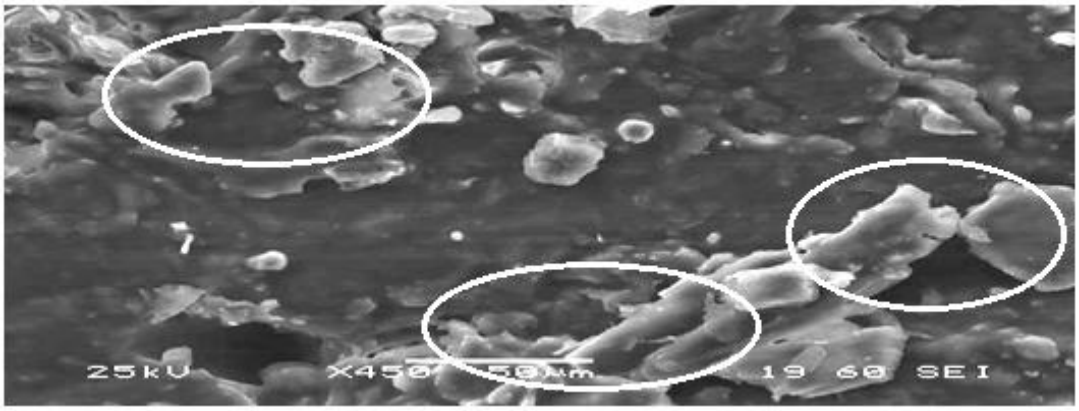
Resim 5.4. D4 tutkalı ile lamine edilen kontrol sarıçamda SEM görüntüsü

D4 tutkalı ile lamine edilen kontrol sarıçamda SEM görüntüsü incelendiğinde, ağaç malzeme dokusunda herhangi bir yırtılmanın veya yapısal değişimin olmadığı, tutkal derzininde değişmediği belirlenmiştir. Bu durumda ağaç malzeme ile tutkal arasında kurulan mekanik ve kimyasal bağlar, kararlı bir yapı sergilemektedir.



Resim 5.5. MF tutkalı ile lamine edilen 185 °C ısıl işlemli sarıçamda SEM görüntüsü

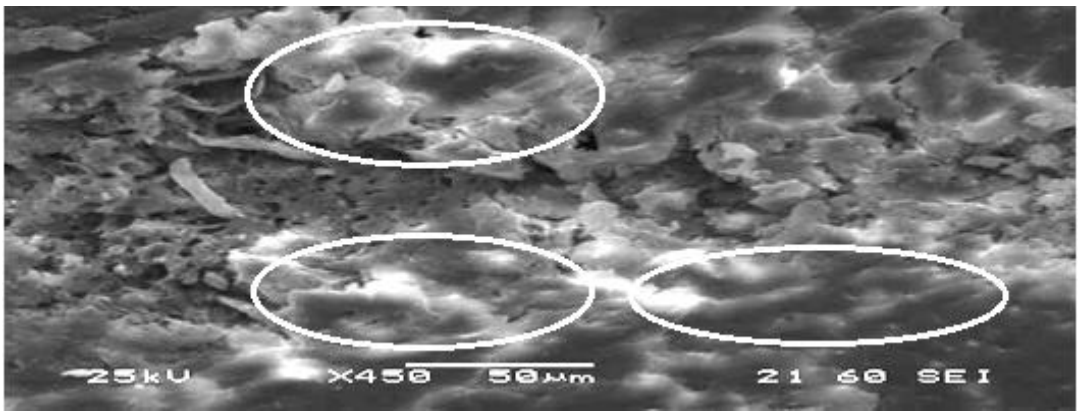
MF tutkalı ile lamine edilen 185 °C ısıl işlemli sarıçamda SEM görüntüsü incelendiğinde, odun dokusunda bir miktar iç gerilmelerden kaynaklanan lif demetlerinin koptuğu ve yapısal hasarın gerçekleştiği belirlenmiştir. Buna bağlı olarak mekanik dirençler azalmış olabilir.



Resim 5.6. PU tutkalı ile lamine edilen 212 °C ısıl işlemli sarıçamda SEM görüntüsü

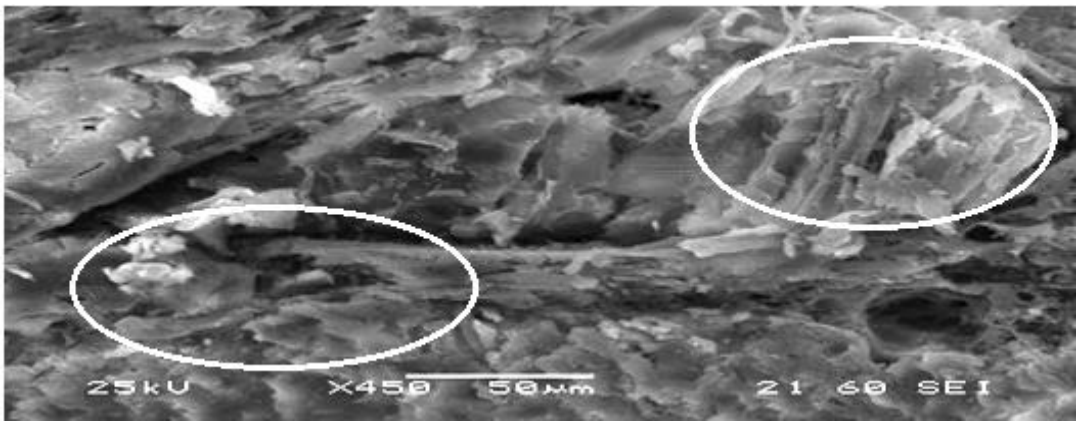
PU tutkalı ile lamine edilen 212 °C ısıl işlemli sarıçamda SEM görüntüsü incelendiğinde, ağaç malzeme dokusundaki parçalanmaların miktarında artışların

gerçekleştiği, tutkal derzinin geniş bir yapıda ve koyulaşmış halde olduğu belirlenmiştir. Tutkal derzindeki adezyon ve kohezyon bağlarının ısıl işlemden sonra azaldığı buna bağlı olarak en fazla mekanik direnç kayıplarının PU tutkalı ile lamine edilen örneklerde olduğu söylenebilir.



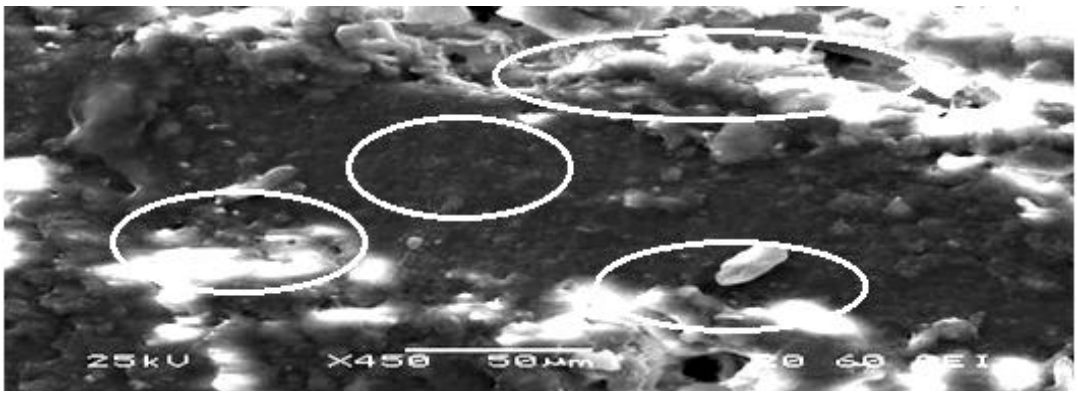
Resim 5.7. MF tutkalı ile lamine edilen kontrol sapsız meşede SEM görüntüsü

MF tutkalı ile lamine edilen kontrol sapsız meşede SEM görüntüsü incelendiğinde, ağaç malzeme yapısının değişmediği, lif demetlerinin bir birine yakın olduğu, tutkal derzinin vizkositeye bağlı olarak ağaç malzemenin iç kısımlarına kadar girdiği belirlenmiştir. Bu durumda ağaç malzeme kararlı bir yapıya sahip olmaktadır.



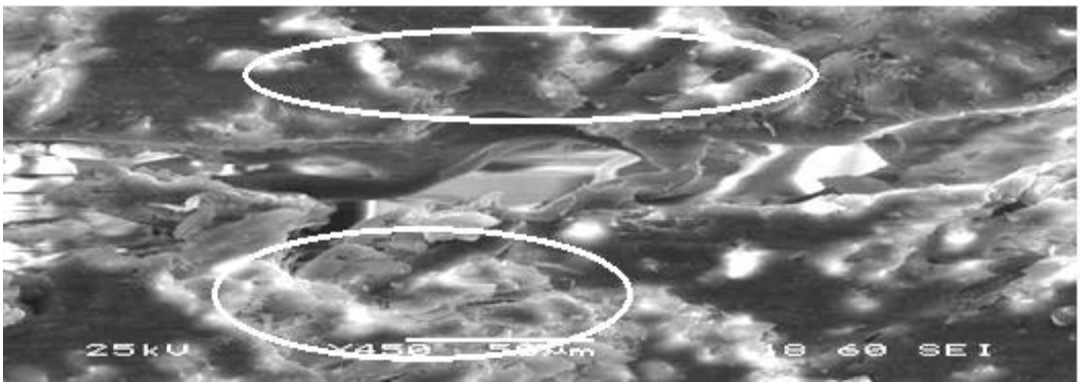
Resim 5.8. MF tutkalı ile lamine edilen 185 °C ısıl işlemli sapsız meşede SEM görüntüsü

MF tutkalı ile lamine edilen 185 °C ısıl işlemli sapsız meşede SEM görüntüsü incelendiğinde, sıcaklığın artması ile birlikte ağaç malzemenin dokusal hasara uğradığı, lif yapılarının iç gerilmelere bağlı olarak koptuğu ve fiziksel değişime uğradığı belirlenmiştir. Bu durumda az da olsa ağaç malzeme ile tutkal çözeltisi arasındaki kurulan mekanik ve kimyasal bağların zayıfladığı söylenebilir. Bunun sonucuda ağaç malzemede mekanik dirençlerin azalmasına katkı sağlamış olabilir.



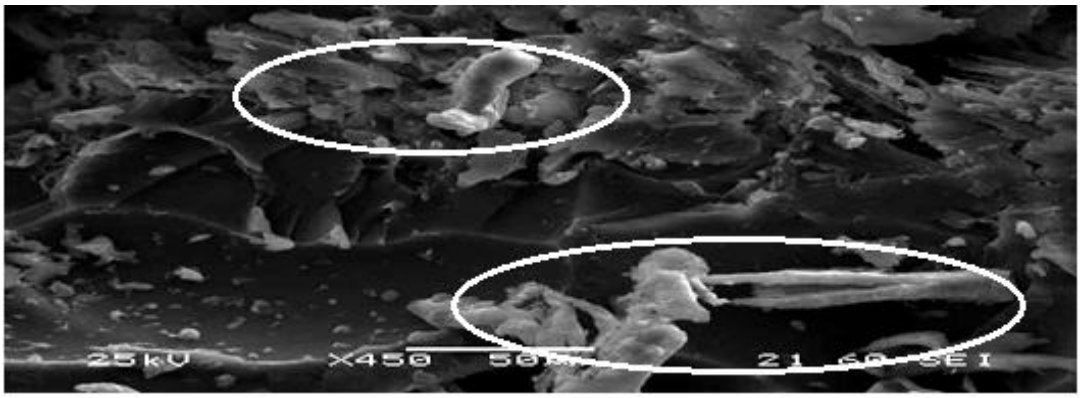
Resim 5.9. PU tutkalı ile lamine edilen 212 °C ısıl işlemli sapsız meşede SEM görüntüsü

PU tutkalı ile lamine edilen 212 °C ısıl işlemli sapsız meşede SEM görüntüsü incelendiğinde, ağaç malzemenin dokusal yapısının yüksek sıcaklıkta daha fazla degrade olduğu, tutkal yapısının kontrol örneğine göre bozunuma uğradığı ve renginin koyulaştığı belirlenmiştir. Mekanik özelliklerde, özelliklede PU tutkalında direnç kayıplarının fazla olduğu, bu durumun ısıl işlem esnasında sıcaklıktan en fazla olumsuz etkilenen tutkal türü olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.



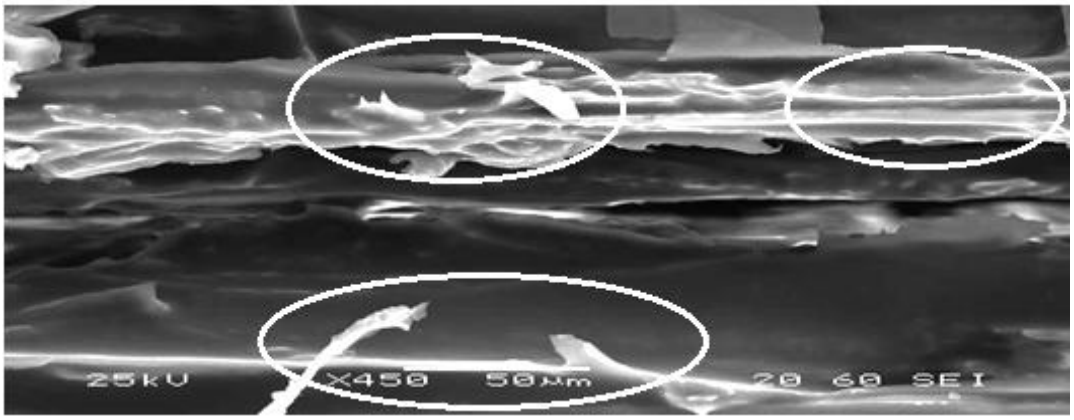
Resim 5.10. PU tutkalı ile lamine edilen kontrol Doğu kayınında SEM görüntüsü

PU tutkalı ile lamine edilen kontrol Doğu kayınında SEM görüntüsü incelendiğinde, ağaç malzemenin dokusal yapısının doğal halde olduğu, liflerin bir arada ve sıkı bir yapı sergilediği, tutkal yapısının şeffaf ve bozunmamış halde olduğu belirlenmiştir.



Resim 5.11. PU tutkalı ile lamine edilen 185 °C ısıl işlemli Doğu kayınında SEM görüntüsü

PU tutkalı ile lamine edilen 185 °C ısıl işlemli Doğu kayınında SEM görüntüsü incelendiğinde, sıcaklığın artması ile birlikte ağaç malzemenin dokularında lif demetlerinin değişime uğradığı, kopmaların arttığı, lif demetlerinin ayrıldığı, tutkal derzinin koyulaştığı belirlenmiştir. Buna bağlı olarak lamine ağaç malzemede tutkal hattının adezyon ve kohezyon bağlarının zayıfladığı ve bu durumun mekanik dirençlerde kayıpların yaşanmasında etkili olduğu söylenebilir.



Resim 5.12. PU tutkalı ile lamine edilen 212 °C ısıl işlemli Doğu kayınında SEM görüntüsü

PU tutkalı ile lamine edilen 212 °C ısıl işlemli Doğu kayınında SEM görüntüsü incelendiğinde, sıcaklığın artması ile birlikte liflerde kopmaların meydana geldiği ve tutkal derzinin daha da koyulaştığı belirlenmiştir. Bununla beraber PU tutkalı ile lamine edilen örnekler, yüksek sıcaklıkta ısıl işleme maruz kaldıktan sonra tutkal hattında ve örneklerin üzerlerinde yağlı ve siyah bir katmanın bulunduğu belirlenmiştir. Bu durumda tutkal derzinin yapısal özelliklerinin değiştiğinden ve çalışmada ısıl işlemden en fazla olumsuz etkilenen tutkal türünün PU olduğundan söz edilebilir.

Literatürde ısıl işleme tabi tutulan çam odununda meydana gelen biyolojik değişimler SEM görüntüleri yardımı ile yorumlanmış ve ısıl işlemin çam odununda yüzey karakteristiğini bozduğu, hücre yapısında tamiri zor bozunmaları meydana getirdiği ve yüzey gerilmelerine bağlı çatlakların oluştuğu, porozitenin arttığı bu durumun kontrol örneklerinde görülmediği belirtilmiştir [Gosselink ve ark., 2004; Johansson,2008].

Sapsız meşe ve Doğu kayınında sıcaklığa bağlı olarak yüzey karekteristiği bozulmuş fakat kavak ve sarıçam kadar etkilenmemiştir. Bu durumun yüksek yoğunluktan kaynaklandığı düşünülmektedir. Isıl işlem yoğunluğu yüksek olan ağaç türlerinde de deformasyon oluşumunda etkili olmuş, fakat yoğunluğu düşük olan ağaçlarla kıyaslandığında büyük çapta olmamıştır. Yapılan incelemelerde sıcaklığa bağlı

olarak tutkal ve ağaç malzeme renginin koyulaştığı ve sıcaklık arttıkça daha da fazla renk koyulaşmalarının olduğu, küçük çapta yüzey ve iç çatlaklarının meydana geldiği, lif demetlerinin ayrıldığı, dallandığı ve yer yer kopmaların gerçekleştiği belirlenmiştir.

Literatürde ısıl işlemin kayın odununda teknolojik özelliklere etkisi, SEM analizleri yardımıyla değerlendirilirken yüksek sıcaklıkta kayın odununda yüzey karakteristiğinin çok fazla bozulmadığı, hatta kontrol örneklerine yakın sonuçların elde edildiği belirtilmiştir. Bu durumdan uygulanan ısıl işlem şartları öncelikli olarak sorumlu tutulmuştur. Fakat şartlar zorlaştıkca, ağaç malzemede radyal iç çatlakların oluştuğu, anotomik yapının değiştiği, lif demetlerinde ani kopmaların, çöküntülerin ve deformasyonların olduğu, fakat bu durumun değişik ısıl işlem prosesleri geliştirilerek en aza indirilebileceği belirtilmiştir. Benzer bir çalışmada da ısıl işlem uygulamalarının yapraklı ve iğne yapraklı ağaçlarda aynı etkiye benzer sonuçlar verdiği, fakat temel karakteristiklerde farklı sonuçların elde edildiği belirtilmiştir [Kollmann ve Sachs, 1967; Boonstra ve ark., 2006 (a); Boonstra ve ark., 2006(b)].

Isıl işlem ağaç malzemede iç ve yüzey gerilmelerinin artmasına neden olurken, hücre yapılarınıda bozarak mekanik dirençlerin azalmasına neden olmaktadır. Fakat ısıl işlemin bu etkileri proses şartları uygun seviyede ayarlanabilirse minimum düzeyde gerçekleşebilmektedir. 210 °C'de 6 saat yapılan ısıl işlemde ağaç malzemedeki olası değişimler SEM incelemeleri ile değerlendirilmiş ve hücre yapısının ve yüzey karakteristiğinin belirgin bir şekilde değişmeden kaldığı, hiçbir deformasyon veya hasarın gerçekleşmediği, radyal ve teğet çatlakların gerçekleşmediği, paranşim hücrelerinin bile bozulmadan kaldığı belirtilmiştir[Dubey, 2010].

Genel olarak değerlendirilen SEM görüntülerinde, ısıl işleme maruz kalan örneklerde deformasyonların sıcaklığa bağlı olarak arttığı, iç ve yüzey çatlaklarının meydana geldiği, ısıl işlem gören örneklerde yüzey porozitesinin arttığı, renk koyulaşmalarının fazlalaştığı belirlenmiştir. Isıl işleme maruz kalan ağaç malzemelerin SEM incelemelerinde özelliklede oksidasyon reaksiyonları boyunca yüzeydeki temel

yapılarda ve porozitede değişimlerin olduğu, klorifik yapının arttığı belirlenmiştir [Dumanlı ve ark., 2004].

Yüksek sıcaklıkta ısıl işleme maruz kalan deney örneklerinde özellikle mekanik dirençlerin düşmesinden; tutkal ve ağaç malzeme arasında kurulan adezyon ve kohezyon bağlarının zayıflaması, değişen kimyasal yapının bir kısmının telafi edilebilir çoğunun ise telafisinin mümkün olmayacağı düzeyde gerçekleşmesi, lif demetleri arasındaki bağların zayıflaması veya kopması dolayısı ile yarılma riskinin artması, gözle görülemeyecek kadar iç çatlakların meydana gelmesi sorumlu olabilir. Değişik yoğunluklardaki ağaç türlerine farklı ısıl işlem prosesleri geliştirilerek yaşanan bu direnç kayıplarının telafisi mümkün olabilir.

6. SONUÇ TARTIŞMA VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, ağaç işleri ve mobilya endüstrisinde yaygın olarak kullanılan bazı lamine ağaç malzemelerin doğal bir odun modifikasyon yöntemi olan ısıl işleme tabi tutulması ile fiziksel, mekanik ve teknolojik özelliklerinde meydana gelen değişimler hakkında sayısal veriler elde edilmiştir. Bununla beraber sektörde yaygın olarak kullanım alanı bulunan tutkal türleri yapıştırıcı olarak tercih edilmiştir. Ortaya çıkan sonuçlarla gerek bilimsel açıdan gerekse uygulamaya yönelik önerilerle yorumlanmıştır.

Hava kurusu yoğunluk;

Hava kurusu yoğunluk, en yülsek PU tutkalı ile lamine edilen kontrol Doğu kayınında, en düşük ise PU tutkalı ile lamine edilen 212 °C ısıl işlemli kavakta elde edilmiştir.

Ağaç malzeme türüne göre hava kurusu yoğunluk, en yüksek Doğu kayınında elde edilirken bunu sırayla sapsız meşe, sarıçam ve kavak takip etmiştir. Literatürde lamine edilmiş Doğu kayınının hava kurusu yoğunluk değeri 0,680 g/cm^3, sapsız meşenin 0,627 g/cm^3, sarıçamın 0,519 g/cm^3 ve kavağın 0,412 g/cm^3 olarak verilmiştir [Keskin 2001; Keskin ve Togay, 2003]. Çalışmadan elde edilen sonuçlar literatürle uyumlu çıkarken lamine ağaç malzemelerin yoğunlukları literatürdeki masif malzemeye göre yüksek çıkmıştır. Bunun nedeni, kaplamalar arasına daha yüksek yoğunluklu tutkal katmanının katılması ve laminasyon sırasında uygulanan pres basıncının ağaç malzemeyi hacimsel olarak sıkıştırmış olmasından kaynaklandığı söylenebilir.

Tutkal çeşidine göre hava kurusu yoğunluk, en yüksek D4 tutkalı ile lamine edilen örneklerde elde edilirken bunu sırasıyla MF ve PU tutkalları ile lamine edilen örnekler takip etmiştir. Tutkallar arasındaki farkın nedeni her birinin katı madde miktarlarının ve genel yapılarının birbirlerinden farklı olmasından kaynaklandığı söylenebilir. Sonuçlar literatürlede uyumludur [Doruk, 2009].

Isıl işlem sıcaklığına göre hava kurusu yoğunluk, en yüksek 185 °C ısıl işlemli örneklerde, en düşük ise 212 °C ısıl işlemli örneklerde elde edilirken edilirken, ısıl işleme bağlı olarak hava kurusu yoğunluk değeri yaklaşık % 10 ve %13 oranında azalmıştır. Hava kurusu yoğunluk değerinin azalmasına ağaç malzemenin yapısında meydana gelen kütle kayıplarının neden olduğu düşünülmektedir. Isıl işlemin başta hemiselüloz olmak üzere selüloz ve lignindeki bozunumların kütle kayıplarına neden olduğu düşünülmektedir. Literatürde ısıl işleme bağlı olarak yoğunluk kayıplarının yaşanmasında kütle kaybının önemli rol oynadığını gösteren çalışmalar mevcuttur [Fengel ve Wegener, 1984; Kollmann ve Schneider, 1963; Yıldız, 2002].

Hava kurusu yoğunlukta ağaç malzeme türü-tutkal çeşidi ikili etkileşimi, en yüksek MF tutkalı ile lamine edilen Doğu kayınında, en düşük ise PU tutkalı ile lamine edilen kavakta elde edilmiştir.

Hava kurusu yoğunlukta ağaç malzeme türü-ısıl işlem sıcaklığı ikili etkileşimi, en yüksek 185 °C ısıl işlemli Doğu kayınında, en düşük ise 212 °C ısıl işlemli kavakta elde edilmiştir. Her bir ağaç türünde ısıl işlemin sıcaklık derecesi yükseldikçe hava kurusu yoğunluk değerleri azalmıştır.

Hava kurusu yoğunlukta tutkal çeşidi-ısıl işlem sıcaklığı ikili etkileşimi, en yüksek 185 °C ısıl işlemli D4'te, en düşük ise 212°C ısıl işlemli PU'da belirlenmiştir. Her bir tutkal çeşidinde sıcaklık derecesi arttıkça hava kurusu yoğunluk değerleri azalmıştır.

Hava kurusu yoğunlukta ağaç malzeme türü-tutkal çeşidi-ısıl işlem sıcaklığı üçlü etkileşimi, en yüksek MF tutkalı ile lamine edilen 185 °C ısıl işlemli Doğu kayınında, en düşük ise PU tutkalı ile lamine edilen 212°C ısıl işlemli kavakta elde edilmiştir. Ağaç malzeme türlerinde ve tutkal çeşidinde uygulanan ısıl işlemin sıcaklık değeri yükseldikçe tüm gruplarda hava kurusu yoğunluk değeri azalmıştır. Ağaç malzemelerde ve tutkallarda meydana gelen kütle kayıplarının hava kurusu yoğunluk değerlerini düşürdüğü düşünülmektedir.

Tam kuru yoğunluk;

Tam kuru yoğunluk değeri, en yüksek PU tutkalı ile lamine edilen kontrol Doğu kayınında, en düşük PU tutkalı ile lamine edildikten sonra 212°C'de ısıl işleme tabi tutulan kavakta elde edilmiştir.

Ağaç malzeme türüne göre tam kuru yoğunluk, en yüksek Doğu kayınında elde edilirken bunu sırayla sapsız meşe, sarıçam ve kavak takip etmiştir. Literatürde lamine edilmiş Doğu kayınının tam kuru yoğunluk değeri 0,656 g/cm^3, sapsız meşenin 0,605 g/cm^3, sarıçamın 0,492 g/cm^3 olarak verilmiştir [Keskin, 2001]. Çalışmadan elde edilen sonuçlar literatürlede uyumlu çıkmıştır.

Tutkal çeşidine göre tam kuru yoğunluk, en yüksek D4 tutkalı ile lamine edilen örneklerde, en düşük ise PU tutkalı ile lamine edilen örneklerde elde edilmiştir. Tutkal çeşitlerinde meydana gelen bu farkın yapısal özelliklerinden ve tutkal katı madde miktarından kaynaklandığı düşünülmektedir.

Isıl işlem sıcaklığına göre tam kuru yoğunluk, en yüksek 185 °C ısıl işlemli örneklerde, en düşük ise 212 °C ısıl işlemli örneklerde elde edilmiştir. Isıl işleme bağlı olarak tam kuru yoğunluk değerleri % 7 ve %10 oranında azalmıştır. Tam kuru yoğunlukların azalmasına neden olarak ağaç malzemede bulunan suyun buharlaşması, hücre çeperlerinin bozunuma uğraması ve bazı ekstraktif maddelerin ağaç malzemeden uzaklaşması düşünülmektedir. Bu durum literatürlede benzerlik göstermektedir [Vital ve Lucia, 1982; Rusche, 1973]. Benzer bir çalışmada göknar ve gürgen odunları ısıl işleme tabi tutulmuşlardır. Çalışma sonucunda ısıl işlem süresi ve sıcaklığı arttıkça kütle kayıplarının yaşandığı bunun sonucunda da yoğunluk değerlerinin azaldığı belirtilmiştir [Aydemir, 2007].

Tam kuru yoğunlukta ağaç malzeme türü-tutkal çeşidi ikili etkileşimi, en yüksek MF tutkalı ile lamine edilen Doğu kayınında, en düşük PU tutkalı ile lamine edilen kavakta elde edilmiştir. MF tutkalının viskozitesinin düşük olması nedeniyle ağaç malzemeye daha fazla nüfuz etmesinden yüksek çıkmış olabilir.

Tam kuru yoğunlukta ağaç malzeme türü-ısıl işlem sıcaklığı ikili etkileşimi, en yüksek 185 °C ısıl işlemli Doğu kayınında, en düşük ise 212 °C ısıl işlemli kavakta elde edilmiştir. Isıl işlem esnasında meydana gelen kütlesel kayıplar, ısıl işlemli örneklerin düşük çıkmasına katkı sağlamış olabilir

Tam kuru yoğunlukta tutkal çeşidi-ısıl işlem sıcaklığı ikili etkileşimi, en yüksek 185 °C ısıl işlemli MF'de, en düşük ise 212 °C ısıl işlemli PU'da elde edilmiştir. Isıl işlemin, tutkal çeşitlerinde de kütle kayıplarına neden olması düşük çıkmasına neden olmuş olabilir.

Tam kuru yoğunlukta ağaç malzeme türü-tutkal çeşidi-ısıl işlem sıcaklığı üçlü etkileşimi, en yüksek MF tutkalı ile lamine edilen 185 °C ısıl işlemli Doğu kayınında, en düşük ise PU tutkalı ile lamine edilen 212 °C ısıl işlemli kavakta elde edilmiştir. Ağaç malzeme türlerinde ve tutkal çeşidinde ısıl işlem sıcaklığına bağlı olarak tam kuru yoğunluk değerleri azalmıştır.

Eğilme Direnci;

Eğilme direnci, en yüksek D4 tutkalı ile lamine edilmiş kontrol Doğu kayınında, en düşük ise PU tutkalı ile lamine edilen 212 °C ısıl işlemli kavakta elde edilmiştir.

Ağaç malzeme türüne göre eğilme direnci, en yüksek Doğu kayınında elde edilirken, bunu sırayla sapsız meşe, sarıçam ve kavak takip etmiştir. Literatürde PVAc-D4 tutkalı ile lamine edilmiş Doğu kayınının eğilme direnci 124,84 N/mm^2, sapsız meşenin 110,14 N/mm^2, sarıçamın 105,04 N/mm^2 olarak verilmiştir [Keskin, 2001]. Çalışmadan elde edilen eğilme direnci değerlerinin literatürdeki eğilme direncine göre düşük çıkmasında ısıl işlem uygulamasının etkili olduğu düşünülmektedir. Başka bir çalışmada da PVAc tutkalı ile R-T-R düzeninde üç katlı lamine edilmiş sarıçamda eğilme direnci 92,7 N/mm^2 olarak bulunmuştur [Dilik,1997]. Benzer bir çalışmada da PVAc tutkalı ile 3, 5 ve 7 katlı lamine edilmiş ağaç malzemede eğilme direnci; Sarıçamda sırasıyla 97 N/mm^2, 102 N/mm^2, 103 N/mm^2, Doğu kayınında

sırasıyla 127 N/mm^2, 135 N/mm^2, 104 N/mm^2, sapsız meşede sırasıyla 104 N/mm^2, 102 N/mm^2, 76 N/mm^2 olarak bulunmuştur [Döngel, 1999].

Tutkal çeşidine göre eğilme direnci, en yüksek MF tutkalı ile lamine edilen örneklerde elde edilirken bunu sırasıyla PU ve D4 tutkalları ile lamine edilen örnekler takip etmiştir. PU ve D4 tutkalları arasında eğilme direncinde meydana gelen farkın istatistiksel anlamda bir önemi yoktur. MF tutkalında yüksek çıkması, ısıyla etkileşime giren tutkal hattının sertleşerek geri dönüşümsüz bir katman oluşturmasından meydana gelmiş olabilir.

Isıl işlem sıcaklığına göre eğilme direnci, en yüksek 185 ºC ısıl işlemli örneklerde, en düşük ise 212 ºC ısıl işlemli örneklerde elde edilmiştir. Isıl işleme bağlı olarak eğilme direnci değerleri kontrol örneklerine göre yaklaşık % 16 ve % 30 oranında azalmıştır. Eğilme direnci kayıplarının yaşanmasında, ısıl işleme maruz kalan odun örneklerinde termal bozunma sonucu meydana gelen ağırlık kayıplarının oluşması, yapısında bulunan hemiselüloz oranındaki azalmalar ayrıca lignin ve selüloz yapılarında meydana gelen bozunmaların etkin rol oynadığı düşünülmektedir. Sonuçlar literatürlede uyumlu çıkmıştır [Korkut ve ark., 2008]. Literatürde ısıl işlem sonucunda ağaç malzemede meydana gelen ağırlık kayıplarından en olumsuz etkilenen mekanik özelliklerden birinin eğilme direnci olduğuna vurgu yapan çalışmalar mevcuttur [Maclean, 1951; Millett ve Gerhards, 1972]. Başka bir çalışmada ise Okalyptus odununu değişik sürelerde ve sıcaklıklarda ısıl işleme tabi tutulduktan sonra eğilme direncinde belli oranlarda kayıpların yaşandığını belirtilmiştir [Vital ve ark., 1983]. Başka bir çalışmada da normal basınç altında çam odunu örneklerine 180-250 °C sıcaklıklarda ısıl işlem uygulanmıştır. Deney sonunda eğilme direncinde % 14'lük bir düşüş görülmüştür [Viitaniemi, 1997].

Eğilme direncinde ağaç malzeme türü-tutkal çeşidi ikili etkileşimi, en yüksek MF tutkalı ile lamine edilen Doğu kayınında, en düşük ise PU tutkalı ile lamine edilen kavakta elde edilmiştir. Doğu kayınında ve MF 'de yüksek çıkması, yoğunluğunun yüksek olmasından ve ısıl işlemden ez az olumsuz etkilenen tutkalın MF olmasından kaynaklanmış olabilir.

Eğilme direncinde ağaç malzeme türü-ısıl işlem sıcaklığı ikili etkileşimi, en yüksek 185 °C ısıl işlemli Doğu kayınında, en düşük ise 212 °C ısıl işlemli kavakta elde edilmiştir. Doğu kayınında yüksek çıkması düşük sıcaklıkta en az bozunuma uğrayan ağaç türü olmasından kaynaklanabilir.

Eğilme direncinde tutkal çeşidi-ısıl işlem sıcaklığı ikili etkileşimi, en yüksek 185 °C ısıl işlemli PU'da, en düşük ise 212 °C ısıl işlemli PU'da elde edilmiştir. Bu durumda en fazla direnç kaybı PU tutkalında gerçekleşmiştir. Bu durum, PU tutkalının düşük sıcaklıkta ısıl işleme karşı yeteri kadar direnç gösterebilirken, yüksek sıcaklıkta kohezyon ve adezyon bağlarının zayıflamasından kaynaklanmış olabilir.

Eğilme direncinde ağaç malzeme türü-tutkal çeşidi-ısıl işlem sıcaklığı üçlü etkileşimi, en yüksek PU tutkalı ile lamine edilen 185 °C ısıl işlemli Doğu kayınında, en düşük ise PU tutkalı ile lamine edilen 212 °C ısıl işlemli kavakta elde edilmiştir. Bu sonuçlara göre tüm ağaç malzeme türlerinde ve tutkal çeşidinde ısıl işleme bağlı olarak eğilme direnci kayıpları gerçekleşmiştir. Isıl işlemle birlikte ağaç malzemelerin hücre yapılarında başta hemiselüloz olmak üzere selüloz ve lignin maddelerinde meydana gelen bozunmalar, tutkal çeşitlerinde de adezyon ve kohezyon bağlarının zayıflaması direnç kaybına neden olmuş olabilir.

Elastikiyet modülü;

Elastikiyet modülü, en yüksek D4 tutkalı ile lamine edilen kontrol Doğu kayınında, en düşük ise PU tutkalı ile lamine edilen 212 °C ısıl işlemli kavakta elde edilmiştir.

Ağaç malzeme türüne göre eğilmede elastikiyet modülü, en yüksek Doğu kayınında elde edilirken bunu sırasıyla sapsız meşe, sarıçam ve en düşük kavak takip etmiştir. Doğu kayınında yüksek çıkması yoğunluğunun yüksek olmasından kaynaklanmış olabilir. Literatürde PVAc tutkalı ile lamine edilmiş 2 mm kalınlığındaki Doğu kayınının elastikiyet modülü 11963,4 N/mm^2 olarak verilmiştir [Şenay, 1999]. Benzer bir çalışmada masif sapsız meşenin elastikiyet modülü 11000 N/mm^2, sarıçamın 10200 N/mm^2, Doğu kayınında ise 12500 N/mm^2 olarak verilmiştir

[Toker, 1960; Bozkurt ve Erdin, 1997]. Başka bir çalışmada da PVAc-D4 tutkalı lamine edilmiş ağaç malzemede eğilmede elastikiyet modülü; sarıçamda 10223,38 N/mm^2, Doğu kayınında 12874,34 N/mm^2, sapsız meşede 11204,99 N/mm^2 olarak bulunmuştur [Keskin, 2001]. Çalışmadan elde edilen sonuçlar literatürlede uyumlu çıkmıştır.

Tutkal çeşidine göre eğilmede elastikiyet modülü, en yüksek MF tutkalı ile lamine edilen örneklerde, en düşük ise PU tutkalı ile lamine edilen örneklerde elde edilmiştir. MF ve D4 tutkallar arasındaki elastikiyet modülünde meydana gelen farkın istatistiksel anlamda bir önemi yoktur. PU tutkalında düşük çıkması, ısıl işlem esnasında adezyon ve kohezyon kuvvetlerinin zayıflayarak sıcaklıktan en fazla etkilenen tutkal türü olmasından kaynaklanabilir. MF tutkalında ise yüksek çıkması ısıl işlem sonrasında yapısı değişen tutkal hattının sertleşmesi elastikiyet modülünü arttırmış olabilir.

Isıl işlem sıcaklığına göre eğilmede elastikiyet modülü, en yüksek 185 °C ısıl işlemli örneklerde, en düşük ise 212 ºC ısıl işlemli örneklerde elde edilmiştir. Kontrol örneklerine göre ısıl işlem uygulanan örneklerin eğilmede elastikiyet modülü % 7 ve % 18 oranında azalmıştır. Literatürde, 150 ºC'nin üzerinde işlem gören çam örneklerin elastikiyet modülünde ciddi ölçüde düşüşlerin gerçekleştiği belirtilmiştir [Schneider, 1971]. Çalışmada elastikiyet modündeki düşüşlerin, ağaç malzemenin rutubet değerlerinin azalmasından ve termal bozunmadan kaynaklandığı düşünülmektedir. Daha önceki çalışmalarda ısıl işlem sonucunda eğilme direnci ve elastikiyet modülü değerlerinde meydana gelen düşüşlerin en büyük nedeni olarak, ağaç malzemelerin sahip oldukları rutubet ve ısıl işlem atmosferinin şartları görülmektedir. Sıcaklık arttıkça ve ortam şartları zorlaştıkca ağaç malzemede meydana gelen yapısal deformasyonların fazla olduğu ve bu durumun elastikiyet modülünü olumsuz etkilediği belirtilmiştir [Mitchell,1988]. Çalışmadan elde edilen sonuçlar literatürlede uyumlu çıkmıştır [Yıldız, 2002].

MF tutkalı ile lamine edildikten sonra ısıl işleme maruz bırakılan sapsız meşe örneklerin elastikiyet modülleri kontrol örneklerine göre nispeten yüksek çıkmıştır.

Burada özellikle MF tutkalı ile lamine edilen sapsız meşe odununda bu sonucun çıkması dikkat çekici olarak görülmüştür. Literatürde ısıl işlemin elastikiyet modülünü arttırdığına dair çalışmalar mevcuttur [Inoue ve ark., 1993; Santos, 2000]. Isıl işlemin ağaç malzemenin elastikiyet modülünü arttırdığı şu şekilde ifade edilmiştir; odun kısmen kristal yapıdaki mikrofibrillerden ve çokca hemiselüloz ve lignin gibi amorf polimerik temel yapı taşlarından meydana gelmektedir. Yüksek sıcaklıklarla birlikte bir çok amorf polimerik maddeler kırılgan yapılarını daha elastik bir hale dönüştürmektedirler. Belli sıcaklıkların üzerinde hemiselülozun (127-235°C), ligninin (167-217°C) ve selülozun (231-253°C) fiziksel karakteristikleri plastik safhaya geçer. Odunun termal yumuşaması, buharlamanın ve suyun bir plastikleştirici olarak hareket etmesi ile yumuşama noktasının (180°C) azalmasına rağmen 200°C'nin üzerinde bir bütün olarak meydana gelir. Lignin ve hemiselülozun termal davranışı, selüloz ile moleküllerarası ikincil bağlar sebebiyle etkileşimler tarafından sınırlandığı görülür. Isıl işlem süresince ilk önce hemiselülozun bozunması ikincil bağları etkilediğinden lignin ve hemiselülozun kalıcı plastikleşmesine yol açar. Soğutma safhasında ise bu bileşenler tekrar rijit olur ve moleküler polimer yapı değişebilir. Bu durum direnç özelliklerini etkileyen odunun ana bileşenleri arasındaki etkileşimi etkilemektedir [Korkut ve Kocaefe, 2009; Boonstra, 2008]. Ayrıca kırılgan halden daha elastik bir hale dönme veya yumuşama sıcaklığında bireysel polimerlerin karşılıklı çekim kuvvetlerini azaltan yeterli enerjiye sahip olmaları söz konusudur. Böylelikle odun polimerleri daha elastik bir hale dönüşebilmektedirler. Buharlama sırasında pektinin tümü ve lignin bir kısmı çözülebilmektedir. Orta lameldeki bağlayıcı maddenin çözülmesi dokuları gevşetmekte ve odun böylece daha elastik bir yapıya bürünmektedir [Hillis ve Rozsa, 1978; Yıldız, 2002]. Isıl işlem uygulanmış ağaç malzemede yapı bileşenlerinden hemüselülozun yıkımlanması, lignin hemiselüloz matriksinin yük paylaşım kapasitesinin bozulması ve kristalimsi selüloz molekülündeki nispi artma elastikiyet modülünün artmasına katkıda bulunur. Ayıca lignin bağının çapraz bağlanmasındaki artma orta lamelin direnç karakteristiklerini ve selüloz mikrofibril/fibrilleri etrafındaki rijit yapıyı iyileştirdiği için elastikiyet modülünü büyük olasılıkla etkilemektedir. Bundan başka ısıl işlem uygulanmış odun ısıl işlem uygulanmamış oduna nazaran hücre çeperinde daha az bağıl su içermesi sonucu daha az higroskopik

olması ve bu durumun odunu daha az esnek yapmasından dolayı elastikiyet modülünü etkilemektedir [Korkut ve Kocaefe, 2009; Boonstra, 2008].

Eğilmede elastikiyet modülünde ağaç malzeme türü-tutkal çeşidi ikili etkileşimi, en yüksek D4 tutkalı ile lamine edilen Doğu kayınında, en düşük ise MF tutkalı ile lamine edilen kavakta elde edilmiştir. Yoğunluğu yüksek olan ağaç türlerinde elastikiyet modülü yüksek çıkmıştır.

Eğilmede elastikiyet modülünde ağaç malzeme türü-ısıl işlem sıcaklığı ikili etkileşimi, en yüksek 185 °C ısıl işlemli Doğu kayınında, en düşük ise 212 °C'de ısıl işlemli kavakta elde edilmiştir. Isıl işlem, kontrol örneklerine göre tüm ağaç türlerinde elastikiyet modülünü azaltıcı etki yaparken en fazla sarıçamda düşürmüştür.

Eğilmede elastikiyet modülünde tutkal çeşidi-ısıl işlem sıcaklığı ikili etkileşimi, en yüksek 185 °C ısıl işlemli MF'de, en düşük ise 212 °C 'de ısıl işlemli PU'da elde edilmiştir. Isıl işlem, tüm tutkal çeşitlerinde elastikiyet modülünü azaltıcı etki yapmış, kontrol örneklerine göre en fazla elastikiyet modülü kaybı PU tutkalında elde edilmiştir. Bu durum, ısıl işlemin tutkalların kendi molekülleri arasındaki kohezyon kevveti ile ağaç malzeme arasındaki adezyon kuvvetini azaltmasından kaynaklanmış olabilir.

Eğilmede elastikiyet modülünde ağaç malzeme türü-tutkal çeşidi-ısıl işlem sıcaklığı üçlü etkileşimi, en yüksek, MF tutkalı ile lamine edilen 185 °C ısıl işlemli sapsız meşede, en düşük ise PU tutkalı ile lamine edilen 212 °C ısıl işlemli kavakta elde edilmiştir. MF tutkalı ile lamine edilen ve 185 °C ısıl işlemli sapsız meşede yüksek çıkması, MF tutkalının ısıl işlemle birlikte tepkimeye girerek yapısının sertleşmesi ve geri dönüşümsüz bir katman oluşturmasından kaynaklanabilir. En fazla eğilmede elastikiyet modülü kaybı PU tutkalında olmuştur. Bu durum, ısıl işlem esnasında sıcaklıktan en fazla olumsuz etkilenerek adezyon ve kohezyon bağlarının zayıfladığı tutkal çeşidinin PU olduğu şeklinde yorumlanabilir.

Liflere Paralel Basınç direnci;

Liflere paralel basınç direnci, en yüksek MF tutkalı ile lamime edilen 185 °C ısıl işlemli sapsız meşede, en düşük ise PU tutkalı ile lamine edilen 212 °C ısıl işlemli kavakta elde edilmiştir.

Ağaç malzeme türüne göre liflere paralel basınç direnci, en yüksek sapsız meşede elde edilirken bunu sırasıyla Doğu kayını, sarıçam ve en düşük kavak takip etmiştir. Sarıçam ve kavakta düşük çıkması yoğunluğunun düşük olmasından kaynaklanabilir. Ayrıca ısıl işlem esnasında yoğunluğu düşük olan ağaç malzeme türlerinin daha fazla termal bozunuma uğraması, hemiselüloz ve ligninin yıkımlanması basınç direncini azaltmış olabilir. Bu durum literatürlede uyumlu çıkmıştır [Yıldız, 2002]. Literatürde FF ve MF tutkalları ile lamine edilen Doğu kayını ve sarıçamda liflere paralel basınç direnci sırasıyla 85,31 N/mm^2, 91,30 N/mm^2, 70,41 N/mm^2 ve 77,25 N/mm^2, olarak bildirilmiştir [Özçifçi, 2001]. Başka bir çalışmada ise lamine edilen Doğu kayınında basınç direnci 74,19 N/mm^2, meşede 70,97 N/mm^2, sarıçamda 57,29 N/mm^2 olarak elde edilmiştir [Keskin, 2001].

Tutkal çeşidine göre liflere paralel basınç direnci, en yüksek MF tutkalı ile lamine edilen örneklerde tespit edilirken bunu sırasıyla D4 ve en düşük PU tutkalı ile lamine edilen örnekler takip etmiştir. PU tutkalının düşük çıkması, ısıl işlem esnasında yüksek sıcaklıkta adezyon-kohezyon bağlarının en fazla zayıflayan tutkal çeşidi olması ve basınç altında katmanların daha kolay ayrılarak liflere paralel basınç direncinin azalmasından kaynaklanabilir. Diğer mekanik testlerde de düşük çıkması bu düşünceyi destekler niteliktedir.

Isıl işlem sıcaklığına göre liflere paralel basınç direnci, en yüksek 185 °C ısıl işlemli örneklerde elde edilirken, en düşük 212 ºC ısıl işlemli örneklerde elde edilmiştir. Kontrol örneklerine göre ısıl işleme maruz bırakılan örneklerin liflere paralel basınç direnci yaklaşık % 3 ve % 13 oranında azalmıştır. Isıl işlem esnasında ağaç molekülleri ile tutkal molekülleri arasında kurulan adezyon ve kohezyon bağlarının zayıflaması basınç direncini azaltmış olabilir. Ayrıca ısıl işlem sonrasında yaşanan

kütle kayıpları, basınç direncinin azalmasına katkıda bulunmuş olabilir. Literatürde ısıl işleme bağlı olarak basınç direncinin azalmasını ağaç malzemenin molekülleri arasındaki bağların zayıflamasına ve kütle kayıplarına bağlayan çalışmalar mevcuttur [Yıldız, 2002; Kotilainen,2000; Rusche,1973].

MF tutkalı ile lamine edildikten sonra ısıl işlem uygulanan kavak, sarıçam ve sapsız meşe odunlarının basınç direnci kontrol örneklerine göre yüksek çıkmıştır. Dikkat çekici başka bir nokta da, düşük sıcaklıkta basınç direnci artarken, sıcaklık derecesi arttıkça basınç direnci azalmış ama yinede kontrollere göre yüksek çıkmıştır. Bu sonuçlar literatürlede uyumlu çıkmıştır[Altınok ve ark.,2010; Özçifçi ve ark., 2009].

Liflere paralel basınç direncinde ağaç malzeme türü-tutkal çeşidi ikili etkileşimi, en yüksek MF tutkalı ile lamine edilen sapsız meşede, en düşük ise PU tutkalı ile lamine edilen kavakta elde edilmiştir. Isıl işlemden sonra MF tutkalının sapsız meşe ile kuvvetli bir bağ kurarak sertleşmesi yüksek çıkmasına neden olmuş olabilir.

Liflere paralel basınç direncinde ağaç malzeme türü-ısıl işlem sıcaklığı ikili etkileşimi, en yüksek 185 °C ısıl işlemli sapsız meşede, en düşük ise 212 °C ısıl işlemli kavakta elde edilmiştir. Liflere paralel basınç direncinin kontrol örneklerine göre sapsız meşede yüksek çıkması, ısıl işlemden sonra ana bileşenlerin ve hücre yapısının değişmesiyle ilgili olabilir. Isıl işlemden sonra amorf selülozun bozunması veya kristalleşmesi sebebiyle yüksek derecede düzenli kristalimsi selüloz miktarı artmaktadır. Kristalimsi selüloz anizotropik yapı sergilediği için katı ve rijit yapısı boyuna yönde basınç direncinin artmasını sağlar. Lignin polimer ağının çapraz bağlanmasındaki artış da boyuna yöndeki basınç direncinin artmasının bir diğer sebebidir. Lignin mikrofibril veya fibrillerinin rijidite çubuğu olarak hareket eder ve polimerin çapraz bağındaki artma liflere paralel basınç yüklemesi boyunca meydana gelen liflere dik hareketleri önler veya sınırlar. Ayrıca lignin orta lamelin ana bileşenidir ve lignin polimer ağının çapraz bağlanmasındaki artma, orta lamelin direncini arttırır ve buda hücre çeperinin direnç özelliklerini etkilemektedir. Bu durumda, lignin polimer ağının odun direnci üzerine etkisi olduğu düşünülebilir [Korkut ve Kocaefe, 2009; Banoub ve Delmas, 2003].

Liflere paralel basınç direncinde tutkal çeşidi-ısıl işlem sıcaklığı ikili etkileşimi, en yüksek, 185 °C ısıl işlemli MF'de, en düşük ise 212 °C ısıl işlemli PU'da elde edilmiştir. MF tutkalının yapısal özelliklerinden ve ısıyla tepkimeye girerek sertleşmesinden yüksek çıkmış olabilir. PU tutkalının ısıl işlem esnasında su buharıyla tepkimeye girerek gaz çıkarması, lamellerin yüzeyinde yağlı ve kaygan bir tabaka meydana getirmiştir. Bu durum adezyon ve kohezyon bağının zayıflamasına ve basınç altında lamellerin kolay ayrılmasına katkı sağlamış olabilir.

Liflere paralel basınç direncinde ağaç malzeme türü-tutkal çeşidi-ısıl işlem sıcaklığı üçlü etkileşimi, en yüksek MF tutkalı ile lamine edilen 185 °C ısıl işlemli sapsız meşede, en düşük ise PU tutkalı ile lamine edilen 212 °C ısıl işlemli kavakta elde edilmiştir. Bu sonuçlara göre kontrol örneklerine göre en fazla direnç kaybı kavakta ve PU tutkalında elde edilmiştir.

Kavela Tutma Direnci;

Liflere dik ve paralel kavela tutma direnci en yüksek D4 tutkalı ile lamine edilen kontrol sapsız meşede, en düşük ise PU tutkalı ile lamine edilen 212 °C ısıl işlemli kavakta elde edilmiştir.

Ağaç malzeme türüne göre liflere dik ve paralel kavela tutma direnci en yüksek sapsız meşede elde edilirken bunu sırasıyla Doğu kayını, sarıçam ve kavak takip etmiştir. Literatürde masif ağaç malzemelerde liflere paralel kavela tutma direnci meşe odununda 5,39 N/mm^2, Doğu kayınında 4,96 N/mm^2, sarıçamda ise 4,86 N/mm^2 olarak elde edilmiştir. Liflere dik kavela tutma direnci ise meşe odununda 4,51 N/mm^2, Doğu kayınında 4,78 N/mm^2, sarıçamda ise 4,41 N/mm^2 olarak belirtilmiştir [Çağatay, 2011]. Çalışmadan elde edilen sonuçlar literatüre göre çok az yüksek çıkmıştır. Bunun nedeni, laminasyon işleminde ağaç malzemelerin yoğunluklarının masif malzemeye göre daha yüksek olmasından kaynaklanmış olabilir. Başka bir çalışmada da kavela tutma direncinde teğet yüzeylerin daha yüksek sonuçlar verdiği elde edilmiştir [Efe ve Demirci, 2001; Efe, 1998].

Tutkal çeşidine göre liflere dik ve paralel kavela tutma direnci en yüksek MF tutkalı ile lamine edilen örneklerde, en düşük PU tutkalı ile lamine edilen örneklerde elde edilmiştir. MF tutkalı ile lamine edilen örneklerde yüksek çıkması bu tutkal ile lamine edilip ısıl işleme maruz kalan örneklerde yoğunluk değerlerinin yüksek olmasından, lameller arasındaki adezyon ve kohezyon kuvvetinin yüksek olmasından kaynaklanmış olabilir. Ayrıca PU tutkalı ile lamine edilip ısıl işleme maruz kalan örnek yüzeylerdinde ve lameller arasında su buharıyla tepkimeye giren tutkal derzinin yağlı ve siyah bir tabaka oluşturması, kavela ile lamine ağaç malzeme arasında kurulan tutkal bağının zayıflamasına neden olmuş olabilir.

Isıl işlem sıcaklığına göre liflere dik ve paralel kavela tutma dirençleri kontrol örneklerine göre en yüksek 185 °C ısıl işlemli örneklerde, en düşük 212 ºC ısıl işlemli örneklerde elde edilmiştir. Isıl işlem liflere dik kavela tutma direncini yaklaşık % 18 ve % 31 oranında, liflere paralel kavela tutma direncini ise % 18 ve % 33 oranında azaltmıştır. Termal bozunuma uğrayan ağaç malzeme ile kavela arasındaki tutkalın, derinlemesine nüfuz edememesi, kavela deliğinde homojen ve dengeli yayılma meydana gelmemesi, tutkalın kurmuş olduğu bağların zayıf olmasına katkı sağlamış olabilir. Bunun neticesinde de kavela tutma direnci azalmış olabilir. Literatürde ısıl işlem görmüş ağaç malzemelerin tutkallanabilme özelliğinin ve yapışma direncinin azaldığını gösteren çalışmalar mevcuttur [Sernek ve ark., 2008; Sernek ve ark., 2004; Gerardin ve ark., 2007].

Liflere dik kavela tutma direncinde ağaç malzeme türü-tutkal çeşidi ikili etkileşimi, en yüksek MF tutkalı ile lamine edilen sapsız meşede, en düşük ise D4 tutkalı ile lamine edilen kavakta elde edilmiştir. Kavakta düşük çıkması yoğunluğunun az olmasından kaynaklanabilir.

Liflere dik kavela tutma direncinde ağaç malzeme türü-ısıl işlem sıcaklığı ikili etkileşimi, en yüksek 185 °C ısıl işlemli sapsız meşede, en düşük ise 212 °C'de ısıl işlemli kavakta elde edilmiştir. Isıl işlemde sıcaklık arttıkca direnç kayıpları meydna gelmiştir. Isıl işlemin ağaç malzemenin hücre yapılarını bozarak, başta hemiselüloz,

selüloz ve ligninde yıkımlamalara neden olması düşük çıkmasına neden olmuş olabilir.

Liflere dik kavela tutma direncinde tutkal çeşidi-ısıl işlem sıcaklığı ikili etkileşimi, en yüksek 185 °C ısıl işlemli MF'de, en düşük ise 212 °C ısıl işlemli PU'da elde edilmiştir. PU tutkalının yapısal özelliklerinden dolayı ısıl işlem esnasında kimyasal gazlar çıkararak lamine ağaç malzemeyi yağlaması düşük çıkmasına neden olmuş olabilir. Ayrıca ısıl işlemden en fazla olumsuz etkilenerek kohezyon ve adezyon bağlarının zayıflaması düşük çıkmasına katkı sağlamış olabilir.

Liflere dik kavela tutma direncinde ağaç malzeme türü-tutkal çeşidi-ısıl işlem sıcaklığı üçlü etkileşimi, en yüksek MF tutkalı ile lamine edilen 185 °C ısıl işlemli sapsız meşede, en düşük ise PU tutkalı ile lamine edilen 212 °C ısıl işlemli kavakta elde edilmiştir. Bu sonuçlara göre, kontrol örneklerine göre ısıl işlemde sıcaklık derecesi arttıkça tüm deney gruplarında liflere dik kavela tutma direnci azalmıştır.

Liflere paralel kavela tutma direncinde ağaç malzeme türü-tutkal çeşidi ikili etkileşimi, en yüksek MF tutkalı ile lamine edilen sapsız meşede, en düşük ise PU tutkalı ile lamine edilen kavakta elde edilmiştir. PU tutkalı ile lamine edilen kavak, liflere paralel kavela tutma direncini azaltıcı etki yapmıştır. Ayrıca yoğunluğunun düşük olması düşük çıkmasına katkı sağlamış olabilir.

Liflere paralel kavela tutma direncinde ağaç malzeme türü-ısıl işlem sıcaklığı ikili etkileşimi, en yüksek 185 °C ısıl işlemli sapsız meşede, en düşük ise 212 °C'de ısıl işlemli kavakta elde edilmiştir. Yüksek sıcaklıkta en fazla bozunmanın kavak örneklerde meydana gelmesi ve yoğunluğunun düşük olması liflere paralel kavela tutma direncinin düşük çıkmasına neden olmuş olabilir.

Liflere paralel kavela tutma direncinde tutkal çeşidi-ısıl işlem sıcaklığı ikili etkileşimi, en yüksek 185 °C ısıl işlemli MF'de, en düşük ise 212 °C ısıl işlemli PU'da elde edilmiştir. Yüksek sıcaklıktan en fazla olumsuz etkilenen tutkal çeşidinin PU olması ve lamine ağaç malzemede yüzey ile katmanları yağlayarak kavela ile

ağaç malzeme arasındaki tutkalın adezyon bağını azaltmış bunun sonucunda da liflere paralel kavela tutma direncinin düşmesine neden olmuş olabilir.

Liflere paralel kavela tutma direncinde ağaç malzeme türü-tutkal çeşidi-ısıl işlem sıcaklığı üçlü etkileşimi, en yüksek MF tutkalı ile lamine edilen 185 °C ısıl işlemli sapsız meşede, en düşük ise PU tutkalı ile lamine edilen 212 °C ısıl işlemli kavakta elde edilmiştir. Liflere paralel kavela tutma direnci, MF tutkalı ile lamine edilen ve yoğunluğu yüksek olan ağaç türlerinde daha başarılı sonuçlar vermiştir.

Vida Tutma Direnci;

Liflere dik ve paralel vida tutma direnci en yüksek MF tutkalı ile lamime edilen kontrol Doğu kayınında, en düşük ise PU tutkalı ile lamine edilen 212 °C ısıl işlemli kavakta elde edilmiştir.

Ağaç malzeme türüne göre liflere dik ve paralel vida tutma direnci, en yüksek Doğu kayınında elde edilirken bunu sırasıyla sapsız meşe, sarıçam ve kavak takip etmiştir. Doğu kayını ve sapsız meşede yüksek çıkması yoğunluğunun ve kohezyon kuvvetinin yüksek olmasından kaynaklanıyor olabilir. Ayrıca bu iki ağaç türünde de hücre ceperinin kalın, trahe sayısının fazla, lümen boşluğunun dar ve ağaç malzemede boşluk miktarının az olması vida tutma direncini arttırmış olabilir. Literatürde de yüksek yoğunluklu ağaç malzemelerde vida tutma direnci yüksek çıkmıştır [Wu, 1999; Efe, 1991; Altınok ve Doruk, 2010; Çağatay ,2011]. Başka bir çalışmada da MF ve FF tutkalları ile lamine edilen Uludağ göknarı ve meşe odunlarında en yüksek vida tutma direnci; 4 mm kalınlığındaki meşe kaplamalardan FF tutkalı ile lamine edilen örneklerde ve 3.5x16 ebatlarındaki vida ile (23.14 MPa), en küçük ise MF tutkalı ile lamine edilen 5 mm kalınlığındaki Uludağ göknarı odununda ve 4.5x50 ebatlarındaki vida ile (7.61 MPa) olarak belirlenmiştir [Özçifçi, 2009]. Çalışmada liflere dik vida tutma direnci, liflere paralel vida tutma direncinden yüksek çıkarken bu durum yıllık halka ve lamine katların yapısıyla ilişkilendirilmektedir. Liflere dik vidalama işlemlerinde vida dişleri ağaç malzemenin liflerine ve katmanlarına sarılarak ilerlerken, liflere paralel vidalama da vida lif

demetlerinin ve lamellerin arasına girerek ayırma işlemi yapmakta ve direnç değerleri düşmektedir. Bu sonuçlar literatürlede uyumlu çıkmıştır [Örs ve ark., 1998; Açıkel, 2007; Çağatay, 2011].

Tutkal çeşidine göre liflere dik ve paralel vida tutma direnci, en yüksek MF tutkalı ile lamine edilen örneklerde, en düşük ise sırasıyla PU ve D4 tutkalı ile lamine edilen örneklerde elde edilmiştir. MF'de yüksek çıkması bu tutkalın yapısal özelliklerinden, ısıl işlemden en az etkilenerek kohezyon kuvvetinin yüksek olmasından kaynaklanmış olabilir. D4 ve PU tutkallarının ısıyla birlikte tepkiye girerek yumuşaması ve kohezyon kuvvetlerinin azalması vida tutma direncini düşürmüş olabilir.

Isıl işlem sıcaklığına göre liflere dik ve paralel vida tutma direnci, en yüksek 185 °C ısıl işlemli örneklerde, en düşük ise 212 ºC ısıl işlemli örneklerde elde edilmiştir. Liflere dik vida tutma direnci kontrol örneklerine göre % 13 ve % 30; liflere paralel vida tutma direnci ise % 9 ve % 27 oranında azalmıştır. Sıcaklık arttıkça vida tutma dirençleri azalmıştır. Termal bozunuma uğrayan ağaç malzemede lifler arasındaki bağların zayıflayarak daha kırılgan olması, lif demetlerinin gevşemesi ve gevrekleşmesi, ağaç malzemenin rutubet dercesinin nispeten daha az olması, sıcaklıkla birlikte ağacın temel yapı taşlarından olan lignin ve hemiselülozların yıkımlanması böyle bir sonucu doğurmuş olabilir. Literatürde 220 ºC'de 1-2 saat sıcak yağ yöntemiyle ısıl işleme maruz bırakılan çam örneklerinde çivi tutma dirençlerinde % 40'lara varan direnç kayıplarının yaşandığı ve bu durumun lifler arasındaki bağların zayıflaması, lignin ve hemiselülozların degrade olmasından kaynaklandığı belirtilmiştir [Wang, 2007]. Benzer bir çalışmada da ısıl işleme tabi tutulan huş (*Betula papyrifera*) odununda vida çekme direnci ısıl işleme bağlı olarak azalırken, en düşük vida çekme direnci 200 C'nin üzerinde ısıl işleme tabi tutulan örneklerde belirlenmiştir [Poncsák ve ark., 2006].

Liflere dik vida tutma direncinde ağaç malzeme türü-tutkal çeşidi ikili etkileşimi, en yüksek MF tutkalı ile lamine edilen Doğu kayınında, en düşük ise D4 tutkalı ile

lamine edilen kavakta elde edilmiştir. Doğu kayınında ve MF'de yüksek çıkması, yoğunluğunun ve kohezyon kuvvetinin yüksek olmasından kaynaklanabilir.

Liflere dik vida tutma direncinde ağaç malzeme türü-ısıl işlem sıcaklığı ikili etkileşimi, en yüksek 185 °C ısıl işlemli Doğu kayınında, en düşük ise 212 °C ısıl işlemli kavakta elde edilmiştir. Düşük sıcaklıkta, yoğunluğu yüksek lamine ağaç malzemenin ana bileşenleri ile hücre yapısının fazla bozunuma uğramaması, yüksek sıcaklıkta ise tam tersi bir durum yaşanması bu sonucun çıkmasına katkı sağlamış olabilir.

Liflere dik vida tutma direncinde tutkal çeşidi-ısıl işlem sıcaklığı ikili etkileşimi, en yüksek 185 °C ısıl işlemli MF'de, en düşük ise 212 °C ısıl işlemli PU'da elde edilmiştir. MF'nin ısıl işlemden sonra sertleşmesi ve rijit hale dönüşmesi, PU'da ise kohezyon bağlarının zayıflaması bu sonucun doğmasına katkı sağlamış olabilir.

Liflere dik vida tutma direncinde ağaç malzeme türü-tutkal çeşidi-ısıl işlem sıcaklığı üçlü etkileşimi, en yüksek MF tutkalı ile lamine edilen 185 °C ısıl işlemli Doğu kayınında, en düşük ise PU tutkalı ile lamine edilen 212 °C ısıl işlemli kavakta elde edilmiştir. Isıl işlem kontrol örneklerine göre tüm deney gruplarında liflere dik vida tutma direncini azaltmış ve en düşük PU tutkalı ile lamine edilen 212 °C ısıl işlemli kavakta elde edilmiştir.

Liflere paralel vida tutma direncinde ağaç malzeme türü-tutkal çeşidi ikili etkileşimi, en yüksek MF tutkalı ile lamine edilen sapsız meşede, en düşük ise PU tutkalı ile lamine edilen kavakta elde edilmiştir. Sapsız meşede yüksek çıkması yoğunluğunun fazla olmasından kaynaklanıyor olabilir. Ayrıca sapsız meşede hücre duvarı kalın, boşluk oranının az olması yüksek çıkmasına katkı sağlamış olabilir.

Liflere paralel vida tutma direncinde ağaç malzeme türü-ısıl işlem sıcaklığı ikili etkileşimi, en yüksek 185 °C ısıl işlemli Doğu kayınında, en düşük ise 212 °C ısıl işlemli kavakta elde edilmiştir. Düşük sıcaklıkta Doğu kayınında ana bileşenlerin ve

hücre yapısının fazla bozunuma uğramaması yüksek çıkmasına katkı sağlamış olabilir.

Liflere paralel vida tutma direncinde tutkal çeşidi-ısıl işlem sıcaklığı ikili etkileşimi, en yüksek 185 °C ısıl işlemli MF'de, en düşük ise 212 °C ısıl işlemli PU'da elde edilmiştir. PU tutkalında yüksek sıcaklıktan kimyasal yapının bozunması, kohezyon bağlarının zayıflaması düşük çıkmasına katkı sağlamış olabilir.

Liflere paralel vida tutma direncinde ağaç malzeme türü-tutkal çeşidi-ısıl işlem sıcaklığı üçlü etkileşimi, en yüksek MF tutkalı ile lamine edilen 185 °C ısıl işlemli Doğu kayınında, en düşük ise PU tutkalı ile lamine edilen 212 °C ısıl işlemli kavakta elde edilmiştir. Liflere paralel vida tutma direnci kaybı en fazla, PU tutkalı ile lamine edilen ve yüksek sıcaklıkta ısıl işlem uygulanan deney gruplarında elde edilmiştir.

Sertlik Direnci;

Yüzeyde Brinell sertlik direnci, en yüksek D4 tutkalı ile lamine edilen kontrol sapsız meşede, en düşük ise PU tutkalı ile lamine edilen 212 °C ısıl işlemli kavakta elde edilmiştir.

Ağaç malzeme türüne göre sertlik direnci, en yüksek sapsız meşede elde edilirken bunu Doğu kayını, sarıçam ve kavak takip etmiştir. Sapsız meşe ve Doğu kayınında yüksek çıkması bu ağaç türlerinde yoğunluğun yüksek ve hücre boşluklarının az olmasından kaynaklanıyor olabilir. Çalışmadan elde edilen veriler literatürlede uyumludur [Berkel, 1970]. Başka bir çalışmada Doğu kayınında Brinell sertlik direnci 5,6 Kğ/mm^2, sapsız meşe odununda 6,6 Kğ/mm^2 olarak belirlenmiştir [Gürleyen ve Subaşı, 2009]. Çalıçmadan elde edilen veriler bu literatüre göre daha düşük çıkarken, bu durumun ısıl işlemin sertlik değerini düşürmesinden kaynaklanıyor olabilir.

Tutkal çeşidine göre Brinell sertlik direnci, en yüksek MF tutkalı ile lamine edilen örneklerde elde edilirken, bunu D4 ve PU tutkalı ile lamine edilen örnekler takip

etmiştir. MF tutkalında yüksek çıkması ısıl işleme maruz kalan tutkal hattının sertleşmesinden ve yapısal özelliklerinden kaynaklanmış olabilir.

Isıl işlem sıcaklığına göre Brinell sertlik direnci, en yüksek 185 ºC ısıl işlemi örneklerde, en düşük ise 212 ºC ısıl işlemli örneklerde elde edilmiştir. Kontrol örneklerine göre ısıl işlem uygulanan örneklerin sertlik direnci yaklaşık % 16 ve % 25 oranında azalmıştır. Isıl işlemle birlikte sertlik değerlerindeki azalmaların, ağaç malzemenin temel bileşenlerinden olan hemiselüloz ve ligninin termal bozunuma uğraması ve yoğunlukların düşmesinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Ayrıca ısıl işlem esnasında iç gerilmelerden dolayı gözle görülemeyecek kadar küçük radyal çatlakların meydana gelmesi, hücre boşuklarının artması sertlik direncinin azalmasında rol oynamış olabilir. Literatürde ısıl işlemin Anadolu karaçamında sertlik direncini azalttığı, en fazla sertlik direnci azalışının da radyal yönde olduğu belirlenmiştir [Akyıldız ve ark., 2009]. Başka bir çalışmada da düşük sıcaklıklarda uygulanan ısıl işlemde bile ağaç malzemelerin sertlik değerlerinin azaldığı belirtilmiştir [Yao ve Taylor, 1979]. Benzer bir çalışmada da ısıl işlemin kayın ve ladin odunlarının sertlik direncini azalttığı belirtilmiştir [Yıldız, 2002].

Brinell sertlik direncinde ağaç malzeme türü-tutkal çeşidi ikili etkileşimi, en yüksek MF tutkalı ile lamine edilen sapsız meşede, en düşük ise PU tutkalı ile lamine edilen kavakta elde edilmiştir. MF tutkalı ve sapsız meşede yüksek çıkması, yoğunluğun yüksek ve hücre yapısının daha az boşluklu olmasından ve MF'nin ısıl işlemden sonra daha da sertleşmesinden kaynaklanıyor olabilir.

Brinell sertlik direncinde ağaç malzeme türü-ısıl işlem sıcaklığı ikili etkileşimi, en yüksek 185 ºC ısıl işlemli sapsız meşede, en düşük ise 212 °C ısıl işlemli kavakta elde edilmiştir. Düşük sıcaklıkta ve sapsız meşede yüksek çıkması yoğunluğunun yüksek olmasından ve düşük sıcaklıkta fazla bozunuma uğramamasından kaynaklanabilir.

Brinell sertlik direncinde tutkal çeşidi-ısıl işlem sıcaklığı ikili etkileşimi, en yüksek 185 ºC ısıl işlemli MF'de, en düşük ise 212 ºC ısıl işlemli PU'da elde edilmiştir. MF

tutkalında sertlik direncinin yüksek çıkması, tutkal hattının sertleşmesinden kaynaklanıyor olabilir.

Brinell sertlik direncinde ağaç malzeme türü-tutkal çeşidi-ısıl işlem sıcaklığı üçlü etkileşimi, en yüksek MF tutkalı ile lamine edilen 185 °C ısıl işlemli sapsız meşede, en düşük ise PU tutkalı ile lamine edilen 212 °C ısıl işlemli kavakta elde edilmiştir. Sertlik değerinin ısıl işleme maruz kalan sapsız meşe ve MF tutkalında yüksek çıkması bu iki malzemenin özellikle aşınmanında önemli olduğu parke ve taban döşemelerinde ısıl işlemle birlikte kullanılabileceğini akla getirmektedir.

Yüzeye Dik Yapışma Direnci;

Yüzeye dik yapışma direnci, en yüksek PU tutkalı ile lamime edilen kontrol Doğu kayınında, en düşük ise PU tutkalı ile lamine edilen 212 °C ısıl işlemli kavakta elde edilmiştir.

Ağaç malzeme türüne göre yüzeye dik yapışma direnci, en yüksek Doğu kayınında elde edilirken bunu sırasıyla sapsız meşe, sarıçam ve en düşük kavak takip etmiştir. Doğu kayını ve sapsız meşede yüksek çıkması diğer ağaç türlerine göre yüksek yoğunluğa sahip olmasında, düzgün yapışma yüzeyi vermesinden ve lameller arasındaki spesifik yapışmanın yüksek olmasından kaynaklanmış olabilir. Ayrıca, burada çekme-yarılma direncide meydana geldiğinden kohezyon kuvveti Doğu kayını ve sapsız meşede fazla çıkmış olabilir. Bu sonuçlar literatürlede uyumludur [Laufenberg, 1982; Altınok ve ark., 2009; Doruk,2009].

Tutkal çeşidine göre yüzeye dik yapışma direnci en yüksek MF tutkalı ile lamine edilen örneklerde elde edilirken, bunu sırasıyla D4 ve PU tutkalları ile lamine edilen örnekler takip etmiştir. MF tutkalının yüksek çıkması ısıl işlemden en az etkilenen tutkal türü olması ve viskozitesinin düşük olması nedeniyle ağaç bünyesine derinlemesine nüfuz ederek dönüşümsüz ve kuvvetli bir yapışma sağlamasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Bu sonuçlar literatürlede uyumlu çıkmıştır [Doruk, 2009].

Isıl işlem sıcaklığına göre yüzeye dik yapışma direnci, en yüksek 185 ºC ısıl işlemli örneklerde elde edilirken en düşük 212 ºC ısıl işlemli örneklerde elde edilmiştir. Kontrol örneklerine göre ısıl işleme maruz bırakılan örneklerin yüzeye dik yapışma direnci yaklaşık % 15 ve % 23 oranında azalmıştır. Liflere dik yapışma direncinde kopmalar tutkal hattıyla birlikte yarılmalar şeklinde olmuştur. Isıl işlem sonunda termal bozunuma uğrayan tutkal hattı ve lamel yapısı bunda etkin rol oynamış olabilir. Ayrıca ısıl işlem neticesinde ağaç malzemenin lifleri arasındaki bağların zayıflaması veya gerilerek kopması ağaç malzemenin yarılma direncini azaltmış olabilir. Bu sonuçlar literatürlede uyumludur [Boonstra, 2008].

Yüzeye dik yapışma direncinde ağaç malzeme türü-tutkal çeşidi ikili etkileşimi, en yüksek MF tutkalı ile lamine edilen Doğu kayınında, en düşük ise PU tutkalı ile lamine edilen kavakta elde edilmiştir. Doğu kayının yoğunluğunun yüksek olması ve düzgün yüzeyler vermesi, MF tutkalınında vizkositesinin düşük olması ve ağaç malzemeye derinlemesine nüfuz ederek dönüşümsüz kuvvetli bir yapışma sağlamasından en yüksek yapışma direnci elde edildiği düşünülmektedir. Bu sonuçlar literatürlede uyumlu çıkmıştır [Doruk,2009].

Yüzeye dik yapışma direncinde ağaç malzeme türü-ısıl işlem sıcaklığı ikili etkileşimi, en yüksek 185 °C ısıl işlemli Doğu kayınında, en düşük ise 212 °C ısıl işlemli kavakta elde edilmiştir. Doğu kayınında yüksek çıkması ısıl işlemle daha az yıkımlanmaya maruz kalmasından kaynaklanmış olabilir.

Yüzeye dik yapışma direncinde tutkal çeşidi-ısıl işlem sıcaklığı ikili etkileşimi, en yüksek 185 °C ısıl işlemli MF'de, en düşük ise 212 °C ısıl işlemli PU'da elde edilmiştir. Bu durumun ısıl işlemin PU tutkalının yapısını daha fazla yıkımlayarak adezyon ve kohezyon bağlarını zayıflatmasından kaynaklanmış olabilir. Sonuçlar literatürlede uyumlu çıkmıştır [Tjeerdsma ve ark,1998; Windeisen ve ark,2007].

Yüzeye dik yapışma direncinde ağaç malzeme türü-tutkal çeşidi-ısıl işlem sıcaklığı üçlü etkileşimi, en yüksek MF tutkalı ile lamine edilen 185 °C ısıl işlemli Doğu kayınında, en düşük ise PU tutkalı ile lamine edilen 212 °C ısıl işlemli kavakta elde

edilmiştir. MF tutkalı ile lamine edilen ve düşük sıcaklıkta ısıl işleme maruz bırakılan Doğu kayınında yüksek çıkması, bu iki malzeme türününde ısıl işlemden en az olumsuz etkilenerek daha az bozunuma uğramasından kaynaklanmış olabilir.

Yüzeye Paralel Yapışma Direnci;

Yüzeye paralel yapışma direnci, en yüksek PU tutkalı ile lamime edilen kontrol Doğu kayınında, en düşük ise PU tutkalı ile lamine edilen 212 °C ısıl işlemli kavakta elde edilmiştir.

Ağaç malzeme türüne göre yüzeye paralel yapışma direnci, en yüksek Doğu kayınında elde edilirken bunu sapsız meşe, sarıçam ve kavak takip etmiştir. Doğu kayını ve sapsız meşede yoğunluğun diğer ağaç türlerine göre yüksek olması ve örneklerin daha düzgün yapışma yüzeyler vermesi ayrıca, spesifik yapışmanın fazla olmasından kaynaklandığı bunula beraber ısıl işlemin yoğunluğu yüksek olan ağaç malzeme türlerini daha az yıkımlamasından yüksek çıkmış olabilir. Bu sonuçlar literatürlede uyumlu çıkmıştır [Yılmaz, 2006; Atar, 2007].

Tutkal çeşidine göre yüzeye paralel yapışma direnci, en yüksek MF'de tespit edilirken bunu PU ve D4 tutkalları ile lamine edilen örnekler takip etmiştir. MF tutkalında yüksek çıkması, ısıl işlemden en az etkilenen tutkal türü olması ve viskozitesinin düşük olması nedeniyle ağaç bünyeye derinlemesine nüfuz ederek dönüşümsüz ve kuvvetli bir yapışma sağlamasından kaynaklanmış olabilir. Sonuçlar literatürlede uyumlu çıkmıştır [Atar ve Özçifçi, 2005; Doruk,2009].

Isıl işlem sıcaklığına göre yüzeye paralel yapışma direnci, en yüksek 185 ºC ısıl işlemli örneklerde, en düşük ise 212 ºC ısıl işlemli örneklerde elde edilmiştir. Sıcaklığın artmasıyla birlikte yapışma direncide % 24 ve % 29 oranında bir azalma meydana gelmiştir. Isıl işlem sonunda ağaç malzeme ile tutkal arasında kurulan bağların ve tutkal ile ağaç malzemenin kendi molekülleri arasındaki bağların zayıflaması yapışma direncini düşürmüş olabilir. Tutkal çözeltisinin ağaç malzeme yüzeyinde yayılarak yüzeyini ıslatması, odun içerisine nüfuz ederek çapraz bağlar

kurması, ayrıca bağlanma açısı yapışma performansını etkileyen önemli hususlardandır. Isıl işlemle bu özellikler minumum düzeyde gerçekleşirken yapışma performansını da olumsuz etkilenmiş olabilir. Ağaç malzemenin ısıl işlem uygulaması neticesinde su ile olan ilişkisi zayıflamakta ve ıslanabilirliği düşmektedir. Bunun sonucunda ağaç malzeme daha az polar bir hal alırken su itici özelliği artmaktadır. Literatürde ısıl işlemle birlikte ağaç malzemenin yapışma direncinin azaldığını gösteren çalışmalar mevcuttur [Kol ve ark.,2009; Boonstra ve ark, 2007].

Yüzeye paralel yapışma direncinde ağaç malzeme türü-tutkal çeşidi ikili etkileşimi, en yüksek MF tutkalı ile lamine edilen Doğu kayınında, en düşük ise MF tutkalı ile lamine edilen kavakta elde edilmiştir. Doğu kayınının yüksek yoğunluğa sahip olması ve düzgün yüzeyler vermesi mekanik bağlanmayla birlikte spesifik yapışmayıda barındırmasından yüksek çıkmış olabilir. Bu durum literatürlede uyumludur [Kaygın, 2002; Doruk, 2009].

Yüzeye paralel yapışma direncinde ağaç malzeme türü-ısıl işlem sıcaklığı ikili etkileşimi, en yüksek 185 °C ısıl işlemli Doğu kayınında, en düşük ise 212 °C ısıl işlemli kavakta elde edilmiştir. Bu durum, düşük sıcaklıklarda uygulanan ısıl işlemin Doğu kayınında daha az yıkımlama meydana getirmesinden ve yoğunluğunun yüksek olması ile düzgün yapışma yüzeylerine sahip olmasından kaynaklanmış olabilir. Bu durum literatürlede uyumludur [Kol ve ark., 2009].

Yüzeye paralel yapışma direncinde tutkal çeşidi-ısıl işlem sıcaklığı ikili etkileşimi, en yüksek 185 °C ısıl işlemli MF'de, en düşük ise 212 °C ısıl işlemli PU'da elde edilmiştir. MF tutkalında ve düşük sıcaklıkta yüksek çıkması ısıl işlemin bozucu etkilerinden en az etkilenen tutkal çeşidi olmasından ve ısıl işlemden sonra sıcaklıkla tepkimeye girerek sertleşmesinden kaynaklanmış olabilir. PU tutkalında ise düşük çıkması yüksek sıcaklıkta en fazla bozunuma uğrayan tutkal çeşidi olmasından kaynaklanmış olabilir.

Yüzeye paralel yapışma direncinde ağaç malzeme türü-tutkal çeşidi-ısıl işlem sıcaklığı üçlü etkileşimi, en yüksek MF tutkalı ile lamine edilen 185 °C ısıl işlemli Doğu kayınında, en düşük ise PU tutkalı ile lamine edilen 212 °C ısıl işlemli kavakta elde edilmiştir. Yoğunluğu yüksek ağaç malzemelerin yapışma yüzeyleri daha düzgün olabilmektedir. Dolayısı ile tutkal çözeltisi ile kurulan mekanik bağların yanında spesifik yapışmada meydana gelmektedir. MF tutkalının ısıl işlemden en az olumsuz etkilenen tutkal çeşidi olması ve Doğu kayınında sağlam mekanik yapışma meydana getirmesi ayrıca spesifik yapışmanında oluşması, ısıl işlemle birlikte MF tutkalının tepkimeye girerek adezyon ve kohezyon bağlarının yüksek olmasından en yüksek değer vermiş olabilir.

Boyutsal Kararlılık (Kalınlık Artışı);

Kalınlık artışı, en yüksek D4 tutkalı ile lamine edilen kontrol Doğu kayınında, en düşük ise D4 tutkalı ile lamine edilen 212°C ısıl işlemli kavakta elde edilmiştir.

Ağaç malzeme türüne göre kalınlık artışı, en yüksek Doğu kayınında elde edilirken, bunu sırasıyla sarıçam, sapsız meşe ve en düşük kavak takip etmiştir. Doğu kayınında yüksek çıkması yoğunluğunun yüksek olmasından kaynaklanabilir. Sarıçam ve sapsız meşe arasındaki fark istatiksel olarak önemsiz bulunmuştur. Lamine edilmiş ağaç malzemelerin kalınlık yönünde boyutsal artışları, literatürdeki masif malzemeye göre yoğunluğu fazla olmasına rağmen daha düşük çıkmıştır. Bu farklılığın kullanılan tutkaldan, hava boşluğu oranından ve asıl olarak ısıl işlemden kaynaklandığı düşünülmektedir. Literatürde lamine edilmiş ağaç malzemelerin kalınlık artışı sarıçam için %5,04, meşe için 5,12, kayın için 5,18 olarak verilmiş ve benzer sonuçlar elde edilmiştir [Keskin, 2001].

Tutkal çeşidine göre kalınlık artışı, en yüksek D4 tutkalı ile lamine edilen örneklerde elde edilirken, bunu sırasıyla PU ve MF tutkalı ile lamine edilen örnekler takip etmiştir. D4 ve PU tutkalı arasındaki fark istatiksel olarak önemsiz bulunmuştur. MF tutkalının düşük olması bu tutkalın suyun etkisine daha dayanıklı olmasından

kaynaklanabilir. Bu sonuçlar literatürlede uyumlu çıkmıştır [Özçifçi, 2001; Doruk, 2009].

Isıl işlem sıcaklığına göre kalınlık artışı, en yüksek 185 ºC ısıl işlmeli örneklerde elde edilirken, en düşük ise 212 ºC ısıl işlemli örneklerde edilmiştir. Sıcaklığın artmasıyla birlikte kalınlık yönde artış miktarı azalmış yani boyutsal kararlılık (stabilizasyon) sağlanmıştır. Kontrol örneklerine göre ısıl işleme maruz bırakılan örneklerde % 20 ve % 40 oranında boyutsal kararlılık (stabilizasyon) sağlanmıştır. Bunun nedeni, ısıl işlem sonunda ağaç malzemede bulunan hemiselülozlar daha az higroskopik olmuş ve boyutsal kararlılık artmış olabilir. Isıl işlemle birlikte boyutsal kararlılığın sağlanması, ağaç malzemedeki hidroksil grupların sayısında bir azalma, dolayısı ile higroskopisitenin azalması olarak düşünülmektedir. Bunun sonucunda da boyutsal kararlılık sağlanmaktadır. Ağaç malzemeye uygulanan ısıl işlemden sonra hemiselülozların doğal yapısındaki değişimler ağaç malzemenin boyutsal kararlılık kazanmasında önemli rol oynar. Ağaç malzemenin boyutsal kararlılığının sağlanmasında ısıl işlem sıcaklığının ve süresinin önemi azımsanmayacak derecede önemlidir [Hillis, 1984]. Yapılan bir çalışmada ısıl işleme tabi tutulan sarıçam odununda % 50 oranında boyutsal kararlılığın sağlandığı belirtilmiştir. Ayrıca özellikle yüksek sıcaklıklarda ve sürelerde; farklı yöntemler ve ortamlar kullanılarak uygulanan ısıl işlem yönteminin değişik odun türlerinde büyük oranlarda boyutsal kararlılık sağlandığı gösteren çalışmalar mevcuttur [Feist ve Sell, 1987; Giebeler, 1983; Burmester, 1973]. Hücre çeperleri içerisindeki higroskopik polimerlerin bulunduğu hemiselülozların ısıl işleme bağlı olarak yıkımlanmaya başlaması ve rutubetle reaksiyona girebilecek serbest polar adsorpsiyon grupların derecelerinin yani higroskopisitenin azaltılmasıyla odunda boyutsal kararlılık sağlanmaya başlanmaktadır [Inoue ve ark., 1993].

Kalınlık artışında ağaç malzeme türü-tutkal çeşidi ikili etkileşimi, en yüksek D4 tutkalı ile lamine edilen Doğu kayınında, en düşük MF tutkalı ile lamine edilen kavakta elde edilmiştir. Bu durumun, Doğu kayının yoğunluğunun yüksek olması, ısıl işlemden sonra en az bazunuma uğrayan ağaç malzeme türü olması, D4 tutkalının

termoplastik esaslı olması ve içerisine sertleştirici konulmasıyla zayıf termoset özellik kazanmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

Kalınlık artışında ağaç malzeme türü-ısıl işlem sıcaklığı ikili etkileşimi, en yüksek 185 °C ısıl işlemli Doğu kayınında, en düşük ise 212 °C ısıl işlemli kavakta elde edilmiştir. Isıl işlemde sıcaklık miktarı arttıkça ağaç malzeme daha az higroskopik olmaktadır [Inoue ve ark., 1993, Feist ve Sell, 1987]. Dolayısı ile ağaç malzemede daha az boyutsal değişime uğramaktadır. Kayın odununda yoğunluğun yüksek, ısıl işlemin bozucu etkisinden en az etkilenen ağaç malzeme türü olması ve düşük sıcaklığın yüksek sıcaklığa göre daha az bozunuma uğratması yüksek çıkmasına katkıda bulunmuş olabilir.

Kalınlık artışında tutkal çeşidi-ısıl işlem sıcaklığı ikili etkileşimi, en yüksek 185 °C ısıl işlemli D4'te, en düşük ise 212 °C ısıl işlemli MF'de elde edilmiştir. Isıl işlemden sonra sertleşerek yeni bir yapı kazanan MF tutkalının suya karşı en dayanıklı olduğu söylenebilir.

Kalınlık artışında ağaç malzeme türü-tutkal çeşidi-ısıl işlem sıcaklığı üçlü etkileşimi, en yüksek D4 tutkalı ile lamine edilen 185 °C ısıl işlemli Doğu kayınında, en düşük ise D4 tutkalı ile lamine edilen 212°C ısıl işlemli kavakta elde edilmiştir. Isıl işlemin sıcaklık değeri yükseldikçe lamine ağaç malzeme boyutsal kararlılık kazanmaktadır. Bu durum lamine ağaç malzemenin daha az higroskopik olmasından kaynaklanmış olabilir.

Boyutsal Kararlılık (Genişlik Artışı);

Genişlik artışı, en yüksek PU tutkalı ile lamine edilen kontrol Doğu kayınında, en düşük ise D4 tutkalı ile lamine edilen 212°C ısıl işlemli kavakta elde edilmiştir. Isıl işlemde sıcaklık miktarı arttıkça lamine ağaç malzemelerde de daha fazla boyutsal kararlılık sağlanmaktadır.

Ağaç malzeme türüne göre genişlik artışı, en yüksek Doğu kayınında elde edilirken, bunu sırasıyla sapsız meşe, sarıçam ve kavak takip etmiştir. Doğu kayınında yüksek çıkması yoğunluğunun yüksek olmasından kaynaklanabilir. Sonuçlar literatürlede uyumlu çıkarken [Keskin, 2001], ısıl işlemli örnekler daha az boyutsal değişime uğramıştır. Başka bir çalışmada ise PVAc tutkalı kullanarak T-R-T düzeninde 3 katlı lamine edilmiş sarıçam odununda genişleme miktarı genişlikçe % 6.48, kalınlıkça %7.08 ve hacmen %13.56 olarak elde edilmiştir [Dilik, 1997].

Tutkal çeşidine göre genişlik artışı, en yüksek PU tutkalı ile lamine edilen örneklerde elde edilirken bunu sırasıyla D4 ve MF tutkalı ile lamine edilen örnekler takip etmiştir. D4 ve PU tutkalı arasındaki fark istatiksel olarak önemsiz bulunmuştur. MF tutkalının düşük olması bu tutkalın suyun etkisine daha dayanıklı olmasından kaynaklanabilir. Bu sonuçlar literatürlede uyumlu çıkmıştır [Doruk, 2009].

Isıl işlem sıcaklığına göre genişlik artışı, en yüksek 185 °C ısıl işlemli örneklerde, en düşük ise 212 ºC ısıl işlemli örneklerde elde edilmiştir. Kontrol örneklerine göre ısıl işlem uygulanan örneklerde yaklaşık % 22 ve % 40 oranında boyutsal kararlılık (stabilizasyon) sağlanmıştır. Boyutsal kararlılığın sağlanmasında öncelikli olarak hemiselülozlar sorumlu olduğu düşünülmektedir. Isıl işlem sonunda yapısı bozulan hemiselülozlarda ve karbonhidratlarda oluşan hidroksil gruplarda bir azalma meydana gelmesi ve daha az higroskopik olması su adsorpsiyonunda toplam miktarın azalmasına neden olmakta ve ağaç malzeme boyutsal kararlılık kazanmaktadır [Boonstra, 2008; Hill,2006; Enjily ve Jones, 2006]. Isıl işlem sıcaklığı ve şartları boyutsal kararlılığın kazanılmasında birincil rol oynayan etmelerin başında gelmektedir. Sıcaklık artıkça boyutsal kararlılığın arttığı ve ısıl işlem uygulama ortamı değiştikce boyutsal kararlılık oranlarının değiştiği belirtilmiştir [Burmester, 1975]. Ayrıca ısıl işlem sonunda boyutsal stabilizasyondaki gelişmelerin ağaç türlerine göre değiştiği ve kesit yüzeylerinde değişimlerin farklı oranlarda olduğu belirtilmiştir [Yun ve ark., 1999; Keith ve Chang, 1978].

Genişlik artışında ağaç malzeme türü-ısıl işlem sıcaklığı ikili etkileşimi, en yüksek 185 °C ısıl işlemli Doğu kayınında, en düşük ise 212 °C ısıl işlemli kavakta elde

edilmiştir. Doğu kayınında ve düşük sıcaklıkta yüksek çıkması, yoğunluk miktarından ve daha düşük sıcaklık derecesinin ağaç malzemede meydana getirdiği daha az higroskopiklikle alakalı olduğu düşünülmektedir. Buna göre sıcaklık miktarı artıkça daha fazla boyutsal kararlılık sağlanmıştır.

Genişlik artışında ağaç malzeme türü-tutkal çeşidi-ısıl işlem sıcaklığı üçlü etkileşimi, en yüksek D4 tutkalı ile lamine edilen 185 °C ısıl işlemli Doğu kayınında, en düşük ise D4 tutkalı ile lamine edilen 212°C ısıl işlemli kavakta elde edilmiştir. Lamine ağaç malzemede ısıl işlem sıcaklığı arttıkça genişlik yönündeki boyutsal kararlılıkta artmıştır.

Yanma Özellikleri

Alev Kaynaklı Yanma Sıcaklığı;

Alev kaynaklı yanma sıcaklığı, en yüksek MF tutkalı ile lamine edilen 185 °C ısıl işlemli kavakta, en düşük ise MF tutkalı ile lamine edilen 212 °C ısıl işlemli meşede elde edilmiştir.

Ağaç malzeme türüne göre alev kaynaklı yanma sıcaklığı, en yüksek sarıçamda elde edilirken bunu sırasıyla kavak, sapsız meşe ve Doğu kayını takip etmiştir. Sarıçamda yüksek çıkması diğer odun türlerine göre nispeten daha reçineli olmasından kaynaklanıyor olabilir. Sonuçlar literatürle uyumlu çıkmıştır [Atar ve ark., 2010].

Tutkal çeşidine göre alev kaynaklı yanma sıcaklığı, en yüksek PU tutkalı ile lamine edilen örneklerde elde edilirken bunu sırasıyla D4 ve MF tutkalı ile lamine edilen örnekler takip etmiştir. Buna göre MF tutkalı, yanmayı azaltıcı etki göstermiştir. Literatürde FF ve MF tutkalları ile lamime edilen ve değişik emprenye maddeleri ile muamele edilen sarıçam ve Doğu kayını örneklerde alev kaynaklı yanma sıcaklığı tutkal türleri arasında farklı çıkmıştır [Özçifçi, 2001].

Isıl işlem sıcaklığına göre alev kaynaklı yanma sıcaklığı, en yüksek kontrol örneklerine göre 185 ºC ısıl işlemli örneklerde, en düşük ise 212 ºC'de ısıl işlemli örneklerde elde edilmiştir. Isıl işlem yanma özelliğini azaltıcı etki yapmıştır. Isıl işlem kontrol örneklerine göre alev kaynaklı yanma sıcaklığını % 3 ve % 10 oranında azaltmıştır. Burada ısıl işlemle birlikte ağaç malzemede bulunan reçine ve bazı yanıcı ekstraktiflerin ağaç malzemeden uzaklaşması etkili olmuş olabilir. Literatürde ısıl işleme tabi tutulan ağaç malzemenin yanma özelliklerinde kayde değer bir gelişme gözlenmezken bazı yanma özelliklerinin kontrol örneklerine yakın değerler verdiği belirtilmiştir [Wang, 2007].

Alev kaynaklı yanma sıcaklığında ağaç malzeme türü-tutkal çeşidi ikili etkileşimi, en yüksek D4 tutkalı ile lamine edilen sarıçamda, en düşük MF tutkalı ile lamine edilen sapsız meşede elde edilmiştir. D4 tutkalı ile lamine edilen sarıçamda yüksek çıkması nispeten reçineli olmasından ve tutkalın yanmayı arttırıcı özellik göstermesinden kaynaklanıyor olabilir.

Alev kaynaklı yanma sıcaklığında ağaç malzeme türü-ısıl işlem sıcaklığı ikili etkileşime, en yüksek 185 ºC ısıl işlemli sarıçamda, en düşük ise 212 ºC ısıl işlemli Doğu kayınında elde edilmiştir. Sıcaklık derecesi arttıkça yanma özelliği azalmıştır. Bundan dolayı, ısıl işlem yanma özelliğini azaltıcı etki yapmıştır şeklinde yorumlanabilir.

Alev kaynaklı yanma sıcaklığında tutkal çeşidi-ısıl işlem sıcaklığı ikili etkileşimi, en yüksek 185 ºC ısıl işlemli D4'te, en düşük ise 212 ºC ısıl işlemli MF'de elde edilmiştir. Bu sonuçlara göre ısıl işlemin sıcaklık derecesinin artması ve MF tutkalı, yanmayı azaltıcı etki yapmıştır şeklinde yorumlanabilir.

Alev kaynaklı yanma sıcaklığında ağaç malzeme türü-tutkal çeşidi-ısıl işlem sıcaklığı üçlü etkileşimi, en yüksek MF tutkalı ile lamine edilen 185 ºC ısıl işlemli kavakta, en düşük ise MF tutkalı ile lamine edilen 212 ºC ısıl işlemli meşede elde edilmiştir. Yüksek derecedeki ısıl işlemli deney gruplarının daha düşük sonuçlar vermesi ve

toplu halde bulunması ısıl işlemin yanmayı azaltıcı etki göstermiştir şeklinde yorumlanabilir.

Kendi Kendine Yanma Sıcaklığı;

Kendi kendine yanma sıcaklığı, en yüksek PU tutkalı ile lamine edilen kontrol sarıçamda, en düşük ise MF tutkalı ile lamine edilen 212 °C ısıl işlemli sapsız meşede elde edilmiştir.

Ağaç malzeme türüne göre kendi kendine yanma sıcaklığı, en yüksek sarıçamda elde edilirken bunu sırasıyla kavak, sapsız meşe, ve Doğu kayını takip etmiştir. Sarıçamda kendi kendine yanma sıcaklığının yüksek çıkması diğer odun türlerine göre daha reçineli olmasından, Doğu kayınında ise düşük çıkması bu ağaç türünün yoğunluğun yüksek olması yanma direncini arttırmış olabilir. Sonuçlar literatürlede uyumlu çıkmıştır [Atar ve ark, 2010; Özçifçi ,2001; Örs ve ark., 1997].

Tutkal çeşidine göre kendi kendine yanma sıcaklığı, en yüksek PU tutkalı ile lamine edilen örneklerde elde edilirken bunu sırasıyla D4 ve MF tutkalı ile lamine edilen örnekler takip etmiştir. Buna göre MF tutkalı yanmayı azaltıcı etki göstermiştir.

Isıl işlem sıcaklığına göre kendi kendine yanma sıcaklığı, en yüksek 185 ^{o}C ısıl işlemli örneklerde, en düşük ise 212 ^{o}C ısıl işlemli örneklerde elde edilmiştir. Isıl işlem, kendi kendine yanma sıcaklığını azaltıcı etki yapmış ve kontrol örneklerine göre % 5 ve % 7 oranında azaltmıştır. Buna, ağaç malzemelerin yüksek sıcaklıkta ısıl işlem uygulaması ile yapısında bulunan ve yanma özelliği fazla olan bazı ektraktif ve reçinelerin gaz fazında uçarak uzaklaşması neden olmuş olabilir. Bu durum, ısıl işlemli örneklerin alev kaynağı olmadan yanmaya karşı az da olsa direnç gösterdiğini şeklinde yorumlanabilir.

Kendi kendine yanma sıcaklığında ağaç malzeme türü-tutkal çeşidi ikili etkileşimi, en yüksek D4 tutkalı ile lamine edilen sarıçamda, en düşük ise MF tutkalı ile lamine

edilen sapsız meşede elde edilmiştir. Buna göre MF tutkalı ile lamine edilen sapsız meşe yanmayı azaltıcı etki göstermiştir.

Kendi kendine yanma sıcaklığında ağaç malzeme türü-ısıl işlem sıcaklığı ikili etkileşimi, en yüksek 185 °C ısıl işlemli sarıçamda, en düşük ise 212 °C ısıl işlemli Doğu kayınında elde edilmiştir. Bu durumda, sarıçamın reçineli olması yüksek çıkmasına katkı sağlamış olabilirken, 212 °C ısıl işlemli Doğu kayınının yüksek yoğunluğa sahip olması ve ısıl işlem yanmayı azaltıcı etki göstermiş olabilir.

Kendi kendine yanma sıcaklığında tutkal çeşidi-ısıl işlem sıcaklığı ikili etkileşimi, en yüksek 185 °C ısıl işlemli D4'te, en düşük ise 212 °C ısıl işlemli MF'de elde edilmiştir. Buna göre yüksek sıcaklıkta ısıl işlem gören MF tutkalı yanmayı azaltıcı etki göstermiştir.

Kendi kendine yanma sıcaklığında ağaç malzeme türü-tutkal çeşidi-ısıl işlem sıcaklığı üçlü etkileşimi, en yüksek MF tutkalı ile lamine edilen 185 °C ısıl işlemli kavakta, en düşük ise MF tutkalı ile lamine edilen 212 °C ısıl işlemli sapsız meşede elde edilmiştir. MF tutkalı ile lamine edildikten sonra, yüksek sıcaklıkta ısıl işlem uygulanan yüksek yoğunluklu sapsız meşe yanmayı azaltıcı etki sağlamıştır.

Kor Hali Yanma Sıcaklığı;

Kor hali yanma sıcaklığı, en yüksek MF tutkalı ile lamine edilen kontrol Doğu kayınında, en düşük PU tutkalı ile lamine edilen 212 °C ısıl işlemli sarıçamda elde edilmiştir.

Ağaç malzeme türüne göre kor hali yanma sıcaklığı, en yüksek Doğu kayınında elde edilirken bunu sırasıyla sarıçam, kavak ve sapsız meşe takip etmiştir. Kavak ve sapsız meşe arasındaki fark istatistiksel olarak önemsiz çıkmıştır. Doğu kayınında kor hali yanma sıcaklığının yüksek çıkması kısa sürede kendi kendine yanma süresinin sonlanması ve kor halinde uzun süre yanmasından kaynaklanmış olabilir. Diğer lamine ağaç malzeme türlerine göre yanma sonucunda en az dağılan Doğu

kayını olmuştur. Literatürde kor hali yanma sıcaklığı en fazla sapsız meşede çıkarken bunu sarıçam ve doğu kayını izlemiştir [Atar ve ark., 2009]. Buradaki farklılığın ağaç malzemeye uygulanan işlem farklılığından kaynaklandığı düşünülmektedir.

Isıl işlem sıcaklığına göre kor hali yanma sıcaklığı, en yüksek 185 °C ısıl işlemli örneklerde, en düşük ise 212 °C ısıl işlemli örneklerde elde edilmiştir. Isıl işlem sıcaklığına bağlı olarak kor hali yanma sıcaklığı kontrol örneklerine göre % 5 ve % 10 oranında azaltmıştır. Buna, ağaç malzemede yanma özelliği fazla olan ekstraktif ve reçinelerin ısıl işlemle birlikte uzaklaşması neden olmuş olabilir.

Kor hali yanma sıcaklığında ağaç malzeme türü-tutkal çeşidi ikili etkileşimi, en yüksek PU tutkalı ile lamine edilen Doğu kayınında, en düşük ise MF tutkalı ile lamine edilen sapsız meşede elde edilmiştir. MF tutkalı ile lamine edilen sapsız meşe kor hali yanmayı azaltıcı etki sağlamıştır. Meşe odununda tanen miktarının fazla olması ve MF tutkalının yanmayı azaltıcı etki yapması bu sonucun çıkmasına katkı sağlamış olabilir. Bu durum literatürlede uyumlu çıkmıştır [Özçifçi, 2001].

Kor hali yanma sıcaklığında ağaç malzeme türü-ısıl işlem sıcaklığı ikili etkileşimi, en yüksek 185 °C ısıl işlemli kavakta, en düşük ise 212 °C ısıl işlemli kavakta elde edilmiştir. Bu durumda, ısıl işlemli örneklerde kor hali yanmada sıcaklık farkı en fazla kavak odununda elde edilmiştir. Bu durum, ısıl işlemde sıcaklık farkından kaynaklanmış olabilir.

Alev Kaynaklı Yanmada Işık Yoğunluğu;

Alev kaynaklı yanmada ışık yoğunluğu, en yüksek D4 tutkalı ile lamine edilen 212 ºC ısıl işlemli sarıçamda, en düşük ise PU tutkalı ile lamine edilen kontrol kavakta elde edilmiştir.

Ağaç malzeme türüne göre alev kaynaklı yanmada ışık yoğunluğu, en yüksek Doğu kayınında elde edilirken bunu sırasıyla sarıçam, sapsız meşe ve kavak takip etmiştir. Sonuçlar literatürlede uyumlu çıkmıştır [Atar ve ark., 2010].

Tutkal çeşidine göre alev kaynaklı yanmada ışık yoğunluğu, en yüksek D4 tutkalı ile lamine edilen örneklerde elde edilirken, bunu sırasıyla PU ve MF tutkalı ile lamine edilen örnekler takip etmiştir. MF tutkalında düşük çıkması bu tutkalın yapısal özelliklerinden kaynaklanmış olabilir. Bu durum literatürlede uyumlu çıkmıştır [Özçifçi, 2001].

Isıl işlem sıcaklığına göre alev kaynaklı yanmada ışık yoğunluğu, en yüksek 212 ºC ısıl işlemli örneklerde, en düşük ise 185 ºC ısıl işlemli örnekler elde edilmiştir. Sıcaklık miktarı arttıkça duman yoğunluğu kontrol örneklerine göre % 20 ve % 36 oranında azalmıştır. Isıl işlem esnasında ağaç malzemede bulunan bazı ektraktif ve reçinelerin uzaklaşması bunda etkili olmuş olabilir.

Alev kaynaklı yanmada ışık yoğunluğunda ağaç malzeme türü-tutkal çeşidi ikili etkileşimi, en yüksek D4 tutkalı ile lamine edilen sarıçamda, en düşük MF tutkalı ile lamine edilen sapsız meşede elde edilmiştir.

Alev kaynaklı yanmada ışık yoğunluğunda ağaç malzeme türü-ısıl işlem sıcaklığı ikili etkileşimi, en yüksek 212 ºC ısıl işlemli sarıçamda, en düşük 185 ºC ısıl işlemli sapsız meşede elde edilmiştir. Yüksek sıcaklıkta ısıl işlem uygulanan örneklerde duman yoğunluğu az çıkmıştır. Bunda, ısıl işleme maruz kalan ağaç malzemelerde ekstraktif maddelerin ve reçinelerin uzaklaşması etkili olmuş olabilir.

Alev kaynaklı yanmada ışık yoğunluğunda ağaç malzeme türü-tutkal çeşidi-ısıl işlem sıcaklığı üçlü etkileşimi, en yüksek D4 tutkalı ile lamine edilen 212 ºC ısıl işlemli sarıçamda, en düşük MF tutkalı ile lamine edilen 185 ºC ısıl işlemli sapsız meşede elde edilmiştir. Isıl işlem uygulanan tüm deney gruplarında duman yoğunluğu azalmıştır.

Kendi Kendine Yanmada Işık Yoğunluğu;

Kendi kendine yanma aşamasında elde edilen ışık yoğunluğu, en yüksek D4 tutkalı ile lamine edilen 212 ºC ısıl işlemli Doğu kayınında, en düşük ise MF tutkalı ile lamine edilen kontrol sapsız meşede elde edilmiştir.

Ağaç malzeme türüne göre kendi kendine yanmada ışık yoğunluğu, en yüksek Doğu kayınında elde edilirken, bunu sırasıyla sarıçam, sapsız meşe ve kavak takip etmiştir. Doğu kayınında yüksek çıkması yanma süresi boyunca daha az yanma özelliği göstermesinden kaynaklanmış olabilir. Sonuçlar literatürlede uyumlu çıkmıştır [Atar ve ark., 2010, Özçifçi, 2001].

Tutkal çeşidine göre kendi kendine yanmada ışık yoğunluğu en yüksek, PU tutkalı ile lamine edilen örneklerde elde edilirken, bunu sırasıyla D4 ve MF tutkalı ile lamine edilen örnekler takip etmiştir. PU tutkalında yüksek çıkması yanmanın daha iyi gerçekleşmesinden kaynaklanmış olabilir.

Isıl işlem sıcaklığına göre kendi kendine yanmada ışık yoğunluğu, en yüksek 212 ºC ısıl işlemli örneklerde, en düşük ise 185 ºC ısıl işlemli örneklerde elde edilmiştir. Sıcaklık derecesi arttıkça duman yoğunluğu kontrol örneklerine göre % 15 ve % 32 oranında azalmıştır. Yüksek sıcaklıkta ağaç malzemeden ekstraktiflerin ve reçinelerin gaz fazında buharlaşarak geride saf bir yapının kalması duman yoğunluğunu azaltmış olabilir.

Kendi kendine yanmada ışık yoğunluğunda ağaç malzeme türü-tutkal çeşidi ikili etkileşimi, en yüksek PU tutkalı ile lamine edilen Doğu kayınında, en düşük ise MF tutkalı ile lamine edilen sapsız meşede elde edilmiştir.

Kendi kendine yanmada ışık yoğunluğunda ağaç malzeme türü-ısıl işlem sıcaklığı ikili etkileşimi, en yüksek 212 ºC ısıl işlemli Doğu kayınında, en düşük ise 185 ºC ısıl işlemli kavakta elde edilmiştir. Yüksek sıcaklıkta ısıl işlem uygulanan örneklerin duman yoğunluğu daha az çıkmıştır.

Kendi kendine yanmada ışık yoğunluğunda tutkal çeşidi-ısıl işlem sıcaklığı ikili etkileşimi, en yüksek 212 ºC ısıl işlemli D4'te, en düşük ise 185 ºC ısıl işlemli MF'de elde edilmiştir. Buna göre yüksek sıcaklıkta ısıl işlem uygulanan tutkal çeşitlerinde de duman yoğunluğu düşük çıkmıştır.

Kendi kendine yanmada ışık yoğunluğunda ağaç malzeme türü-tutkal çeşidi-ısıl işlem sıcaklığı üçlü etkileşimi, en yüksek D4 tutkalı ile lamine edilen 212 ºC ısıl işlemli Doğu kayınında, en düşük ise MF tutkalı ile lamine edilen 185 ºC ısıl işlemli sapsız meşede elde edilmiştir. Kendi kendine yanmada ışık yoğunluğunda hem ağaç malzeme türünde hemde tutkal çeşidinde uygulanan ısıl işlemin sıcaklık derecesi yükseldikçe duman yoğunluğu kayda değer oranda azalmıştır. Bu durum yangın esnasında dumandan zehirlenme ve zarar görmenin engellenmesinde göz önünde bulundurulabilir.

Kor Hali Yanmada Işık Yoğunluğu;

Kor hali yanmada ışık yoğunluğu, en yüksek D4 tutkalı ile lamine edilen 212 ºC ısıl işlemli Doğu kayınında, en düşük ise MF tutkalı ile lamine edilen kontrol sapsız meşede elde edilmiştir.

Ağaç malzeme türüne göre kor hali yanmada ışık yoğunluğu, en yüksek Doğu kayınında elde edilirken, bunu sırasıyla sarıçam, kavak ve sapsız meşe takip etmiştir. Sapsız meşede ekstraktif maddelerin çokluğu düşük çıkmasına neden olmuş olabilir. Çalışmadan elde edilen değerler literatürlede uyumlu çıkmıştır [Atar ve ark., 2010].

Tutkal çeşidine göre kor hali yanmada ışık yoğunluğu, en yüksek PU tutkalı ile lamine edilen örneklerde elde edilirken, bunu sırasıyla D4 ve MF tutkalı ile lamine edilen örnekler takip etmiştir. D4 ve MF arasındaki fark istatistiksel olarak önemsiz çıkmıştır. PU tutkalı ile lamine edilen örneklerde yüksek çıkması, ısıl işlem esnasında örneklerin yüzeylerini ve katmanların arasını yağlı ve siyah bir katmanın sarmasından kaynaklanmış olabilir.

Isıl işlem sıcaklığına göre kor hali yanmada ışık yoğunluğu, en yüksek 212 ºC ısıl işlemli örneklerde, en düşük ise 185 ºC ısıl işlemli örneklerde elde edilmiştir. Isıl işlemde sıcaklık derecesi arttıkça duman yoğunluğu kontrol örneklerine göre % 12 ve % 23 oranında azalmıştır. Bu durum yangın esnasında duman zehirlenmelerinin önüne geçmek için göz önünde bulundurulabilir.

Kor hali yanmada ışık yoğunluğunda ağaç malzeme türü-tutkal çeşidi ikili etkileşimi, en yüksek PU tutkalı ile lamine edilen Doğu kayınında, en düşük ise MF tutkalı ile lamine edilen sapsız meşede elde edilmiştir. Sapsız meşede ışık yoğunluğunun düşük çıkması yanma esnasında tanence zengin olmasından kaynaklanabilir.

Kor hali yanmada ışık yoğunluğunda ağaç malzeme türü-ısıl işlem sıcaklığı ikili etkileşimi en yüksek, 212 ºC ısıl işlemli sarıçamda, en düşük ise 185 ºC ısıl işlemli kavakta elde edilmiştir. Sarıçamda yüksek çıkması, reçine oranının yüksek, dolayısı ile yanma özelliğinin fazla olmasından kaynaklanabilir.

Kor hali yanmada ışık yoğunluğunda tutkal çeşidi-ısıl işlem sıcaklığı ikili etkileşimi, en yüksek 212 ºC ısıl işlemli D4'te, en düşük ise 185 ºC ısıl işlemli D4'te elde edilmiştir. Yüksek sıcaklıkta uygulanan ısıl işlemde duman yoğunluğu daha az çıkmıştır. Buda, ısıl işlemin tutkal çeşitlerinde de etkili olarak duman yoğunluğunu azalttığını ortaya koymaktadır.

Kor hali yanmada ışık yoğunluğunda ağaç malzeme türü-tutkal çeşidi-ısıl işlem sıcaklığı üçlü etkileşimi, en yüksek D4 tutkalı ile lamine edilen 212 ºC ısıl işlemli Doğu kayınında, en düşük ise D4 tutkalı ile lamine edilen 185 ºC ısıl işlemli kavakta elde edilmiştir. Isıl işlemli örneklerin ışık yoğunluğu kontrol örneklerinden yüksek çıkmıştır. Burada, ısıl işlem uygulanan ağaç malzemeden ekstraktiflerin ve reçinelerin uzaklaşması ışık yoğunluğunun yüksek çıkmasına neden olmuş olabilir.

Kendi Kendine Yanma Süresi;

Kendi kendine yanma süresi en yüksek, MF tutkalı ile lamine edilen sapsız meşede, en düşük ise PU tutkalı ile lamine edilen 212 °C ısıl işlemli kavakta elde edilmiştir.

Ağaç malzeme türüne göre kendi kendine yanma süresi, en yüksek sapsız meşede elde edilirken bunu sırasıyla sarıçam, Doğu kayını ve kavak takip etmiştir. Sapsız meşede uzun çıkması yanmayı engelleyici özellik göstermesinden kaynaklanmış olabilir. Bu durum literatürlede uyumlu çıkmıştır [Atar ve ark, 2010].

Tutkal çeşidine göre kendi kendine yanma süresi en yüksek, MF tutkalı ile lamine edilen örneklerde elde edilirken, bunu sırasıyla D4 ve PU tutkalı ile lamine edilen örnekler takip etmiştir. MF tutkalı ile lamine edilen ağaç malzemelerde yüksek yanma süresi bu tutkalın yanmaya karşı direncinin yüksek olmasından kaynaklanmış olabilir. Bu durum literatürlede uyumlu çıkmıştır [Özçifçi, 2001].

Isıl işlem sıcaklığına göre kendi kendine yanma süresi en yüksek, 185 ºC ısıl işlemli örneklerde, en düşük ise 212 ºC ısıl işlemli örneklerde elde edilmiştir. Isıl işlem sıcaklığına bağlı olarak kendi kendine yanma süresi kontrol örneklerine göre % 21 ve % 34 oranında kısalmıştır. Burada ısıl işleme maruz kalan ağaç malzemelerdeki reçine ve bazı yanma özelliği fazla olan ekstraktiflerin uzaklaşması ağaç malzemenin kendi kendine yanma süresini kısaltmış olabilir.

Kendi kendine yanma süresinde ağaç malzeme türü-tutkal çeşidi ikili etkileşimi, en yüksek MF tutkalı ile lamine edilen sapsız meşede, en düşük ise D4 tutkalı ile lamine edilen kavakta elde edilmiştir. D4 tutkalı ile lamine edilen kavakta düşük çıkması, ağaç malzemenin yoğunluğunun düşük olması ile yanma esnasında kısa sürede dağılmasından kaynaklanabilir.

Kendi kendine yanma süresinde tutkal çeşidi-ısıl işlem sıcaklığı ikili etkileşimi, en yüksek 185 ºC ısıl işlemli MF'de, en düşük ise 212 ºC ısıl işlemli PU'da elde edilmiştir. PU tutkalında düşük çıkması, sıcaklık karşısında en çabuk deforme olabilen tutkal çeşidi olmasından kaynaklanabilir.

Kor Hali Yanma Süresi;

Kor hali yanma süresi, en yüksek MF tutkalı ile lamine edilen kontrol Doğu kayınında, en düşük ise PU tutkalı ile lamine edilen 212 °C ısıl işlemli kavakta elde edilmiştir.

Ağaç malzeme türüne göre kor hali yanma süresi, en yüksek Doğu kayınında elde edilirken, bunu sapsız meşe, sarıçam ve kavak takip etmiştir. Doğu kayınında ve sapsız meşede yüksek çıkması bu malzeme türlerinde yoğunluğun fazla olmasından kaynaklanmış olabilir. Bu durum literatürlede uyumlu çıkmıştır [Atar ve ark, 2010].

Tutkal çeşidine göre kor hali yanma süresi, en yüksek MF tutkalı ile lamine edilen örneklerde elde edilirken, bunu sırasıyla D4 ve PU tutkalı ile lamine edilen örnekler takip etmiştir. MF tutkalında yüksek çıkması yanmaya karşı direncinin yüksek olmasından kaynaklanmış olabilir.

Isıl işlem sıcaklığına göre kor hali yanma süresi, en yüksek 185 °C ısıl işlemli örneklerde, en düşük ise 212°C ısıl işlemli örneklerde elde edilmiştir. Isıl işlem, lamine ağaç malzemelerin kor hali yanma sürelerinde kontrol örneklerine göre % 3 ve % 4'lük kısalma meydana getirmiştir. Isıl işlem esnasında lamine ağaç malzemelerin ana bileşenlerinden hemiselüloz ve ligninde kayıpların meydana gelmesi ve lameller arasındaki tutkalın deforme olması lamine ağaç malzemelerin daha kısa sürede dağılmasına neden olmuş olabilir.

Kor hali yanma süresinde ağaç malzeme türü-tutkal çeşidi ikili etkileşimi, en yüksek MF tutkalı ile lamine edilen Doğu kayınında, en düşük ise PU tutkalı ile lamine edilen kavakta elde edilmiştir. Buna göre, Doğu kayını ve MF tutkalı yanmaya karşı direnç gösterirken, PU tutkalı ile kavak direnç gösterememiştir. PU tutkalının ısıl işlemden sonra en fazla bozunuma uğrayan tutkal çeşidi olması ile yanma esnasında kısa sürede dağılması ve kavak malzemelerde yoğunluğun düşük olması, kor hali yanma süresinin kısa sürmesinde etkili olabilir.

Kor hali yanma süresinde ağaç malzeme türü-ısıl işlem sıcaklığı ikili etkileşimi, en yüksek 185 °C ısıl işlemli Doğu kayınında, en düşük ise 212 °C ısıl işlemli kavakta elde edilmiştir. 212 °C ısıl işlemli kavakta yanma süresinin düşük çıkması, yoğunluğunun düşük olmasından ve yüksek sıcaklıkta ısıl işlemin hücre yapılarını ve ana bileşenlerini daha fazla bozunuma uğratmasından kaynaklanmış, bunun sonucunda da daha düşük sürelerde yanma meydana gelmiş olabilir.

Kor hali yanma süresinde ağaç malzeme türü-tutkal çeşidi-ısıl işlem sıcaklığı üçlü etkileşimi, en yüksek D4 tutkalı ile lamine edilen 212 °C ısıl işlemli sapsız meşede, en düşük ise PU tutkalı ile lamine edilen 212 °C ısıl işlemli kavakta elde edilmiştir. Isıl işlem uygulanmış ağaç malzemelerin kısa sürede tutuşması ve sona ermesi kor hali yanma süresinin yüksek çıkmasına katkı sağlarken, PU tutkalı ile lamine edilen örneklerin yanma esnasında kısa sürede katmanlara ayrılarak dağılması düşük çıkmasına neden olmuş olabilir.

Yıkılma süresi;

Yanma sonucu meydana gelen yıkılma süresi, en yüksek PU tutkalı ile lamine edilen 212 °C ısıl işlemli sapsız meşede, en düşük ise MF tutkalı ile lamine edilen kontrol kavakta elde edilmiştir.

Ağaç malzeme türüne göre yıkılma süresi, en yüksek sapsız meşede elde edilirken, bunu sarıçam, Doğu kayını ve kavak takip etmiştir. Sapsız meşede yüksek çıkması yoğunluğunun yüksek ve tanen miktarının fazla olmasından kaynaklanıyor olabilir. Sonuçlar literatürlede uyumlu çıkmıştır [Atar ve ark., 2010].

Tutkal çeşidine göre yıkılma süresi, en yüksek MF tutkalı ile lamine edilen örneklerde, en düşük ise PU tutkalı ile lamine edilen örneklerde elde edilmiştir. PU tutkalında düşük çıkması, yanma esnasında en fazla yıkımlanan tutkal çeşidi olmasından ve kısa sürede dağılmasından kaynaklanabilir.

Isıl işlem sıcaklığına göre yıkılma süresi, en yüksek 212 °C ısıl işlemli örneklerde, en düşük ise 185 °C ısıl işlemli örneklerde elde edilmiştir. Kontrol örneklerine göre ısıl işlem gören örneklerin yıkılma süreleri yaklaşık % 9 ve %10 oranında artmıştır. Yıkılma sürelerinin ısıl işlem görmüş örneklerde yüksek çıkması, kendi kendine yanma sürelerinin kısa sürmesinden kaynaklanmış olabilir. Ağaç malzemenin yıkımlanmasında alevin varlığı önemli bir etkendir. Kendi kendine yanma aşamasının kısa sürmesi yıkılma süresinin yüksek olmasına katkıda bulunmuş olabilir.

Yıkılma süresinde ağaç malzeme türü-tutkal çeşidi ikili etkileşimi, en yüksek MF tutkalı ile lamine edilen sapsız meşede, en düşük ise D4 tutkalı ile lamine edilen kavakta elde edilmiştir. Buna göre, MF tutkalı ile sapsız meşe yıkılma süresini azaltıcı etki sağlamıştır. MF tutkalının ve sapsız meşenin yanma özelliklerinin daha dayanıklı olmasından kaynaklanmış olabilir.

Yıkılma süresinde ağaç malzeme türü-ısıl işlem sıcaklığı ikili etkileşimi, en yüksek 212 °C ısıl işlemli sapsız meşede, en kısa ise 185 °C ısıl işlemli kavakta elde edilmiştir.

Yıkılma süresinde tutkal çeşidi-ısıl işlem sıcaklığı ikili etkileşimi, en yüksek 212 °C ısıl işlemli MF'de, en düşük ise 185 °C ısıl işlemli PU'da elde edilmiştir. PU tutkalı ile lamine edilen örneklerin, yanma deneyi esnasında kısa sürede dağılarak yıkılmaları kısa sürmesine neden olmuş olabilir.

Yıkılma süresinde ağaç malzeme türü-tutkal çeşidi-ısıl işlem sıcaklığı üçlü etkileşimi en yüksek, PU tutkalı ile lamine edilen 212 °C ısıl işlemli sapsız meşede, en düşük ise PU tutkalı ile lamine edilen 185°C ısıl işlemli kavakta elde edilmiştir. Isıl işlem genel olarak lamine ağaç malzemelerin yıkılma sürelerini arttırmıştır. Bunda, ısıl işlemli örneklerde ağaç malzemeden uzaklaşan reçine ve bazı yanıcı ekstraktifler ile fazla suyun uzaklaşması sonucu örnekler kısa sürede tutuşmuş ve kısa sürede sönmüşlerdir. Bu durumda alevin tutkal derzini daha fazla deforme etmeden kısa sürede sönmesi yıkılma süresinin uzamasına katkı sağlamış olabilir.

Ağırlık Kaybı;

Yanma spnucunda meydana gelen ağırlık kaybı, en yüksek PU tutkalı ile lamine edilen kontrol kavakta, en düşük ise MF tutkalı ile lamine edilen 185°C ısıl işlemli sarıçamda elde edilmiştir.

Ağaç malzeme türüne göre ağırlık kaybı en yüksek kavakta elde edilrken bunu sırasıyla sarıçam, sapsız meşe ve Doğu kayını takip etmiştir. Kavak ounda yüksek çıkması yoğunluğunun düşük olmasından ve daha fazla yanmasından kaynaklanıyor olabilir. Doğu kayınının daha az çıkması yanma esnasında kütleler halinde düşmesinden ve daha az yanmasından kaynaklanıyor olabilir. Çalışmadan elde edilen sonuçlar literatürlede uyumlu çıkmıştır [Atar ve ark., 2010].

Tutkal çeşidine göre ağırlık kaybı, en yüksek D4 tutkalı ile lamine edilen örneklerde elde edilirken, bunu sırasıyla PU ve MF tutkalı ile lamine edilen örnekler takip etmiştir. MF tutkalında ağırlık kaybının az olması bu tutkal türünün yanmaya karşı direncinin yüksek olmasından kaynaklanmış olabilir. Bu durum literatürlede uyumlu çıkmıştır [Özçifçi, 2001].

Isıl işlem sıcaklığına göre ağırlık kaybı en yüksek 185 ºC ısıl işlemli örneklerde, en düşük ise 212 ºC ısıl işlemli örneklerde elde edilmiştir. Sıcaklık arttıkça ağırlık kayıpları kontrol örneklerine göre % 1 ve % 3 oranında azalmıştır. Bu durum kontrol örneklerinde kendi kendine ve kor halinde yanma sürelerinin fazla olmasından kaynaklanıyor olabilir.

Ağırlık kaybında ağaç malzeme türü-tutkal çeşidi ikili etkileşimi en yüksek, PU tutkalı ile lamine edilen kavakta, en düşük MF tutkalı ile lamine edilen Doğu kayınında elde edilmiştir. PU ve kavakta yüksek çıkması, yanma sonucu özellikle PU tutkalı ile lamine edilen örneklerin kısa sürede katmanlarının ayrılması ve yanmaya bu şekilde devam ederek yanmanın daha fazla meydana gelmesinden kaynaklanmış olabilir.

Ağırlık kaybında ağaç malzeme türü-ısıl işlem sıcaklığı ikili etkileşimi en yüksek, 185 °C ısıl işlemli kavakta, en düşük ise 212 °C ısıl işlemli Doğu kayınında elde edilmiştir. Doğu kayınında düşük çıkması yanma deneyi esnasında örneklerin kütleler halinde düşerek kısa sürede yanma işlemin sonlanmasından kaynaklanıyor olabilir.

Ağırlık kaybında tutkal çeşidi-ısıl işlem sıcaklığı ikili etkileşimi en yüksek, 185 °C ısıl işlemli D4'te, en düşük ise 185 °C ısıl işlemli MF'de elde edilmiştir. MF tutkalında düşük çıkması yanmaya karşı direncinin yüksek olmasından kaynaklanabilir.

Ağırlık kaybında ağaç malzeme türü-tutkal çeşidi-ısıl işlem sıcaklığı üçlü etkileşimi en yüksek, D4 tutkalı ile lamine edilen 185 °C ısıl işlemli kavakta, en düşük ise MF tutkalı ile lamine edilen 185°C ısıl işlemli sarıçamda elde edilmiştir. Genel olarak yanma sonucu meydana gelen ağırlık kayıpları ısıl işlem örneklerde daha az gerçekleşmiştir. Bu durum, ısıl işlemli örneklerin daha az yanma özelliği göstermesinden ve kendi kendine yanma aşamasının kısa sürmesinden kaynaklanmış olabilir.

Öneriler;

Orman varlığının giderek azaldığı günümüzde daha verimli kullanılması bir zorunluluk haline gelmiştir. Bununla beraber hali hazırdaki odunlarında korunması önem arz etmektedir. Odun korumada, günümüzde daha çok insan ve çevre sağlığına zararlı kimyasal maddeler kullanılmaktadır. Bunlar hem zararlı hem de ekonomik değeri fazla olan yöntemlerdir. Isıl işlem, son yıllarda Avrupa'da insan ve çevre dostu olan alternatif bir odun koruma yöntemi olarak ele alınmaktadır. Isıl işlem görmüş ağaç malzeme olan talep 2003 yılında 19000 m^3 iken 2005 yılında bu 50000 m^3 olarak gerçekleşmiştir. İnsan ve çevre faktörleri göz önüne alındığında ise bu talebin daha da artacağı düşünülmektedir. Ülkemizde de ısıl işlemin alternatif bir odun koruma yöntemi olarak ele alınması ve ısıl işlem görmüş ahşap malzemenin kullanılması yaygınlaşmaktadır. Bu maksatla, lamine ahşap malzemelerin bazı

fiziksel, mekanik ve teknolojik performanslarının belirlenmesi önem arz etmektedir. Bu yönüyle, bu çalışma başvurulabilecek bir veri tabanı olabilir.

Isıl işlemin, fiziksel özelliklerden hava kurusu yoğunluk ve tam kuru yoğunluk değerini düşürdüğü belirlenmiştir. Bununla beraber boyutsal kararlılık (stabilizasyon) bakımından memnuniyet verici sonuçlar elde edilmiştir. Isıl işlem uygulaması; özellikle mutfak, banyo, sauna, yüzme havuzu, gemi güverteleri ve bahçe mobilyaları gibi rutubetli ortamlarda, lamine ağaç malzemenin çalışmasının engellenmesi bakımından önerilebilir.

Yanma deneyleri sonucunda ısıl işlemli örneklerin kontrol örneklerine göre nispeten olumlu sonuçlar vermesi dikkat çekici bir gelişmedir. Özellikle duman yoğunluğunun azalması, yangın anında karbonmonoksit (CO) zehirlenmelerine karşı önemli bir avantajdır. Ayrıca yıkılma süresinin kontrol örneklerine göre nispeten yüksek çıkması, yangın anında can güvenliği açısından olumlu bir gelişmedir. Ancak, ısıl işlemin lamine ahşap malzemenin yanma özelliklerine etkilerine yönelik çalışmaların, literatür araştırmalarında yetersiz olduğu görülmüştür. Bu alanda yapılan çalışmalar yetersiz olduğundan bu yanma özelliklerinin aynı ağaç türleri ve tutkal çeşitleri ile birlikte ve daha değişik türden malzemelerle de karşılaştırılması, uygulanan ısıl işlemin yanma deneyi sonuçlarına etkinliğinin ortaya konulması, çıkan sonuçlarla bu çalışmadan elde edilen sonuçların birlikte değerlendirilmesi son derece önemli ve faydalı görülmektedir.

Isıl işlemin, mekanik özelliklerde belirli oranlarda direnç kayıplarına neden olduğu belirlenmiştir. Isıl işlemde sıcaklık derecesi arttıkça mekanik dirençlerdeki kayıplarda artmaktadır. Fakat bu direnç kayıplarının, düşük mukavemet gerektiren kullanım yerlerinde olumsuz bir etki yapmayacağı düşünülmektedir. Bu nedenle ısıl işlemde sıcaklık derecesi düşürülerek zaman faktörünün uzatılması, optimum sıcaklık-süre kombinasyonunun belirlenmesi, daha ılımlı veya daha değişik yöntemlerin geliştirilmesi direnç kayıplarının en az düzeyde gerçekleşmesine katkı sağlayabilir. Nitekim, ısıl işlemde ağaç malzemeyi en fazla bozunuma uğratan faktörün sıcaklık derecesi olduğu göz ardı edilmemelidir. Yapılacak olan yeni ısıl

işlem uygulamalarının araştırılmasında bu türden amaçların hedeflenmesi önerilebilir.

Isıl işlem, teknolojik özelliklerden sertlik değerlerinde kayıplara neden olurken, bu kayıpların yüksek oranlarda olmadığı görülmüştür. Dolayısı ile, boyutsal kararlılık sağlanırken, özgül ağırlığının azalmasına karşın yüzeydeki sertlik değerindeki kayıpların çok yüksek oranlarda olmaması, ısıl işlem görmüş lamine ağaç malzemenin dekorasyon elemanı olarak duvar döşemelerinde ve tabanda parke uygulamalarında kullanılabileceğini akla getirmektedir.

Enerji ve hammadde girdi fiyatlarının yüksek olması son ürünün maliyetini şüphesiz arttırmaktadır. Isıl işlem uygulanmış lamine ağaç malzemenin kullanılmasında kavak türü malzemeler sarıçam, Doğu kayını ve sapsız meşe ile lamine edilirken ara katman olarak değerlendirilebilir ve böylece ürünün maliyeti düşürülebilir. Ayrıca ısıl işlem uygulaması esnasında enerji giderleri hesaplanarak optimum ısıl işlem şartlarının belirlenmesi, enerji giderlerinin aşağı çekilmesi açısından önemli olabilir.

İç ve dış mekanların dekorasyonunda özelliklede fiziksel ve mekanik performansın önemli olduğu yerlerde kullanılacak ısıl işlem uygulanmış lamine ağaç malzeme seçiminde, istenilen özelliklere uygun olarak bu ağaç türlerinden Doğu kayını veya sapsız meşenin, MF tutkalı ile birlikte lamine edilmesi ve düşük sıcaklıkta ısıl işlem uygulanarak kullanılması önerilebilir.

KAYNAKLAR

Acar, O., "*Populus Eupratica Oliv*. Odununun Anatomik ve Teknolojik Özellikleri", ***Kavak ve Hızlı Gelişen Yabancı Tür Orman Ağaçları Araştırma Enstitüsü***, Yıllık Bülten No: 8, İzmit, 121-132 (1973).

Acar, O., Ercan,M., ve Sarıbaş,M., "*Populus* x *Euramericana* CV. I-214 Odununda Zamana Bağlı Olarak Yoğunluk Değişimleri Üzerine Araştırmalar", ***Kavak ve Hızlı Gelişen Yabancı Tür Orman Ağaçları Araştırma Enstitüsü***, Yıllık bülten No: 18, İzmit, 273-275 (1982).

Açıkel, İ., "Emprenye İşleminin Ağaç Malzemede Vida Tutma Direncine Etkisi", Yüksek lisans Tezi, ***Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü***, 10-45, (2007).

Akyıldız, M, H., Ateş, S., Özdemir, H., "Technological And Chemical Properties Of Heat-Treated Anatolian Black Pine Wood", ***African Journal of Biotechnology***, 8 (11): 2565-2572 (2009).

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 (2010 a).

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., Özalp, M., Perçin, O., "Yetişme Muhitinin Lamine Kavak (*Populus nigra* L.) Odununun Mekanik Özelliklerine Etkileri" ***Düzce Üniversitesi, Ormancılık Dergisi***, 5(1):107-121 (2009 b).

Altınok, M., "Sandalye Tasarımında Gerilme Analizine Göre Mukavemet Elemanlarının Boyutlandırılması" Doktora Tezi, ***G.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü***, 21-35 (1995).

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

Altınok,M., Özalp. M., Karaaslan, A., Perçin, O., "Borla Modifiye Edilmiş Tutkalların Kestane *(Castenea sativa Mll.)* Odununu Yapışma Direncine Etkileri", ***Bartın Orman Fakültesi Dergisi***, 11(15): 17-24 (2009 a).

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

Altınok, M., Doruk, Ş., "Doğal Ortam Şartlarının (kış mevsiminin) Bazı Ağaç Malzemenin Vida Tutma Performansına Etkisi", ***Politeknik Dergisi***,13(4), 305-311 (2010).

Anonim, "Türkiye'de Kavakcılık", ***Kavak ve Hızlı Gelişen Yabancı Tür Orman Ağaçları Araştırma Enstitüsü***, İzmit, 224 (1994).

ASTM D 3737–08, "Standard Practice for Establishing Allowable Properties for Structural Glued Laminated Timber (Glulam)", ***ASTM***, USA, 8-7 (2008).

ASTM E 160-50, Standart Test Method For Combustible Properties Of Terated Wood By The Crib Test, *ASTM Standards*, U.S.A., 809-813, (1975).

Atar, M., "Renk Açıcı Kimyasal Maddelerin Ağaç Malzemede Üst Yüzey İşlemlerine Etkileri", Doktora Tezi, ***G.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü***, Ankara, 101-114 (1999).

Atar, M., Yalınkılıç A.C., Aksoy E., "Renk Açma İşleminin Ağaç Malzemenin Yanma Özelliklerine Etkileri", ***Tübitak 1002 Hızlı Destek Projesi***, Proje No: 109O043 (2010).

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

Atar, M., "PVAc Tutkalında Viskozite Değişiminin Bazı Ağaç Malzemelerde Yapışma Direncine Etkiler", ***Politeknik Dergisi***, 10(1): 85-91 (2007).

Atmaca, A., "Laminasyonlu Ahşap Kirişlerin Çeşitli Yapılarda Kullanımı", Yüksek Mühendislik Tezi, ***Z.K.Ü. 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, ***Z. K. Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü,*** 175(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).

Banoub, J. H., Delmas, M., "Structural Elucidation Of The Wheat Straw Lignin Polymer By Atmospheric Pressure Chemical İonization Tandem Mass Spectrometry And Matrix-Assisted Laser Desorption/İonization Time-Of-Flight Mass Spectrometry", ***Journal Of Mass Spectrometry,*** 38 (8): 900-903 (2003).

Beall, F. C., "Differential Calometric Analysis of Wood and Wood Components", ***Wood Science and Technology***, 5(3):159-175 (1971).

Beceren, R., "Mimaride Ahşap", ***Güney Marmara Mimarlık Dergisi***, Bursa Mimarlar Odası Yayınları, 35: 12-14 (2000).

Bekhta, P., ve Niemz, P., "Effect Of High Temperature On The Change In Color, Dimensional Stability And Mechanical Properties Of Spruce Wood", ***Holzforschung,*** 57(5): 539-546 (2003)

Berkel, A., Ağaç Malzeme Teknolojisi, ***İ.Ü., Orman Fakültesi Yayınları***, No: 147, (1970).

Berkel, A., "Ağaç Malzeme Bükme Tekniği ve Kullanış Yerleri", ***İ.Ü. Orman Fak. Dergisi***, 13(1):124-127 (1963).

Boonstra, M. J., Acker, J,V., Tjeerdsma, B., Kegel, E.V., "Strength Properties Of Thermally Modified Softwoods and its Relation To Polymeric Structural Wood Constituents", ***Annals of Forest Science,*** 64 (7): 679-690 (2007).

Boonstra, M. J., Tjeerdsma, B., "Chemical Analysis of Heat Treated Softwoods", ***Holz als Roh- und Werkstoff***, 64(3): 204-211(2006).

Boonstra, M.J., "A Two-Stage Thermal Modification of Wood", PhD Thesis, ***Dissertation in Cosupervision Ghent University and Université Henry Poincaré*** – Nancy, France 1-296 (2008).

Boonstra, M. J., Rijsdijk, J. F., Sander, C., Kegel, E., Tjeerdsma, B., Militz, H., Van Acker, J., Stevens, M., "Microstructural and Physical Aspects Of Heat Treated Wood. Part 2. Hardwoods", ***Maderas. Ciencia y tecnología,*** 8(3): 209-218 (2006 a).

Boonstra, M.J., Rijsdijk, J.F., Sander, C., Kegel, E., Tjeerdsma, B., Militz, H., Van Acker, J., Stevens, M.**,,** "Microstructural and Physical Aspects Of Heat TreatedWood". Part 1. Softwoods", ***Maderas. Ciencia y tecnología,*** 8(3):193-208, (2006 b).

Bourgois, J., Bartholin, M. C. and Guyonnet, R., "Thermal Treatment of Wood: Analysis of the Obtained Product", ***Wood Science and Technology***, 23(4):303-310 (1989).

Bozkurt, A.Y., Göker, Y., Erdin, N., "Odun Anatomisi", Yayın no: 4263, ***İ.Ü. Yayını***, İstanbul, 45-49 (2000).

Bozkurt, Y., Göker, Y., "Fiziksel ve Mekanik Ağaç Teknolojisi", Yayın no: 3445, ***İ.Ü. Orman Fakültesi Yayını***, İstanbul, 34-35 (1987).

Bozkurt, A.Y., Erdin, N., "Ağaç Teknolojisi", ***İ.Ü. Orman Fakültesi Yayını,*** No: 3998 (2000).

Bozkurt, A.Y., Erdin, N., "Odun Anatomisi", ***İ.Ü. Orman Fakültesi Yayını***, Dilek Matbaası, İstanbul, 466 :360 (2000).

Bruno, M, E., Helana, M., "Heat Treatment of Wood", Pereira, Peer Reviewed Review Article, ***BioResources***, 4(1): 370-404 (2009).

BS EN 204, "Non Structural Adhesives For Joining of Wood and Derived Timber Products", ***British Standarts***, England, 1-7, (1991).

BS EN 205, "Test Methods for Wood Adhesive for Non- Structural Applications-Determination of Tensile Shear Strenght of Lap Joints", ***British Standards***, England, 11-13 (1991).

Burmester, A., **"**The Dimensional Stabilization of Wood", ***Holz als Roh-und Werkstoff,*** 2(2):112-119 (1975).

Çağatay, K., Çerçeve Konstrüksiyonlu Mobilya Birleştirmelerinde Farklı Tekniklerin Mukavemet Özelliklerinin Karşılaştırılması, Doktora Tezi, G***.Ü, Fen Bilimleri Enstitüsü***, 215 (2011).

Chung, Y., "Glueability of Southern Pine Early and Late Wood", ***Forest Products Journal***, 18(2) :45-58 (1968).

Çolakoğlu, G., "Wood Adhesives", ***K.T.Ü. Orman Endüstri Mühendisliği,*** Lisansüstü Ders Notu, 32-58 (1998).

Dilik, T., "Lamine Ağaç Malzemeden Pencere Profili Üretimi ve Bazı Kalite Özelliklerinin Belirlenmesi", Doktora Tezi, ***İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü***, 294 (1997).

Doruk, Ş., "Lamine Ağaç Malzemede Vernik Ve Emprenye İşlemlerinin Yaşlandırmaya Etkisinin Belirlenmesi", Doktora Tezi, ***Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü***, 169 (2009).

Döngel, N., Lamine Ahşap Malzemede Ağaç Türü, Katman Sayısı ve Tutkal Çeşidinin Eğilme Direncine Ekileri, Yüksek Lisans Tezi, ***Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü***, 43 (1999).

Dubey, M. K., "Improvements In Stability, Durability And Mechanical Properties Of Radiata Pine Wood After Heat-Treatment In A Vegetable Oil", PhD Thesis, ***University Of Canterbury***, 211 (2010).

Dumanlı, A.G., Sakintuna,B.,Yürü, Y., ”Determination Of The Oxidation Characteristics Of Fir (*Abies Bornmulleriana*) Wood”, ***Prepr. Pap.-Am. Chem. Soc., Div. Fuel Chem.***, 49(2), 809-810 (2004).

Duran, V., “Ağaç Malzemede Rendeleme Faktörlerinin Yüzey Pürüzlülügüne Etkileri”, Bilim Uzmanlığı Tezi, ***Z.K.Ü. Fen Bil. Ens.***, Karabük, 67-68 (2005).

Edlund, M, L., Jermer, J., “Durability Of Heat-Treated Wood”, Final Workshop COST Action E22-***Environmental Optimisation of Wood Protection***, Lisboa–Portugal, 1-9, (2004).

Efe, H., “Çerçeve Konstrüksiyonlu Mobilya Boy Birleştirmelerinde Farklı Kavela Türlerinin Mekanik Davranış Özellikleri”, G.Ü. ***Politeknik Dergisi***, 1(1), 65-74, (1998).

Efe, H., Demirci, S., “Ağaç Malzemede Kesiş Yönünün Kavela Çekme Direncine Etkisi”, Gazi Üniversitesi, ***Fen Bilimleri Dergisi***, 14(4), 1147-1154, (2001).

Efe, H., “Resistance Properties of Screw Nut Used in Furniture Industry As A Binding Part”, M.Sc.Thesi, ***Gazi Üniversity Institute of Science And Technology***, 65, Ankara (1991).

Enjily, V., Jones, D., “The Potential For Modified Materials In The Panel Products Industry”, ***Wood Resources and Panel Properties Conference***, COST Action E44/E49, 12-14 June, 2006, Valencia, Spain, 1-19 (2006).

Eroğlu, H., Usta, M., “Lif Levha Üretim Teknolojisi”, ***K.T.Ü. Orman Fakültesi***, 200(30), Trabzon, 50-250 (2000).

Eroğlu, H., “Liflevha Endüstrisi Ders Notları”, ***K.T.Ü. Orman Fakültesi***, Trabzon,304 (1988).

Esteves, B., Velez, M, A., Domingos, I., Pereira, H., “Influence Of Steam Heating On The Properties Of Pine (*Pinus pinaster*) And Eucalypt (*Eucalyptus globulus*) Wood”, ***Wood Science Technology***, 41(3):193-207 (2007).

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).

Fengel, D., Wegener, G., **“**Wood: Chemistry, Ultrastructure, Reactions”, ***Walter De Gruyter,*** Berlin, 613 (1984).

Franklin Glue Comp., “Adhesive Trouble Shooting”, ***Colombus***, USA, 78-80 (1989).

Garrote, G., Domínguez, H., Parajó, J. C., Hydrothermal Processing Of Lignocellulosic Materials, ***Holz Als Roh- Und Werkstoff,*** 57(3):191-202 (1999).

Giebeler, E., "Dimensional Stabilization Of Wood By Moisture-Heat-Pressure Treatment", ***Holz roh-u werkstoff***, 41(3):87-94 (1983).

Gerardin, P., Petric, M., Petrissans, M., Lambert, J., and Ehrhrardt, J. J. "Evolution Of Wood Surface Free Energy After Heat Treatment," ***Polymer Degradation Stability,*** 92(4): 653-657 (2007).

Gosselink., R. J. A., Krosse, A. M. A., Van der Putten, J.C., Van der Kolk, J.C., De Klerk-Engels, B., Van Dam J.E.G., "Wood Preservation By Low-Temperature Carbonisation", ***Industrial Crops and Products,*** 19(1): 3-12 (2004).

Göker,Y., Bozkurt, Y., "Tabakalı Ağaç Malzeme Teknolojisi", ***İ.Ü. Orman Fakültesi Yayınları***, 1-336, (1986).

Gürleyen, L., Subaşı. S., "Rendeleme İşleminde Ağaç Malzemelerin Enerji Tüketim Maliyetlerine Etkisi", ***Gazi Üniversitesi***, ***Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi,*** 24(2) : 209-219, (2009).

Hafizoğlu, H., Yalınkılıç, M. K., Yıldız, Ü.C., Baysal, E., Demirci, Z., Peker, H., "Türkiye Bor Kaynaklarının Odun Koruma (Emprenye) Endüstrisinde Değerlendirilme İmkanları", ***TÜBİTAK Projesi,*** TOAG-875,:377 (1994).

Hakkou, M., Petrissans, M., Gerardin,P., Zoulalian, A., "Investigations of The Reasons For Fungal Durability of Heat-Treated Beech Wood", ***Polymer Degradation and Stability***, 91: 393-397 (2006).

Hakkou, M., Pe'trissans, M., Zoulalian, A., Ge'rardin, P., "Investigation Of Wood Wettability Changes During Heat Treatment on The Basis Of Chemical Analysis", ***Polymer Degradation and Stability***, 89(1):1-5 (2005).

Hill, C. A. S., "Wood Modification: Chemical, Thermal and Other Processes", ***Wiley Series in Renewable Resources, John Wiley & Sons Inc***. ***Ltd***, , Chichester, UK, 25-27 (2006).

Hillis, W. E., "High Temperature and Chemical Effects on Wood Stability", ***Wood Science and Technology***, 18(4):281-293 (2004).

Hillis, W.E., Rozsa, A.N., "The Softening Temperatures of Wood" ***Holzforschung***, 32(2): 68-73 (1978).

Hillis, W.E., "High Temperature And Chemical Effects on Wood Stability", ***Wood Science and Technology***, 18: 281-93 (1984).

Huş, S., "Ağaç Malzeme Tutkalları", ***İ.Ü., Orman Fakültesi***, İstanbul, 2337(242):7-39 (1977).

Inoue, M., Norimoto, M., Tanahashi, M., Rowel, R, M., "Steam or Heating Fixation Of Compressed Wood", ***Wood and Fiber Science***, 25(3): 224-235 (1993).

Ishikawa, A., Kuroda, N., Kato, A., "In situ Measurement of Wood Moisture Content in High-Temperature Steam", ***Journal of Wood Science***, 50(1): 7-14 (2004).

Ishiguri, F., Masubuchi, N., Yokota, S., Yoshizawa, N., **"**Changes In The Physical and Chemical Properties of Six Japanese Softwoods Caused By Lengthy Smoke-Heating Treatment", ***Journal of Wood Science,*** 51(2): 161-166, (2005).

Johansson, D., "Heat Treatment of Solid Wood - Effects on Absorption, Strength and Colour", PhD Thesis, ***Luleå University of Technology***, Sweden, 142 (2008).

Johansson, D., "Drying and Heat Treatment of Wood: Influences on Internal Checking", ***Proceedings 3rd Nordic Drying Conference***, Karlstad, Sweden, 1-3, (2005).

Johansson, D., Mor´en, T.**,** "The Potential of Colour Measurement For Strength Prediction of Thermally Treated Wood", ***Holz als Roh- und Werkstoff***, (64): 104-110 (2006).

Kamdem, D. P., Pizzi, A., Jermannaud, A., "Durability Of Heat-Treated Wood". ***Holz als Roh und Werkstoff***, 60(1): 1-6(2002).

Kaygın, B.,"Ahşap Tekne Yapımında Kullanılan Ağaç Türlerinin Diri ve Öz Odunlarının Yapışma Dirençlerinin Karşılaştırılması", Yüksek Lisans Tezi, ***Z.K.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü***, Zonguldak, 101-103 (2002).

Kegel, E., "The Plato Technology", A Novel Wood Upgrading Technology, ***Plato International BV***, 1-13 (2006).

Keith, C. T., Chang, C. I.," Properties of Heat-darkened Wood", I. Hygroscopic Properties, Report, ***Eastern Forest Products Laboratory***, Canada, No. OPX213E, 20 (1978).

Keskin, H., "Lamine Ağaç Malzemelerin Teknolojik Özellikleri ve Ağaç İşleri Endüstrisinde Kullanım İmkanları", Doktora Tezi, ***Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü***, 150 (2001).

Keskin, H., Togay, A., "Doğu Kayını (*Fagus oriantalis* L.) ve Kara kavak (*Populus nigra* L.) Kombinasyonu İle Üretilmiş Lamine Ağaç Malzemelerin Bazı Fiziksel Ve Mekanik Özellikleri", ***SDÜ, Orman Fakültesi Dergisi***, A(2): 101-114 (2003).

Kol, H. Ş., Özbay, G., Altun, S., "Shear Strength of Heat-Treated Tali (E*rythrophleum ivorense*) and Iroko (chlorophora excelsa) Woods Bonded with Various Adhesives, ***Bio Resources*** 4(4): 1545-1554 (2009).

Kollmann, F., Sachs, I.B., "The Effects Of Elevated Temperature on Certain Wood Cells". ***Wood Science and Technology,***1(1):14-25, (1967).

Kollmann, F., Schneider, A., Über das Sorptionsverhalten Wärmebehandelter Hölzer. ***Holz Roh- Werkstoff***, 21: 77-85 (1963).

Korkut, S., Korkut, D, S., Bekar, İ., "Okaliptüs (Eucalyptus camaldulensis Dehn.) Odununun Bazı Teknolojik Özellikleri Üzerine Isıl İşlemin Etkisi", ***I. Ulusal Okaliptüs Sempozyumu,*** Tarsus, 209-214 (2008 b).

Korkut, S., Bektas, İ., "The effects of Heat Treatment on Some Physical Properties of Uludag Fir (*Abies bornmuellerinana* Mattf.) and Scots Pine (*Pinus sylvestris* L.) Woods", ***Forest Products Journal***, 58(3): 95-99 (2007).

Korkut, S., Kocaefe, D., "Isıl İşlemin Odun Özellikleri Üzerine Etkisi", ***Düzce Üniversitesi Ormancılık Dergisi***, 5(2):11-34(2009).

Kotilainen R., "Chemical Changes in Wood During Heating at 150-260 ºC", PhD Thesis, ***Jyvaskyla University***, Research Report 80, Finland, 57 (2000).

Kortelainen, S. M., Antikainen, T., Viitaniemi, P., "The Water Absorption of Sapwood and Heartwood Of Scots Pine Ad Norway Spruce Heat-Treated at 170 ºC, 190 ºC, 210 ºC And 230 ºC", ***Holz als Roh und Werkstoff*** , 64(3): 192-197 (2006).

Kurtoğlu, A., "Ağaç Malzemenin Kimyasal Olmayan Yolla Korunması Olanakları", ***İ.Ü. Orman Fakültesi Dergisi***, İstanbul, 4(34):27-29 (1984).

Kurtoğlu, A., "Ağaç Malzeme Yüzey işlemleri ve Genel Bilgiler", ***İ. Ü., Orman Fakültesi, Orman End. Müh. Böl.***, İstanbul, I:31-32, (2000).

Kurtoğlu,A., "Yapıştırılmış Tabakalı Ağaç Malzemede Rutubet Değişimi Nedeniyle Gerilmelerin Oluşumu", ***İ.Ü.,Orman Fakültesi Dergisi***, Seri A, 29(2): 1-25 (1979).

Laufenberg,T., " Exposure Effect Upon Performance of Laminated Veneer Lumber and Glulam Materials", ***Forest Product Journal***, 35-45 (1982).

Leithoff, H., Peek, R, D., "Heat Treatment Of Bamboo", IRG/WP 01-40216 (The Internatıonal Research Group On Wood Preservatıon), ***Federal Research Centre for Forestry and Forest Products (BFH)***, Leuschnerstr. 91, D 21031, Germany, (2001).

MacLean J. D., "Rate of Disintegration of Wood under Different Heating Conditions, ***American Wood Preserves' Association Proceeding.,*** 47: 155-168 (1951)

Malkoçoğlu, A., "Doğu kayını Odununu Teknolojik Özellikleri", Doktora Tezi, ***K.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü***, Trabzon, 152-153 (1994).

Mayes, D., Oksanen, O., "ThermoWood Handbook", ***Finnfores***t, Finland, 66 (2002).
Militz, H., "Heat Treatment Technologies in Europe": Scientific Background and Technological State-of-Art, Proceedings of Conference on "Enhancing the Durability

of Lumber And Engineered Wood Products, Orlando, ***Forest Products Society***, Madison, US, 1-19 (2002).

Millett, M. A., Gerhards, G. C.,"Accelerated Aging: Residual Weight And Flexural Properties Wood Heated İn Air At 115 °C to 175 °C", ***Wood Science***, 4, 193-201 (1972).

Mitchell, P. H., "Irreversible Property ChangesoOf Small Loblolly Pine Specimens Heated İn Air, Nitrogen, or Oxygen", ***Wood and Fiber Science***, 20(3): 320-355, (1988).

Mohebby, B., Sanaei, İ., "Influences of The Hydro-Thermal Treatment on Physical Properties of Beech Wood (Fagus orientalis)", ***Paper Prepared For 36th Annual Meeting***, Bangalore, India, 1-9 (2005).

Nuopponen, M., "FT-IR and UV Raman Spectroscopic Studies On Thermal Modification of Scots Pine Wood And its Extractable Compounds", ***Doctoral Dissertation, Helsinki University of Technology***, Department of Forest Products Technology, Laboratory of Forest Products Chemistry, Reports Series A 23, Espoo-Finland , 1-40 (2005).

Odabaşı,Y. Acar, O., "Yapı Malzemesi Olarak Karakavak Ağacının Bazı Özellikleri Üzerine Araştırmalar", ***Kavak ve Hızlı Gelişen Yabancı Tür Orman Ağaçları Araştırma Enstitüsü***, Yıllık Bülten No: 10 İzmit, 320-327 (1975).

Örs, Y., Keskin, H.,"Ağaç Malzeme Bilgisi", I. Baskı, Isb In:975-6574-01-1, ***Atlas Yayın Dağıtım***, İstanbul, 33-34 (2001).

Örs, Y., Özçifçi, A., Atar, M.,. "Klebit 303, Kleiberit 305.0 ve Süper–Lackleim 308 Tutkallarının Yapışma Dirençleri", ***Turkish Journal of Agriculture and Forestry***, 23 (3): 757-761 (1999).

Örs, Y., Özen, R., Doğanay, S., "Mobilya Üretiminde Kullanılan Agaç Malzemelerin Vida Tutma Dirençleri", ***Turkish Journal of Agriculture and Forestry,*** 22: 29-34, (1998).

Örs, Y., Atar, M., Peker, H., "Çesitli Emprenye Ve Üst Yüzey İşlem Maddelerinin Sarıçam Ve Kestane Odununun Yanma Özelliklerine Etkileri", ***Tübitak Türk Tarım ve Ormancılık Dergisi***, 23: 541-549, (1997).

Özçifçi, A., Altun, S., Yapıcı, F., "Isıl İşlem Uygulamasının Ağaç Malzemenin Teknolojik Özelliklerine Etkisi", ***Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu***, 13-15 Mayıs Karabük, 1-5 (2009).

Özçifçi, A., "Emprenye Edilmiş Ağaç Malzemelerin Teknolojik özellikleri", Doktora Tezi, ***Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü***, 108 (2001).

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***, Antalya : 45-46 (1997).

Özçifçi, A., "Yonga Levha ile Hazırlanan Mobilya Köşe Birleştirmelerine Ait Mukavemet Özelliklerinin Araştırılması", Yüksek Lisans Tezi, ***Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü***, 56 (1995).

Özen, R., "Kimyasal Kağıt Hamuru Atık Sularının Yongalevha ÜretimindeYapıştırıcı Madde Olarak Değerlendirilmesi Olanakları", ***K.T.Ü. Basımevi***, Trabzon,72-73 (1981).

Persson, S, M., "High-Temperature Drying of Scots Pine, A Comparison Between HT- And LT-Drying", ***Holz als Roh- und Werkstoff***, 53(2): 95-99 (1995).

Pizzi, A., "Advanced Wood Adhesives Technology", ***Marcel Dekker***, New York,10-120 (1994).

Poncsák, S., Kocaefe, D., Bouazara, M., Pichette, A., "Effect of High Temperature Treatment on The Mechanical Properties on Birch (*Betula papyrifera*)", ***Wood Science Technology***, 40(8): 647-663 (2006).

Rapp, A. O., "Review on Heat Treatments of Wood", COST ACTION E22 Environmental Optimisation of Wood Protection, ***Proceedings Of Special Seminar Held İn Antibes***, France, Edited by Rapp AO, 1-6 (2001).

Rapp, A. O., Sailer. M., "Oil Heat Treatment of Wood İn Germany-State Of The Art" in Review on Heat Treatments of Wood, COST ACTION E22 Environmental Optimisation Of Wood Protection, ***Proceedings Of Special Seminar Held İn Antibes***, France, Edited by Rapp AO, 47-64 (2001).

Roffael, E. and Schaller, K., "The İnfluence ff Thermal Treatment On Cellulose". ***Holz als Roh-und Werkstoff***, 29 (7):275-278 (1971).

Rozsa, M.E., Fortes, M.A., "Effects of Water Vapour Heating on Structure And Properties of Cork, Wood Sci. Technology, 23: 27-34 (1989).

Rowell, R., "The Chemistry of Solid Wood", ***Advances in Chemistry 207***, American Chemical Sosiety, Washington, DC, 614 (1984).

Rowell, R. M., Konkol, P., **"**Treatments That Enhance Physical Properties of Wood. Gen. Tech. Rep. FPL–GTR–55. Madison, WI: *U.S.* ***Department of Agricuiture, Forest Service, Forest Products Laboratory***,1-12 (1987).

Rusche, H., "Termal Degradation of Wood at Temperatures up to 200 ºC", Part I, Strength of Dried Wood After Heat Treatment, ***Holz als Roh-und Werkstoff***, 31: 273-281 (1973).

Santos, J, A., "Mechanical Behaviour of Eucalyptus Wood Modified by Heat", ***Wood Science and Technology***, 34: 39-43 (2000).

Schneider, A., "Investigation on The Influence Of Heat Treatment İn The Temperature Range 100-200 ºC on The Modulus Of Elasticity", ***Holz als Roh-und Werkstoff***, 29(11): 431-440 (1971).

Selbo, M.L., "Adhesive Bonding of Wood", ***Dep. Agr. Tecnıcal Bulletin,*** Washington, 1(3): 61 (1975).

Sernek, M., Kamke, F. A., and Glasser, W. G. "Comparative Analysis of İnactivated Wood Surface," ***Holzforschung***, 58: 22-31, (2004).

Sernek, M., Boonstra, M., Pizzi, A., Despres, A., and Gerardin, P. "Bonding Performance of Heat Treated Wood With Structural Adhesives," ***Holz als Roh-und Werkstoff***, 66(3):173-180 (2008).

Sertmehmetoğlu.Z., Acar, O., ve Birler A.S., "Bir Endüstri Ağacı Olarak I-214 İşaretli Melez Kavak Odununun Mekanik Dirençleri Konusunda Araştırmalar", ***Kavak ve Hızlı Gelişen Yabancı Tür Orman Ağaçları Araştırma Enstitüsü***, İzmit, Yıllık Bülten No:2, İzmit,137-154, (1967).

Shafizadeh F., Bradbury A. G. W., "Thermal Degradation of Cellulose in Air and Nitrogen at Low Temperature". ***J. Appl. Polym. Sci***. 23:1431-1442 (1979).

Shi, J, L., Kocaefe, D., Zhang, J., "Mechanical Behaviour of Qu´ebec Wood Species Heat-Treated Using Thermowood Process", ***Holz als Roh-und Werkstoff***, 65(4): 255–259 (2007).

Sjöström, E., "Wood Chemistry: Fundamentals and Applications", Second Edition, ***Academic Press***, San Diego-California 92101-4495 USA, 1-137 (1993).

Spannagel, F., "Der Möbel Bau, Zehnte, Vollstandig Neu Bearbeitete Auflage, Otto Maier Verlag Ravensburg", Stuttgart, Germany, (1974).

Stamm, A. J., Hansen, L. A., "Minimizing Wood Shrinkage and Swelling": Effect of Heating in Various Gases, Puplished in ***İndustrial&Engineering Chemistry,*** 27(12), 1480-1484 (1935).

Stevens, W. C., Turner, N., "Wood Bending Handbook", London, England, 110 ***Amozon.co.uk***., (1970).

Syrjänen, T., Oy, K., "Production and Classification of Heat Treated Wood İn Finland", Review on Heat Treatments of Wood. In: ***Proceedings of the special seminar held in Antibes,*** , France, Edited by Rapp AO, 10-19 (2001).

Şenay, A., "Lamine Edilmiş Ağaç Malzemenin Teknolojik Özellikleri", Doktora Tezi, ***İ.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü***, İstanbul, 63-67 (1996).

Tank, T., "Tutkallar ve Tutkallama Tekniği", ***İ.Ü.Orman Fakültesi, Yüksek Lisans Ders Notu***, İstanbul, 29-25 (1995).

Tjeerdsma, B, F., Militz, H., "Chemical Changes in Hydrothermal Treated Wood": FTIR Analysis of Combined Hydrothermal and Dry Heattreated Wood, ***Holz als Roh-und Werkstoff***, 63: 102–111 (2005).

Tjeerdsma, B. F., Boonstra, M., Pizzi, A., Tekely, P., Militz, H., "Characterisation of Thermally Modified Wood: Molecular Reasons For Wood Performance Improvement," ***Holz als Roh-und Werkstoff,*** 56:149-157 (1998).

Toker, R., "Batı Karadeniz Sarıçamının Teknik Özellikleri ve Kullanım Yeri Hakkında Araştırmalar, ***Ormancılık Araştırma Enstitüsü Yayını***, Teknik Bülten Seri No: 10: 17-100, Ankara (1960).

Trada Technology Ltd., "Wood Information", Section 2/3, Sheets 31, ***USA***, 10 (1992).

TS 2471 "Odunda Fiziksel ve Mekaniksel Deneyler İçin Rutubet Miktarı Tayini"**,** ***TSE Standardı***, Ankara, 1-12 (1976).

TS 2472, "Odunda Fiziksel ve Mekanik Deneyler için Birim Hacim Ağırlığı Tayini", ***TSE Standardı***, Ankara, 1-12 (1976).

TS 2474, "Odunun Statik Eğilme Dayanımının Tayini", ***T.S.E. Standardı***., Ankara, 1-4, (1976).

TS 2475, "Odunda Liflere Paralel Doğrultuda Çekme Gerilmesinin Tayini", ***T.S.E***. ***Standardı***, Ankara, 1-8, (1976).

TS 2476, "Odunun Liflere Dik Doğrultuda Çekme Gerilmesinin Tayini", ***T.S.E. Standardı,*** Ankara, 1-8, (1976).

TS 2478, "Odunun Statik Eğilmede Elastikiyet Modülünün Tayini", ***T.S.E***. ***Standardı***, Ankara, 1-8, (1976).

TS 2479, "Odunun Statik Sertliğinin Tayini", ***T.S.E***. ***Standardı***, Ankara, 1-4, (1976).

TS 2595, "Odunun Liflere Paralel Doğrultuda Basınç Dayanımı Tayini", ***T.S.E. Standardı,*** Ankara, 1-4, (1977).

TS 4084, "Odunda radyal teğet Doğrultuda Şişmenin Tayini", ***T.S.E. Standardı,*** Ankara, 1-4, (1983).

TS EN 13446, "Wood-based panels – Determination Of Withdrawal Capacity Of Fasteners", ***T.S.E. Standardı***, Ankara, 1-11, (2005).

TS EN 205, "Yapıştırıcılar -Yapısal Olmayan Uygulamalar İçin Ahşap Yapıştırıcılar – Bindirmeyle Yapıştırılmış Eklerin Çekmeyle Kayma Mukavemetinin Tayini", ***TSE Standardı***, Ankara, 1-7 (2004).

TS EN 386, "Yapıştırılmış Lamine Ahşap Performans Özellikleri ve Asgari Üretim Şartları", ***TSE Standardı***, Ankara, 1-14 (2006).

TS 4539, "Ahşap Birleştirmeler - Kavelalı Birleştirme Kuralları", ***T.S.E. Standardı***, Ankara, 1-6, (1985).

TS EN 326, "Ahşap Esaslı Levhalardan Numune Alınması Ve Deney Parçalarının Hazırlanması", ***TSE Standardı***, Ankara, 1-17, (1997).

TS EN 310, "Ahşap Esaslı Levhalarda Eğilme Dayanımı ve Eğilme Elastiklik Modülü Tayini" ***TSE Standardı***, Ankara, 1-13, (1997).

TS 5430, "Yapısal Olmayan Uygulamalar İçin Termoplastik Ahşap Yapıştırıcıların Sınıflandırılması" ***TSE Standardı***, Ankara,1-8, (2003).

Tunçtaner, K., Tulukçu, M., Toplu, F., "Bazı Kavak Klonlarının Büyümeleri ve Teknolojik özellikleri Üzerine Araştırmalar", ***Kavak ve Hızlı Gelişen Yabancı Tür Orman Ağaçları Araştırma Enstitüsü***, Teknik Bülten No:170, İzmit, 17-20, (1994).

Valtion Teknillinen Tutkimuskeskus (VTT) "Reaction Mechanisms Of Modified Wood During 10/1999-6/2001", P.O., Box 1000, FI-02044, ***Valtion Teknillinen Tutkimuskeskus (VTT)*** , Finland (2001).

Vernois, M., "Heat Treatment of Wood In France–State of The Art", in Revıew on Heat Treatments of Wood, COST ACTION E22 Environmental Optimisation of Wood Protection, ***Proceedings Of Special Seminar Held İn Antibes***, France, Edited by Rapp AO, 39-46 (2000).

Viitanen, H., Jämsä, S., Paajanen, L., Nurmi, A., ve Viitaniemi, P., "The Effect of Heat Treatment on the Properties of Spruce", ***IRG/WP/40032 Annual Meeting***, Indonesia, Section 4:1-4 (1994).

Viitaniemi, P., Jämsä, S., "Modification of Wood by Heat Treatment, ***Valtion Teknillinen Tutkimuskeskus (VTT),*** Publications 814, Espoo", 57 (1996).

Viitaniemi, P., Decay-Resistant Wood Created in a Heating Process, ***IndustrialHorizons***, 23: 77-85. (1997).

Vital, B, R., Lucia, R, M, D., "Effect of Heating on Some Properties of Eacalyptus Saligna Wood", ***Revista-Arvore***, 7(2) :136-146 (1983).

Vital, B, R., Lucia, R., M, D., "Effect of Heating On Dimensional Satability and Hygroscopicity of Wood", ***Revista Arvore***, 6(2): 150-161 (1982).

Waldemar, J. H., André, J. M. J., "Wood Modification Developments", ***Heron***, 49(4): 1-26 (2004).

Wang, J,, Cooper, P, A., "Effect of Oil Type, Temperature And Time on Moisture Properties of Hot Oil-Treated Wood", ***Holz als Roh- und Werkstoff***, 63(6): 417–422 (2005).

Wang, J,Y., "İnitiating Evaluation of Thermal-Oil Treatment for Post- MPB Lodgepole Pine", ***Forintek Canada Corp***. Vancouver BC, Canada, 1-41 (2007).

Winandy, J. E., "Effects of Treatment, Incising and Drying on Mechanical Properties of Timber", İn: Ritter, M.A., Duwadi, S., Lee, P. and Hilbrich, D. eds. Proceedings, National Conference on Wood Transportation Structures-New Wood Treatments, October 23-25, Madison U.S. Department of Agriculture, Forest Service, ***Forest Products Laboratory***, FPL-GTR 94:371-378 (1996).

Windeisen, E., Strobel, C., Wegener, G. "Chemical Changes During The Production of Thermo-Treated Beech Wood," ***Wood Science Technology,*** 41(6): 523-536 (2007).

Wu, Q., Screw-Holding Capacity of Two Furniture-Grade Plywoods, ***Composites and Manufactured Products***, 56, (1999).

Yaltırık, F., "Dendoroloji I, 2410", ***İ.Ü. Orman Fakültesi,*** İstanbul, 165-168 (1988).

Yao, J., Taylor, F., "Effect of High Temperature Drying on the Strength of Southern Pine Dimension Lumber", ***Forest Products Journal***, 29(8): 49-51 (1979).

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, 264 (2002).

Yılmaz, M., "Bazı Ahşap Tutkallarının Masif Ve Levhalarda Yapışma Performanslarının Belirlenmesi", Yüksek Lisans Tezi, ***G.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü***, Ankara, 32-33(2006).

Youngquıst, J. A., Laufenberg,T. L., Bryant, B. S., "End Jointing of Lamineted Veneer Lumber for Structural Use", ***Forest Products Journal*** 34(11-12): 25-32 (1984).

Yun, K. E., Kim, G. H., Kim, J. J., **"**Effect of Heat Treatment on the Dimensional Stability and Bending Properties of Radiata Pine Sapwood", ***Journal of Korean Wood Science and Technology***, 27(4): 30-37 (1999).

Zorlu, İ., Ağaç İşleri Konstrüksiyon Bilgisi, Temel Ders Kitabı, ***M.E.B. Yayını***, No: 2354, İstanbul, 319 (1995).

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı	: PERÇİN Osman
Uyruğu	: T.C.
Doğum tarihi ve yeri	: 01.02.1977 Erdemli/İÇEL
Medeni hali	: Evli
Telefon	: 0 (312) 2028851
e-mail	: opercin@gazi.edu.tr osmanpercin@hotmail.com

Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet tarihi
Yüksek lisans	Dumlupınar Üni. /Fen Bil. Ens. Mob. Dek. Böl.	2007
Lisans	Dumlupınar Üni./ Mobilya ve Dek. Eğit. Böl.	2003
Lise	Erdemli Çok Programlı Lisesi	1994

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2009-2012	Gazi Üniversitesi	Araştırma Görevlisi
2003-2009	Dumlupınar Üniversitesi	Araştırma Görevlisi

Yabancı Dil

İngilizce

Yayınlar

- Altınok, M., Özalp,M., Karaaslan, A., Perçin,O., Borla Modifiye Edilmiş Tutkalların Kestane (Castenea sativa Mill.) Odununun Yapışma Direncine Etkileri, Bartın Orman Fakültesş Dergisi, Cilt:11, Sayı 15; 17-24, (2009).

- Perçin,O., Özbay, G., Ordu,M., Farklı Tutkallarla Lamine Edilmiş Ahşap Malzemelerin Mekaniksel Özeliklerinin Belirlenmesi, Dumlupınar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, Sayı;19, (2009).

- Altınok, M., Perçin, O., Doruk,Ş., Isıl İşlemin (Thermo-Process) Ağaç Malzemenin Teknolojik Özelliklerine Etkisinin İncelenmesi, Dumlupınar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, Sayı;23, (2010).

- Doruk,Ş., Perçin,O., Isıl İşlemin Bazı Ağaç Malzemelerin Eğilme Ve Basınç Direncine Etkileri, Politeknik Dergisi, Cilt:13, Sayı: 2, S:143-150, (2010).

- Özalp,M., Perçin,O., Korkut, S., The Effect Of Sea Water On Laminated Wooden Material, African Journal of Biotechnology, Vol. 8, (8), pp. 1672-1679, (2009).

- Doruk,Ş., Altınok, M., Perçin,O., Isıl İşlemin Ağaç Malzemenin Bazı Fiziksel Ve Mekanik Özelliklerine Etkisi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 14-3, 2010, 262-270, (2010).

- Perçin, O., Özalp, M., Yonga Levhalara Uygulanmış Isıl İşlemin Teknolojik Özelliklere Etkileri, E-Journal of New World Sciences Academy, Yayın No: 2A0014, Cilt.4, Sayı.2, (2009).

Hobiler

Tenis, Bilgisayar teknolojileri, Basketbol